

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE NEUMÁTICOS NUEVOS RADIALES RIN 15, CON RESPECTO A NEUMÁTICOS REENCAUCHADOS EN FRÍO Y EN CALIENTE DEL MISMO RIN”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN SISTEMAS  
AUTOMOTRICES**

**ALEX STALIN NUÑEZ MOSCOSO**

`alex.nunez@epn.edu.ec`

**SANTIAGO JAVIER SÁNCHEZ CRUZ**

`javersanchezcruz@hotmail.com`

**DIRECTOR: ING. ANDRÉS ZUMÁRRAGA, M.Sc.**

`andres.zumarraga@gm.com`

**CODIRECTOR: ING. WILLIAM VENEGAS, M.Sc.**

`william.venegas@epn.edu.ec`

**Quito, enero 2017**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Alex Stalin Nuñez Moscoso y Santiago Javier Sánchez Cruz, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**Alex Stalin Nuñez Moscoso**

---

**Santiago Javier Sánchez Cruz**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Ing. Alex Stalin Nuñez Moscoso y el Ing. Santiago Javier Sánchez Cruz bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Andrés Zumárraga, M.Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. William Venegas, M.Sc.

**CO-DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la sabiduría para poder culminar un paso más en mi vida.

A todas las personas que nos apoyaron con un granito de arena, para seguir adelante con nuestro proyecto, en principal agradezco a las personas que son parte de la Metalmecánica San Bartolo y Laboratorio de Llantas de la Escuela Politécnica Nacional, al Club de Automovilismo de Imbabura (CATI), al piloto Fernando Madera. Jr. por su aporte y profesionalismo y al Ingeniero Andrés Zumárraga por todo el apoyo en la dirección de la tesis.

A mis padres y mi familia por todo el apoyo incondicional que me brindan día a día.

**Alex Stalin Nuñez Moscoso**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi amado y gran Dios, por haberme permitido alcanzar esta meta, pues fue su voluntad que se cumpla este sueño, por darme toda la inteligencia y sabiduría que necesitaba para culminar con éxito toda la carrera, con lo cual el nombre de Dios fue exaltado y glorificado.

A mis maravillosos Padres Eduardo y Pilar, que con su gran amor, ejemplo, ayuda, dedicación, enseñanzas y apoyo incondicional, he salido adelante en cada dificultad o problema que se ha presentado durante mi vida y carrera universitaria.

A mi gran bendición de Dios, mi ayuda idónea, mi hermosa mujer virtuosa Mayra Fernández, que gracias a toda su ayuda, apoyo y gran amor incondicional, seguí adelante y no me di por vencido, pero sobre todo a las grandes palabras de bendición que me daba de parte de Dios, para seguir confiado en el Señor y avanzar.

Al Ing. Andrés Zumárraga, quien ha sido un gran apoyo y ayuda incondicional para el desarrollo y culminación de este proyecto, al Ing. William Venegas, quienes nos han guiado de buena manera, durante todo este proceso.

A mi compañero y amigo de tesis Alex Nuñez, con quien realice el presente trabajo.

A la Metalmecánica San Bartolo y Laboratorio de Llantas de la Escuela Politécnica Nacional, al Club de Automovilismo de Imbabura (CATI), al piloto y amigo Fernando Madera. Jr. por su profesionalismo y gran ayuda.

**Javier Sánchez**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto a mi hija Andreita Nuñez, y toda mi familia que son mi inspiración para seguir forjando mi camino para seguir alcanzando mis objetivos propuestos en mi vida.

A mis padres Cesar Alejandra Nuñez y España de Jesús Moscoso, por darme la vida, por haberme enseñado los valores de la vida, por ser el ejemplo y pilar en mi vida. Pido a Dios que les de salud y vida, para que me continúen guiándome con su amor y sabiduría.

A mi hermano Juan Carlos, sobrinos y toda mi familia que es mi inspiración para seguir forjando mi camino y seguir alcanzando mis objetivos propuestos en mi vida.

**Alex Stalin Nuñez Moscoso**

## DEDICATORIA

A mi amado y gran Dios, Rey de Reyes y Señor de Señores, quien es el pilar fundamental de mi vida, al cual le debo todo, ya que sin Él no tiene sentido mi vida. Gracias a Dios, a su voluntad, a su dirección, llegue a culminar con éxito este proyecto y sueño que tenía. Porque el amor incondicional, eterno, que Dios tiene por mí ha sido, es y será el motor que me impulsa a seguir adelante, sin desmayar y entregar todo de mí en lo que haga o emprenda, ya que Dios esta guiándome y ayudándome incondicionalmente y nunca me dejará solo, ni desamparado.

A unos seres maravillosos y amorosos, que con su ejemplo, enseñanzas, valores, me han guiado y formado, para ser un hombre de Dios, humilde, responsable, honrado, respetuoso, agradecido, servicial; quienes son mi Padre Eduardo Sánchez y mi Madre Pilar Cruz, que los amo muchísimo y que estoy más que bendecido y agradecido con Dios, por sus vidas, ya que con su gran ejemplo de vida, me han enseñado que siempre hay que hacer las cosas con calidad y honradez, para estar muy bien delante de los ojos de Dios, con su bendición, y que de esa manera todo saldrá muy bien y en todo lo que emprenda Dios me bendecirá, por mi obediencia a Él y a su palabra.

A una mujer maravillosa, gran sierva de Dios, ayuda idónea, mujer virtuosa, Princesa del Reino de Dios; quien es el amor de mi vida después de Dios, Mayra Fernández (mi reina hermosa), que le amo muchísimo, que estoy súper bendecido y agradecido con Dios por su vida, porque con su respaldo, ayuda, apoyo y su gran amor incondicional que me da, me ha impulsado a seguir adelante y no darme por vencido. Pero sobre todas las cosas quiero agradecerle por siempre estar incondicionalmente dándome las palabras de bendición de parte de Dios, para que mi Fe no decaiga, sino que siga creciendo y mi confianza este completamente en Dios.

**Javier Sánchez**

# ÍNDICE GENERAL

<b>DECLARACIÓN</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xviii</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>xix</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Justificación.....	5
1.3. Alcance .....	6
1.4. Objetivos .....	7
1.4.1. Objetivo general .....	7
1.4.2. Objetivos Específicos .....	7
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>8</b>
2.1. Neumáticos .....	8
2.1.1. Compuestos de los neumáticos .....	8
2.1.2. Partes del neumático .....	10
2.1.3. Funciones y características principales de los neumáticos.....	12
2.1.4. Tipos de neumáticos .....	13
2.1.4.1. Neumáticos convencionales o diagonales .....	13



2.1.4.2.	Neumáticos Radiales .....	13
2.2.	Dinámica y características mecánicas de los neumáticos.....	14
2.2.1.	Fuerzas y momentos que actúan sobre los neumáticos .....	14
2.2.2.	Fuerza lateral (Fy) y ángulo de deriva ( $\alpha$ ).....	17
2.2.2.1.	Fuerza longitudinal (Fx) .....	19
2.2.2.2.	Fuerza normal (Fz) .....	21
2.2.3.	Rigidez del neumático .....	22
2.2.4.	Resistencia a la rodadura.....	24
2.2.4.1.	Valores del coeficiente de rodadura.....	27
2.3.	Rango de temperatura (temperature) del neumático.....	28
2.3.1.	La presión de aire y la variación de temperatura del neumático.....	29
2.4.	Rango de desgaste (treadwear) de la banda de rodadura del neumático .....	30
2.4.1.	Relación con el coeficiente de fricción .....	31
2.5.	Rango de tracción (traction) del neumático .....	32
2.6.	Reencauche de los neumáticos .....	34
2.6.1.	Tipos de reencauche .....	34
2.6.1.1.	Reencauche en caliente .....	34
2.6.1.2.	Reencauche en frío.....	35
2.6.2.	Proceso de reencauche .....	35
2.6.2.1.	Inspección inicial.....	35
2.6.2.2.	Raspado.....	36
2.6.2.3.	Preparación.....	36
2.6.2.4.	Reparación.....	37
2.6.2.5.	Cementado.....	37
2.6.2.6.	Relleno .....	38
2.6.2.7.	Embandado.....	38
2.6.2.8.	Vulcanización .....	39
2.6.2.9.	Inspección final .....	39
2.7.	Variables involucradas en el desempeño del neumático.....	40
2.7.1.	Variables para análisis del comportamiento dinámico .....	40
2.7.1.1.	Presión de inflado .....	40
2.7.1.2.	Temperatura de los neumáticos .....	41
2.7.1.3.	Índice de Velocidad.....	41
2.7.1.4.	Índice de Carga.....	41

<b>3. METODOLOGIA DE PRUEBAS DE NEUMÁTICOS .....</b>	<b>42</b>
3.1. Selección de neumáticos para pruebas .....	42
3.1.1. Neumático 225/70 R15.....	43
3.2. Pruebas de laboratorio bajo normas técnicas Ecuatorianas INEN .....	44
3.2.1. Método de ensayo para la determinación de la capacidad o resistencia del neumático .....	44
3.2.1.1. Fundamento .....	44
3.2.2. Presión de inflado del neumático para ejecución de pruebas.....	45
3.2.3. Temperatura de prueba de los neumáticos .....	45
3.2.4. Velocidad de prueba de los neumáticos .....	45
3.2.5. Porcentajes de carga según la prueba del neumático .....	46
3.2.6. Comparativo de neumáticos nuevos y reencauchados.....	46
3.2.7. Equipo requerido para pruebas de laboratorio .....	47
3.2.7.1. Tambor dinamométrico (máquina de capacidad y velocidad) .....	47
3.2.7.2. Cámara termográfica .....	48
3.2.7.3. Medidor de presión de neumáticos .....	50
3.2.7.4. Procedimiento de la prueba.....	50
3.2.7.5. Pruebas complementarias de laboratorio .....	52
3.3. Métodos de prueba de resistencia a la rodadura y tracción de neumáticos de pasajeros en pista.....	53
3.3.1. Método y procedimiento para pruebas de resistencia a la rodadura de neumáticos de pasajeros .....	53
3.3.1.1. Preparación de los neumáticos .....	54
3.3.1.2. Registro de datos.....	55
3.3.2. Método y procedimiento para pruebas de frenado (tracción) de neumáticos de pasajeros.....	55
3.3.2.1. Preparación de los neumáticos .....	55
3.3.2.2. Registro de datos.....	57
3.3.2.3. Enllantaje de los neumáticos .....	58
3.3.2.4. Montaje de los neumáticos en el vehículo .....	59
3.3.2.5. Verificación de la presión de inflado del neumático.....	59
3.3.2.6. Medición de temperatura de los neumáticos .....	60
3.3.3. Condiciones para el desarrollo de pruebas .....	60
3.3.3.1. Temperatura del ambiente.....	60
3.3.3.2. Velocidad del viento.....	60
3.3.3.3. Presión de los neumáticos.....	61

3.3.3.4.	Carga aplicada al neumático .....	61
3.3.3.5.	Velocidad de prueba .....	61
3.3.4.	Condiciones del vehículo de prueba .....	61
3.3.4.1.	Tipo de vehículo.....	61
3.3.4.2.	Consideraciones en el vehículo para las pruebas .....	62
3.3.5.	Condiciones de la superficie de pruebas .....	62
3.3.6.	Equipos requeridos.....	62
3.3.6.1.	Acelerómetro.....	62
3.3.6.2.	Cinta métrica.....	63
3.3.6.3.	Autódromo José Tobar Tobar (Yahuarcocha).....	63
3.3.6.4.	Registro de datos del neumático .....	64
3.3.6.5.	Pruebas complementarias de pista .....	65
<b>4.</b>	<b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>66</b>
4.1.	Descripción de los neumáticos de pruebas para análisis del comportamiento dinámico en laboratorio y pista.....	66
4.1.1.	Descripción del vehículo para el análisis del comportamiento dinámico en pista .	67
4.2.	Pruebas del comportamiento dinámico de los neumáticos en el laboratorio .....	67
4.2.1.	Resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio con el tambor dinamométrico externo (máquina de resistencia y velocidad).....	68
4.2.1.1.	Tablas comparativas al 100% de la máxima presión de inflado.....	72
4.2.2.	Pruebas complementarias.....	73
4.2.2.1.	Análisis comparativo de la incidencia de la velocidad .....	73
4.2.3.	Pruebas complementaria con la cámara termográfica .....	74
4.3.	Pruebas del comportamiento dinámico de los neumáticos en pista .....	75
4.3.1.	Resultados obtenidos en las pruebas de pista .....	76
4.3.1.1.	Resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la rodadura.....	76
4.3.2.	Resultados obtenidos en la prueba de tracción del neumático (frenado)....	82
4.3.3.	Pruebas complementarias de pista.....	88
4.4.	Evidencias visuales de los neumáticos puestos a prueba en la pista .....	90
4.4.1.	Neumático marca A .....	90
4.4.2.	Neumático marca B .....	91
4.4.3.	Neumático marca C.....	92
4.4.4.	Neumático reencauche en frío .....	93
4.4.5.	Neumático reencauche en caliente.....	94
4.4.5.1.	Análisis de resultados de neumáticos .....	95

<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
5.1. Conclusiones.....	97
5.2. Recomendaciones .....	98
5.3. Referencias Bibliográficas .....	100
<b>ANEXOS.....</b>	<b>i</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Índice de reencauche obligatorio. ....	5
Tabla 2.1 Características principales de los polímeros.....	9
Tabla 2.2 Coeficiente de resistencia a la rodadura (fr) de los neumáticos. ....	27
Tabla 2.3 Rangos de temperatura del neumático. ....	28
Tabla 2.4 Rangos de tracción del neumático .....	33
Tabla 3.1 Presión de inflado de neumáticos para pruebas. ....	45
Tabla 3.2 Temperatura de prueba de neumáticos. ....	45
Tabla 3.3 Velocidades de prueba. ....	45
Tabla 3.4 Porcentajes de carga, tiempo y velocidad. ....	46
Tabla 3.5 Condiciones a compararse entre neumáticos nuevos y reencauchados. ....	46
Tabla 3.6 Registros de resultados de prueba de resistencia. ....	48
Tabla 3.7 Registros de resultados de prueba de velocidad.....	48
Tabla 3.8 Características cámara termográfica FLUKE Ti27 .....	49
Tabla 3.9 Condiciones de pruebas adicionales. ....	53
Tabla 3.10 Procedimiento para realizar la prueba de resistencia a la rodadura. ....	54
Tabla 3.11 Registro de datos de prueba de resistencia a la rodadura.....	55
Tabla 3.12 Procedimiento para realizar la prueba de tracción (frenado). ....	56
Tabla 3.13 Registro de datos de prueba de frenado. ....	57
Tabla 3.14 Registro datos del vehículo. ....	64
Tabla 3.15 Condiciones de pruebas adicionales. ....	65
Tabla 4.1 Características de los neumáticos de pruebas.....	66
Tabla 4.2 Características del vehículo de prueba. ....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Distribución de compuestos .....	9
Figura 2.2 Sección transversal de un neumático radial. ....	10
Figura 2.3 Neumático convencional. ....	13
Figura 2.4 Neumático radial. ....	13
Figura 2.5 Sistema de referencia SAE para el neumático. ....	14
Figura 2.6 Distribución típica de presión en la huella de contacto. ....	16
Figura 2.7 Variación de la deformación en función de la carga. ....	17
Figura 2.8 Esquema del ángulo de deriva. ....	17
Figura 2.9 Etapas del ángulo de deriva. ....	18
Figura 2.10 Fuerza lateral y momento autoalineante del neumático. ....	19
Figura 2.11 Relación entre el momento autoalineante y el ángulo de deriva. ....	19
Figura 2.12 Fuerzas longitudinales. ....	20
Figura 2.13 Relación entre la fuerza longitudinal ejercida en el neumático y el grado de deslizamiento. ....	20
Figura 2.14 Deformación del neumático por acción de la carga normal. ....	21
Figura 2.15 Neumático radial .....	22
Figura 2.16 Neumático cargado verticalmente. ....	22
Figura 2.17 Relación entre la fuerza vertical y la deformación. ....	23
Figura 2.18 Distribución de presiones en la huella de contacto .....	24
Figura 2.19 Deformaciones del neumático en las diferentes direcciones. ....	24
Figura 2.20 Distribución asimétrica del diagrama de presiones bajo la rueda girando ....	25
Figura 2.21 Distribución de presiones en el área de contacto neumático-suelo. ....	25
Figura 2.22 Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura en función de la velocidad. ....	26
Figura 2.23 Variación del coeficiente en función del tipo de terreno y del diámetro. ....	26
Figura 2.24 Variación de los coeficientes $f_0$ y $f_s$ en función de la presión de inflado de los neumáticos. ....	27
Figura 2.25 Factor de temperatura A .....	29
Figura 2.26 Factor de desgaste (treadwear) 60. ....	31
Figura 2.27 Factor de tracción A. ....	33
Figura 2.28 Inspección inicial. ....	36

Figura 2.29 Raspado. ....	36
Figura 2.30 Preparación. ....	37
Figura 2.31 Reparación. ....	37
Figura 2.32 Cementado. ....	38
Figura 2.33 Relleno. ....	38
Figura 2.34 Embandado. ....	39
Figura 2.35 Vulcanización. ....	39
Figura 2.36 Inspección final. ....	40
Figura 3.1 Neumáticos utilizados en el Ecuador y porcentajes de reencauche. ....	43
Figura 3.2 Ensayo aguante o resistencia. ....	44
Figura 3.3 Tambor dinamométrico externo (máquina de capacidad y velocidad). ....	47
Figura 3.4 Captura de temperatura y representación gráfica. ....	50
Figura 3.5 Medidor de presión de neumáticos analógico. ....	50
Figura 3.6 Aro de prueba y enlantaje. ....	51
Figura 3.7 Aro de prueba y enlantaje. ....	51
Figura 3.8 Marcado del sentido de giro. ....	52
Figura 3.9 Enlantaje de los neumáticos. ....	58
Figura 3.10 Designación de aros. ....	58
Figura 3.11 Montaje de los neumáticos. ....	59
Figura 3.12 Comprobación de la presión de inflado. ....	59
Figura 3.13 Medición de la temperatura de los neumáticos. ....	60
Figura 3.14 Sensor de aceleración 3D cobra. ....	63
Figura 3.15 Cinta métrica. ....	63
Figura 3.16 Pista autódromo Yahuarcocha. ....	64
Figura 4.1 Neumático para prueba. ....	68
Figura 4.2 Medición de la presión de inflado antes de la prueba. ....	69
Figura 4.3 Aplicación de carga al tambor dinamométrico. ....	69
Figura 4.4 Marca A al 100% de la presión de inflado. ....	70
Figura 4.5 Marca B al 100% de la presión de inflado. ....	70
Figura 4.6 Marca C al 100% de la presión de inflado. ....	71
Figura 4.7 Reencauche en caliente al 100% de la presión de inflado. ....	71
Figura 4.8 Reencauche en frío al 100% de la presión de inflado. ....	72

Figura 4.9 Análisis comparativo del desempeño de los neumático al 100% de presión y 100Km/h.....	73
Figura 4.10 Resumen del análisis comparativo del desempeño de los neumáticos al 100% de la presión de inflado.....	74
Figura 4.11 Captura térmica del neumático. ....	74
Figura 4.12 Variabilidad de temperatura de neumáticos nuevos y reencauchados al 100% de la presión de inflado.....	75
Figura 4.13 Vehículo de pruebas y ubicación en pista para medición de la resistencia a la rodadura .....	76
Figura 4.14 Resistencia a la rodadura de la marca A.....	77
Figura 4.15 Resistencia a la rodadura de la marca A.....	77
Figura 4.16 Resistencia a la rodadura de la marca C.....	78
Figura 4.17 Resistencia a la rodadura del reencauche en caliente. ....	78
Figura 4.18 Resistencia a la rodadura del reencauche en frío.....	79
Figura 4.19 Resistencia a la rodadura con el 60% de la presión de inflado. ....	79
Figura 4.20 Resistencia a la rodadura con el 85% de la presión de inflado. ....	80
Figura 4.21 Resistencia a la rodadura con el 100% de la presión de inflado.....	80
Figura 4.22 Resumen comparativo de la resistencia a la rodadura de los neumáticos a diferentes presiones.....	81
Figura 4.23 Distancia de resistencia a la rodadura Marca C (izq.), Reencauche en caliente (der.) .....	81
Figura 4.24 Medición de la distancia de frenado. ....	82
Figura 4.25 Tracción del neumático (frenado) de la marca A. ....	83
Figura 4.26 Tracción del neumático (frenado) de la marca B. ....	83
Figura 4.27 Tracción del neumático (frenado) de la marca C.....	84
Figura 4.28 Tracción del neumático (frenado) de reencauche en caliente. ....	84
Figura 4.29 Tracción del neumático (frenado) de reencauche en frío.....	85
Figura 4.30 Tracción del neumático (frenado) con el 60% de la presión de inflado.....	85
Figura 4.31 Tracción del neumático (frenado) con el 85% de la presión de inflado.....	86
Figura 4.32 Tracción del neumático (frenado) con el 100% de la presión de inflado.....	86
Figura 4.33 Resumen comparativo de la tracción de los neumáticos (frenado) a diferentes presiones.....	87
Figura 4.34 Distancia de frenado (sup.) Marca C, (inf.) Reencauche en frío. ....	88
Figura 4.35 Medición de desplazamientos en pista.....	88



Figura 4.36 Desplazamientos Marca A (izq.) y Reencauche en frío (der.).	89
Figura 4.37 Temperatura del neumático Marca B	89
Figura 4.38 Variación de la temperatura del neumático marca A.	90
Figura 4.39 Desgaste del neumático marca A.	90
Figura 4.40 Variación de la temperatura del neumático marca B.	91
Figura 4.41 Desgaste del neumático marca B.	91
Figura 4.42 Variación de la temperatura del neumático Marca C.	92
Figura 4.43 Desgaste del neumático marca C.	92
Figura 4.44 Variación de la temperatura del neumático reencauche en frío.	93
Figura 4.45 Desgaste del neumático reencauchado en frío.	93
Figura 4.46 Variación de la temperatura del neumático reencauche en caliente.	94
Figura 4.47 Desgaste del neumático reencauchado en caliente.	94
Figura 4.48 Verificación de las carcassas de los neumáticos.	95
Figura 4.49 Clasificación de neumáticos	96

## RESUMEN

Los neumáticos estaban sometidos a elevadas exigencias dinámicas provenientes del vehículo y constituyen parte fundamental en su seguridad sean nuevos o reencauchados deben garantizar las máximas prestaciones. A fin de confirmar lo indicado era necesario realizar un análisis del comportamiento dinámico de los neumáticos nuevos y reencauchados Rin 15, describir sus partes y los procesos de reencauche, estar al tanto de las variables de temperatura, presión, velocidad y carga, seleccionar los métodos según las normas vigentes en el Ecuador y las normas internacionales para desarrollar pruebas de resistencia de la carcasa en laboratorio y en pista. Para realizar una comparación entre neumáticos nuevos (importados y producción nacional) y reencauchados en frío y en caliente era necesario obtener datos en relación a la resistencia a la rodadura, tracción (frenado), adherencia. En función al análisis realizado a todos los datos obtenidos se evidenció que la seguridad activa y comportamiento dinámico de un neumático reencauchado no es similar a un neumático nuevo a pesar que cumplen con los requisitos exigidos en las normas, los neumáticos reencauchados tienen mayor resistencia a la rodadura y mayor distancia de frenado. Con los estudios que se realizaron se determinó que los neumáticos reencauchados analizados en el presente estudio no tienen la misma equivalencia del neumático nuevo, es decir no tienen las mismas propiedades de bandas de rodamiento.

**Palabras clave:** Adherencia, comportamiento dinámico, neumáticos, resistencia a la rodadura, tracción, velocidad.

## ABSTRACT

Tires are subjected to elevated dynamic demands that come from the vehicle and constitute a fundamental part in its security; whether they are new or retreaded, they must guarantee the best benefits. In order to confirm what has been said it is necessary to perform an analysis on dynamic behavior between new and retreaded Rim 15 tires, describe their parts and the retreatment process being aware of the variables: temperature, pressure, speed and load according to methods defined in Ecuadorian and International laws to develop resistance tests of the tire casing inside lab and runway. To compare between new tires (nationally produced and imported), and retreaded tires in cold and hot methods it was necessary to obtain data related to rolling resistance, traction (braking), and adherence. According to the analysis of the obtained data, it was evident that the active security and dynamic behavior of a retreaded tire are not similar to a new tire, even though they fulfill the requirements demanded by standard retreaded tires have bigger rolling resistance and bigger braking distance. This work leads to the conclusion that retreaded tires do not have the same equivalence of a new tire, in other words they do not share the same tread properties.

**Keywords:** Adherence, dynamic behavior, rolling resistance, speed, tires, traction.

## PRESENTACIÓN

En la actualidad el proceso de reencauche de neumáticos establece un papel muy importante para el reciclaje y el medio ambiente, porque esto fomenta el desarrollo de la tecnología y la producción nacional, generando un aumento de la matriz productiva del Ecuador, porque el país dejaría de tener altos índices de importaciones de neumáticos y consecuente con esto el país en el futuro podría ser un gran productor de neumáticos de excelente calidad.

Este proyecto de investigación se realizó con la finalidad de conocer y determinar el desempeño dinámico de los neumáticos nuevos y reencauchados en frío y caliente, tomando en cuenta los antecedentes que en el Ecuador no existe este tipo de investigación, lo cual motivó realizar el estudio y el análisis comparativo entre los 2 tipos neumáticos antes mencionados, para obtener datos cuantitativos, con el propósito de establecer técnicamente cual es la diferencia entre el neumático nuevo y el reencauchado (frío y caliente).

En el presente estudio se desarrolló un método de pruebas, en base a las normas nacionales (Norma Técnica INEN) e internacionales (SAE J345, Regulación ECE 13-H), para determinar los parámetros ideales para las pruebas de laboratorio y carretera, tomando en cuenta las variables de temperatura, presión, velocidad y carga (fuerza), con el fin de obtener resultados confiables para realizar el respectivo análisis de investigación.

Esta investigación es importante debido a que según la difusión de la misma garantizaría que algunas entidades públicas y privadas adquieran neumáticos de calidad y a su vez las empresas dedicadas al reencauche puedan mejorar el proceso, con el fin de que los neumáticos reencauchados tengan las mismas prestaciones que los nuevos, con el fin de garantizar la seguridad vehicular y disminuir el consumo del combustible y con ello ser amigable con el medio ambiente.

# 1. INTRODUCCIÓN

La reconstrucción de neumáticos, es una actividad que se ha extendido rápidamente en muchos países del mundo, tiene la función de proveer de una superficie de rodadura nueva a los neumáticos desgastados por el uso. Con la aparición del reencauche se ha conseguido fundamentalmente alargar la vida útil de los neumáticos, como también reducir costos a todos los usuarios de vehículos y evitar en cierto grado la contaminación ambiental, fruto del desecho de neumáticos usados.

Los neumáticos del vehículo tienden a desgastarse paulatinamente debido especialmente al contacto permanente de su superficie con el asfalto (o el piso de otra naturaleza) lo que origina que este se vaya deteriorando conforme al uso. De no existir la industria del reencauche los neumáticos llegarían a una etapa, en la que no pueden ser utilizados más y deberían ser desechados como desperdicio, causando un grave impacto al medio ambiente.

Por tal motivo mediante el proceso de reencauche se reciclan los neumáticos desechados, se los procesa adecuadamente, se coloca una nueva banda de rodadura y con ello se dispone nuevamente de un neumático que estará en condiciones para ser utilizado en el vehículo.

En el Ecuador la actividad del reencauche aparece hace aproximadamente 45 años (década de los 70), mediante la instalación de unas pocas y pequeñas empresas de reencauche en caliente. Años después y con la evolución de esta industria se implanta lo que hoy se conoce como reencauche en frío.

Con el pasar de los años y el avance de la tecnología, los procesos han ido mejorando; es así, que en la industria del reencauche pasa de una etapa a otra (proceso antiguo de reencauche en caliente al proceso moderno de reencauche en frío) con nueva tecnología y nuevos métodos de trabajo.

La industria del reencauche en el Ecuador ha ido en vías de desarrollo, debido a la implementación de las Reglamentaciones de control al proceso de reencauche, dentro de la misma especifica que todas las empresas productoras de neumáticos reencauchados, deben realizar pruebas de laboratorio, donde se demuestre la resistencia de la carcasa del neumático.

Existe una gran cantidad de normas, por lo general cada país que produce neumáticos reencauchados posee su propia reglamentación sobre el proceso de reencauche. En este estudio se cita las normas vigentes que utiliza el Ecuador, en las cuales se rige el proceso de reencauchado de los neumáticos y que es el principal fundamento para el estudio y análisis que se realizará sobre los neumáticos reencauchados. El estudio que se realizará es por el motivo de comprobar y demostrar que los neumáticos reencauchados brindan el mismo desempeño y características, que los neumáticos nuevos, pero a un menor costo, ya que cuando la banda de rodadura cumple su vida útil en el neumático nuevo, es reemplazada por una nueva en la misma carcasa del neumático y de esta manera se reutilizan los mismos, lo cual contribuye a la conservación del medio ambiente, porque la mayoría de los neumáticos que cumplieron la vida útil son desechados en los botaderos del país, generando una gran contaminación. Como también dicho estudio se efectuará para establecer parámetros comparativos entre el neumático nuevo y el reencauchado, con el fin de que el consumidor o el cliente tenga a su disposición una base técnica para determinar que neumático adquiere al momento que necesite cambiar los mismos, ya que dichos parámetros no existe en el país, por tal motivo los neumáticos reencauchados no tienen una gran aceptación en comparación a los nuevos.

## **1.1. Antecedentes**

Hasta hace unos años atrás la industria del reencauche en el Ecuador no tenía un desarrollo de acorde al gran parque automotor de transporte que existe a nivel nacional. “De acuerdo a la publicación que realizó el INTRA (Asociación Internacional de Llantas y Cauchos), la cual publicó las cifras de reencauche de varios países donde Ecuador apenas reencauchaba un 20%, cifras muy bajas en comparación con países vecinos como: Colombia (46%) y E.E.U.U (100%), por tal motivo en el mercado de neumáticos usados del Ecuador se desechan a la basura, un promedio de 60.000 toneladas al año” (Mavesa, 2017).

En el año 2010 el Ecuador tenía un proceso de reencauche mayormente artesanal el cual era realizado por 11 empresas reencauchadoras y por vulcanizadores que no contaban con el equipo y las herramientas necesarias para el tratamiento de la carcasa, lo cual era el mayor impedimento para que la industria del reencauche se desarrolle totalmente debido a que la materia prima (carcasas) no prestaba las condiciones necesarias para ser reutilizadas. Por tal motivo dichas empresas en el mismo año trabajaban al 47% de su

capacidad instalada. Este bajo porcentaje se debía principalmente a la falta de materia prima que son los neumáticos usados, falta de normas técnicas ecuatoriana que rijan el proceso de reencauchado y aseguren la calidad. “Pero cabe recalcar que la venta de neumáticos reencauchados realizados por las compañías aprobadas para realizar este tipo de comercio, genero al Ecuador un ahorro de divisas medido por la baja del 16% del volumen de neumáticos importados” (Andes, 2012), es decir una disminución en 110 millones de dólares.

Por tal motivo en el año 2011 el Gobierno Ecuatoriano para reducir el grado de contaminación que genera los neumáticos usados, como también para tener una producción más limpia y disminuir las importaciones de neumáticos, lanzó y puso en marcha el proyecto de reencauche denominado “Reusa Llanta” a través del Ministerio de Industrias y Productividad (MIPRO). El mismo que también tiene como objetivo reducir costos y obtener un producto con las mismas características de uno nuevo.

El proyecto de la industria del reencauche “Reusa Llanta”, promueve la sustentabilidad ambiental, incentiva la producción nacional e impulsa la generación de más empleo, con el fin de reducir la importación de neumáticos para disminuir el déficit de la balanza comercial, a través de impulsar el reencauche de los neumáticos, proceso que se realiza en 13 empresas que existen en el país, las mismas que tienen el apoyo y la aprobación del MIPRO. El Ministerio de Industrias y Productividad realizó la implementación de tres normas INEN (2581, 2582, 2616) y un reglamento técnico INEN (067), con el propósito de asegurar que los neumáticos reencauchados tengan iguales estándares de calidad y seguridad que los neumáticos nuevos, como también implemento un laboratorio para el análisis de la calidad de neumáticos reencauchados.

El Gobierno mediante un Decreto Ejecutivo del 11 de octubre de 2012, establece como requisito obligatorio que las entidades del sector público deben reencauchar sus neumáticos en alguna de las empresas que están registradas en el Ministerio de Industrias, de acuerdo con las normas técnicas de reencauche. Con lo cual se incorporaron los 34.511 vehículos de la flota estatal a este proceso de reencauche desde el día número 15. Dicho Decreto es parte de las políticas públicas que ha generado el Ministerio para fomentar la industria del reencauche, de las que se desprende el programa del Gobierno Reusa Llanta, con el motivo de dinamizar la industria del reencauche en el país, promover una producción más limpia, sustituir estratégicamente las importaciones y reducir la salida de divisas. Desde la instauración de dicho proyecto

del Gobierno, el abastecimiento de la demanda nacional por parte de las industrias locales ha tenido un crecimiento significativo. “La producción pasó de 207.000 unidades producidas en el año 2010 a 280.700 en el 2011, es decir un incremento del 30% aproximadamente. En 2012, con la aplicación de políticas de impulso al sector del reencauche, como el Decreto Ejecutivo, se proyecta el incremento de un 30% adicional, es decir, alrededor de 62.100 llantas reencauchadas” (Ministerio de Industrias y Productividad, 2012).

“Según la normativa NTE INEN 2581, un neumático reencauchado es un neumático usado (carcasa) en el cual se ha sustituido la banda de rodadura por una nueva, con el objeto de prolongar su vida útil. El reencauche reduce los costos en 50 y 60%. Una llanta de bus o camión cuesta, aproximadamente, 600 dólares, mientras que reencauchar cuesta 200; el ahorro por llanta es de 400 dólares. Dependiendo de la marca, una llanta nueva rinde 100 mil kilómetros, que es el mismo rendimiento que tiene una que ha sido reencauchada. Según el trato que haya recibido, una llanta puede reencaucharse cuatro o cinco veces” (Ministerio de Industrias y Productividad, 2012).

En el ámbito medioambiental, desde el año 2010 y a lo largo del proyecto se ha reinsertado en el mercado un total de 488.000 neumáticos, los cuales, de no haber sido reencauchados habrían sido dispuestos en quebradas y ríos lo que supone un peligro para la salud de la población ya que el neumático es foco de infecciones y proliferación de plagas. “Otro destino de los neumáticos es generalmente ser incinerados, con lo cual se hubieran expulsado a la atmósfera un total de 95 toneladas de CO<sub>2</sub>” (Andes, 2012).

Es importante señalar que son diversos los beneficios del reencauche de neumáticos, entre los cuales se encuentra que el rendimiento kilométrico es similar a un neumático nuevo, el reencauche se puede hacer en diferentes labrados, sin tener en cuenta el diseño del neumático original; se disminuye los desechos sólidos (impacto ambiental) y “se contribuye al ahorro de energía, ya que realizar el proceso de reencauche evita el consumo de cientos de galones de petróleo cada año” (Ministerio de Industrias y Productividad, s.f.).

El MIPRO estableció que a partir de junio de 2014 es obligatorio el cumplimiento de reencauche y reciclaje de los neumáticos importados al país, esto quiere decir, que para todas las llantas que se importen a partir desde esa fecha, deberán reportar al Ministerio de Industrias la cantidad de neumáticos reencauchados mensualmente por el importador.



Dicho Ministerio estableció una tabla del índice de reencauche obligatorio para el importador, donde se indica el porcentaje de neumáticos que deberá reencauchar en base del total de importados (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1** Índice de reencauche obligatorio.

2014	2015	2016	2017	2018
30%	45%	60%	70%	80%

**Fuente:** (Federación de Transporte Pesado, s.f.)

Los porcentajes de la Tabla 1.1 se van incrementando de año a año, “el porcentaje de reencauche para el año 2013 fue del 30% y deberá ser del 80% para el 2018, para los neumáticos que cada importador ingrese al País y es obligatorio cumplir con los porcentajes mencionados de reencauche” (Federación de Transporte Pesado, s.f.), caso contrario los importadores tendrán sanciones que podrían llegar hasta la pérdida de licencia o suspensión del importador.

## 1.2. Justificación

En el país existe el reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 067 “Proceso de reencauche de Neumáticos” que entro en aplicación desde el año 2011, ya que el Ecuador importaba unos 450.000 neumáticos anuales, pero solo 150.000 se reencauchaban (33% aproximadamente) y el resto eran desechados (300.000 neumáticos), dicha norma es de carácter obligatorio para el parque automotor del sector público, que posee 34.511 vehículos de los cuales el 65% son Rin 15 que deben ser sometidos a dicho proceso. El índice de reencauche era del 20% en el Ecuador, el cual desde la aplicación de la norma se va incrementando gradualmente cada año con el propósito de llegar al 80% en el año 2018, por tal motivo en el año 2014 se alcanzó una producción de 414.000 unidades de llantas reencauchadas por medio del programa Reusa Llanta, disminuyendo en gran manera las importaciones de neumáticos. La meta para el año 2015 es incrementar el índice de reencauche al 65% con respecto al 50% del 2014, es decir, aproximadamente una producción de 460.000 llantas reencauchadas.

Por todo lo antes expuesto se puede visualizar que el proceso de reencauche va a ir aumentando el en país hasta llegar casi al 100%, con la idea de minimizar las importaciones de neumáticos, para generar más fuentes de empleo y un gran ahorro al

país en las salidas de divisas. Por tal motivo se ve la necesidad de realizar un estudio comparativo de las características de los neumáticos nuevos radiales de Rin 15, con respecto a los neumáticos reencauchados en frío y en caliente del mismo Rin, en donde se identificará el comportamiento dinámico, desempeño y las prestaciones que brindan los mismos, con el fin de que los resultados obtenidos de los análisis permitan definir si los neumáticos reencauchados brindan el mismo beneficio y seguridad a los usuarios.

El estudio que se realizará y los resultados que se obtengan del análisis comparativo permitirá establecer el desempeño del neumático reencauchado en base a las condiciones de trabajo en el país y así determinar si el uso de los mismos es ideal para los automotores de manera segura, como también se compartirá dichos resultados a las empresas dedicadas al reencauche, de ser el caso; se sugerirá que mejoren el reencauche y así aportar con la mejora de la calidad de los neumáticos que serán comercializados en el país. Con todo lo antes mencionado se dejará plasmada una buena base para próximas investigaciones sobre un estudio comparativo del desgaste del neumático reencauchado con respecto a un nuevo, ya que todo el estudio que se ejecutará es una parte muy importante para llegar a determinar el deterioro de un neumático.

### **1.3. Alcance**

El presente estudio permitirá realizar pruebas de desempeño de los neumáticos seleccionados, los cuales son comercializados en el país y se usan para la movilidad de los vehículos en las vías de la ciudad. Se cuantificará las variables involucradas en las pruebas de desempeño, según el tipo de neumático (temperatura, presión, fuerza, velocidad). Se analizará los neumáticos nuevos y reencauchados mediante pruebas de laboratorio de análisis de calidad y comportamiento dinámico de los mismos. Se comparará el desempeño de los 2 neumáticos antes citados, para determinar si el funcionamiento del reencauchado es eficiente para la movilidad de los vehículos en la ciudad. Se generará métodos de prueba y ensayo para determinar el desempeño de los neumáticos nuevos con respecto a los reencauchados. Se ejecutará varios ensayos con los neumáticos nuevos y reencauchados en frío y en caliente de las marcas A, B y C para determinar el desempeño de los mismos y se analizará los resultados obtenidos de los neumáticos reencauchados para determinar si los mismos cumplen las características de un neumático nuevo.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el comportamiento dinámico de los neumáticos nuevos radiales rin 15, con respecto a neumáticos reencauchados en frío y reencauchados en caliente del mismo rin de diferentes marcas.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar los parámetros que se consideran en la medición del desempeño de los neumáticos reencauchados del vehículo.
- Obtener la medición de los datos del desempeño de los neumáticos reencauchados.
- Comparar los datos obtenidos entre los neumáticos reencauchados y nuevos.
- Validar el procedimiento obtenido para la medición del desempeño de los neumáticos y analizar los resultados.

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1. Neumáticos**

El neumático es la parte más fundamental en la seguridad activa de los vehículos, deben desarrollar y garantizar las máximas prestaciones posibles, lo que requiere una amplia gama de condicionantes en su diseño y construcción, debido a las elevadas exigencias a este componente en su servicio, debiendo cumplir las siguientes funciones:

- Soportar la carga del vehículo y resistir a varias condiciones dinámicas en su funcionamiento (estabilidad, suspensión y frenada.)

La presión y estado del labrado son factores esenciales para garantizar que el neumático pueda cumplir correctamente sus funciones, es decir, los neumáticos influyen directamente sobre el rendimiento, comportamiento y prestaciones de los vehículos, ya que son los únicos elementos que permanecen en contacto con la superficie del suelo. En todas las condiciones de rodamiento, la seguridad depende de una superficie de contacto con el suelo relativamente pequeña, por tanto, es esencial mantener permanentemente los neumáticos en buen estado y montar un neumático adecuado cuando es necesario cambiarlos.

#### **2.1.1. Compuestos de los neumáticos**

Se trata de mezclas de cauchos naturales y artificiales, combinados con otros agentes químicos, para lograr propiedades específicas. Estos compuestos termoplásticos son sometidos a un proceso de vulcanización, que los transforma en otros altamente elásticos, que quedan unidos en la estructura del neumático formando un conjunto integrado, de las cuales derivan las diferentes propiedades de los neumáticos (Aparicio, Vera, & Díaz , 1995).

Los polímeros (Tabla 2.1) más utilizados en las mezclas son:

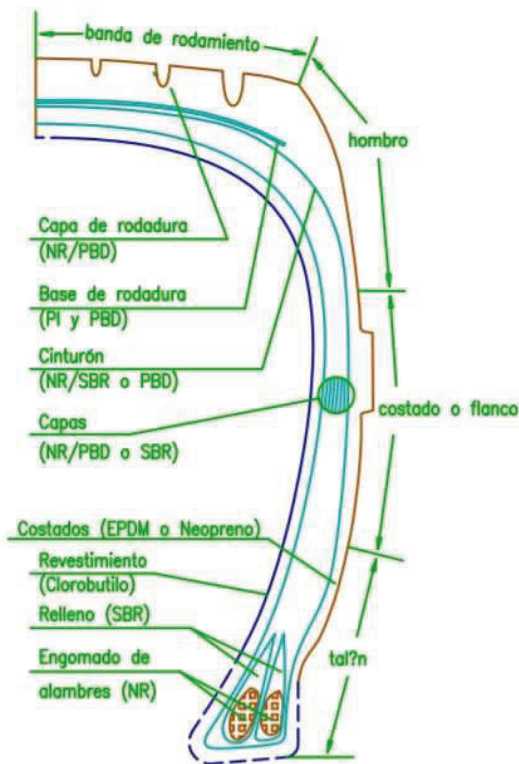
- a) Para usos normales:
  - Caucho natural (NR)
  - Polisopreno (PI)
  - Estireno butadieno (SBR)
  - Polibutadieno (PBD)

**Tabla 2.1** Características principales de los polímeros.

Característica	NR/PI	SBR	PBD
Resistencia a la rotura	Alta	Media	Baja
Temperatura de rodadura	Baja	Alta	Baja
Resistencia al desgaste	Pobre	Buena	Excelente
Resistencia al calor y envejecimiento	Pobre	Aceptable	Bueno

Fuente: (Aparicio, Vera, & Díaz , 1995)

En la Figura 2.1 muestra la distribución de compuestos en el neumático, lo cual según el tipo de compuesto afecta a las características del neumático.



**Figura 2.1** Distribución de compuestos

Fuente: (Aparicio, Vera, & Díaz , 1995)

El caucho natural y el polisopreno (PI) sintético ambos tienen una histéresis extensible y buenas características extensibles frente al calor, que al ser vulcanizadas se obtienen propiedades similares al caucho natural, pero el polisopreno (PI) sintético proporciona un número de factores que la distinguen del caucho natural, debido a que el caucho tiene por su naturaleza incorporación de nonpolímeros, por ende tiene una mínima variación en características físicas. (Escuela de Ingenierías Industriales, 2016).

Los cauchos de butadieno-estireno (SBR), constituyen actualmente el tipo de caucho sintético con mayores aplicaciones en la industria debido a que buenas propiedades mecánicas con la ventaja añadida de poder presentar una mayor resistencia a altas temperaturas y al envejecimiento. (ERICA, 2016).

El Polibutadieno (PBD) es un caucho sintético formado por la polimerización de los monómeros de butadieno es utilizado en la fabricación de bandas de rodadura de los neumáticos debido a que tiene las siguientes ventajas, alta flexibilidad, buena resistencia a la abrasión, resistencia al envejecimiento, buena resistencia a baja temperatura. (Miralles, 2016)

### 2.1.2. Partes del neumático



**Figura 2.2** Sección transversal de un neumático radial.

**Fuente:** (Ingemeccánica, s.f.)

Las partes principales de un neumático radial son:

- **Bajo rodamiento:** Parte de la banda de rodamiento (número 3 en la Figura 2.2) debajo del diseño y por encima del último pliego de la carcasa.
- **Diseño (grabado o labrado):** Disposición geométrica, forma y dimensiones de las cavidades y partes salientes de la banda de rodamiento en función de las características del tipo de aplicación del neumático.
- **Espesor del bajo rodamiento:** Distancia entre la superficie externa del bajo rodamiento y la superficie externa de la carcasa.

- **Espesor total de la banda de rodamiento:** Suma del espesor del diseño más el espesor del bajo rodamiento.
- **Indicador de desgaste:** Parte dispuesta en la banda de rodamiento que permite mediante examen visual y/o medición evaluar si el neumático alcanzó el límite de desgaste previsto.
- **Profundidad del diseño:** Distancia entre la superficie externa del diseño y la superficie externa del bajo rodamiento, en el punto adecuado según el diseño de cada tipo de neumático.
- **Banda protectora del lateral:** Saliente lateral sobre el costado de ciertos neumáticos que tiene como fin proteger de golpes y otros daños.
- **Carcasa:** Estructura del neumático excepto la banda de rodamiento de neumático (número 2 en la Figura 2.2).
- **Cinturón:** Pliegos internos ubicados entre el bajo rodamiento y el primer pliego de la carcasa (números 6 y 7 en la Figura 2.2), diseñados para aumentar la resistencia al impacto y proporcionar estabilidad al neumático.
- **Cuerdas:** Hilos (nilón, acero, poliéster, entre otros) que forman los pliegos dentro de neumático.
- **Forro interior (innerliner):** Capa(s) de caucho formada(s) en la superficie interna del neumático que contiene(n) el medio inflativo o protege(n) al tubo, (número 1 en la Figura 2.2).
- **Hombro:** Parte externa de la banda de rodamiento situada en las intersecciones con los laterales.
- **Laterales:** Partes del neumático comprendidos entre los límites de la banda de rodamiento y las pestañas (talones o cejas) (número 5 en la Figura 2.2).

- **Ribete:** Lo conforman elementos de goma (número 8 en la Figura 2.2) de la banda de rodadura que tienen una sola dirección, habitualmente circular, se utilizan como referencia para el asentamiento correcto del talón sobre el aro
- **Pestaña:** Parte de neumático hecha de alambres de acero (número 4 en la Figura 2.2), envueltos o reforzados por las cuerdas o los pliegos que son moldeados para ajustarse al aro.
- **Pliegos:** Capas de cuerdas recubiertas de caucho. (INEN, Norma Técnica Ecuatoria 2616, 2012)

### 2.1.3. Funciones y características principales de los neumáticos

Las principales funciones que se requieren son:

- Soportar y transmitir al terreno la carga vertical (peso del vehículo).
- Generar los esfuerzos longitudinales necesarios para la tracción y frenado.
- Proporcionar los esfuerzos laterales precisos para lograr el control y estabilidad de la trayectoria.
- Actuar como suspensión primaria, capaz de atenuar y filtrar las ondulaciones originadas por las irregularidades de la carretera.

Las principales características que se requieren son:

- Niveles bajos de decibeles (db) de ruido y bajas vibraciones (confort).
- Flexibilidad radial del neumático, (circunferencial y transversal).
- Baja resistencia a la rodadura
- Elevada adherencia sobre pista seca y mojada.
- Alta Resistencia a la fatiga y desgaste

Por todo lo antes citado la elección de los neumáticos es muy importante, ya que forman parte de los sistemas de suspensión, frenos y dirección del automóvil e influyen en la seguridad, maniobrabilidad del automotor e incluso en el consumo de combustible. Por lo cual resulta muy importante utilizar neumáticos recomendados por los fabricantes de neumáticos. (Aparicio, Vera, & Díaz , 1995).



## 2.1.4. Tipos de neumáticos

### 2.1.4.1. Neumáticos convencionales o diagonales

El neumático convencional o diagonal (Figura 2.3), es un neumático cuya carcasa está constituida por pliegos cuyas cuerdas se extienden de pestaña a pestaña formando ángulos alternos menores a 90 grados con respecto a la línea central de la banda de rodamiento. (INEN, Norma Técnica Ecuatoria 2616, 2012)



**Figura 2.3** Neumático convencional.

Fuente: (Dirección de transporte Conae, s.f)

### 2.1.4.2. Neumáticos Radiales

En los neumáticos radiales (Figura 2.4) Neumático cuya carcasa está constituida por una o más capas de pliegos cuyos hilos dispuestos de pestaña a pestaña, están colocados a 90°, en relación a la línea del centro de la banda de rodamiento. (INEN, Norma Técnica Ecuatoria 2616, 2012)



**Figura 2.4** Neumático radial.

Fuente: (Dirección de transporte Conae, s.f)

## 2.2. Dinámica y características mecánicas de los neumáticos

Sobre los neumáticos actúan las fuerzas normales y tangenciales de contacto con la superficie de rodadura y los momentos que éstas originan respecto a diferentes ejes ligados al propio neumático o al vehículo. Por tal motivo se debe analizar dichas fuerzas, momentos y las condiciones operativas a las que puede estar sometido el neumático.

### 2.2.1. Fuerzas y momentos que actúan sobre los neumáticos

Para analizar las componentes de las fuerzas y los momentos resultantes, que actúan sobre el neumático, como consecuencia de su interacción con el suelo, se utiliza el sistema de referencia (Figura 2.5) recomendado por la SAE (Society Automotive Engineers), el cual permite analizar la dinámica de un neumático.

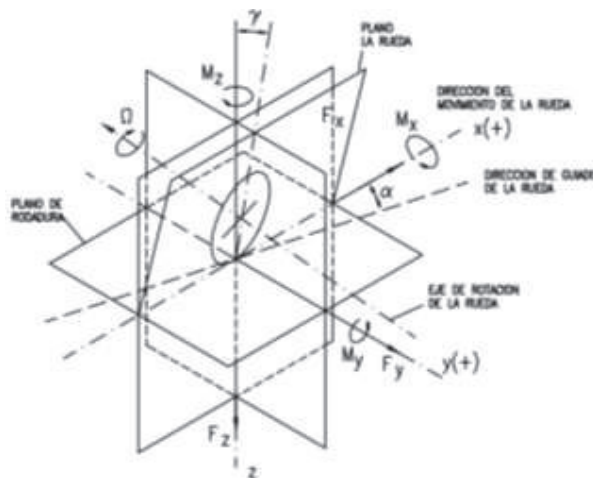


Figura 2.5 Sistema de referencia SAE para el neumático.

Fuente: (Departamento de Ingeniería Mecánica, 2005)

El sistema de referencia consta de los ejes principales de coordenadas, así el centro del neumático en el punto de contacto con el suelo es el  $(0,0)$ . Los ejes de dicho sistema de referencia, se definen de la siguiente manera:

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

- Eje Y: Está formado por los dos descritos anteriormente, es perpendicular al eje X y al eje Z. Los tres son un sistema de coordenadas ortogonal.

Como se observa en la Figura. 2.5, existen tres fuerzas y tres momentos que rigen el movimiento de un neumático:

- Fuerza longitudinal ( $F_x$ ): es la resultante de las fuerzas que impulsan al vehículo, si ( $F_x > 0$ ) el vehículo está acelerando y si ( $F_x < 0$ ) el vehículo está frenado.
- Fuerza lateral ( $F_y$ ): es perpendicular a la anterior y producida principalmente por la aceleración lateral en curvas. Es positiva hacia la derecha y negativa a la izquierda.
- Fuerza normal ( $F_z$ ): es la fuerza vertical, la cual es perpendicular a las dos anteriores, y representa la reacción del peso del vehículo que le corresponde a cada rueda. Positiva hacia arriba.
- Momento de vuelco o basculante ( $M_x$ ): es el momento ejercido por el camino sobre el neumático.
- Momento de resistencia a la rodadura o de cabeceo ( $M_y$ ): es el momento que tiende a frenar el movimiento de la rueda debido principalmente a la deformación del neumático.
- Momento de auto alineación o de giro: es el momento que tiende a enderezar la rueda luego de efectuar una maniobra de giro.

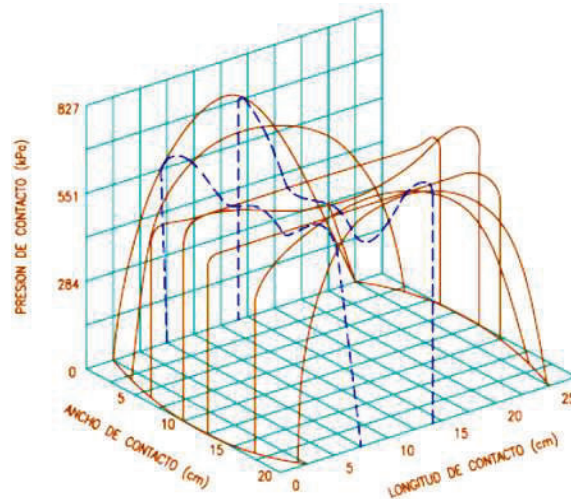
El origen del sistema coincide con el centro de la huella de contacto. Teniendo en cuenta los parámetros geométricos, fuerzas y momentos, de la Figura 2.4, se puede observar que existen dos ángulos de gran importancia en el comportamiento del neumático, los cuales son:

- Ángulo de caída ( $\gamma$ ): Es el ángulo formado por el plano X-Z y el plano de la rueda.
- Ángulo de deriva ( $\alpha$ ): Es el ángulo que forma la dirección de desplazamiento del centro de la superficie de contacto y la línea de intersección del plano de la rueda con la superficie de rodadura (eje X).

La huella de contacto es el producto de la flexibilidad del neumático y de la existencia de la fuerza normal del peso del vehículo en la dirección OZ entre la rueda y el suelo. La huella produce una distribución de presiones normales en su superficie, y al mismo

tiempo, otra distribución de tensiones cortantes en la interfase, por la adherencia que existe entre neumático y la calzada. Al no ser una distribución homogénea de presiones, la fuerza resultante no tiene su punto de aplicación en el centro de la huella, lo que provocará momentos respecto a los ejes antes definidos.

Las componentes de las fuerzas que actúan sobre el neumático reflejadas en la Figura 2.5 dependen de factores diversos como la carga, la presión de inflado, la velocidad, el deslizamiento longitudinal, el ángulo de deriva, entre otros. Tanto las fuerzas debidas al peso como las dinámicas que actúan en el neumático, se transmiten a la superficie de rodadura mediante la huella de contacto. En ella se genera una presión variable. En la Figura 2.6 se representa la distribución de dicha presión.



**Figura 2.6** Distribución típica de presión en la huella de contacto.

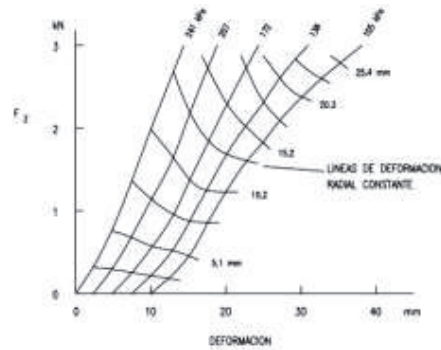
**Fuente:** (Departamento de Ingeniería Mecánica, 2005)

Los neumáticos radiales distribuyen de una manera más uniforme la presión, en el sentido de dirección transversal de contacto, debido a que estos neumáticos tienen mayor flexibilidad en los costados y una mayor consistencia en la banda de rodadura. Las cargas del comportamiento dinámico de un neumático, en el caso que sean cargas laterales estas son soportadas por la carcasa y la presión de inflado del neumático.

Dependiendo del tipo de neumático, la proporción de la carga soportada y transmitida por cada uno de estos elementos es diferente. “Se ha comprobado que en neumáticos de avión, la carcasa soporta del 3 al 8% de la carga, mientras que en neumáticos de automóviles, la carcasa puede soportar el 15% de la carga y en neumáticos de tractores

hasta el 60%” (Departamento de Ingeniería Mecánica, 2005), debido a la baja presión que estos últimos utilizan usualmente.

La resultante de las fuerzas normales, que se pueden considerar como radiales, está lógicamente relacionada con la deformación radial del neumático; es evidente que ésta aumentará con la carga, en la Figura 2.7 se indica la variación antes mencionada.



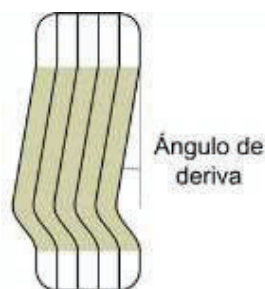
**Figura 2.7** Variación de la deformación en función de la carga.

**Fuente:** (Departamento de Ingeniería Mecánica, 2005)

### 2.2.2. Fuerza lateral ( $F_y$ ) y ángulo de deriva ( $\alpha$ )

El neumático es una alianza elástica entre el aro y el suelo. Como que fuera un muelle, para transmitir una fuerza entre ambos elementos debe sufrir una deformación que temple su estructura en la dirección de la fuerza aplicada. Cuando el vehículo toma una curva se presenta una flexión lateral que se caracteriza por el ángulo de deriva

El ángulo que forma la dirección en que apunta la rueda y en la que se está desplazando, se denomina ángulo de deriva, en la Figura 2.8 se observa dicho ángulo. La huella (sombreado en gris) y su forma esta exagerada para facilitar la representación.

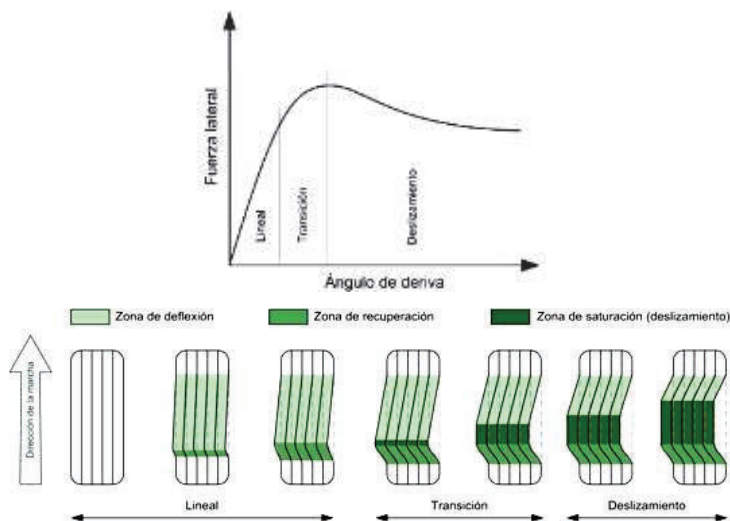


**Figura 2.8** Esquema del ángulo de deriva.

**Fuente:** (Km77, 2005)

Cuando se gira el volante para tomar una curva, se genera un ángulo de deriva. Con un ángulo mayor se provoca una fuerza lateral superior, dado que una mayor flexión requiere una mayor fuerza. Aunque carezcan de sistema de dirección, las ruedas posteriores, también desarrollan ángulo de deriva, a pesar de que apunten siempre (aproximadamente) en la misma dirección.

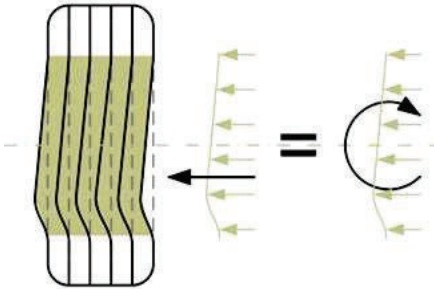
El ángulo de deriva presenta 3 diferentes etapas, como se muestra en la Figura 2.9. El primer tramo la relación entre la fuerza lateral y el ángulo de deriva es lineal. Toda la superficie de la huella mantiene un perfecto contacto con el suelo, lo que mantiene la adherencia del neumático es la adhesión.



**Figura 2.9** Etapas del ángulo de deriva.

Fuente: (Km77, 2005)

La distribución de la fuerza lateral (Figura 2.10) no es uniforme en toda la huella, porque la repartición de esfuerzos es más grande en la parte posterior y la fuerza resultante no pasa por el centro, por ende se presenta el momento autoalineante del neumático, que es uno de los motivos por el cual el volante deshace el giro.



**Figura 2.10** Fuerza lateral y momento autoalineante del neumático.

Fuente: (Km77, 2005)

Conforme aumenta el ángulo de deriva aumenta la fuerza lateral y por ende el momento autoalineante de la huella. Cuando se toma una curva muy cerrada o a alta velocidad, se requiere mayor esfuerzo. La Figura 2.11 muestra la evolución del momento autoalineante con respecto a la fuerza lateral incorporada de manera comparativa.



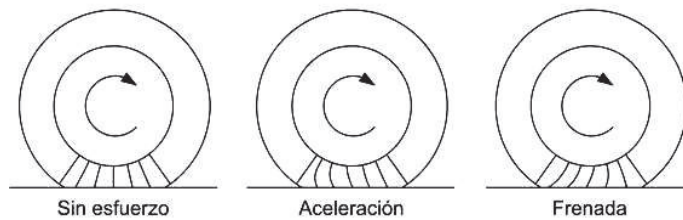
**Figura 2.11** Relación entre el momento autoalineante y el ángulo de deriva.

Fuente: (Km77, 2005)

El momento autoalineante del neumático es el responsable de lo que siente el conductor en el volante.

### 2.2.2.1. Fuerza longitudinal ( $F_x$ )

La deformación que el neumático percibe por las fuerzas laterales se puede describir por el ángulo de deriva y por los esfuerzos longitudinales generados por el grado de deslizamiento. Estas deformaciones se visualizan si se pinta una serie de radios en el flanco del neumático, como se muestra en la Figura 2.12 de forma extremada.



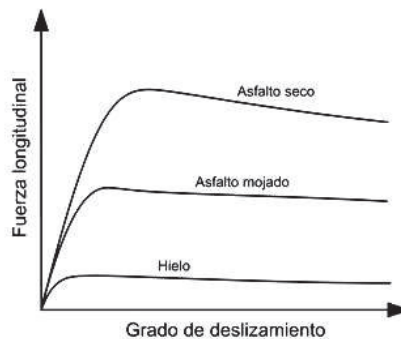
**Figura 2.12** Fuerzas longitudinales.

Fuente: (Km77, 2005)

Quitando los efectos de la resistencia a la rodadura, cuando el motor y los frenos no transmiten fuerza, no habrá fuerzas que deformen tangencialmente al neumático y los radios mantendrán una posición perfectamente radial (Figura 2.12, Sin esfuerzo).

Cuando se acelera (Figura 2.12, Aceleración), la potencia del motor, transmitida a través de la llanta, tira del interior del neumático en sentido horario, intentando que gire más rápido. Por el contrario, y mientras el límite de adherencia no sea superado, la fricción con el suelo hace que la huella permanezca en contacto con el asfalto. El mismo efecto se observa en el caso de una frenada (Figura 2.12, Frenada), pero llanta, por acción de los frenos, gira en sentido antihorario.

La forma en que la fuerza de aceleración o frenada transferida por el neumático varía en función del grado de deslizamiento, se presenta de forma esquemática en la Figura 2.13, solo para deslizamientos positivos (aceleración). Para el efecto de frenado es equivalente, pero con valores negativos de deslizamiento y fuerza.



**Figura 2.13** Relación entre la fuerza longitudinal ejercida en el neumático y el grado de deslizamiento.

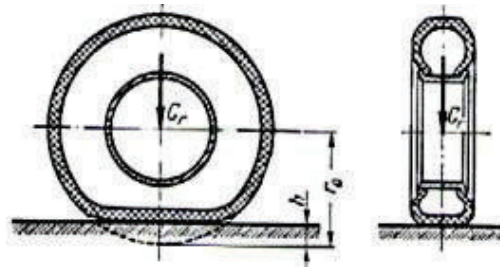
Fuente: (Km77, 2005)



### 2.2.2.2. Fuerza normal (Fz)

La carga normal que actúa sobre el neumático afecta de manera importante a la deriva. La consideración de este parámetro adquiere mayor importancia, en el estudio de la estabilidad y control de la trayectoria del vehículo, si se tiene en cuenta el efecto de transferencia de carga de unas ruedas a otras, tanto durante la circulación en curva o bajo los efectos de otras acciones laterales, como en los periodos de aceleración y frenado.

En la Figura 2.14 se representa la deformación del neumático por la acción de la carga normal  $G_r$ , aplicada en la rueda. La deformación del neumático se expresa por la disminución de la distancia desde el eje de la rueda hasta su superficie de apoyo, en comparación con el radio libre  $r_0$  del neumático sin carga en un valor igual a  $h$ .



**Figura 2.14** Deformación del neumático por acción de la carga normal.

Fuente: (Moncayo, 2004)

Para el análisis de la deformación del neumático por efecto de la carga normal se utiliza la siguiente ecuación:

$$\lambda_n = \frac{G_r}{h} \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Dónde  $\lambda_n$  es el coeficiente medio (reducido) de rigidez del neumático en dirección normal y su unidad es kgf/mm, este es uno de los parámetros más importantes del neumático.

Su valor depende principalmente de la presión del aire en el neumático (cuando menor es la presión, mayor es la deformación normal del neumático y menor el coeficiente  $\lambda_n$ ), de las dimensiones, estructura y materiales empleados para la fabricación del neumático (cuanto más rígida es la capa exterior del neumático, mayor es el valor de  $\lambda_n$  relativamente).

### 2.2.3. Rigidez del neumático

La deformación que sufre el neumático es una reacción a las fuerzas aplicadas por el camino en cualquier dirección, esto es una parte principal de la dinámica del vehículo y el cálculo de la rigidez depende de las propiedades mecánicas y las condiciones del medio ambiente.

La rigidez del neumático radial está dividida en dos partes. El flanco tiene una pequeña rigidez por la disposición de sus hilos en la carcasa, y la banda de rodamiento tiene gran rigidez por la existencia de los cinturones, como se observa en la Figura 2.15.



**Figura 2.15** Neumático radial

Fuente: (Constantino Fernández Sierra, 2001)

En una rueda cargada verticalmente sobre una superficie rígida y plana, se puede observar la reacción a la carga, porque el neumático sufre deformación y forma una superficie de presión en la huella de contacto (Figura 2.16).



**Figura 2.16** Neumático cargado verticalmente.

Fuente: (Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2013)

La fuerza de reacción se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$F_z = f(\Delta_z) \quad \text{Ec. (1.2)}$$

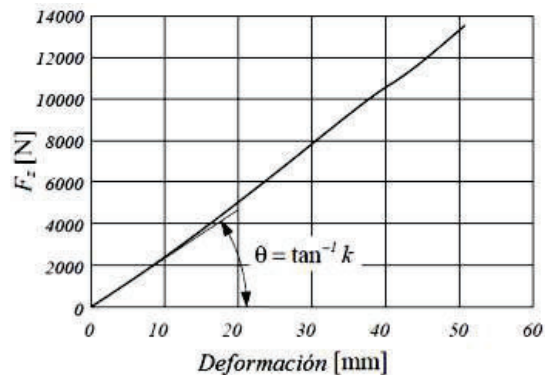
Con una curva experimental entre las variables fuerza y deformación, se obtiene el gráfico de la Figura 2.17, en la que se puede ver que la relación es casi lineal, por lo cual se puede expresar la siguiente ecuación:

$$F_z = \frac{\partial f}{\partial(\Delta_z)} x \Delta_z \quad \text{Ec. (1.3)}$$

Donde  $\frac{\partial f}{\partial(\Delta_z)}$  es la pendiente de la curva en el punto inicial, y se la denomina coeficiente de rigidez  $k_z$

La deformación normal  $\Delta_z$ , permanece proporcional a la fuerza vertical  $F_z$  y se puede formular con la siguiente ecuación:

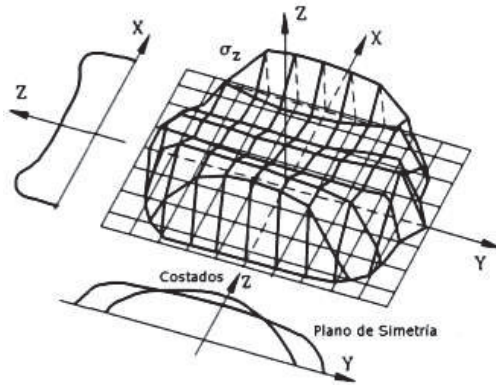
$$F_z = k_z x \Delta_z \quad \text{Ec. (1.4)}$$



**Figura 2.17** Relación entre la fuerza vertical y la deformación.

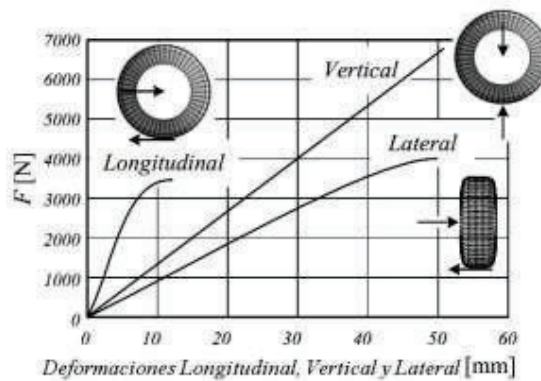
**Fuente:** (Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2013)

La curva de rigidez es influenciada por varios parámetros, siendo el principal la presión de inflado. La distribución de presiones en la huella de contacto es representada en la Figura 2.18, en donde se puede observar un gráfico tridimensional y dos cortes, uno transversal y otro longitudinal.



**Figura 2.18** Distribución de presiones en la huella de contacto  
**Fuente:** (Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2013)

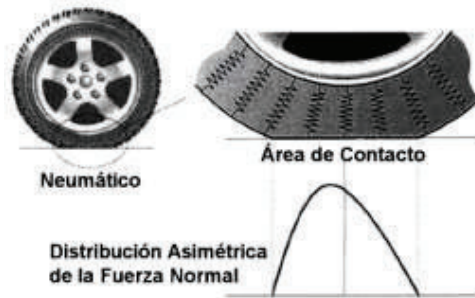
Para analizar las fuerzas horizontales o tangenciales, longitudinales y transversales, se debe realizar ensayos experimentales y construir las curvas que las relacionan con sus respectivas deformaciones, cuando el neumático está en operación. Para lo cual se presenta el diagrama de la Figura 2.19, para poder ver los casos antes mencionados, la curva muestra una linealidad hasta cierto valor de deformación, por lo que se puede proceder analíticamente calculando las derivadas parciales en el punto de origen y determinar la rigidez en los sentidos X que corresponden.



**Figura 2.19** Deformaciones del neumático en las diferentes direcciones.  
**Fuente:** (Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2013)

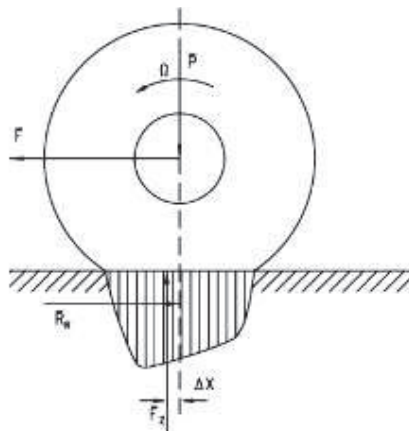
#### 2.2.4. Resistencia a la rodadura

Cuando el neumático rueda sobre un piso duro, sujeto a una carga vertical, se origina una deformación radial, provocando una distribución asimétrica respecto al eje Y, como se observa en la Figura 2.20.



**Figura 2.20** Distribución asimétrica del diagrama de presiones bajo la rueda girando  
(Fuente: (Asociación Argentina de Mecánica Computacional, 2013))

La distribución asimétrica de la presión en la interface neumático–suelo (Figura 2.20), causa que la resultante de todas las fuerzas que forman esta distribución, se sitúen a una distancia  $\Delta_x$  (Figura 2.21) del eje de la rueda, lo que provoca un momento ( $M_y$ ) alrededor del eje de rotación que se opone al giro y al desplazamiento del vehículo. A dicho par  $M_y$  se le llama momento de resistencia a la rodadura.

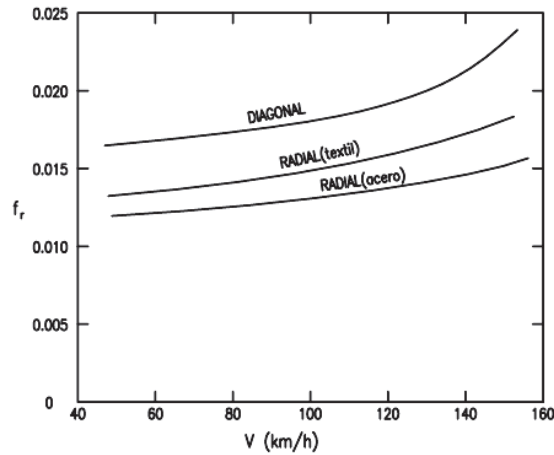


**Figura 2.21** Distribución de presiones en el área de contacto neumático-suelo.  
Fuente: (José Ortiz Marzo, 2014)

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 comúnmente 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 ( $fr$ ), por lo tanto la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$f_r = \frac{R_r}{P} \quad \text{Ec. (1.5)}$$

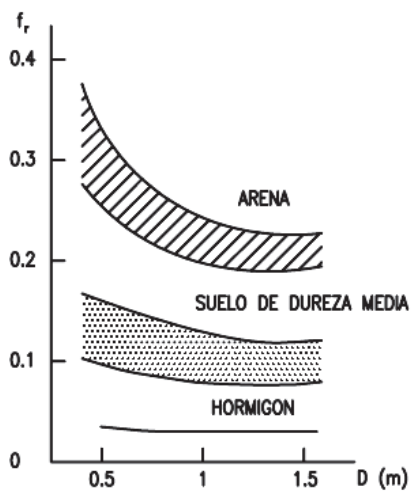
La Figura 2.22 muestra como varía el coeficiente de resistencia a la rodadura en función de la velocidad de circulación.



**Figura 2.22** Variación del coeficiente de resistencia a la rodadura en función de la velocidad.

Fuente: (José Ortiz Marzo, 2014)

En la Figura 2.23 se puede observar que el tipo de terreno sobre el que se transita también condiciona el valor de la resistencia a la rodadura.



**Figura 2.23** Variación del coeficiente en función del tipo de terreno y del diámetro.

Fuente: (José Ortiz Marzo, 2014)

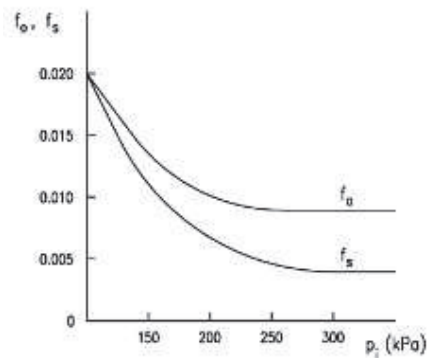
### 2.2.4.1. Valores del coeficiente de rodadura

Los varios factores que influyen sobre la resistencia a la rodadura, hace difícil establecer expresiones matemáticas que los contemplen en su totalidad.

Para neumáticos de turismo, que transitan en pavimento de hormigón, el coeficiente de resistencia a la rodadura se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$f_r = f_o + f_s x \left(\frac{V}{100}\right)^{2,5} \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde **V** representa la velocidad en km/h, **fo** y **fs** son parámetros que dependen de la presión de inflado (**Pi**) y pueden obtenerse de la siguiente gráfica de la Figura 2.24.



**Figura 2.24** Variación de los coeficientes fo y fs en función de la presión de inflado de los neumáticos.

**Fuente:** (José Ortiz Marzo, 2014)

En la Tabla 2.2 se indican algunos valores del coeficiente de resistencia a la rodadura (**fr**), en función del tipo de neumático, de acuerdo a la naturaleza del suelo o calzada y al vehículo que se va utilizar.

**Tabla 2.2** Coeficiente de resistencia a la rodadura (**fr**) de los neumáticos.

Tipo de vehículo	Superficies		
	Hormigón o asfalto	Dureza media	Aarena
Turismos	0,015	0,080	0,300
Camiones	0,012	0,060	0,250
Tractores	0,020	0,040	0,200

**Fuente:** (José Ortiz Marzo, 2014)

### 2.3. Rango de temperatura (temperature) del neumático

Los rangos de temperatura son A (la más alta), B y C, ver Tabla 2.3, los cuales representan la resistencia del neumático a la generación de calor y su capacidad para disiparlo cuando se prueba bajo condiciones controladas en pruebas específicas de laboratorio. La exposición prolongada a la alta temperatura puede provocar que el material del neumático se degrade, reduciendo la vida útil del mismo, y una temperatura excesiva puede conducir a un fallo repentino del neumático. Si el neumático no disipa el calor de manera efectiva o resiste los efectos destructivos de la acumulación de calor, no cumplirá la característica de rodar a elevadas velocidades.

Las diferentes temperaturas se establecen al medir la capacidad de un neumático cargado trabajando a elevadas velocidades sin fallar, el cual está inflado correctamente y gira contra una rueda de prueba de alta velocidad de diámetro más grande. El grado C pertenece a un nivel de desempeño que todos los neumáticos para “automóviles de turismo deben cumplir, bajo la Federal Motor Vehicle Safety Standard No. 109. Los grados B y A constituyen los niveles más altos de rendimiento en la rueda de prueba de laboratorio que el mínimo requerido por la ley” (National Highway Traffic Safety Administration, 2013).

**Tabla 2.3** Rangos de temperatura del neumático.

Rangos de temperatura	Velocidad en Km/h
A	de 185 en adelante
B	entre 160 y 185
C	entre 136 y160

(Fuente: (Dunlop, 2015))

El rango de temperatura del neumático es un aspecto que se debe tener muy en cuenta, porque la falta de inflado, el transporte de cargas pesadas, y conducir a altas velocidades, son factores que pueden elevar la temperatura del neumático y reducir su durabilidad significativamente.

La temperatura A (Figura 2.25): significa que el neumático resiste sin problemas la generación de calor. Este es el máximo nivel de desempeño que indica que el neumático soportó una velocidad de 185 km/h sin fallar.



La temperatura B: es menor la resistencia. “El neumático superó los 160 km/h pero no 185 km/h.

La temperatura C: la resistencia no alcanza el mínimo de seguridad establecido. Es el mínimo nivel de desempeño que indica que el neumático soporta velocidades menores a 160 km/h” (Dunlop, 2015).



**Figura 2.25** Factor de temperatura A

Fuente: (Dunlop, 2015)

### **2.3.1. La presión de aire y la variación de temperatura del neumático**

El peso del vehículo es soportado por la presión de aire dentro del neumático, por ende es indispensable mantener la correcta presión de inflado, para que el neumático provea la maniobrabilidad, tracción y durabilidad, para lo cual fue diseñado. Por lo antes citado es recomendable verificar habitualmente la presión de inflado, para garantizar que las influencias del tiempo, cambios de temperatura o pequeños orificios, no hayan alterado la misma.

La presión correcta de inflado del neumático viene inscrita en el manual del automóvil o en la placa (usualmente ubicada en la puerta) del vehículo.

“De acuerdo a una regla general, se dice que por cada 10°F (12°C) de cambio de temperatura, la presión del neumático cambiará aproximadamente 2% (hacia arriba en temperaturas más calientes y hacia abajo con temperaturas más frías)” (Winter Snow Tire Tech, s.f.). Esto significa, que en neumáticos (usualmente inflados entre 30 y 50 psi) utilizados en autos, camionetas y camiones ligeros, el cambio es aproximadamente 1 psi, en la presión de inflado. En neumáticos de trabajo pesado (usualmente entre 80 y 100 psi) utilizados en vehículos grandes como buses o camiones, el cambio será aproximadamente de 2 psi, en la presión de inflado. Cabe mencionar que también se

deben tomar en cuenta los efectos del calor generado por la continua flexión del neumático durante su uso.

## **2.4. Rango de desgaste (treadwear) de la banda de rodadura del neumático**

Los grados de desgaste (treadwear) establecido por la UTQG de la banda de rodadura se basan en el uso de una vía real, en el que el neumático de prueba se ejecuta en un convoy de vehículos junto con los neumáticos de control del curso estandarizados. El vehículo funciona repetidamente en un bucle de pruebas establecido 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, durante la prueba y al final de la misma. Los fabricantes de neumáticos a continuación le asignan un grado de treadwear en función de los porcentajes de desgaste observados. Al neumático de control se le asigna un grado y el neumático de ensayo recibe una calificación que indica su desgaste relativo. Un grado treadwear de 100 indica 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 al menos el doble o el triple de tiempo, que el neumático de prueba.

El problema con los grados UTQG del desgaste de la banda de rodadura, es que están abiertos a varias interpretaciones por parte de los fabricantes de neumáticos, por el motivo que se asignan un grado de treadwear después de que el neumático sólo ha experimentado un poco de desgaste ya que se recorre 7200 millas(11587 km). Esto significa que los fabricantes de neumáticos necesitan extrapolar sus datos obtenidos de desgaste cuando van asignar los grados de treadwear del neumático, por tal motivo las calificaciones de los grados de desgaste varían de un fabricante a otro. Por lo general, la comparación que se debe realizar de los grados de desgaste de la banda de rodadura, es entre la misma línea de producción del fabricante para que sea útil, ya que si se intenta comparar los grados de treadwear entre los diferentes fabricantes de neumáticos no va a generar ningún resultado favorable.

El treadwear (desgaste), que se observa en la Figura 2.26, es una medida de la durabilidad de la banda de rodadura, la cual fue determinada en condiciones controladas

basadas en una pista de prueba específica que realiza el DOT (Department Of Transportation en E.E.U.U.). El grado numérico obtenido, indica qué tanto dura la banda de rodadura comparada con una referencia estándar de 100 del neumático de prueba. Por ejemplo, un treadwear de 200 significa que el neumático durará 2 veces más que la medida estándar. Mientras mayor es el grado de desgaste, quiere decir que el neumático que se esté utilizando tiene una mayor vida útil que la del neumático de prueba y viceversa. Cabe recalcar que el desgaste real o el rendimiento relativo de un neumático, “depende de las condiciones reales de uso y puede variar debido a los hábitos de conducción, prácticas de servicio, las diferencias en las características de la carretera, el clima, entre otras; todas estas variables afectan el treadwear (desgaste) del neumático” (Dunlop, 2015).



**Figura 2.26** Factor de desgaste (treadwear) 60.

**Fuente:** (Dunlop, 2015)

Cabe mencionar que el grado de treadwear establecido por la UTQG (Uniform Tire Quality Grading) es sólo una de las guías para la selección de los neumáticos, ya que la calificación proporciona es una percepción de la vida útil de la banda de rodadura y no una garantía. “El grado de treadwear es un número asignado que el fabricante lo determina y lo marca en la pared lateral del neumático, a partir de pruebas independientes por cada constructor de forma privada” (Grant, 2010).

#### **2.4.1. Relación con el coeficiente de fricción**

El coeficiente de fricción medio ( $\mu$ ) está relacionado con la calificación del grado de treadwear del neumático por la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{2.25}{TW^{0.15}} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

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.

## **2.5. Rango de tracción (traction) del neumático**

Los grados de tracción UTQG se basan en el coeficiente de tracción de los neumáticos en una línea recta como en los patines del neumático en las superficies de prueba especificadas. Las pruebas de tracción UTQG no evalúa el frenado sobre áreas secas, las curvas en superficies secas o mojadas, ni tampoco la resistencia al deslizamiento en agua (hydroplaning) en altas velocidades.

Los grados de tracción se determinan instalando neumáticos de prueba correctamente inflados en el eje de un remolque. Dicho remolque es transportado por un camión a una velocidad constante de 40 mph (65Km/h), sobre superficies de prueba de asfalto y concreto mojadas. Los frenos son bloqueados momentáneamente y los sensores del eje miden el coeficiente de fricción de los neumáticos (las fuerzas de frenado g) mientras se deslizan. Debido a que esta prueba evalúa el deslizamiento de los neumáticos a una velocidad constante de 40 mph (65Km/h), el mismo, hace más énfasis en el compuesto del caucho del neumático que en el diseño de la banda de rodadura.

En 1997, los grados de tracción UTQG fueron revisados para proporcionar una nueva categoría AA para los neumáticos de más alto rendimiento, además de los primeros grados A, B y C. “Anteriormente, el grado A era el más alto disponible y fue adjudicado a los neumáticos que ofrecen los coeficientes de tracción en mojado, por encima de 0,47g en el asfalto y 0,35g en el concreto” (Tire Tech, s.f.). Hoy en día los grados y sus coeficientes de tracción (Tabla 2.4) son los siguientes:

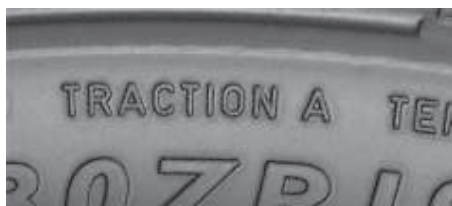
**Tabla 2.4** Rangos de tracción del neumático

Rangos de tracción	Asfalto fuerza g	Concreto fuerza g
AA	Arriba de 0.54	0.38
A	Arriba de 0.47	0.35
B	Arriba de 0.38	0.26
C	Menos de 0.38	0.26

(Fuente: Autores)

La tracción es la medida que indica la habilidad del neumático para detenerse en una superficie húmeda de asfalto y concreto bajo condiciones controladas. El grado de tracción es medido únicamente en línea recta.

A los neumáticos se les realizan pruebas de frenado sobre superficies mojadas de concreto y asfalto. Las clasificaciones de tracción (Figura 2.27) se determinan en función de los coeficientes de tracción que calcula el gobierno a partir del uso de los neumáticos de control. Las clasificaciones de tracción varían entre AA, A, B y C, donde AA es el grado más elevado.



**Figura 2.27** Factor de tracción A.

Fuente: (Dunlop, 2015)

“Grado AA: El neumático tuvo un desempeño sobresaliente en ambas superficies.

Grado A: El neumático tuvo un desempeño bueno en ambas superficies.

Grado B: El neumático tuvo un desempeño bueno al menos en una de las superficies.

Grado C: El neumático tuvo un pobre desempeño en una o ambas superficies” (Dunlop, 2015).

“Cabe recalcar que el grado de tracción asignado a cada neumático se basa en pruebas de tracción de frenado recto en superficies mojadas y no incluye características de aceleración, curvas, hidropneumático o tracción máxima” (Tires Guides, s.f.).

## **2.6. Reencauche de los neumáticos**

El reencauche o recauchutado neumáticos es un proceso que viene en vías de desarrollo en varios países del mundo, ya que tiene la finalidad de reutilizar la carcasa de un neumático con una banda de rodamiento fuera de los límites permisibles, el proceso consiste en recuperar a estas carcasas gastadas, adhiriendo una nueva banda de rodamiento, esta tiene que tener las mismas características que un neumático nuevo, todas estas innovaciones en el proceso de reencauche están direccionadas a reducir costos y disminuir la contaminación ambiental por el desecho de neumáticos usados.

El Ecuador adoptó la actividad del reencauche en la década de los años 70, fue el inicio de pequeñas y medianas empresas que iniciaron con la recolección de neumáticos e implementaron procesos básicos de reencauche en frío, con el pasar del tiempo el proceso ha ido mejorando, gracias a la implementación de normas técnicas, un mejor control de calidad al producto terminado, que hasta la presente en el Ecuador, se tiene un sinnúmero de empresas dedicadas al reencauche y con la diversificación de los tipos de reencauche en frío y reencauche en caliente.

### **2.6.1. Tipos de reencauche**

En la actualidad se tiene dos métodos de reencauche, que tiene la funcionalidad de recuperación de la banda de rodamiento, ya sea proceso de reencauche en frío o reencauche en caliente.

#### **2.6.1.1. Reencauche en caliente**

Se debe inspeccionar que esté en buenas condiciones la carcasa del neumático, por consiguiente eliminar la banda de rodamiento mediante raspado. Para la recuperación de la banda de rodamiento en este proceso se aplica caucho crudo por medio de extrusión por todo el contorno de la superficie de la carcasa preparada. “A continuación se vulcaniza la carcasa recubierta en un molde caliente correspondiente al perfil deseado a una temperatura aproximadamente de 155-165°C” (Gavilanes, 2013). El neumático ingresado en el molde, toma forma según el tamaño y diseño de banda de rodamiento requerido.

### **2.6.1.2. Reencauche en frío**

Se realiza el control de calidad del neumático, luego se restablece la banda de rodamiento en la carcasa, el proceso definido de reencauche consiste en raspar la carcasa usada en la corona. “En la carcasa se coloca una banda de rodadura pre-curada junto con un cojín sin curar. El neumático así preparado se vulcaniza en autoclave a una temperatura aproximadamente de 98°C y a una presión de 120 psi” (Gavilánez, 2013).

### **2.6.2. Proceso de reencauche**

El proceso de reencauche implementado en el Ecuador, según las normas técnicas Ecuatorianas (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2582, 2012); inicia desde la recepción de las carcasas de los neumáticos usados, la reglamentación vigente obliga a las empresas dedicadas al reencauche en tener registros de neumáticos reencauchados así como de neumáticos no aptos para reencauche, a su vez indica los números de reencauche permisibles, cabe recalcar que en la actualidad los neumáticos soportan como máximo tres reencauche. A continuación se detalla en brevedad todo el proceso de reencauche.

#### **2.6.2.1. Inspección inicial**

El reencauchador debe seleccionar las carcasas que son aptas para ser reencauchadas y/o reparadas según criterios técnicos de las normas, entre los parámetros generales a considerar dentro de la revisión están los siguientes: roturas, perforaciones, agrietamientos, soplados, estado de los hombros, pestañas, envejecimiento, entre otros, (Figura 2.28), cabe resaltar que en esta etapa es muy importante revisar el DOT del neumático, es decir el año-semana de fabricación. El neumático a ser reencauchado no debe tener más de 5 años desde su fabricación.



**Figura 2.28** Inspección inicial.

**Fuente:** (Renovallanta, 2013)

### **2.6.2.2. Raspado**

La carcasa se debe raspar mediante sistemas compatibles con el proceso de reencauche utilizado, respetando los radios y anchos recomendados por organizaciones tales como: el TIA (Tire Industry Association, RMA (Rubber Manufacturers Association), el ARA (American Retreaders Association) o el fabricante de la carcasa. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2582, 2012)

La funcionalidad del raspado es tener una superficie acorde a la banda de rodamiento a ser adherida, en la carcasa del neumático (Figura 2.29).



**Figura 2.29** Raspado.

**Fuente:** (Renovallanta, 2013)

### **2.6.2.3. Preparación**

Después del raspado y antes de la aplicación del material nuevo, cada neumático debe ser cuidadosamente inspeccionado para verificar que todavía se mantiene en condiciones de ser reencauchado (Figura 2.30). (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2582, 2012)





**Figura 2.30** Preparación.

Fuente: (Renovallanta, 2013)

#### 2.6.2.4. Reparación

Todas las áreas de la carcasa a ser reparadas deben ser marcadas con tiza durante la inspección inicial, después de los procesos de raspado y preparación, luego de realizadas las reparaciones, la carcasa debe haber recuperado las características estructurales originales del neumático y su capacidad de carga (Figura 2.31). (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2582, 2012)



**Figura 2.31** Reparación.

Fuente: (Renovallanta, 2013)

#### 2.6.2.5. Cementado

El cementado se debe realizar antes de 8 horas, después de haber sido raspado el neumático, esto con la finalidad que la banda de rodamiento nueva se junte con el cojín (Figura 2.32), cabe indicar que es un cemento exclusivo para neumáticos.



**Figura 2.32** Cementado.

Fuente: (Renovallanta, 2013)

#### **2.6.2.6. Relleno**

Rellenar todas las cavidades con tira para relleno asegurando que no quede aire atrapado, en este proceso se utiliza una pistola extrusora de caucho con la finalidad de aplicar caucho en los agujeros de la carcasa (Figura 2.33).



**Figura 2.33** Relleno.

Fuente: (Renovallanta, 2013)

#### **2.6.2.7. Embandado**

Posterior a los procesos antes descritos, se procede con la incorporación de la banda de rodamiento, este proceso se lo realiza en un maquina embandadora, con la finalidad de tener una banda adherida concéntricamente a la carcasa, cabe recalcar que se debe tener en cuenta la linealidad de la banda en toda la circunferencia de la carcasa del neumático, evitando que los bordes no queden fuera del perímetro (Figura 2.34).



**Figura 2.34** Embandado.

Fuente: (Renovallanta, 2013)

### 2.6.2.8. Vulcanización

El neumático debe ser vulcanizado controlando el tiempo, temperatura y presión respetando las especificaciones correspondientes a los materiales, y las del proceso de vulcanización. Estas operaciones deben realizarse soportado en chequeos programados y utilizando termocuplas, todo este proceso se lo realiza en un autoclave, ya que me permite regular todas las variables antes descritas y estar en los parámetros de presiones y temperaturas determinadas, de 90psi en los tubos y 60psi en la autoclave. Luego de alcanzar dichas presiones se corre el ciclo de cura de los neumáticos, aproximadamente (200 minutos) (Figura 2.35).



**Figura 2.35** Vulcanización.

Fuente: (Renovallanta, 2013)

### 2.6.2.9. Inspección final

Al finalizar el proceso de reencauche se debe realizar varios controles de calidad, mediante inspección visual, o en alguno de los casos aplicando equipos que permitan medir deformaciones, bandas de rodamiento mal adheridas, así como la de garantizar las especificaciones que deben cumplir, para que finalmente sea aplicada pintura en los hombros del neumático y caras laterales con el fin de mejorar la presentación de los

neumáticos (Figura 2.36), cumpliendo con todo el proceso el neumático puede ser almacenado y distribuido.



**Figura 2.36** Inspección final.

**Fuente:** (Renovallanta, 2013)

## **2.7. Variables involucradas en el desempeño del neumático**

Ya sean neumáticos nuevos o reencachados las variables que involucran en el comportamiento dinámico de un vehículo se detallan a continuación.

### **2.7.1. Variables para análisis del comportamiento dinámico**

Las variables principal que interactúan en el desempeño, funcionamiento de un neumático tanto en las pruebas de laboratorio y las pruebas prácticas en pista son:

#### **2.7.1.1. Presión de inflado**

Todos los autos, sean antiguos o modernos, llevan aire dentro de sus neumáticos, ya sean estos con cámara o sin cámara la presión que pongamos dentro nos permitirá optimizar las condiciones de manejo, la durabilidad de los mismos y el consumo de combustible.

Según las característica de los vehículos y diseño de neumáticos, las presiones van acorde, es decir un vehículo de pasajeros lleva una presión inferior a la registrada para neumáticos de vehículos comerciales. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2582, 2012)

### **2.7.1.2. Temperatura de los neumáticos**

Las categorías de temperatura en los neumáticos se clasifican de la siguiente manera A (la más alta), B, y C, y representan la resistencia del neumático a la generación de calor y su capacidad para disiparlo en pruebas realizadas en laboratorio y bajo condiciones controladas. Una alta temperatura aplicada de manera continua puede provocar que el material del neumático degenere y pierda longevidad. Una temperatura excesiva puede también derivar en un fallo súbito del neumático. La categoría C de temperatura corresponde al nivel de rendimiento que todos los neumáticos de paseo deben cumplir bajo la norma federal sobre seguridad vial (Federal Motor Safety Standard) núm. 109. Las categorías B y A representan niveles de rendimiento en las pruebas de laboratorio superiores al mínimo requerido por la ley. Cabe indicar que la categoría de temperatura del neumático en cuestión se evalúa con el neumático inflado correctamente y sin que soporte un peso excesivo. El exceso de velocidad o carga y una presión de inflado inferior a la normal pueden provocar un aumento de temperatura y un posible fallo del neumático. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2582, 2012)

### **2.7.1.3. Índice de Velocidad**

El índice de velocidad en los neumáticos es un código alfabético que corresponde a la velocidad máxima por kilómetros por hora (km/h), que un neumático puede alcanzar, en condiciones óptimas. Esta identificación de los índices de velocidad se debe marcar en la cara lateral del neumático. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2582, 2012)

### **2.7.1.4. Índice de Carga**

Es la capacidad de carga de un neumático de acuerdo a índices, expresada en números que representan los kilogramos que soporta el mismo (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana 2582, 2012).

### **3. MÉTODOLÓGIA DE PRUEBAS DE NEUMÁTICOS**

#### **3.1. Selección de neumáticos para pruebas**

Para los fines del estudio, se selecciona a 3 marcas de neumáticos nuevos que se comercializan en el Ecuador, como también neumáticos reencauchados en frío y en caliente. Para la selección de los neumáticos nuevos se da prioridad a los de producción nacional, por consiguiente a los que representen el mayor porcentaje de comercialización y por último a los neumáticos que están en introducción al país, a dichas marcas se les denominará, marca A, marca B, marca C, es decir se requiere de 3 juegos de neumáticos nuevos (cuatro neumáticos por marca) y 1 juego de neumáticos por tipo de reencauche frío y caliente (cuatro neumáticos por tipo), todos los neumáticos deben ser de la medida 225/70 R15, lo cuales son de vehículos de pasajeros, que trabajan a diferentes cargas, presiones y velocidades, según la aplicación.

Por lo antes citado, para el presente estudio se utilizarán 5 juegos de neumáticos (4 neumáticos por cada juego), los mismos que serán distribuidos según el tipo de prueba que se realice (carretera, laboratorio). Según el reporte del ministerio de Industrias y Productividad, existen 350 marcas de neumáticos que se comercializan en el Ecuador, tal como se observa en la Figura 3.1.

En la Figura 3.1 también puede observar el porcentaje de neumáticos reencauchados por marcas en el Ecuador, por lo tanto para los fines del estudio y las pruebas se toma las siguientes marcas:

Neumáticos nuevos:

- Marca A: General Tire. (producción nacional).
- Marca B: Good Year (importada de porcentaje representativo).
- Marca C: Aeolus (importada en introducción al país).

Neumáticos reencauchados

- Cyclone Ecocaucho (reencauchado en caliente).
- Continental Vanco reencauchadora Europea (reencauchado en frío).



## **3.2. Pruebas de laboratorio bajo normas técnicas Ecuatorianas INEN**

Las pruebas de laboratorio se desarrollan en función a las normas técnicas Ecuatorianas vigentes en el Ecuador, para lo cual se aplicara los procedimientos establecidos en la norma NTE INEN 2097 de métodos de ensayos de ensayo, la cual permite medir la resistencia de la carcasa, en donde intervienen la variables de presión, temperatura, velocidad, carga.

### **3.2.1. Método de ensayo para la determinación de la capacidad o resistencia del neumático**

#### **3.2.1.1. Fundamento**

El ensayo consiste en hacer girar el neumático contra una rueda plana de acero con incrementos progresivos de carga y tiempo, a velocidad constante, para evaluar la fiabilidad del mismo en un período de tiempo relativamente corto, bajo condiciones controladas de un laboratorio (Figura 3.2). “La carga, velocidad y presión de inflado son aplicadas en varias combinaciones dependiendo del tamaño del neumático. Al finalizar el ensayo se evalúa el cumplimiento del producto con los requisitos establecidos en la norma respectiva” (INEN, Metodos de ensayo, 2012).



**Figura 3.2** Ensayo aguante o resistencia.  
(Fuente: Autores)



### 3.2.2. Presión de inflado del neumático para ejecución de pruebas

Las presiones contempladas para las pruebas de laboratorio de los neumáticos, se establecerán según las características del mismo, es decir se usará la máxima presión que soporta el neumático, la cual está marcada en el mismo y se simulará las condiciones que habitualmente un neumático soporta por tiempos determinados, cabe indicar que las Normas Técnicas Ecuatorianas establece una sola presión de ensayo, para los fines de esta investigación, se contempla utilizar los porcentajes que muestra la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Presión de inflado de neumáticos para pruebas.

Presión de inflado	Porcentaje
Máxima	100%

Fuente: (INEN, Metodos de ensayo, 2012)

### 3.2.3. Temperatura de prueba de los neumáticos

Las temperaturas para la ejecución de las pruebas, se establecen según lo que determina la norma NTE INEN 2616:2012, de métodos de ensayos para neumáticos reencauchados, tal como muestra la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Temperatura de prueba de neumáticos.

Temperatura de prueba	25°C ± 5°C
-----------------------	------------

Fuente: (INEN, Metodos de ensayo, 2012)

### 3.2.4. Velocidad de prueba de los neumáticos

La velocidad a aplicarse en las pruebas (Tabla 3.3), será según lo que establece norma técnica ecuatoriana que indica para neumáticos tipo II radial, se ajuste a la siguiente velocidad.

**Tabla 3.3** Velocidades de prueba.

Pruebas	Velocidad (km/h)
Prueba 1	100

Fuente: (INEN, Metodos de ensayo, 2012)

### 3.2.5. Porcentajes de carga según la prueba del neumático

Los porcentajes de carga se realizan según como especifica la norma NTE INEN 2097, cabe indicar que cada porcentaje de carga tiene que cumplir un intervalo de tiempo, tal como muestra la Tabla 3.4.

Para aplicación de la tabla, se debe considerar que todo neumático, tiene una capacidad de carga especificada por el fabricante, es decir a esa capacidad de carga se le tomará en porcentajes, para la ejecución de las pruebas.

**Tabla 3.4** Porcentajes de carga, tiempo y velocidad.

Tiempo (min)	Carga (%)	Velocidad (km/h)
10	100	100
10	100	
10	100	

Fuente: (INEN, Metodos de ensayo, 2012)

### 3.2.6. Comparativo de neumáticos nuevos y reencauchados

Empleando el método de prueba, según las condiciones planteadas se realizará la comparación de pruebas entre neumáticos nuevos y reencauchados (frio y caliente), con el fin de obtener los resultados de cada prueba aplicada, los ensayos serán realizados en un tambor dinamométrico externo (máquina de capacidad y velocidad), en la Tabla 3.5 se muestra las condiciones a evaluarse y determinar si cumple con las exigencias establecidas en la norma.

**Tabla 3.5** Condiciones a compararse entre neumáticos nuevos y reencauchados.

<b>CONDICIONES A COMPARARSE ENTRE NEUMÁTICOS NUEVOS Y REENCAUCHADOS</b>					
<b>Neumático nuevo</b>		<b>Neumático reencauchado en frio</b>		<b>Neumático reencauchado en caliente</b>	
<b>Presión</b>	100%	<b>Presión</b>	100%	<b>Presión</b>	100%
<b>Temperatura</b>	25°C ± 5°C	<b>Temperatura</b>	25°C ± 5°C	<b>Temperatura</b>	25°C ± 5°C
<b>Carga</b>	100%	<b>Carga</b>	100%	<b>Carga</b>	100%
<b>Velocidad</b>	100km/h	<b>Velocidad</b>	100km/h	<b>Velocidad</b>	100km/h

(Fuente: Autores)

### 3.2.7. Equipo requerido para pruebas de laboratorio

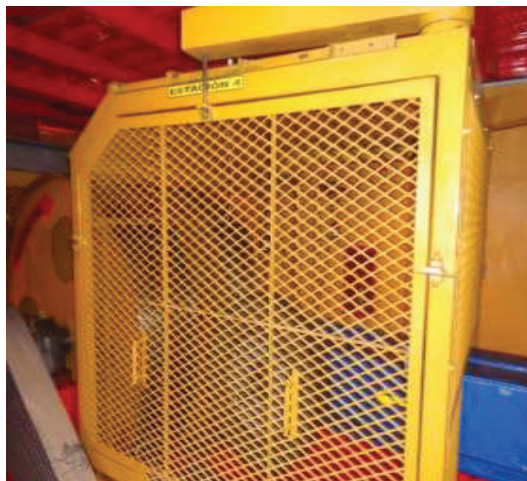
El equipo requerido para realizar las pruebas de laboratorio tienen que tener una trazabilidad, es decir los instrumentos tienen que estar calibrados, los cuales se detallan a continuación.

#### 3.2.7.1. Tambor dinamométrico (máquina de capacidad y velocidad)

El sistema de pruebas que se utilizará para la realización de este proyecto corresponde a un equipo de tambor externo (máquina de capacidad y velocidad). Este equipo, simula las condiciones de funcionamiento de un neumático, ya sean estos de pequeñas dimensiones (automóviles) o neumáticos grandes (camiones).

Se ha optado por utilizar este sistema debido a que su principal virtud reside en su capacidad para realizar ensayos dinámicos de los neumáticos, que pueden alcanzar varios rangos de cargas elevadas, así como también una alta velocidad.

El equipo dispone de un tambor dinamométrico de 1,70 metros de diámetro, dos cilindros hidráulicos con una capacidad de fuerza de 5000 kg cada uno, tiene un torque de 600 Nm y una velocidad de 200 km/h, como se observa en la Figura 3.3.



**Figura 3.3** Tambor dinamométrico externo (máquina de capacidad y velocidad).

(Fuente: Autores)

Los datos de las pruebas que se realizarán en el tambor dinamométrico externo (máquina de capacidad y velocidad), se registrarán en el mismo equipo, el cual registra los tiempos

de pruebas, cargas, velocidades aplicadas y las temperaturas de prueba, como se puede observar en las Tablas 3.6 y 3.7 respectivamente.

**Tabla 3.6** Registros de resultados de prueba de resistencia.

<b>PARAMETROS DE ENSAYOS Y RESULTADOS</b>					
<b>CARGA %</b>	<b>CARGA APLICADA (Kg)</b>	<b>TIEMPO TEÓRICO (minutos)</b>	<b>TIEMPO REAL (minutos)</b>	<b>VELOCIDAD TEÓRICA DE ENSAYO (Km/h)</b>	<b>VELOCIDAD REAL (Km/h)</b>
66%	2343	420	420'10''	64	63.91
84%	2982	960	960'06''	64	64.32
101%	3586	1440	1439'44''	64	64.22
<b>Tiempo de reposo mínimo (15 a 25 min)</b>		<b>25 min</b>	<b>Presión final de ensayo</b>		132 psi (910 kPa)

(Fuente: Autores)

**Tabla 3.7** Registros de resultados de prueba de velocidad.

<b>PARAMETROS DE ENSAYOS Y RESULTADOS</b>							
<b>ETAPA</b>	<b>CARGA %</b>	<b>CARGA APLICADA (Kg)</b>	<b>VELOCIDAD TEÓRICA (Km/h)</b>	<b>VELOCIDAD REAL (Km/h)</b>	<b>TIEMPO TEÓRICO (min)</b>	<b>TIEMPO REAL (min)</b>	<b>TEMP °C</b>
FASE INICIAL	80	872	0 a 170	0 a 170,10	10	10'	22
1	80	872	180	179,98	10	10	23
2	80	872	190	190	10	10	23
3	80	872	200	200	20	20	23
<b>Tiempo de reposo mínimo (15 a 25 min)</b>			<b>25</b>	<b>Presión de inflado final psi (kPa)</b>		310kPa (44 psi)	

(Fuente: Autores)

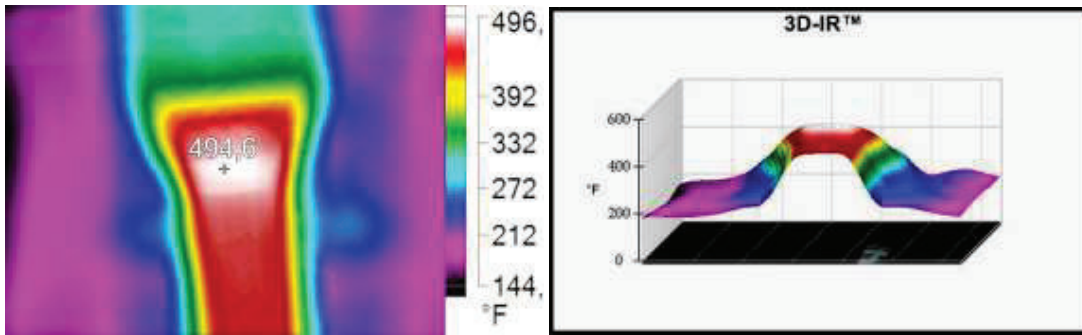
### 3.2.7.2. Cámara termográfica

El registro de las variaciones de temperatura del neumático, en las diferentes pruebas se lo realizará mediante una cámara termográfica FLUKE Ti27 (Figura 3.4), misma que tiene las siguientes características (Tabla 3.8).

**Tabla 3.8** Características cámara termográfica FLUKE Ti27

Temperatura	
Rango de medida de la temperatura (sin calibrar por debajo de -10 °C)	-20 °C a +600 °C (-4 °F a +1112 °F)
Precisión de la medida de temperaturas	± 2 °C o 2 % (a 25 °C nominales, la mayor de ambas)
Corrección de emisividad en pantalla	Sí
Compensación de la temperatura reflejada de fondo en pantalla	Sí
Corrección de transmitancia en pantalla	Sí
Características del detector	
Frecuencia de captura de imágenes	Velocidad de actualización de 9 Hz o de 60 Hz según la variación de modelo
Tipo de detector	Matriz de plano focal, microbolómetro no refrigerado, 240 x 180 píxeles
Píxeles totales	43200
Sensibilidad térmica (NETD)	≤ 0,05 °C a 30 °C (50 mK)
Banda espectral infrarroja	De 7,5 μm a 14 μm (onda larga)
Cámara de luz visible	Rendimiento industrial de 2 megapíxeles
Distancia focal mínima	46 cm (aprox. 18 pulg.)
Lente estándar para infrarrojo	<input type="checkbox"/> Campo de visión: 23° x 17° <input type="checkbox"/> Resolución espacial (IFOV) : 1,67 mRad <input type="checkbox"/> Distancia mínima de enfoque: 15 cm (aprox. 6 pulg.)
Lente opcional tipo teleobjetivo para infrarrojo	<input type="checkbox"/> Campo de visión: 11,5° x 8,7° <input type="checkbox"/> Resolución espacial (IFOV) : 0,84 mRad <input type="checkbox"/> Distancia mínima de enfoque: 45 cm (aprox. 18 pulg.)
Lente opcional tipo gran angular para infrarrojo	<input type="checkbox"/> Campo de visión: 46° x 34° <input type="checkbox"/> Resolución espacial (IFOV) : 3,34 mRad <input type="checkbox"/> Distancia mínima de enfoque: 7,5 cm (aprox. 3 pulg.)
Mecanismo de enfoque	Manual, capacidad de enfoque inteligente "Smart Focus con una sola mano

Fuente: (FLUKE, 2016)



**Figura 3.4** Captura de temperatura y representación gráfica.

Fuente: (FLUKE, 2016)

### 3.2.7.3. Medidor de presión de neumáticos

El medidor de presión de neumáticos, debe tener una resolución de 0 a 100 psi como mínimo con el fin de garantizar que la lectura de presión es la más acorde y permita tener una buena trazabilidad, se recomienda utilizar equipos calibrados.



**Figura 3.5** Medidor de presión de neumáticos analógico.

(Fuente: Autores)

### 3.2.7.4. Procedimiento de la prueba

1. Seleccionar el aro de prueba.
2. Enlantar el neumático en el aro de prueba (Figura 3.6).



**Figura 3.6** Aro de prueba y enllantaje  
(Fuente: Autores)

3. Inflar el neumático a la presión indicada (Figura 3.7).



**Figura 3.7** Aro de prueba y enllantaje  
(Fuente: Autores)

4. Para el caso de neumáticos que requieran tubo y defensa (protector), para el ensayo de rendimiento a alta velocidad, estos deben ser nuevos y apropiados.
5. Acondicionar el neumático a la temperatura de  $25^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  por lo menos tres horas, marque la fecha y hora de acondicionamiento en el neumático.
6. Montar el neumático en máquina de ensayos y ajuste las tuercas con una fuerza de torsión de 305 Nm.
7. Señalar el sentido de giro del neumático (Figura 3.8) y la posición aro llanta para verificar deslizamientos posteriores al ensayo.
8. Ingrese todos los datos correspondientes al neumático en el sistema SCADA de control.



**Figura 3.8** Marcado del sentido de giro  
(Fuente: Autores)

9. Arrancar la máquina topando el neumático a una velocidad de 30km/h
10. Presionar el neumático montado contra la rueda plana de acero de la cámara de simulación con una carga indicada en la hoja de alto rendimiento a alta velocidad para neumáticos tipo 2 nuevos utilizando los comandos del sistema SCADA de control
11. La carga usada en el ensayo corresponderá a la máxima carga simple, cuando se indica tanto la máxima carga simple como la máxima carga dual.
12. Dejar enfriar el neumático a  $25^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta alcanzar la presión inicial de la prueba o 2h, lo que ocurra primero.
13. Medir la presión de inflado luego del ensayo.
14. Realizar la inspección visual del neumático

#### **3.2.7.5. Pruebas complementarias de laboratorio**

Con la finalidad de medir la incidencia de la presión y la velocidad a una carga constante, se realizara pruebas adicionales en donde se realiza cambios de la presión, velocidad y se aplicara el mismo procedimiento normativo (Tabla 3.9).



**Tabla 3.9** Condiciones de pruebas adicionales.

<b>CONDICIONES A COMPARARSE ENTRE NEUMÁTICOS NUEVOS Y REENCAUCHADOS</b>					
<b>Neumático nuevo</b>		<b>Neumático reencauchado en frío</b>		<b>Neumático reencauchado en caliente</b>	
<b>Presión</b>	60%, 85%,100%	<b>Presión</b>	60%, 85%,100%	<b>Presión</b>	60%, 85%,100%
<b>Temperatura</b>	25°C ± 5°C	<b>Temperatura</b>	25°C ± 5°C	<b>Temperatura</b>	25°C ± 5°C
<b>Carga</b>	100%	<b>Carga</b>	100%	<b>Carga</b>	100%
<b>Velocidad</b>	50km/h, 75km/h, 100 km/h	<b>Velocidad</b>	50km/h, 75km/h, 100 km/h	<b>Velocidad</b>	50km/h, 75km/h, 100 km/h

(Fuente: Autores)

### **3.3. Métodos de prueba de resistencia a la rodadura y tracción de neumáticos de pasajeros en pista.**

En los subcapítulos anteriores, se describe los tipos de ensayos que existen para neumáticos como pruebas de laboratorio, a continuación se detalla el método de prueba y procedimiento para realizar pruebas de resistencia a la rodadura tanto para neumáticos nuevos y reencauchados, así como también pruebas de frenado (tracción), para lo cual se considera varios factores internos y externos de los neumáticos a probarse. En la actualidad, se han desarrollado estudios de pruebas de neumáticos, pero no se ha realizado la comparación entre neumáticos nuevos y reencauchados, para lo cual se ha puesto énfasis en la elaboración del presente proyecto, a su vez se pone a consideración que no se siguen todos los procedimientos y secuencias que se detallan en las normas técnicas de pruebas, sino que se han de seleccionar aquellas que se ajusten a las condiciones del país.

#### **3.3.1. Método y procedimiento para pruebas de resistencia a la rodadura de neumáticos de pasajeros**

El método consiste en colocar un juego de neumáticos de las mismas características en un vehículo de prueba acorde al tamaño de neumático, cumplir el procedimiento que se detalla en la Tabla 3.10, con su respectiva preparación de los neumáticos, con el fin de determinar la resistencia a la rodadura de los neumáticos nuevos y reencauchados, para luego analizar los resultados de las pruebas, cabe indicar que esta es un metodología aplicada por los fabricantes de neumáticos como Michelin, este método es de prueba en

pista en convencional, pero es uno de los probados debido a que se tiene medidas similares a las de un laboratorio. Se dispuso realizar esta prueba convencional debido a que en el Ecuador no hay un laboratorio que realice ensayos de resistencia a la rodadura, pero para objeto de este análisis es necesario saber cuáles son las diferencias que existen entre los neumáticos de prueba y cuál es la incidencia de la misma.

### 3.3.1.1. Preparación de los neumáticos

- a) Montar el neumático en el aro de prueba, según como especifica el fabricante del neumático, o el YEAR BOOK.
- b) Inflar el neumático a la presión requerida para ejecución del ensayo al 100%,  $\pm 1\%$ .
- c) Acondicionar el neumático a temperatura ambiente por un lapso de 5 min.
- d) Reajustar la presión del neumático según el literal b).

**Tabla 3.10** Procedimiento para realizar la prueba de resistencia a la rodadura.

Ubicación del vehículo en la pista.	El vehículo debe estar alineado con el centro de la vía durante el proceso de pruebas. Si requiere hacer correcciones en la dirección del vehículo para mantenerlo en la posición central hágalo con cuidado.
Velocidad de prueba del vehículo (r).	64 km/h $\pm$ 1.6 km/h (J345, 1969)
Pista de prueba.	El evaluador debe seleccionar el punto de partida. Con el fin de determinar el punto inicial y final del recorrido del neumático.
Selector de cambios de la transmisión del vehículo.	Posición neutral.
Número de pruebas.	3 pruebas.
Peso del vehículo	Debe estar al 100% de la carga máxima que soporte el vehículo, con el tanque de combustible entre el 75% al 100% de su capacidad.
Intervalo entre pruebas.	3 pruebas por cada nivel de presión del neumático.
Medición de distancia.	Con una cinta métrica se medirá el desplazamiento del vehículo desde el punto inicial, trazado en la pista, y registrar el valor.

Fuente: (Reyes, 2015)

### 3.3.1.2. Registro de datos

Para cada intervalo de prueba el evaluador deberá registrar los valores obtenidos de las pruebas en un registro técnico. RGT-1. Registro de datos de pruebas de resistencia a la rodadura y frenado de neumáticos, ver Tabla 3.11.

La medición de la temperatura se la realizará con un medidor laser y el valor será registrado en el RGT-1.

**Tabla 3.11** Registro de datos de prueba de resistencia a la rodadura

PRUEBA	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia		Temperatura °C	Presión de prueba (Psi-kPa)
			Inicial	Final		
I	64 ± 1.6 km/h					60%
II	64 ± 1.6 km/h					85%
III	64 ± 1.6 km/h					100%

(Fuente: Autores)

### 3.3.2. Método y procedimiento para pruebas de frenado (tracción) de neumáticos de pasajeros

El método consiste en colocar un juego de neumáticos de las mismas características en un vehículo de prueba acorde al tamaño del neumático, cumplir el procedimiento que se detalla en la Tabla 3.12, con su respectiva preparación de los neumáticos, con el fin de determinar la tracción de los neumáticos nuevos y reencauchados, para luego analizar los resultados de las pruebas.

#### 3.3.2.1. Preparación de los neumáticos

- a) Montar el neumático en el aro de prueba, según como especifica el fabricante del neumático, o el YEAR BOOK.
- b) Inflar el neumático a la presión requerida para ejecución del ensayo al 100%, ± 1%.
- c) Acondicionar el neumático a temperatura ambiente por un lapso de 5 min.
- d) Reajustar la presión del neumático según el literal b). (Cornell University Law School, 2016)

**Tabla 3.12** Procedimiento para realizar la prueba de tracción (frenado).

Ubicación del vehículo en la pista.	El vehículo debe estar alineado con el centro de la vía durante el proceso de pruebas. Si requiere hacer correcciones en la dirección del vehículo para mantenerlo en la posición central hágalo con cuidado.
Velocidad de prueba del vehículo (v).	96 km/h $\pm$ 1.6 km/h (J345, 1969)
Distancia de frenado del vehículo (s).	La distancia de frenado depende de la velocidad de prueba del vehículo y no debe exceder el valor arrojado por la fórmula: $s \leq 0,1v + 0,0060v^2$ [m] Con una velocidad de prueba de 96km/h, la distancia de frenado es: $s \leq 65$ [m]
Desaceleración del vehículo ( $d_m$ ).	$d_m \geq 6,43$ m/s <sup>2</sup>
Fuerza aplicada en el pedal de freno.	Valor de fuerza debe oscilar entre 6,5 a 50 [daN]
Selector de cambios de la transmisión del vehículo.	Posición neutral
Número de pruebas.	3 pruebas
Peso del vehículo.	Debe estar al 100% de la carga máxima que soporte el vehículo, con el tanque de combustible entre el 75% al 100% de su capacidad.
Intervalo entre pruebas.	3 pruebas por cada nivel de presión del neumático.
Registro de desplazamientos.	Mediante un acelerómetro, se deberá registrar los datos de desplazamiento del vehículo, en función a su centro de gravedad.
Medición de distancia.	Con una cinta métrica se deberá medir el desplazamiento de frenado del vehículo desde el punto inicial, trazado en la pista, y registrar el valor.

Fuente:(Reyes, 2015)

Para lograr mantener la velocidad de prueba indicada en la Tabla 3.12, se recomienda seguir las siguientes instrucciones que se indican en la normativa 49 CFR. 571 Estándar 105, párrafo S.6.5.5.1 que se detallan a continuación:

- Exceder la velocidad de pruebas entre 5 a 10 km/h.
- Retirar el pie del acelerador y permitir que el vehículo siga rodando hasta que este 5 km/h por encima de la velocidad de prueba.
- Colocar el selector de cambios en la posición neutral y cuando se alcance la velocidad de prueba, aplique los frenos del vehículo.

Y según la norma SAE J345 (R) WET OR DRY PAVEMENT PASSENGER CAR TIRE PEAK AND LOCKED WHEEL BRAKING TRACTION describe que en la pista se debe trazar un punto de inicio del frenado, es decir, el vehículo debe alcanzar la velocidad de prueba seleccionada ( $96 \text{ km/h} \pm 1.6 \text{ km/h}$ ) y se debe aplicar el freno hasta que las ruedas se bloqueen, por un lapso de 2 segundos.

### 3.3.2.2. Registro de datos

Para cada intervalo de prueba el evaluador deberá registrar los valores obtenidos de las pruebas en un registro técnico. RGT-1. Registro de datos de pruebas de resistencia a la rodadura y frenado de neumáticos, ver Tabla 3.13.

La medición de la fuerza de frenado se lo realizará con un acelerómetro, y el valor debe ser registrado en el RGT-1.

La medición de la temperatura se la realizará con un medidor laser y el valor será registrado en el RGT-1.

**Tabla 3.13** Registro de datos de prueba de frenado.

PRUEBA	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		FUERZA DE FRENADO $\text{m/s}^2$	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	Presión de prueba (Psi-Pa)
			Inicial	Final			
1	$96 \pm 1.6 \text{ km/h}$						60%
2	$96 \pm 1.6 \text{ km/h}$						85%
3	$96 \pm 1.6 \text{ km/h}$						100%

(Fuente: Autores)

### 3.3.2.3. Enllantaje de los neumáticos

Los neumáticos seleccionados para las pruebas deben ser montados en sus respectivos aros, en base a la numeración establecida por el fabricante del neumático, la cual viene marcada en la cara lateral del mismo, como se observa en la Figura 3.9.



Figura 3.9 Enllantaje de los neumáticos.

(Fuente: Autores)

Para la selección del aro para los neumáticos de prueba, se toma en consideración la tabla del Manual ETRTO (The European Tyre and Rim Technical Organisation) (Figura 3.10), el cual indica los tipos de aros que se pueden utilizar para el enllantaje.

Passenger Car Tyres — Tyres with Metric Designation

#### RIMS FOR '70' SERIES - METRIC DESIGNATION

TYRE SIZE	APPROVED RIM CONTOURS
135/70 R 13	3.50B 3½J 4.00B 4J 4.50B 4½J
145/70 R 12	3.50B 4.00B 4.50B 5.00B
R 13, 14	3.50B 3½J 4.00B 4J 4.50B 4½J 5.00B 5J
155/70 R 12	4.00B 4.50B 5.00B
R 13, 14	4.00B 4J 4.50B 4½J 5.00B 5J
R 15, 16	4J 4½J 5J
165/70 R 12	4.00B 4.50B 5.00B 5.50B
R 13	4.00B 4J 4.50B 4½J 5.00B 5J 5.50B 5½J
R 14	4J 4.50B 4½J 5.00B 5J 5.50B 5½J
R 15	4J 4½J 5J 5½J
175/70 R 13	4.50B 4½J 5.00B 5J 5.50B 5½J 6.00B 6J
R 14	4½J 5.00B 5J 5.50B 5½J 6J
R 15	4½J 5J 5½J 6J
185/70 R 13	4.50B 4½J 5.00B 5J 5.50B 5½J 6.00B 6J
R 14, 15	4½J 5J 5½J 6J
195/70 R 14, 15, 16	5J 5½J 6J 6½J
205/70 R 14, 15, 16	5J 5½J 6J 6½J 7J
215/70 R 14, 15, 16, 17	5½J 6J 6½J 7J
225/70 R 14, 15, 16, 17	6J 6½J 7J 7½J
235/70 R 16	6J 6½J 7J 7½J 8J
245/70 R 15, 16, 17	6½J 7J 7½J 8J
255/70 R 15, 16, 17, 18	6½J 7J 7½J 8J 8½J
265/70 R 15, 16, 17, 18	7J 7½J 8J 8½J 9J
275/70 R 16	7J 7½J 8J 8½J 9J
315/70 R 17	8J 8½J 9J 9½J 10J 10½J

Figura 3.10 Designación de aros.

Fuente: (The European Tyre and Rim Technical Organization, 2013)

#### 3.3.2.4. Montaje de los neumáticos en el vehículo

El conjunto aro-neumático debe cumplir con las características técnicas del vehículo de prueba de acuerdo a su ficha técnica, para poder ser montados en el mismo (Figura 3.11) y no generen ningún tipo de problema de funcionamiento al momento de realizar las diferentes pruebas en la pista.



Figura 3.11 Montaje de los neumáticos.

(Fuente: Autores)

#### 3.3.2.5. Verificación de la presión de inflado del neumático

Antes de realizar las diferentes pruebas a los neumáticos se debe verificar la presión de inflado de los mismos, para constatar que sea la correcta para el tipo de prueba que se va a ejecutar, como se observa en la Figura 3.12.

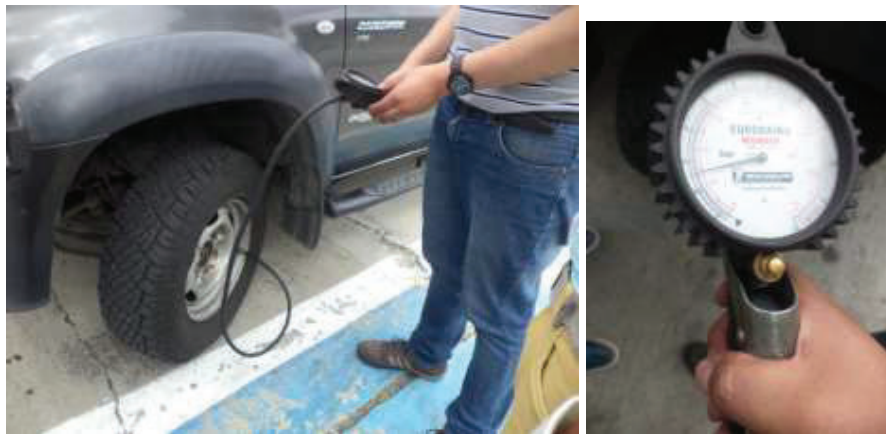


Figura 3.12 Comprobación de la presión de inflado.

(Fuente: Autores)



### 3.3.2.6. Medición de temperatura de los neumáticos

Las medición de la temperatura de los neumáticos se la realizó con una cámara termográfica (Figura 3.13) y el registro de los datos se lo hacía después haber realizado cada una de las pruebas



**Figura 3.13** Medición de la temperatura de los neumáticos.  
(Fuente: Autores)

### 3.3.3. Condiciones para el desarrollo de pruebas

#### 3.3.3.1. Temperatura del ambiente

La temperatura del ambiente deberá oscilar entre 0°C a 45°C, la misma que será inscrita en el registro de pruebas, ver registro RGT-1, en el anexo 5.

#### 3.3.3.2. Velocidad del viento

“La velocidad del viento no debe exceder de 10 m/s para vehículos con factor de estabilidad estático (Static Stability Factor SSF),  $SSF > 1,25$  y de 5 m/s para vehículos con  $SSF \leq 1,25$ , Regulación ECE-13h” (Reyes, 2015). Este factor de la velocidad del viento es propio de la superficie de pruebas, el cual se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$SSF = T / (2h) \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

**T:** es el ancho de vía de pruebas.

**h:** es la altura del centro de gravedad del vehículo.



### **3.3.3.3. Presión de los neumáticos**

La presión de los neumáticos se considerará la presión según la norma SAE J345 (R) WET OR DRY PAVEMENT PASSENGER CAR TIRE PEAK AND LOCKED WHEEL BRAKING TRACTION, misma que indica que debe ser de 24 psi, para tener un mayor alcance del comportamiento dinámico del neumático, se considerará realizar las pruebas a máxima presión del neumático, baja presión y la especificada en la norma antes citada.

### **3.3.3.4. Carga aplicada al neumático**

La carga aplicada al neumático será el 100% de la carga máxima que soporte el vehículo, con el tanque de combustible entre el 75% al 100% de su capacidad, según lo que especifica la norma SAE J345 (R) WET OR DRY PAVEMENT PASSENGER CAR TIRE PEAK AND LOCKED WHEEL BRAKING TRACTION

### **3.3.3.5. Velocidad de prueba**

La velocidad de prueba del vehículo, se considerará según la norma SAE J345 (R) WET OR DRY PAVEMENT PASSENGER CAR TIRE PEAK AND LOCKED WHEEL BRAKING TRACTION, que especifica 60 mph  $\pm$  1mph (96 km/h  $\pm$  1,6 km/h) para tracción o frenado, y se aplicará 40 mph  $\pm$  1mph (64 km/h  $\pm$  1,6 km/h) para pruebas de resistencia a la rodadura.

## **3.3.4. Condiciones del vehículo de prueba**

### **3.3.4.1. Tipo de vehículo**

El vehículo debe ser seleccionado según el tipo de neumático, para el estudio es necesario tener un vehículo de pasajeros, que tenga como modelo de neumáticos el 225/70R15, con un sistema de frenos ABS y el mismo tiene que estar en óptimas condiciones de funcionamiento.

El vehículo seleccionado para las pruebas debe estar equipado con un sistema de frenos que actúe en las cuatro ruedas al mismo tiempo, es decir debe ser capaz de controlar directamente las ruedas del eje delantero y del eje posterior, ver anexo 6 registros de pruebas.

### **3.3.4.2. Consideraciones en el vehículo para las pruebas**

- El vehículo debe tener entre el 75% al 100% de la capacidad de combustible almacenada en el tanque.
- Para una mejor eficacia de frenado, realizar pruebas de ruta a unos 80 km/h y efectuar pruebas de frenado, con el fin de garantizar la eficacia de los mismos.
- Para garantizar la seguridad de los pasajeros se debe mantener las ventanas del vehículo cerradas, se abrirán solo en casos excepcionales, con los respectivos cinturones de seguridad. (Cornell University Law School, 2016)

### **3.3.5. Condiciones de la superficie de pruebas**

La vía de pruebas deberá tener una longitud de 3,5 km y un ancho de 3,5 m. La condición ideal de la vía es que esté completamente nivelada, caso contrario, la inclinación máxima de la vía deberá tener un gradiente del 1% a lo largo de la vía y del 2% a lo ancho de la misma. Para la mejor ejecución de pruebas es necesario tener una pista (AUTODROMO), la cual garantiza seguridad y mejor eficiencia en la ejecución de las mismas.

### **3.3.6. Equipos requeridos**

#### **3.3.6.1. Acelerómetro**

Funciones y uso:

Dispositivo capaz de medir los desplazamientos en los 3 ejes (Figura 3.14), mismo que permite determinar que neumáticos tienen mayor tracción.

Especificaciones técnicas:

- Rango de medición -2g, +2g, -6g, +6g
- Resolución: 1 mg o 5 mg
- Canales disponibles: x, y, z.
- Tasa máxima de transferencia de datos: 160 Hz por canal
- Peso: 80 g.



**Figura 3.14** Sensor de aceleración 3D cobra.

(Fuente: Autores)

### 3.3.6.2. Cinta métrica

Cinta métrica (Figura 3.15) con una capacidad de longitud de 50m, la cual permite medir el desplazamiento de los neumáticos según el tipo de prueba.



**Figura 3.15** Cinta métrica.

(Fuente: Autores)

### 3.3.6.3. Autódromo José Tobar Tobar (Yahuarcocha)

#### Área de construcción

El autódromo está dividido en dos secciones: la pista grande que circunvala la laguna de Yahuarcocha mide 10 Km y otra que mide 3,7 Km o 2,3 millas.

El ancho de la pista es de 14m constante; la recta principal mide 770m o 2525 pies, tiene 9 curvas, 6 a la derecha y 3 a la izquierda. Se gira a favor de las manecillas del reloj.

## Distribución espacial

Tiene una zona de PITS con las debidas seguridades, una torre de control, cabina de radio, podium de premiación, oficinas, restaurante, enfermería, zona de revisión técnica, paddock, asistencia mecánica parqueaderos, helipuerto, servicios básicos y 2 tribunas (principal, preferencia y general), ver figura 3.16.



**Figura 3.16** Pista autódromo Yahuarcocha

Fuente: (Dinamyca competición, s.f)

### 3.3.6.4. Registro de datos del neumático

Para el inicio de cada prueba se debe considerar los siguientes parámetros que se detallan en la Tabla 3.14, para iniciar el registro de datos.

**Tabla 3.14** Registro datos del vehículo.

DATOS DEL NEUMÁTICO			
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	225/70R15	DIÁMETRO DE NEUMÁTICO	710 mm
CONSTRUCCIÓN DEL NEUMÁTICO	RADIAL	FECHA DE FABRICACIÓN	2515
ÍNDICE DE CARGA	100	ÍNDICE DE VELOCIDAD	T (190 km/h)
MÁXIMA CAPACIDAD DE CARGA	800 kg	PRESIÓN MÁXIMA DE INFLADO	220 kPa
TIPO DE RIN	6.00 x 15	DOT	AGFF005130315
ETIQUETA DE NIEVE	M+S	MODELO	AG03

(Fuente: Autores)

### 3.3.6.5. Pruebas complementarias de pista

Con la finalidad de medir la incidencia de la presión, velocidad a una carga constante, se realizara pruebas adicionales en donde se realiza cambios de la presión, velocidad aplicando el mismo procedimiento normativo y a su vez se registrara la temperatura del neumático con una cámara termográfica, ver Tabla 3.15.

**Tabla 3.15** Condiciones de pruebas adicionales.

<b>CONDICIONES A COMPARARSE ENTRE NEUMÁTICOS NUEVOS Y REENCAUCHADOS</b>					
<b>Neumático nuevo</b>		<b>Neumático reencauchado en frio</b>		<b>Neumático reencauchado en caliente</b>	
<b>Presión</b>	60%, 85%,100%	<b>Presión</b>	60%, 85%,100%	<b>Presión</b>	60%, 85%,100%
<b>Temperatura</b>	0°C a 45°C	<b>Temperatura</b>	0°C a 45°C	<b>Temperatura</b>	0°C a 45°C
<b>Carga</b>	100%	<b>Carga</b>	100%	<b>Carga</b>	100%
<b>Velocidad</b> <b>Tracción</b>	(96 km/h ± 1,6 km/h)	<b>Velocidad</b> <b>Tracción</b>	(96 km/h ± 1,6 km/h)	<b>Velocidad</b> <b>Tracción</b>	(96 km/h ± 1,6 km/h)
<b>Velocidad</b> <b>resistencia</b> <b>rodadura</b>	(64 km/h ± 1,6 km/h)	<b>Velocidad</b> <b>resistencia</b> <b>rodadura</b>	(64 km/h ± 1,6 km/h)	<b>Velocidad</b> <b>resistencia</b> <b>rodadura</b>	(64 km/h ± 1,6 km/h)

(Fuente: Autores)

## 4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados de las pruebas de laboratorio y pruebas de pista utilizando tanto neumáticos nuevos, como reencauchados en frío y en caliente, con estos valores se determinará el comportamiento dinámico de los mismos, en base a un estudio comparativo entre los neumáticos antes mencionados, comprobando las temperaturas de funcionamiento, resistencia a la rodadura, la tracción de los diferentes neumáticos, a su vez se describe las variables consideradas en el presente estudio, así como se describe los neumáticos utilizados en las pruebas y las características del vehículo de pruebas.

### 4.1. Descripción de los neumáticos de pruebas para análisis del comportamiento dinámico en laboratorio y pista

**Tabla 4.1** Características de los neumáticos de pruebas.

DESCRIPCIÓN	MARCA A GENERAL	MARCA B GOODYEAR	MARCA C AEOLUS	REENCAUCHE EN FRÍO (Europea)	REENCAUCHE EN CALIENTE (CYCLONE)
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	225/70R15	225/70R15	225/70R15	225/70R15	225/70R15
CONSTRUCCIÓN DEL NEUMÁTICO	RADIAL	RADIAL	RADIAL	RADIAL	RADIAL
ÍNDICE DE CARGA	100	100	100	109	95
MÁXIMA CAPACIDAD DE CARGA	800 kg	800 kg	800 kg	1030 kg	1030 kg
TIPO DE RIN	15x6.5 J	15x6.5 J	15x6.5 J	15x6.5 J	15x6.5 J
ETIQUETA DE NIEVE	M+S	M+S	M+S	M+S	NO TIENE
DIÁMETRO DE NEUMÁTICO	710 mm	710 mm	710 mm	710 mm	710 mm
FECHA DE FABRICACIÓN	4515	3513	4515	0111	2016
PAÍS DE ORIGEN	HECHO EN ECUADOR	MADE IN THAILAND	MADE IN CHINA	HECHO EN ECUADOR	HECHO EN ECUADOR
ÍNDICE DE VELOCIDAD	S (180 km/h)	S (180 km/h)	T (190 km/h)	R (170 km/h)	L (120 km/h)

<b>PRESIÓN MÁXIMA DE INFLADO</b>	300 kPa (44 Psi)	300 kPa (44 Psi)	300 kPa (44 Psi)	380 kPa (55 Psi)	250 kPa (36 Psi)
<b>DOT</b>	1H30M9D	NYUU 2AW4	AGFF0051303 15	DOT 1H8Y ETF2	NO TIENE
<b>MODELO</b>	GRABBER AT	Wrangler AT/S	AG03	VANCO	MONTAÑA

(Fuente: Autores)

#### 4.1.1. Descripción del vehículo para el análisis del comportamiento dinámico en pista

El vehículo utilizado para las pruebas en pista, se consideró que sea de producción nacional, siendo esta una Mazda Bt-50 año 2014 (Tabla 4.2), misma que está equipada con frenos ABS.

**Tabla 4.2** Características del vehículo de prueba.

<b>PARÁMETROS DEL VEHÍCULO DE PRUEBA</b>			
<b>Vehículo</b>	PICK-UP	<b>Potencia Del Motor ( Kw )</b>	157,30 HP /3500 RPM
<b>Fabricante</b>	MAZDA	<b>Peso En Vacío ( Kg )</b>	1850
<b>Marca</b>	BT-50	<b>Peso Bruto Del Vehículo ( Kg )</b>	3000
<b>Año</b>	2014	<b>Tipo De Rin</b>	15 X 6.5 J
<b>Serie De Motor</b>	M-129331	<b>Diámetro Del Círculo Del Rin</b>	15
<b>VIN</b>	M-129331	<b>Tipo De Vehículo</b>	DOBLE CABINA 4X4

(Fuente: Autores)

#### 4.2. Pruebas del comportamiento dinámico de los neumáticos en el laboratorio

Aplicando la metodología desarrollada en este proyecto de investigación se ejecuta las pruebas de laboratorio y pista, mismas que permiten observar el comportamiento dinámico en función de las variables antes descritas en el presente capítulo.

Con el fin de garantizar los resultados de las pruebas de los neumáticos, se selecciona 3 muestras de la misma marca, a las cuales se les ejecuta las pruebas y a continuación se detallan los resultados obtenidos de cada marca de neumático.

#### **4.2.1. Resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio con el tambor dinamométrico externo (máquina de resistencia y velocidad)**

Con la metodología desarrollada para la ejecución de las pruebas en la máquina de resistencia y velocidad, se obtuvo los siguientes resultados, en base a la constante de carga y las variables de velocidad y presión de inflado del neumático.

Para la obtención de los datos a analizar se colocó en la maquina los neumáticos de prueba, para proceder con la aplicación de las variables antes mencionadas, como se observa en la Figura 4.1



**Figura 4.1** Neumático para prueba.

(Fuente: Autores)

Para verificar la presión de prueba a la cual van a ser sometidos los neumáticos es muy importante medir con un instrumento calibrado (Figura 4.2), el cual permite tener una mejor trazabilidad de la medición.

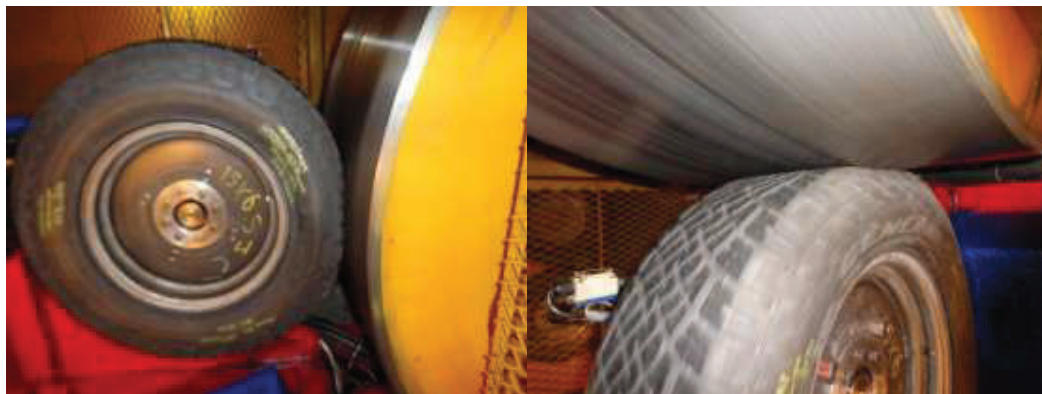




**Figura 4.2** Medición de la presión de inflado antes de la prueba.

(Fuente: Autores)

Para medición de la fuerza y velocidad es importante tener en cuenta los datos del rotulado del neumático. En la Figura 4.3, se observa la deformación del neumático, ante el tambor dinamométrico, cabe indicar que dicho tambor permite aplicar variables con lapsos de tiempos ininterrumpidos, algo que no se puede lograr en un vehículo.

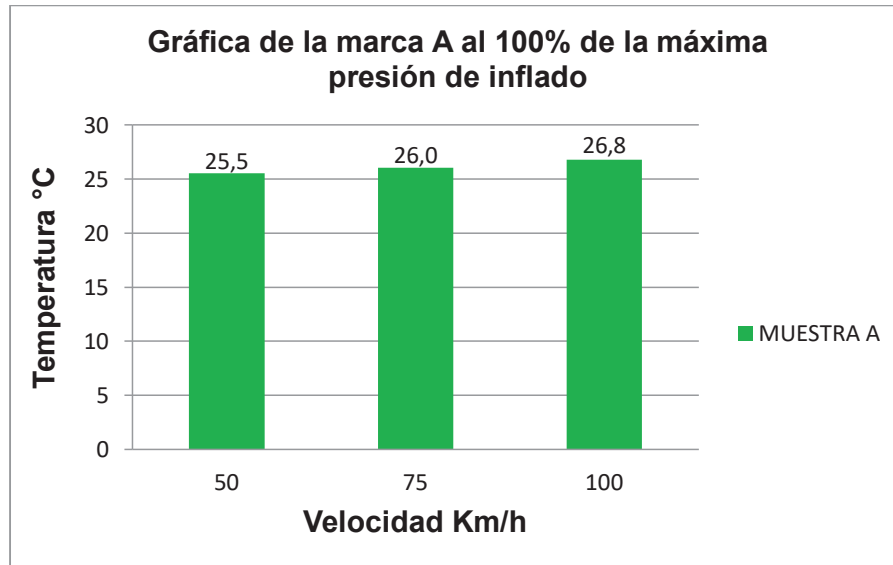


**Figura 4.3** Aplicación de carga al tambor dinamométrico.

(Fuente: Autores)

Tomando en cuenta todos los factores de inicio de prueba, se ejecuta la misma metodología en los neumáticos nuevos, reencauchados en frío y en caliente. En la Figura 4.4 se observa la variación de la temperatura del neumático en función de la presión de inflado al 100% a una velocidad constante.

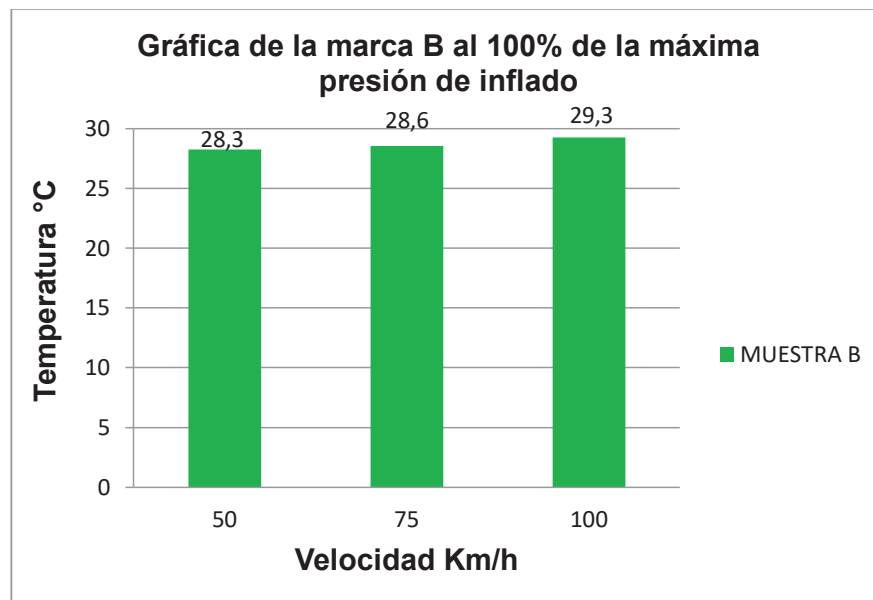
A su vez se realiza pruebas complementarias para medir la incidencia de la velocidad al realizar pruebas con 50 km/h y 75 km/h.



**Figura 4.4** Marca A al 100% de la presión de inflado.

(Fuente: Autores)

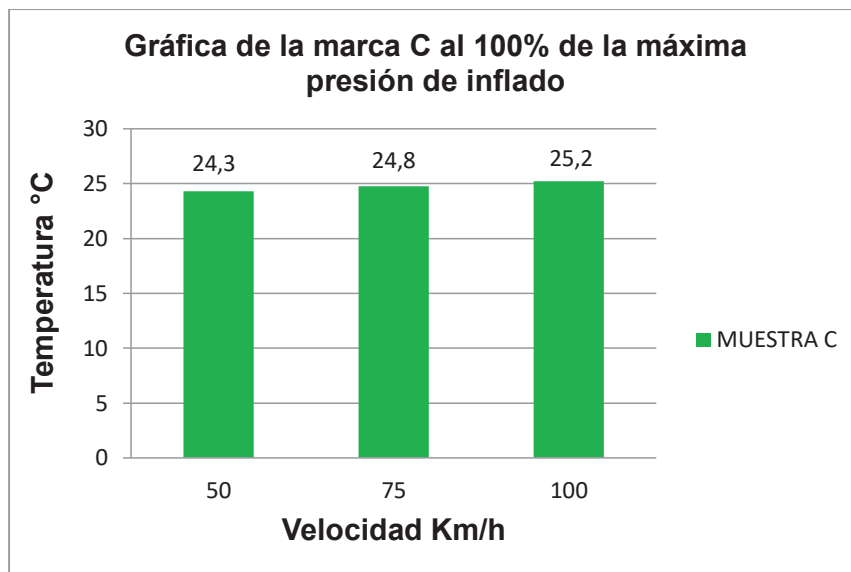
En la Figura 4.5 se observa la variación de la temperatura del neumático en función de la presión de inflado al 100% y la variación de la velocidad.



**Figura 4.5** Marca B al 100% de la presión de inflado.

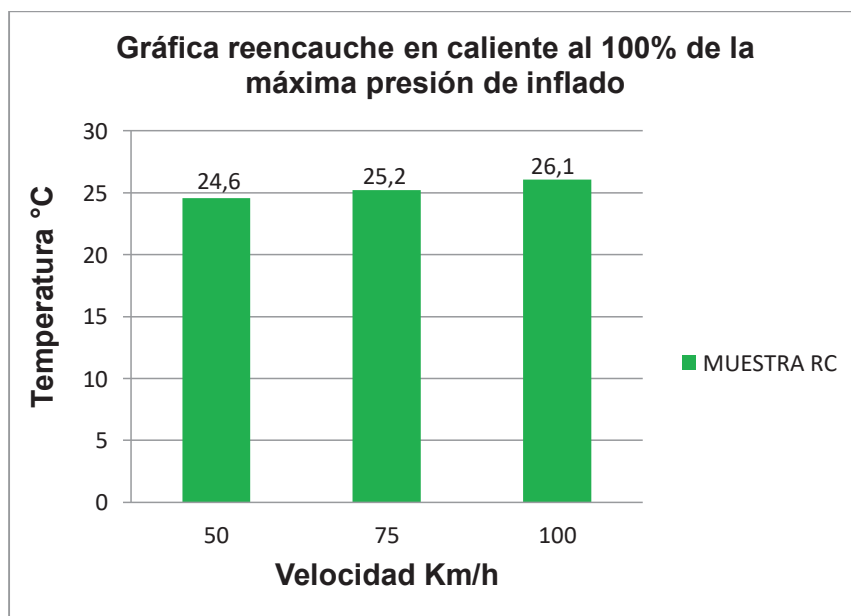
(Fuente: Autores)

En la Figura 4.6 se observa la variación de la temperatura del neumático en función de la presión de inflado al 100% y la variación de la velocidad.



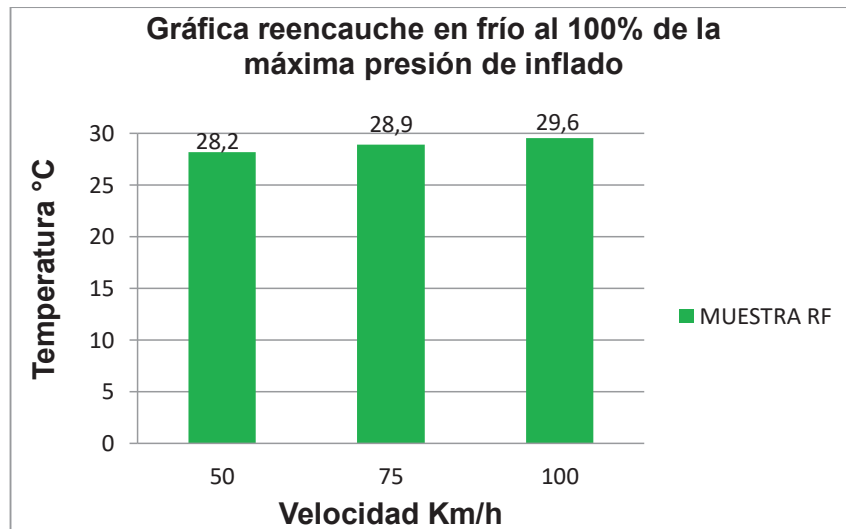
**Figura 4.6** Marca C al 100% de la presión de inflado.  
(Fuente: Autores)

En la Figura 4.7 se observa la variación de la temperatura del neumático en función de la presión de inflado al 100% y la variación de la velocidad.



**Figura 4.7** Reencauche en caliente al 100% de la presión de inflado.  
(Fuente: Autores)

En la Figura 4.8 se observa la variación de la temperatura del neumático en función de la presión de inflado al 100% y la variación de la velocidad.



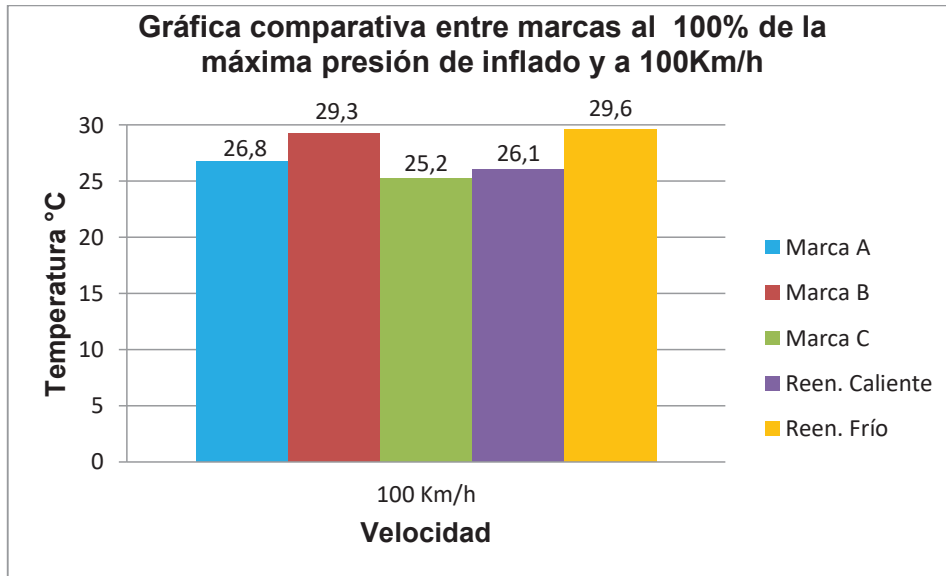
**Figura 4.8** Reencache en frío al 100% de la presión de inflado.

(Fuente: Autores)

#### 4.2.1.1. Tablas comparativas al 100% de la máxima presión de inflado

##### **Tabla comparativa entre neumáticos nuevos y reencachados, al 100% de la máxima presión de inflado y a diferentes velocidades**

Con los datos obtenidos de los resultados emitidos por la máquina de resistencia y velocidad, se realiza el análisis comparativo entre los diferentes neumáticos en base a la constante de carga, presión de inflado y la variación de la velocidad. En la Figura 4.9 se observa la variabilidad de la temperatura de los diferentes neumáticos durante el desempeño dinámico a una velocidad constante de 100Km/h.



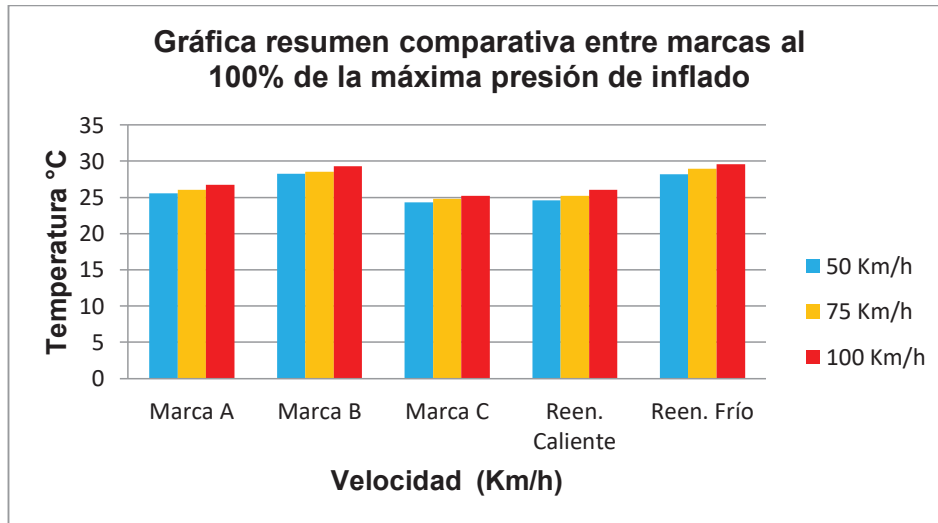
**Figura 4.9** Análisis comparativo del desempeño de los neumático al 100% de presión y 100Km/h.  
(Fuente: Autores)

En las pruebas desarrolladas de laboratorio bajo la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 2097:2012, los neumáticos cumplen con los requerimientos establecidos en la misma, la cual señala que el neumático no debe presentar evidencias visuales, pérdida de presión.

#### 4.2.2. Pruebas complementarias

##### 4.2.2.1. Análisis comparativo de la incidencia de la velocidad

En la Figura 4.10 se observa el resumen del análisis comparativo del desempeño dinámico de los neumáticos a una presión de inflado constante del 100% y a las diferentes velocidades utilizadas, en donde se observa que a menor velocidad el neumático no eleva su temperatura, dentro de los parámetros dados por la norma, pero si al aumentar la velocidad la temperatura incrementa. Ver informes en anexo 1.

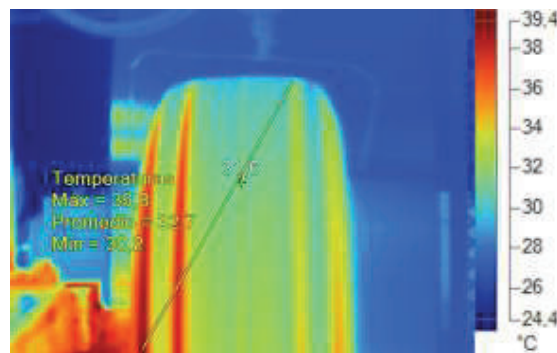


**Figura 4.10** Resumen del análisis comparativo del desempeño de los neumáticos al 100% de la presión de inflado.

(Fuente: Autores)

#### 4.2.3. Pruebas complementaria con la cámara termográfica

Con la metodología normativa para la ejecución de las pruebas en la máquina de resistencia y velocidad, y la aplicación de la cámara termográfica, con la cual se capturo la imagen de la variabilidad de la temperatura de los neumáticos en diferentes puntos dinámicos, en función de la constante de carga y las variables de velocidad y presión de inflado del mismo. Y se realizó el análisis del informe emitido por la cámara termográfica la cual permite visualizar los puntos críticos de temperatura, como se observa en la Figura 4.11.

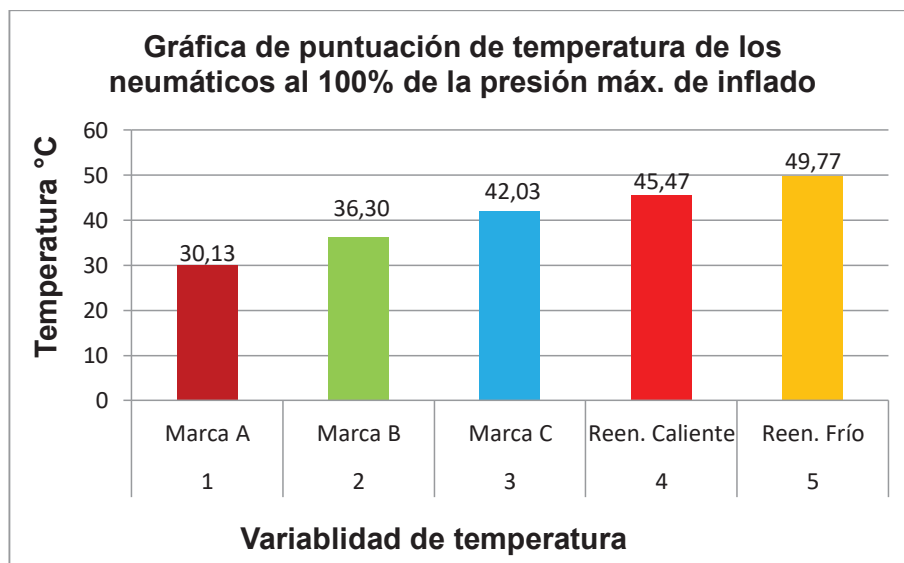


**Figura 4.11** Captura térmica del neumático.

(Fuente: Autores)

A todos los neumáticos que fueron ingresados a las pruebas se les realizó el mismo tipo de análisis tal como se observa en la Figura 4.12, en la cual se visualiza la variación de la temperatura del neumático en diferentes puntos dinámicos obtenidos por medio de la cámara termográfica, en función de la presión de inflado al 60% y la variación de la velocidad.

Con los datos obtenidos de los análisis comparativos del desempeño dinámico del neumático, se observa la variabilidad de temperatura entre los neumáticos nuevos y reencauchados en frío y caliente, en función de la carga constante. Ver anexo 2.



**Figura 4.12** Variabilidad de temperatura de neumáticos nuevos y reencauchados al 100% de la presión de inflado.

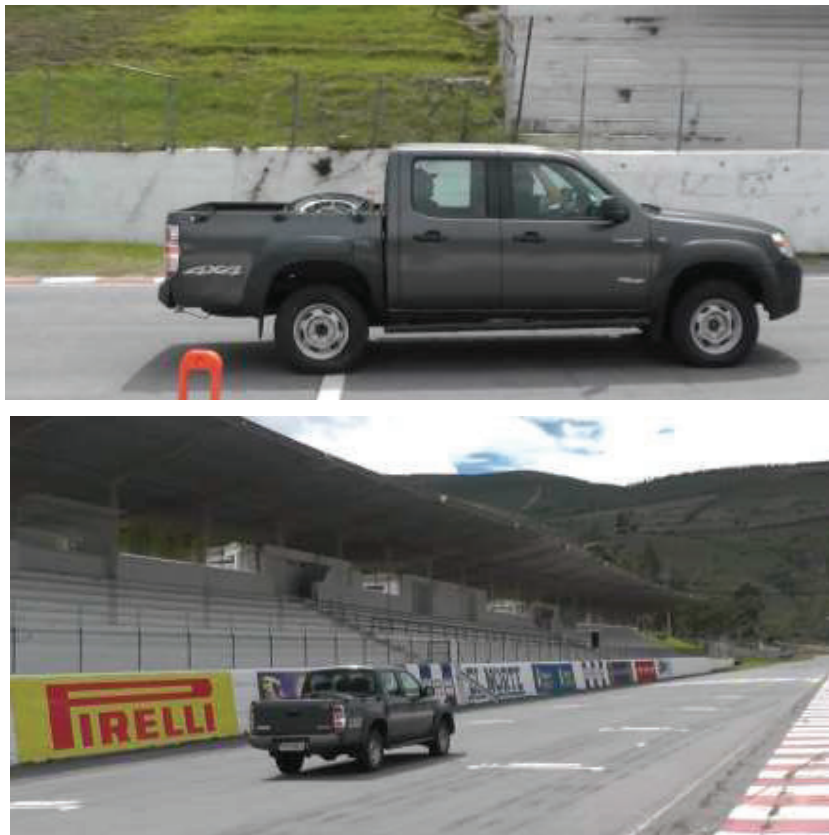
(Fuente: Autores)

### 4.3. Pruebas del comportamiento dinámico de los neumáticos en pista

Aplicando la metodología desarrollada en este proyecto de investigación se ejecuta las pruebas de pista, mismas que permiten observar el comportamiento dinámico en función de las variables de presión, velocidad.

### 4.3.1. Resultados obtenidos en las pruebas de pista

Para la medición de la resistencia a la rodadura de los neumáticos nuevos y reencauchados, es importante aplicar toda la metodología propuesta en la investigación, con el fin de garantizar los resultados y la seguridad de los ocupantes, como se observa en la Figura 4.13, es importante ir en el centro de la pista, trazar una línea de referencia transversal como punto cero de la medición y mantener las ventanas cerradas.



**Figura 4.13** Vehículo de pruebas y ubicación en pista para medición de la resistencia a la rodadura

(Fuente: Autores)

#### 4.3.1.1. Resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la rodadura

Con la metodología desarrollada para la ejecución de las pruebas de resistencia a la rodadura en pista, se obtuvo los siguientes resultados, en base a las constante de carga, velocidad y la variación de la presión de inflado del neumático, cabe indicar que la presión de ensayo normativa es el 60% de la máxima presión.



En la Figura 4.14 se observa el desplazamiento alcanzado por el neumático en función de la presión de inflado.

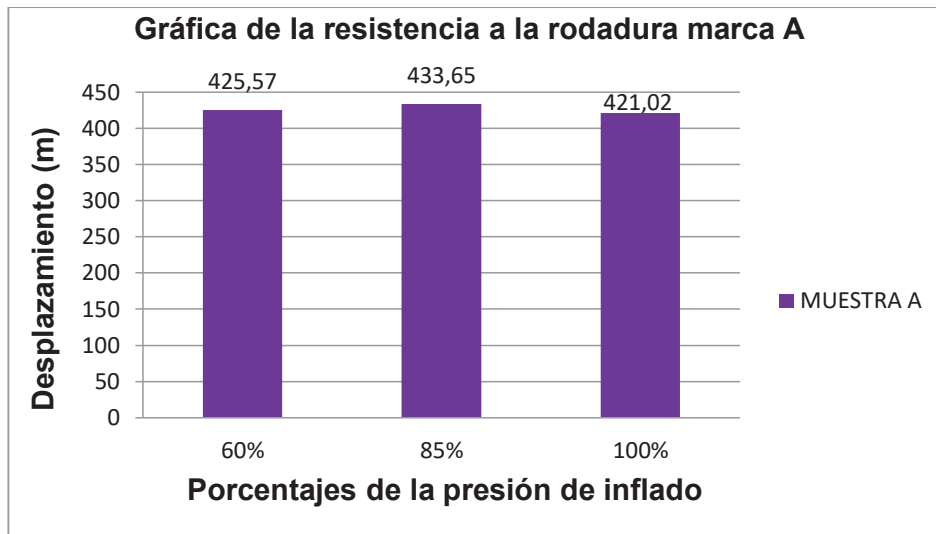


Figura 4.14 Resistencia a la rodadura de la marca A.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.15 se observa el desplazamiento alcanzado por el neumático marca B en función de la presión de inflado.

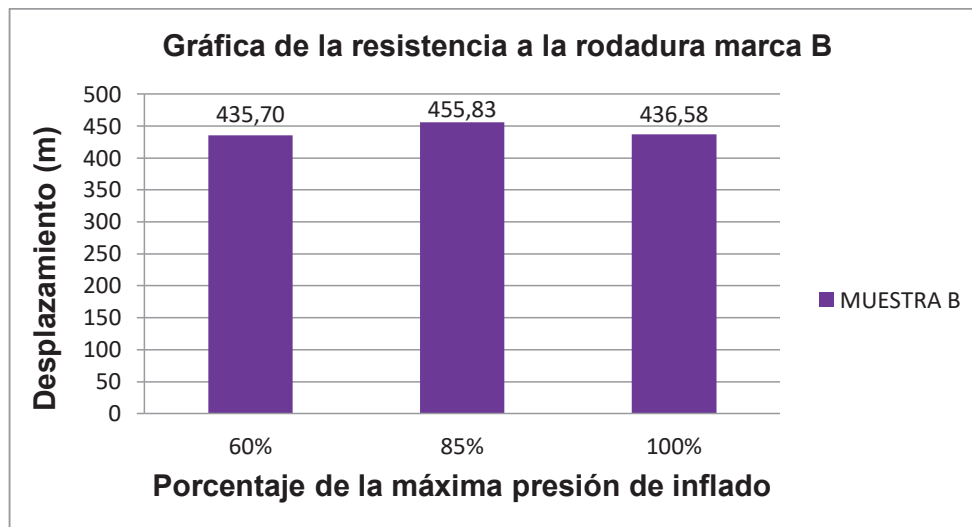


Figura 4.15 Resistencia a la rodadura de la marca A.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.16 se observa el desplazamiento alcanzado por el neumático en función de la presión de inflado.

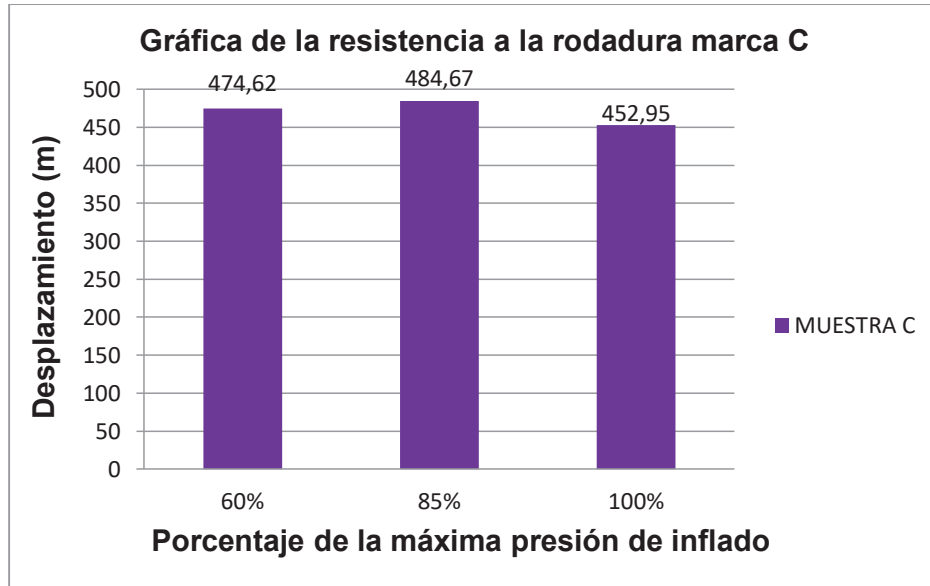


Figura 4.16 Resistencia a la rodadura de la marca C.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.17 se observa el desplazamiento alcanzado por el neumático en función de la presión de inflado.

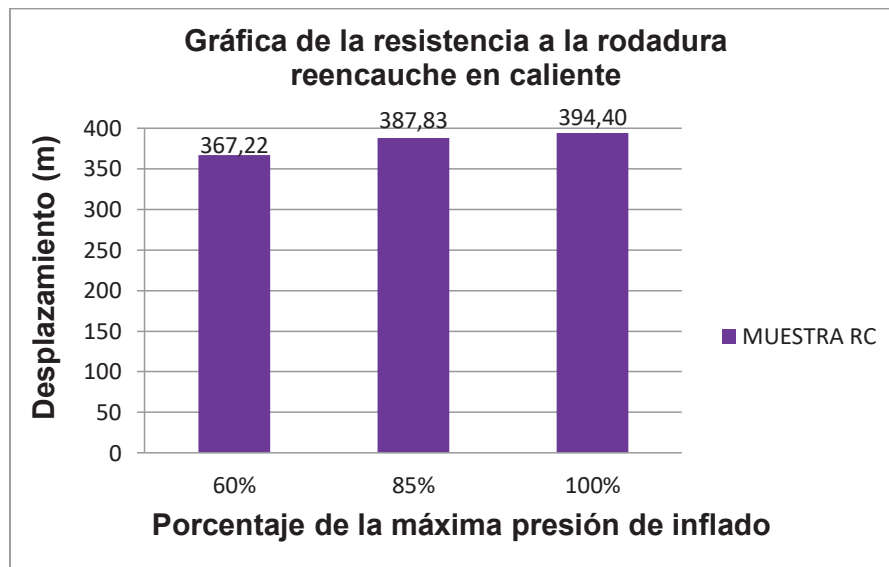
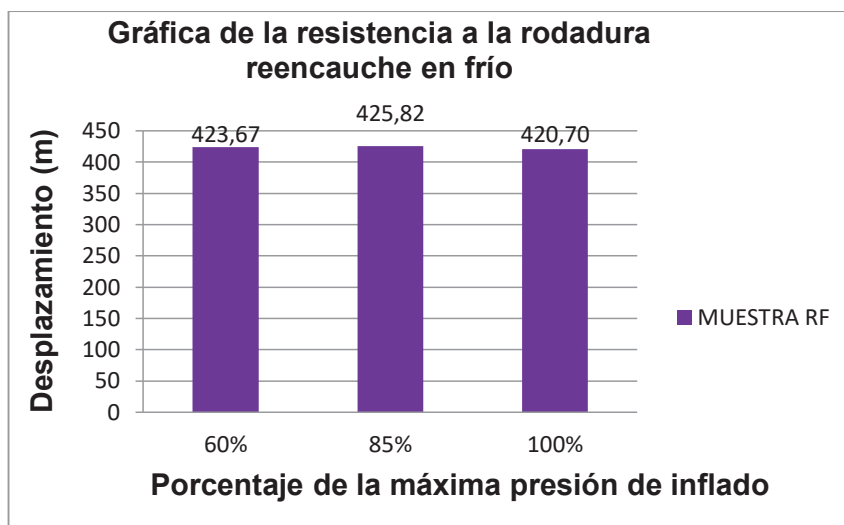


Figura 4.17 Resistencia a la rodadura del reencauche en caliente.

(Fuente: Autores)

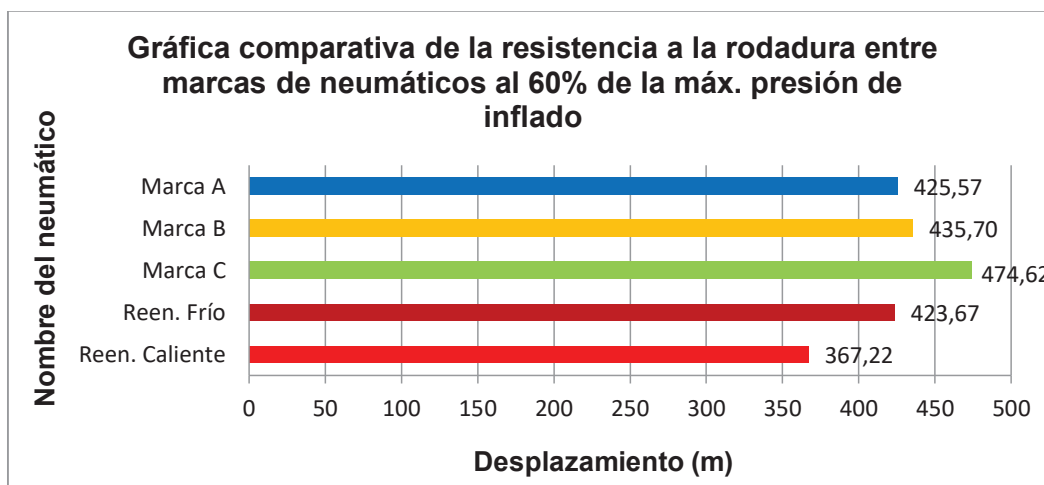
En la Figura 4.18 se observa el desplazamiento alcanzado por el neumático en función de la presión de inflado.



**Figura 4.18** Resistencia a la rodadura del reencauche en frío.

(Fuente: Autores)

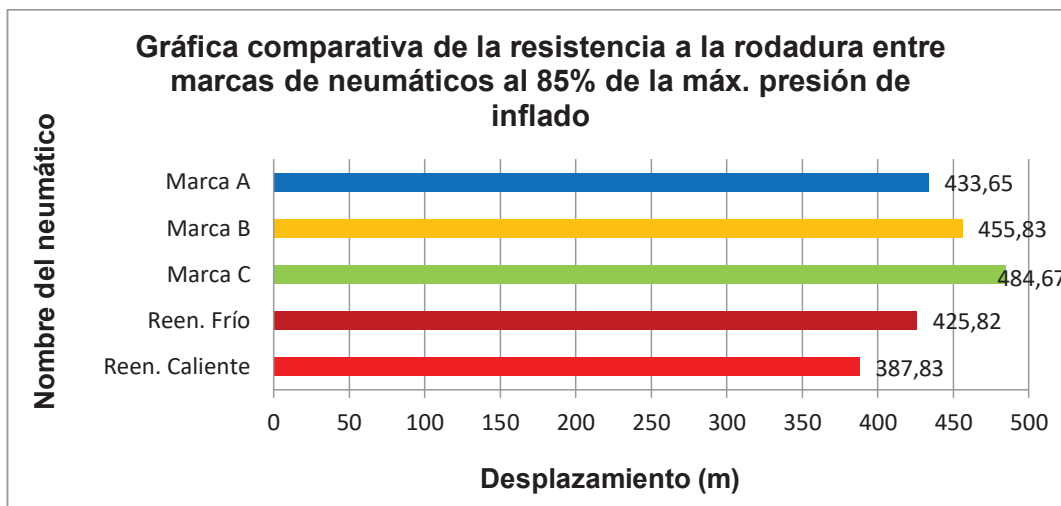
Con los datos obtenidos de las pruebas de resistencia a la rodadura en pista, se realiza el análisis comparativo entre los diferentes neumáticos, en base a las constantes de carga, velocidad y la variación de la presión de inflado, en la Figura 4.19 se observan los diferentes desplazamientos generados por los neumáticos nuevos, reencauchados en frío y en caliente, durante la prueba de resistencia a la rodadura, con una presión de inflado del 60%(normativo), 85% y 100% (complementario).



**Figura 4.19** Resistencia a la rodadura con el 60% de la presión de inflado.

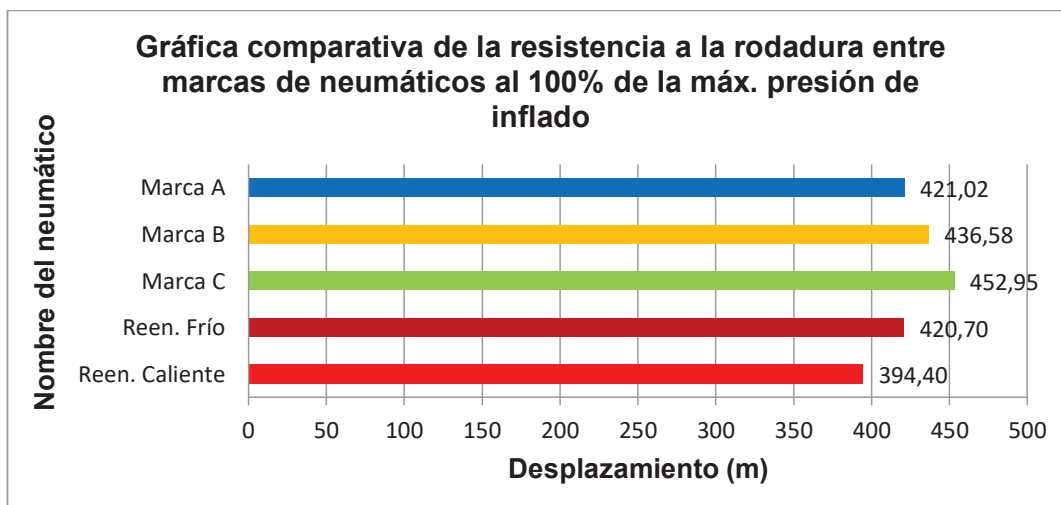
(Fuente: Autores)

En la Figura 4.20 se observan los diferentes desplazamientos generados por los neumáticos nuevos y reencauchados en frío y en caliente, durante la prueba de resistencia a la rodadura, con una presión de inflado del 85%.



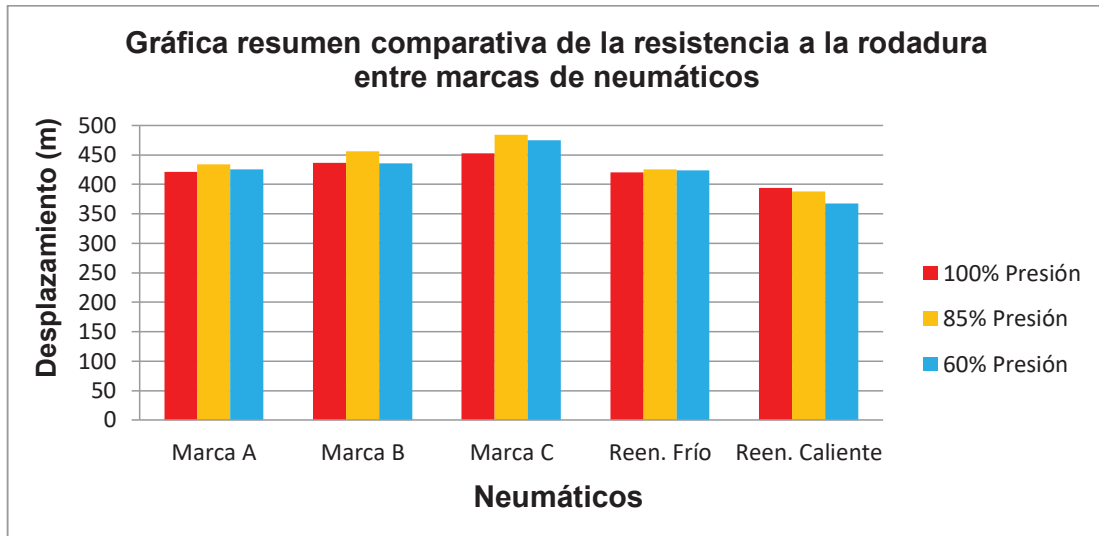
**Figura 4.20** Resistencia a la rodadura con el 85% de la presión de inflado.  
(Fuente: Autores)

En la Figura 4.21 se observan los diferentes desplazamientos generados por los neumáticos nuevos y reencauchados en frío y en caliente, durante la prueba de resistencia a la rodadura, con una presión de inflado del 100%.



**Figura 4.21** Resistencia a la rodadura con el 100% de la presión de inflado.  
(Fuente: Autores)

En la Figura 4.22 se observa el resumen del análisis comparativo de la resistencia a la rodadura de los diferentes neumáticos, durante el desempeño dinámico, en base a una carga y velocidad constante, y la variación de la presión de inflado.



**Figura 4.22** Resumen comparativo de la resistencia a la rodadura de los neumáticos a diferentes presiones.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.23 se observa la diferencia de distancias de resistencia a la rodadura entre marca C y reencauche en caliente, ver anexo 3 registros de pruebas.



**Figura 4.23** Distancia de resistencia a la rodadura Marca C (izq.), Reencauche en caliente (der.)

(Fuente: Autores)

#### 4.3.2. Resultados obtenidos en la prueba de tracción del neumático (frenado)

Para la medición de las pruebas de tracción (frenado) es de vital importancia trazar en la pista una línea transversal como punto de partida, con la finalidad de tener un punto de referencia cero, para proceder con la medición de la distancia de frenado, tal como se observa en la Figura 4.24.

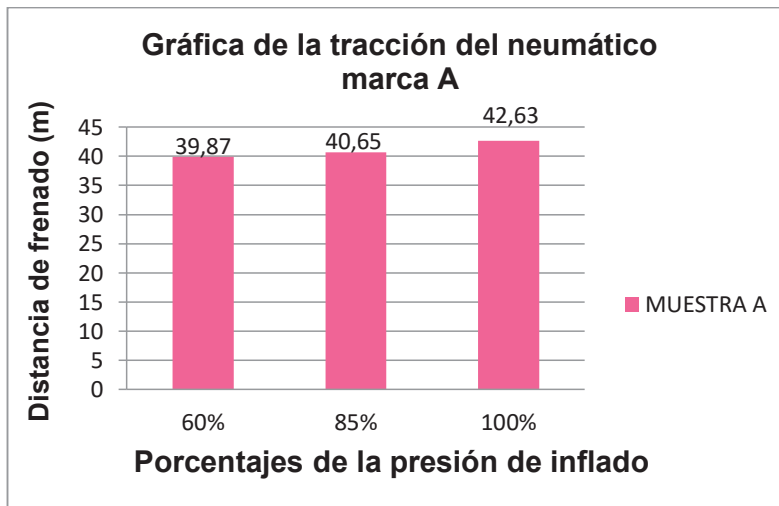


**Figura 4.24** Medición de la distancia de frenado.

(Fuente: Autores)

Con la metodología desarrollada para la ejecución de las pruebas de tracción del neumático (frenado) en pista, se obtuvo los siguientes resultados, en base a las constante de carga, velocidad y la variación de la presión de inflado del neumático.

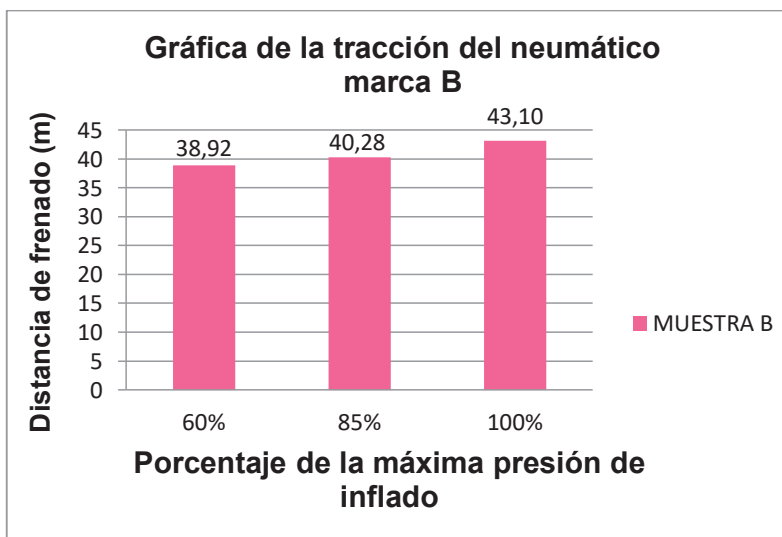
En la Figura 4.25 se observa la distancia de frenado alcanzada por el neumático en función de la presión de inflado.



**Figura 4.25** Tracción del neumático (frenado) de la marca A.

(Fuente: Autores)

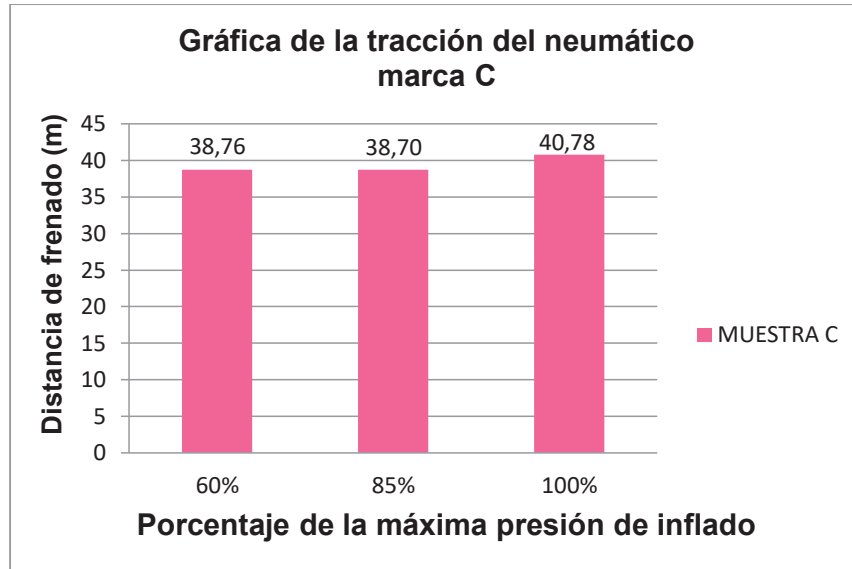
En la Figura 4.26 se observa la distancia de frenado alcanzada por el neumático en función de la presión de inflado.



**Figura 4.26** Tracción del neumático (frenado) de la marca B.

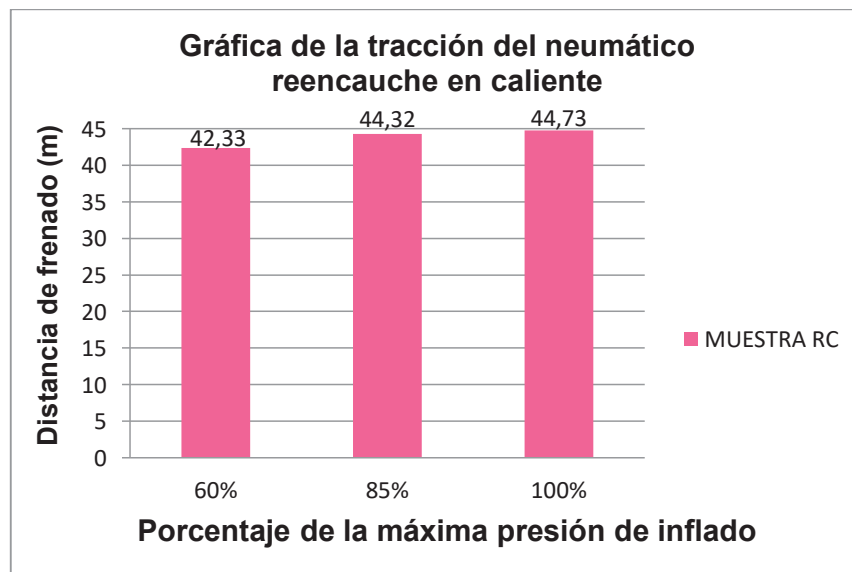
(Fuente: Autores)

En la Figura 4.27 se observa la distancia de frenado alcanzada por el neumático en función de la presión de inflado.



**Figura 4.27** Tracción del neumático (frenado) de la marca C.  
(Fuente: Autores)

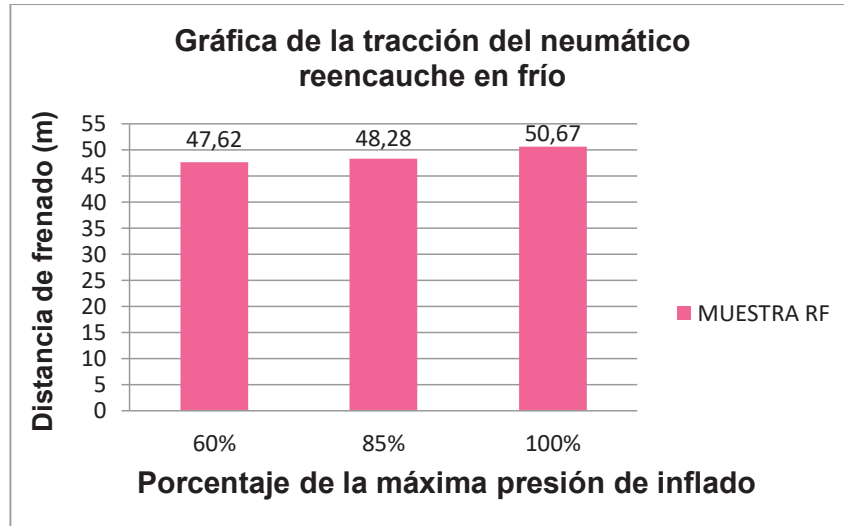
En la Figura 4.28 se observa la distancia de frenado alcanzada por el neumático en función de la presión de inflado.



**Figura 4.28** Tracción del neumático (frenado) de reencauche en caliente.  
(Fuente: Autores)



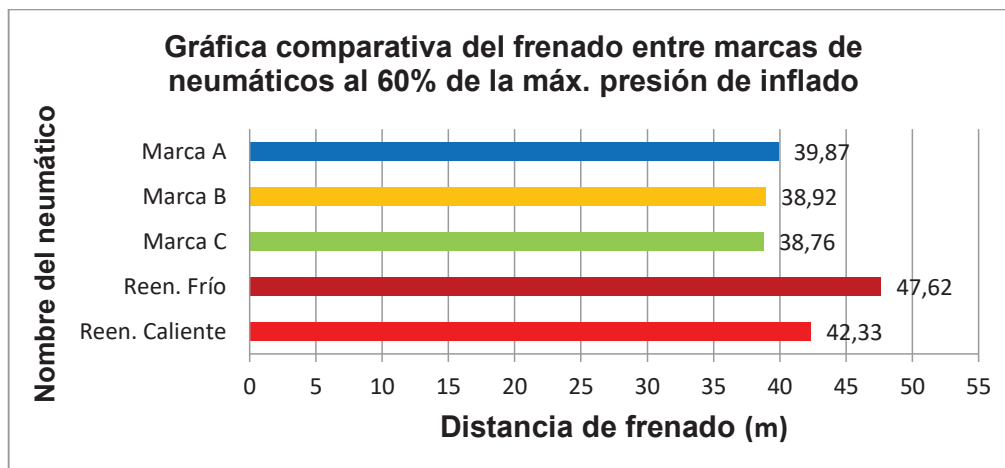
En la Figura 4.29 se observa la distancia de frenado alcanzada por el neumático en función de la presión de inflado.



**Figura 4.29** Tracción del neumático (frenado) de reencauche en frío.

(Fuente: Autores)

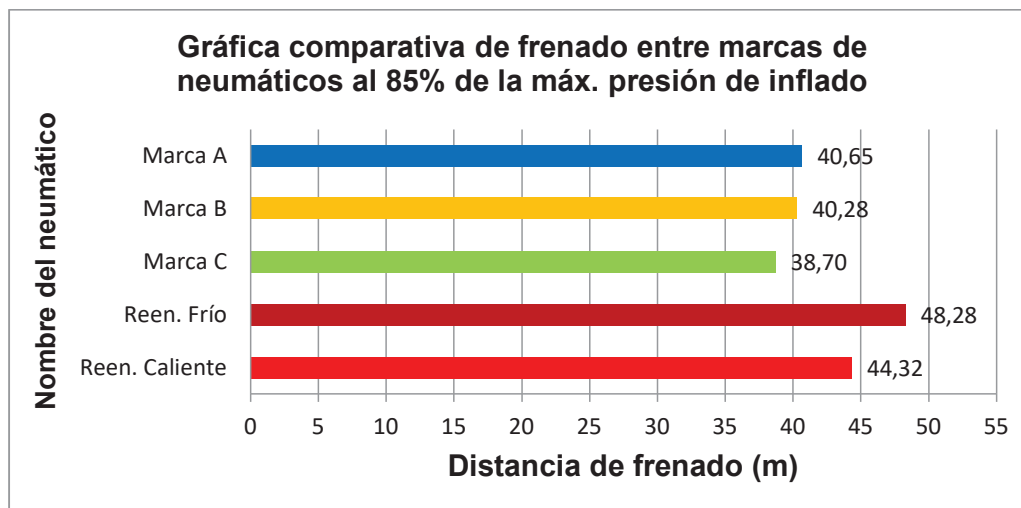
Con los datos obtenidos de las pruebas de tracción del neumático (frenado) en pista, se realiza el análisis comparativo entre los diferentes neumáticos, en base a las constantes de carga, velocidad y la variación de la presión de inflado, en la Figura 4.30 se observan las distancias de frenado generadas por los neumáticos nuevos y reencauchados en frío y en caliente, con una presión de inflado del con una presión de inflado del 60%(normativo), 85% y 100% (complementario).



**Figura 4.30** Tracción del neumático (frenado) con el 60% de la presión de inflado.

(Fuente: Autores)

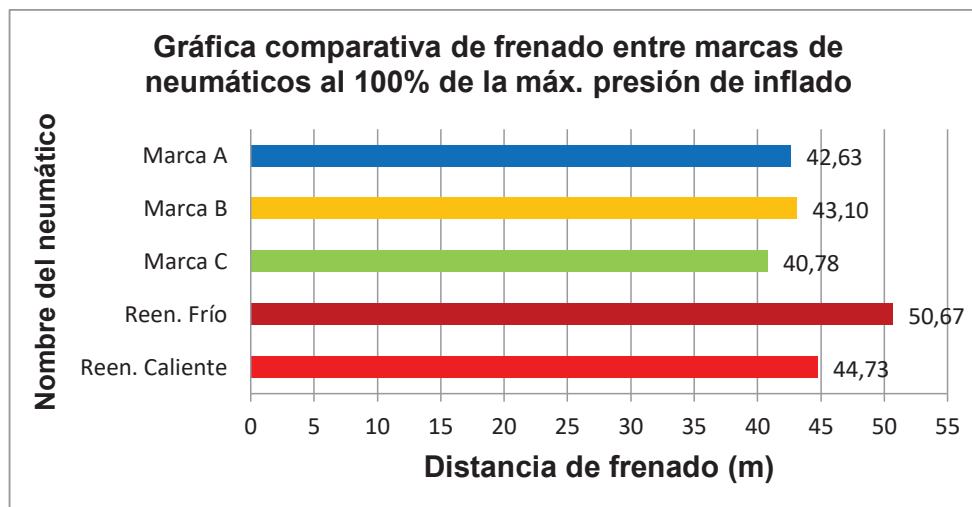
En la Figura 4.31 se observan las distancias de frenado generadas por los neumáticos nuevos y reencauchados en frío y en caliente, durante la prueba de tracción del neumático (frenado), con una presión de inflado del 85%.



**Figura 4.31** Tracción del neumático (frenado) con el 85% de la presión de inflado.

(Fuente: Autores)

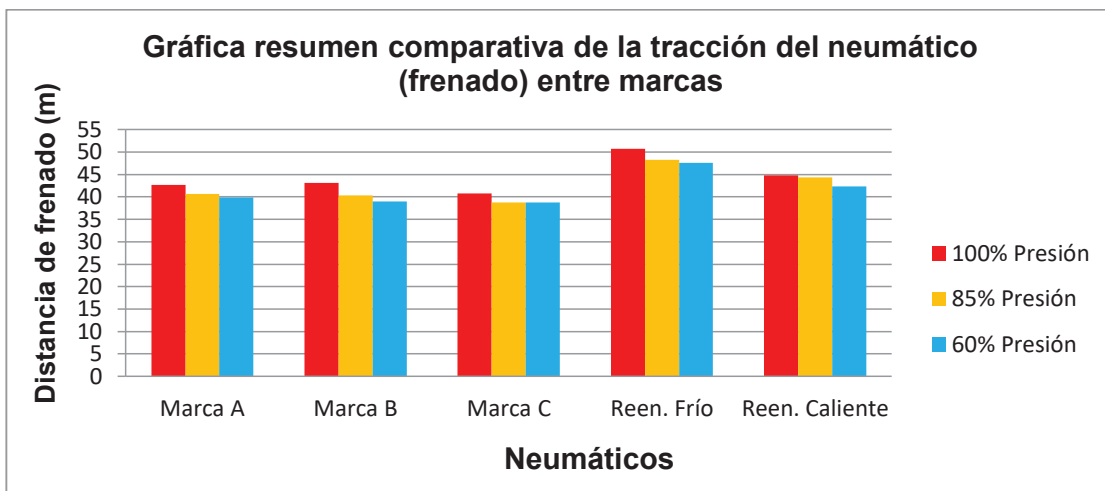
En la Figura 4.32 se observan las distancias de frenado generadas por los neumáticos nuevos y reencauchados en frío y en caliente, durante la prueba de tracción del neumático (frenado), con una presión de inflado del 100%.



**Figura 4.32** Tracción del neumático (frenado) con el 100% de la presión de inflado.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.33 se observa el resumen del análisis comparativo de la tracción de los neumáticos (frenado), durante el desempeño dinámico, en base a una carga y velocidad constante, y variación de la presión de inflado.



**Figura 4.33** Resumen comparativo de la tracción de los neumáticos (frenado) a diferentes presiones.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.34 se observa las distancias de frenado entre neumáticos nuevos Marca C y reencauchados en frío, las cuales tienen una diferencia muy notoria, como también se puede visualizar en las figuras, ver anexo 3 registros de pruebas.

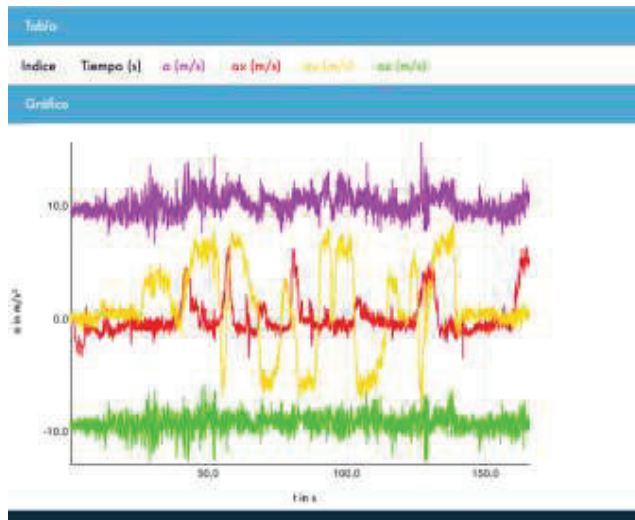




**Figura 4.34** Distancia de frenado (sup.) Marca C, (inf.) Reencauche en frío.  
(Fuente: Autores)

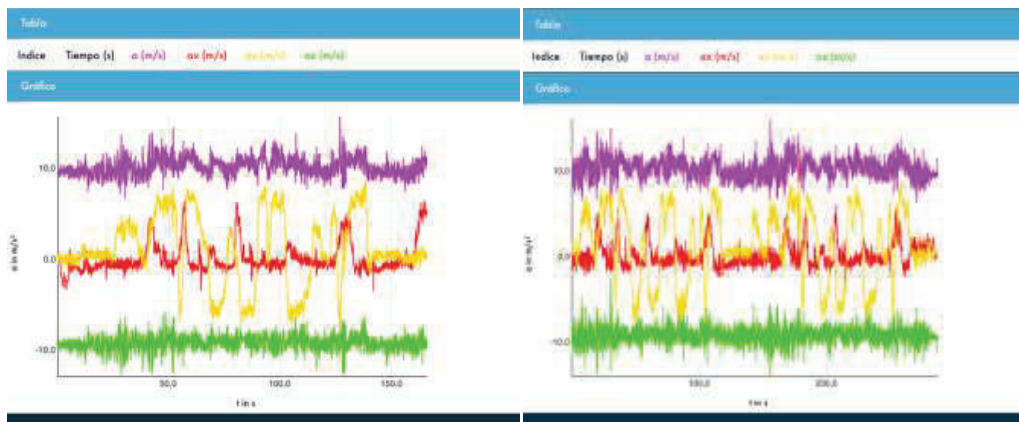
### 4.3.3. Pruebas complementarias de pista

Se realiza las pruebas complementarias, en las cuales se mide la temperatura de los neumáticos luego de dar una prueba de ruta a todo el contorno de la pista y a su vez se mide las aceleraciones que se producen en su trayecto y las cuales son medidas por un acelerómetro (Figura 4.35), cabe indicar que las pruebas fueron ejecutadas por un piloto profesional de la fórmula 2 (ver anexo 8), ver anexo 3 registros de pruebas.



**Figura 4.35** Medición de desplazamientos en pista.  
(Fuente: Autores)

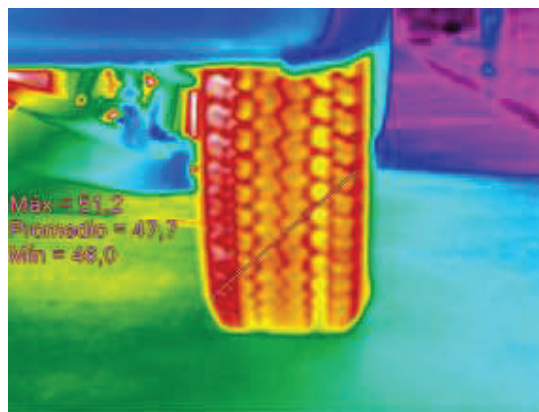
En base al recorrido realizado en la pista del autódromo y los datos del acelerómetro, se determina que los neumáticos Marca B desempeñan un excelente comportamiento dinámico en la adherencia, debido a que la aceleración se mantuvo bajo 1 gravedad, en relación a los demás neumáticos, de igual manera los neumáticos marca A no elevan la temperatura gracias a las características del neumático, es decir el Polibutadieno (PBD) es el componente, que le permite tener mejor adherencia y una menor resistencia a la rodadura. (Aparicio, Vera, & Díaz , 1995), en la Figura 4.91 se observa la diferencia de desplazamientos entre neumáticos Marca A y reencauche en frío, en los cuales la Marca A tiene menor fuerza de desplazamiento que un neumático reencauchado (Figura 4.36).



**Figura 4.36** Desplazamientos Marca A (izq.) y Reencauche en frío (der.).

(Fuente: Autores)

En la (Figura 4.37), se observa la elevación de temperatura entre 46°C a 51 °C del neumático marca B.



**Figura 4.37** Temperatura del neumático Marca B

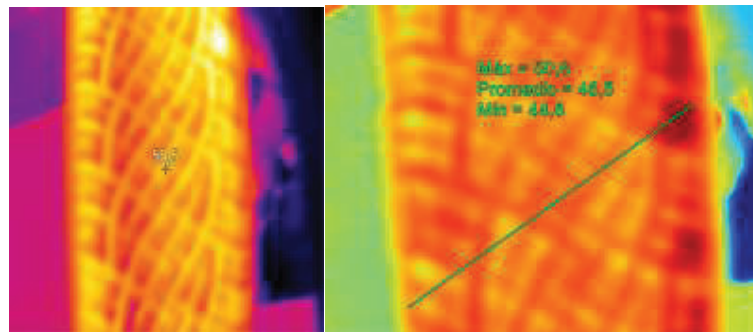
(Fuente: Autores)

#### 4.4. Evidencias visuales de los neumáticos puestos a prueba en la pista

Como evidencias visuales, se tiene la variación de la temperatura del neumático luego de haber ejecutado la prueba de ruta (distancia de pista 3,2 km), a una velocidad entre 80 a 100 km/h, la cual fue registrada por medio de una cámara termográfica, después de la prueba. Cabe mencionar que esta variación de la temperatura afecta a las propiedades del neumático, ocasionando desgaste de la banda de rodadura.

##### 4.4.1. Neumático marca A

En la Figura 4.38 se evidencia la variación de la temperatura del neumático marca A.



**Figura 4.38** Variación de la temperatura del neumático marca A.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.39 se evidencia el desgaste de la banda de rodadura del neumático marca A.



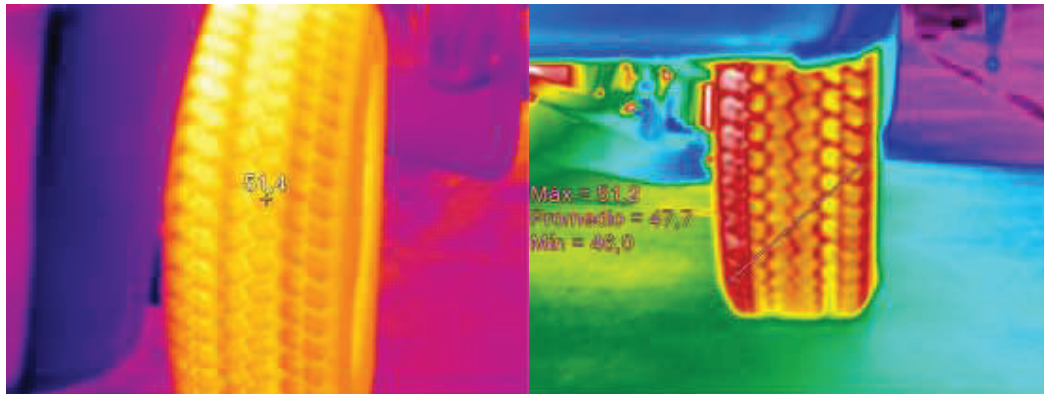
**Figura 4.39** Desgaste del neumático marca A.

(Fuente: Autores)



#### 4.4.2. Neumático marca B

En la Figura 4.40 se evidencia la variación de la temperatura del neumático marca B.



**Figura 4.40** Variación de la temperatura del neumático marca B.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.41 se evidencia el desgaste de la banda de rodadura del neumático marca B.

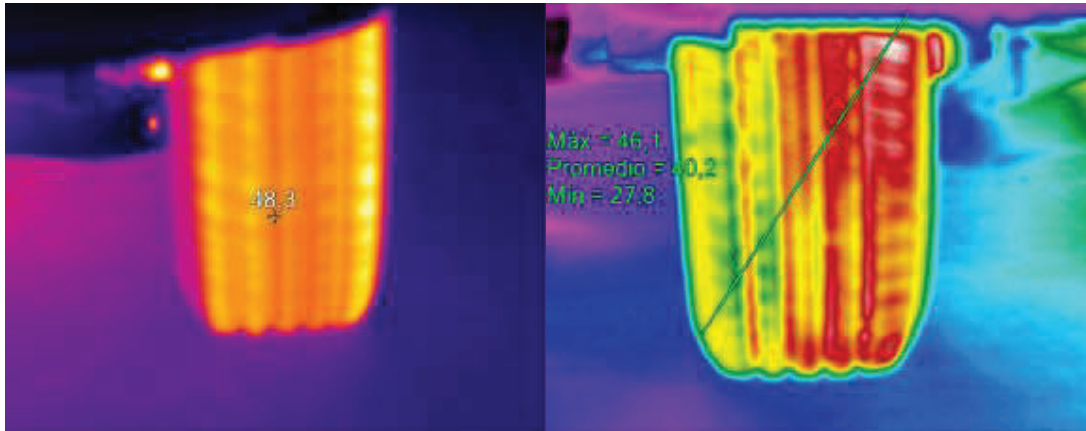


**Figura 4.41** Desgaste del neumático marca B.

(Fuente: Autores)

#### 4.4.3. Neumático marca C

En la Figura 4.42 se evidencia la variación de la temperatura del neumático marca C.



**Figura 4.42** Variación de la temperatura del neumático Marca C.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.43 se evidencia el desgaste de la banda de rodadura del neumático marca C.



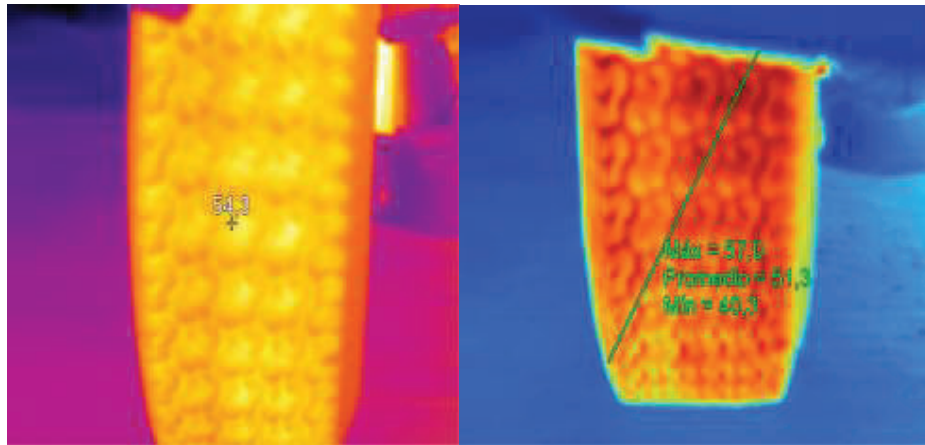
**Figura 4.43** Desgaste del neumático marca C.

(Fuente: Autores)



#### 4.4.4. Neumático reencauche en frío

En la Figura 4.44 se evidencia la variación de la temperatura del neumático reencauchado en frío.



**Figura 4.44** Variación de la temperatura del neumático reencauche en frío.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.45 se evidencia el desgaste de la banda de rodadura del neumático reencauchado en frío.

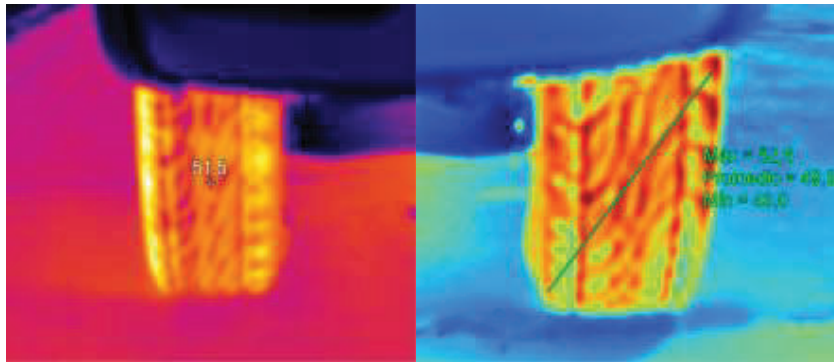


**Figura 4.45** Desgaste del neumático reencauchado en frío.

(Fuente: Autores)

#### 4.4.5. Neumático reencauche en caliente

En la Figura 4.46 se evidencia la variación de la temperatura del neumático reencauchado en caliente.



**Figura 4.46** Variación de la temperatura del neumático reencauche en caliente.

(Fuente: Autores)

En la Figura 4.47 se evidencia el desgaste de la banda de rodadura del neumático reencauchado en caliente, luego de haber finalizado las diferentes pruebas a las cuales fue sometido, tomando en cuenta que recorrió a diferentes velocidades y presión de inflado. En este neumático se visualiza que tiene un desgaste irregular en todo el perímetro del rodamiento, ya que tiene un mayor desgaste en los hombros del neumático.



**Figura 4.47** Desgaste del neumático reencauchado en caliente.

(Fuente: Autores)

Cabe mencionar que estos neumáticos no son uniformes en su circunferencia, lo cual se evidencia al momento de las pruebas, ya que el volante de la dirección tiene vibración, lo cual produce inconvenientes al Piloto en la maniobrabilidad del vehículo y dicha vibración es transmitida a los ocupantes del mismo.

#### 4.4.5.1. Análisis de resultados de neumáticos

Como parte final de todas las pruebas realizadas a los neumáticos, se ejecutó una inspección visual minuciosa de las carcacas, con la finalidad de observar si presentaban separaciones de la banda de rodamiento, pliegos, cuerdas, caras laterales, forros internos, cortes, cuerdas rotas, empalmes abiertos o grietas; con lo cual se evidenció que los neumáticos no presentan ninguna de las fallas antes mencionadas (Figura 4.48), es decir todos los neumáticos resistieron las pruebas de laboratorio a las que fueron sometidos, por ende cumplen la norma técnica Ecuatoriana INEN 2097:2012.



**Figura 4.48** Verificación de las carcacas de los neumáticos.

(Fuente: Autores)

El análisis realizado a las pruebas de resistencia rodadura en pista a los neumáticos, se observa claramente que los neumáticos marca C, son los que más desplazamiento tienen, los neumáticos reencauchados en caliente son lo que tienen un menor desplazamiento, como se observa en la Figura 4.19 a la Figura 4.23 y estas variaciones de desplazamiento se mantienen a pesar de la variación de la presión de inflado de los neumáticos. Según el Reglamento (Ce) No 1222/2009 del Parlamento Europeo de categorización de neumáticos (Figura 4.49) señala que una de las fuerzas que influyen en el ahorro de combustible de un vehículo a motor es la resistencia a la rodadura de los neumáticos. Este fenómeno existe porque los neumáticos se deforman al girar, lo que provoca pérdidas de energía en forma de calor. Cuanto mayor es la deformación, mayor será la resistencia a la rodadura, y por lo tanto hará falta más combustible para desplazar el vehículo hacia adelante. En otras palabras, una menor resistencia a la rodadura se traduce en un menor consumo de combustible y en consecuencia, menores emisiones del vehículo, incluidas las de CO<sub>2</sub>. (MotorTown, 2016).

A	RR of 6,5 kg/t max.
B	RR from 6,6 to 7,7 kg/t
C	RR from 7,8 to 9 kg/t
D	-
E	RR from 9,1 to 10,5 kg/t
F	RR from 10,6 to 12 kg/t
G	RR sup. to 12,1 kg/t

**Figura 4.49** Clasificación de neumáticos

Fuente: (EUROMASTER, 2015)

Las letras A-G describe la categoría de resistencia a la rodadura que tiene el neumático siendo "A" la mejor categoría y "G" baja categoría. Entre un neumático de clase "A" y uno de clase "G", hay una diferencia del 7,5% de consumo de combustible, y por tanto de partículas de CO2 emitidas al medioambiente. (EUROMASTER, 2015).

En relación a las pruebas de tracción en pista los neumáticos cumplen con las distancia de frenado calculada aplicando la fórmula de la norma (Cornell University Law School, 2016), la cual indica que la máxima distancia de frenado es de  $s \leq 65$  [m], mediante el análisis de la Figura 4.30 a la Figura 4.33, se observa que las distancias de frenado varían según la presión de inflado de los neumáticos, a su vez se observa que los neumáticos reencauchados en frío tiene mayor distancia de frenado y los neumáticos marca C tienen menor distancia de frenado.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Los neumáticos sometidos a pruebas de laboratorio, considerando las variables de presión, fuerza, velocidad y carga, cumplieron con los tiempos de pruebas establecidos en la metodología que se desarrolló, encontrando que los neumáticos reencauchados en frío y en caliente fueron los que más elevaron la temperatura, en comparación con los nuevos que se mantuvieron a una temperatura más estable. La presión de inflado registró un incremento en los neumáticos reencauchados, lo cual disminuyó la superficie de contacto neumático-tambor dinamométrico.
- Los neumáticos reencauchados tienen mayor resistencia a la rodadura en relación a los neumáticos nuevos utilizados en las pruebas, tanto en alta, media o baja presión, lo cual produce mayor consumo de combustible, según la categorización europea (EUROMASTER, 2015) esto genera más contaminación, ya que el automotor requiere mayor torque y potencia para desplazarse utilizando dichos neumáticos en la Figura 4.23 se observa las diferencias.
- Los neumáticos nuevos y reencauchados cumplen la normativa, pero se evidencia que los neumáticos nuevos tienen un índice de tracción (frenado) alto, en relación a los reencauchados, debido a que tienen una menor distancia de frenado, lo que es muy favorable para la seguridad activa del vehículo, al momento de utilizar los frenos en una parada de emergencia.
- Se evidenció que en el comportamiento dinámico de los neumáticos, ya sean estos nuevos o reencauchados, que a baja o alta presión de inflado se produce un incremento de temperatura, como consecuencia de este incremento, se ven afectadas las propiedades de los neumáticos, ya que físicamente se puede visualizar que la banda de rodadura se degrada y sufrió un desgaste, según los criterios (Aparicio, Vera, & Díaz, 1995) de compuestos de los neumáticos, para que exista esta variación de propiedades es debido a los componentes del caucho de la banda de rodadura, es decir, si se tiene un caucho natural tiene mejores propiedades, que al tener cauchos sintéticos reduce las propiedades, tales como resistencia a la rodadura, adherencia ver Tabla 2.1.

- Se determinó que el comportamiento dinámico de los neumáticos de las Marcas A, B y C tienen una mínima variabilidad entre sus características dinámicas, las cuales se evidencian en los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas. Esto permite conocer que dichas marcas tienen un desempeño dinámico semejante, lo que indica que cumplen con los requisitos establecidos en la normativa nacional (NTE INEN 2099) e internacional (SAE J345).
- Se evidenció que la banda de rodadura de los neumáticos reencauchados no era completamente uniforme, ya que al momento de realizar las diferentes pruebas, el volante de la dirección tenía elevada vibración, lo cual generaba inconvenientes al Piloto en la maniobrabilidad del vehículo y a su vez esta vibración era transmitida a los ocupantes del mismo.
- Se evidenció que las carcasas de los neumáticos tanto nuevos como reencauchados, que se les sometió a las diferentes pruebas, resistieron sin ningún percance, ya que los mismos no presentaron separaciones de la banda de rodadura, pliegos, cuerdas, caras laterales, forros internos, ni tampoco se observó cortes, cuerdas rotas, empalmes abiertos, ni grietas, según el criterio de la norma NTE INEN 2099:2013.

## **5.2. Recomendaciones**

- Utilizar un automotor para las pruebas que cumpla con las características de diseño y tamaño del neumático, con el fin de no alterar las condiciones de funcionamiento tanto del vehículo como de los neumáticos. Para mejorar las prestaciones del neumático y precautelar la seguridad de los ocupantes del vehículo, es vital utilizar un automotor que tenga sistema de frenos ABS (Anti-lock Braking System).
- Los neumáticos que se vayan a utilizar para la realización de las diferentes pruebas deben mantener la misma numeración y las características físicas, como también al momento de realizar enlantaje al vehículo, verificar las características físicas del ar-neumático, ya que al colocarlos puede existir algún tipo de rozamiento con los elementos de suspensión ocasionando algún tipo de daño a los elementos.

- Las herramientas que se vayan a utilizar deben estar en buen estado, para que no se presente ningún incidente o accidente al momento de manipularles. Además los instrumentos de medición a ser utilizados en las pruebas deben estar previamente calibrados, para que al momento de realizar las mediciones, se pueda tener valores correctos o idóneos para poder realizar los análisis pertinentes.
- Realizar las pruebas de carretera en un autódromo donde no existe gran afluencia de vehículos, considerando en primera instancia la seguridad y el coeficiente de adherencia, ya que es muy importante que dicho coeficiente no cambie ya sea por condiciones climáticas como la lluvia o físicas por la circulación de automotores.
- En la etapa de pruebas es necesario marcar donde el Piloto del vehículo debe aplicar el pedal de freno a fondo o soltar completamente el pedal del acelerador, dependiendo de la prueba que vaya a realizar y el lugar donde se detiene el automotor por completo; ya que dichos puntos referenciales serán estandarizados mediante algunas pruebas de pista hasta alcanzar los valores adecuados para la correcta realización de las pruebas.
- Se recomienda realizar una verificación de la concentricidad de los neumáticos durante el proceso de reencauche, para que al momento de realizar la adhesión de la banda de rodamiento, el neumático este balanceado y tenga una circunferencia uniforme, para que cumpla con todas las prestaciones de diseño del neumático y genere un buen desempeño dinámico.
- Se recomienda aplicar la metodología según las normativas vigentes, con el fin de conocer las prestaciones que brindan otras marcas de neumáticos nuevos y reencauchados.



### 5.3. Referencias Bibliográficas

- Andes. (24 de Septiembre de 2012). El rencauche de neumáticos es una industria holística que se promueve desde el Gobierno ecuatoriano. Recuperado el 21 de Noviembre de 2015, de <http://www.andes.info.ec/es/econom%C3%ADa/6729.html>
- Aparicio, F., Vera, C., & Díaz, V. (1995). Teoría de los vehículos automoviles. Madrid.
- Asociación Argentina de Mecánica Computacional. (22 de Noviembre de 2013). ANALISIS DE LAS FUERZAS QUE ACTÚAN EN LA INTERFACE NEUMÁTICO – CARRETERA. MODELOS DE SIMULACIÓN DE ACELERACIÓN. Mendoza, Argentina.
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2006). Un sector transporte con operación mas limpia,. Guía para el manejo de llantas usadas, 56.
- Constantino Fernández Sierra. (Agosto de 2001). Seguridad en la conducción de vehículos: Conocimiento neumático. España.
- Continental. (2010). Tipos y causas de daños en neumáticos de turismo.
- Cornell University Law School. (2016). 49 CFR 571.105 - Standard No. 105; Hydraulic and electric brake systems. Obtenido de <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/49/571.105>
- Departamento de Ingeniería Mecánica. (2005). Práctica 1 Neumáticos. Madrid.
- Dinamyca competición. (s.f). Autodromo José tobar tobar (Yahuarcocha),. Recuperado el 3 de Octubre de 2015, de <http://www.dinamyca.com.ec/index-autodromo.html>
- Dirección de transporte Conae. (s.f). Manual de información técnica de neumáticos. México.
- Dunlop. (30 de Noviembre de 2015). ¿CÓMO LEER LAS MEDIDAS DE LA LLANTA? Recuperado el 7 de Febrero de 2016, de <http://www.dunlopcolombia.com/blog/como-leer-las-medidas-de-la-llanta/>



- ERICA. (2016). Aislamiento y Estanquidad ERICA. Obtenido de <http://www.eric.es/web/sbr-butadieno-estireno/>
- Escuela de Ingenierías Industriales. (2016). Polisopreno Sintético. Recuperado el 2017, de [http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/Polisopreno/archivos/poliisopreno\\_sintetico.htm](http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/Polisopreno/archivos/poliisopreno_sintetico.htm)
- EUROMASTER. (2015). Etiquetado de neumáticos . Obtenido de <http://www.euromaster-neumaticos.es/neumaticos/informacion/etiqueta-europea-neumaticos>
- Federación de Transporte Pesado. (s.f.). El reencauche ya no es opcional. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de [http://www.fenatrape.org/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=5:reencauche-ya-no-es-una-opcion&Itemid=153](http://www.fenatrape.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=5:reencauche-ya-no-es-una-opcion&Itemid=153)
- FLUKE. (1 de Enero de 2016). Cámara termográfica Industrial o Comercial Fluke Ti27. Obtenido de <http://www.fluke.com/fluke/eses/termografia/fluke-ti27.htm?pid=72281>
- Gavilanes, J. (2013). Proyecto para Implementación de una Planta Reencauchadora de Neumáticos para Transporte Pesado. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Grant, E. (8 de Julio de 2010). On Tread Life. Recuperado el 29 de Febrero de 2016, de TireRack: <http://blog.tirerack.com/blog/the-generals-quarters/on-tread-life>
- INEN. (2012). Metodos de ensayo. NTE INEN 2097:2012.
- INEN. (2012). Norma Técnica Ecuatoria 2616. Ecuador.
- INEN. (2012). Norma Técnica Ecuatoriana 2582. Ecuador.
- Ingemecánica. (s.f.). Estudio del Neumático. Recuperado el 4 de Agosto de 2015, de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn72.html#seccion2>
- J345, S. (1969). Evaluación de pico y la tracción de la rueda de frenado bloqueada. ESTADOS UNIDOS: SOCIETY OF ATOMOTIVE ENGENEERS, INC.

- José Ortiz Marzo. (Septiembre de 2014). Estudio de la relación del conjunto neumático-llanta de un automóvil, con el consumo energético y la seguridad vial. España.
- Km77. (15 de Julio de 2005). Ángulo de deriva y agarre lateral. Recuperado el 15 de Agosto de 2015, de <http://www.km77.com/tecnica/bastidor/angderiva/t01.asp>
- Mavesa, G. (2017). Reencauchadora del Pacífico S.A. Recuperado el 11 de Enero de 2017, de <http://grupomavesa.com.ec/contenido/ver/t/Reencauchadora-del-Pac%C3%ADfico-S.A./id/3>
- Ministerio de Industrias y Productividad. (s.f.). Reusa Llanta. Recuperado el 23 de Noviembre de 2015, de <http://www.industrias.gob.ec/reusa-llanta/>
- Ministerio de Industrias y Productividad. (2012). País Productivo. Revista del Ministerio de Industrias, 20.
- Miralles, Q. (2016). Caucho PBR 9000. Obtenido de <http://www.quimicamiralles.cl/productos/cauchos/cauchos-sinteticos-1/polibutadieno-br/caucho-br-9000>
- Motor y Dominio. (5 de Noviembre de 2014). Balanceo de Ruedas. Recuperado el 15 de Septiembre de 2015, de <http://www.motorydominio.com.mx/investigaciones/balanceo-de-ruedas#.WC09q73hDIV>
- MotorTown. (2016). Normativa Europea de etiquetado de neumáticos. Obtenido de <http://motortown.es/normativa-europea-etiquetado-de-neumaticos/>
- National Highway Traffic Safety Administration. (2013). Consumer Guide to Uniform Tire Quality Grading. EE.UU.
- Neumáticos Los Rios. (2014). Información técnica. Recuperado el 12 de Septiembre de 2015, de <http://www.neumaticoslosrios.cl/informacion-tecnica>
- Renovallanta. (2013). Reencauche. Recuperado el 5 de Septiembre de 2015, de <http://www.renovallanta.com/index.php/reencauche/proceso-de-reencauche>

- Reyes, G. (2015). Análisis del desempeño de los frenos en vehículos que incorporen el sistema antibloqueo (abs) en caminos irregulares. Tesis para la obtención del título de Magister, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- The European Tyre and Rim Technical Organization. (2013). Standars manual 2013,. Estados Unidos.
- Tire Tech. (s.f.). Uniform Tire Quality Grade (UTQG) Standards. Recuperado el 3 de Marzo de 2016, de TireRack: <http://www.tirerack.com/tires/tiretech/techpage.jsp?techid=48&>
- Tires Guides, I. (s.f.). Uniform Tire Quality Grading. Recuperado el 5 de Marzo de 2016, de <https://tireguides.com/TireTips/TireDocument/3>
- Winter Snow Tire Tech. (s.f.). Presión de aire, fluctuación de temperatura. Recuperado el 23 de Febrero de 2016, de TireRack: <http://www.tirerack.com/winter/tech/techpage.jsp?techid=73&ln=sp>

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **INFORMES DE LA MÁQUINA DE ENSAYOS**



REGISTRO DE ENSAYO DE VELOCIDAD EN NEUMATICOS NUEVOS TIPO 2 RADIAL

DATOS GENERALES							
FECHA	06/05/2016		MUESTRA	MARCA A1			
NEUMÁTICO	225/70R15		PRESIÓN DE ENSAYO	44PSI 300,00KPA			
TEMPERATURA DE ENSAYO Y ACONDICIONAMIENTO	25,00 °C		TIEMPO ACONDICIONADO	3h			
CAPACIDAD DE CARGA O ÍNDICE DE CARGA SIMPLE	800kg		INICIO-FIN CLIMATIZACIÓN				
TIEMPO INICIAL DE ENSAYO	9:	6:	48	TIEMPO FINAL DE ENSAYO	9:	40:	2
ÍNDICE DE VELOCIDAD	S		TUBE TYPE O TUBLESS	TUBLESS			
TIPO DE NEUMÁTICO	TIPO 2 PASAJER		INDICE DE DESGASTE				
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS							
a. Un aro 15x6.5J b. Compresor s.nº ECPRI c. Enflantadora s.nº EENLL1 d. Máquina de ensayo A&V e. Manómetro de presión s.nº EPN-LAB-15-1301-PI f. Cámara termográfica s.nº TI27-12050267:LNM-T-2015-627 g. Medidor de índice de desgaste s.nº TPM4;LNM-L-2016-685							
PARÁMETROS DE ENSAYOS Y RESULTADOS							
CARGA %	CARGA APLICADA (Kg)	TIEMPO TEÓRICO (minutos)	TIEMPO REAL (minutos)	VELOCIDAD TEÓRICA DE ENSAYO (Km/h)	VELOCIDAD REAL (Km/h)	TEMPERATURA °C	
		2	2	50	50		
100	0800	10	12: 19	50	49,76	27,40	
100	0800	10	10: 26	75	74,93	27,80	
100	0800	10	10: 30	100	100,57	28,40	
0	0000	0	0: 0	0	0,00	0,00	
Tiempo de reposo mínimo (15 a 20 min) para la medición de presión				Presión de ensayo final (No menor al 95 %) 255kPa(37Psi)			
EVIDENCIAS VISUALES							
Neumatico MARca A1, al 100% de la carga al 85% de la maxima presion de inflado.							

Nota: Cuando ocurra un error debe ser tachado, no debe ser borrado, hecho ilegible, ni eliminado solo colocar valor al margen

Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Especialista de Laboratorio

\_\_\_\_\_  
Analista de Laboratorio



REGISTRO DE ENSAYO DE VELOCIDAD EN NEUMATICOS NUEVOS TIPO 2 RADIAL

DATOS GENERALES						
FECHA	12/05/2016		MUESTRA	MARCA B1		
NEUMÁTICO	225/70R15		PRESIÓN DE ENSAYO	44PSI 300,00KPA		
TEMPERATURA DE ENSAYO Y ACONDICIONAMIENTO	25,00 °C		TIEMPO ACONDICIONADO	3 h		
CAPACIDAD DE CARGA O ÍNDICE DE CARGA SIMPLE	800kg		INICIO-FIN CLIMATIZACIÓN			
TIEMPO INICIAL DE ENSAYO	15: 48: 54		TIEMPO FINAL DE ENSAYO	16: 22: 8		
ÍNDICE DE VELOCIDAD	S (180 km/h)		TUBE TYPE O TUBLESS	TUBLESS		
TIPO DE NEUMÁTICO	TIPO 2 PASAJER		INDICE DE DESGASTE	1.85		
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS						
a. Un aro	15X6.5J					
b. Compresor s.n°	ECPR1					
c. Enflantadora s.n°	EENLL1					
d. Máquina de ensayo	A&V					
e. Manómetro de presión s.n°	EPN-LAB-15-1301-PI					
f. Cámara termográfica s.n°	TI27-12050267:LNM-T-2015-627					
g. Medidor de indice de desgaste s.n°	TPM4;LNM-L-2016-685					
PARÁMETROS DE ENSAYOS Y RESULTADOS						
CARGA %	CARGA APLICADA (Kg)	TIEMPO TEÓRICO (minutos)	TIEMPO REAL (minutos)	VELOCIDAD TEÓRICA DE ENSAYO (Km/h)	VELOCIDAD REAL (Km/h)	TEMPERATURA °C
		2	2	50	50	
100	0800	10	12: 19	50	49,79	29,20
100	0800	10	10: 26	75	75,36	29,60
100	0800	10	10: 30	100	99,71	30,20
0	0000	0	0: 0	0	0,00	0,00
Tiempo de reposo mínimo (15 a 20 min) para la medición de presión				Presión de ensayo final (No menor al 95 %) 260 kPa(38Ps)		
EVIDENCIAS VISUALES						
Carga al 100% y presión de inflado de 85% de la máxima presión de inflado.						

Nota: Cuando ocurra un error debe ser tachado, no debe ser borrado, hecho ilegible, ni eliminado solo colocar valor al margen

Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 Especialista de Laboratorio

\_\_\_\_\_  
 Analista de Laboratorio





REGISTRO DE ENSAYO DE VELOCIDAD EN NEUMATICOS NUEVOS TIPO 2 RADIAL

DATOS GENERALES						
FECHA	07/05/2016		MUESTRA	MARCA C1		
NEUMÁTICO	225/70R15		PRESIÓN DE ENSAYO	44PSI 300,00KPA		
TEMPERATURA DE ENSAYO Y ACONDICIONAMIENTO	25,00 °C		TIEMPO ACONDICIONADO	3h		
CAPACIDAD DE CARGA O ÍNDICE DE CARGA SIMPLE	800kg		INICIO-FIN CLIMATIZACIÓN			
TIEMPO INICIAL DE ENSAYO	18: 54: 15		TIEMPO FINAL DE ENSAYO	19: 27: 25		
ÍNDICE DE VELOCIDAD	T (190km/h)		TUBE TYPE O TUBELESS	TUBELESS		
TIPO DE NEUMÁTICO	TIPO 2 PASAJER		INDICE DE DESGASTE	1.80		
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS						
a. Un aro	15x6.5J					
b. Compresor s.n°	ECPR1					
c. Enllantadora s.n°	EENLL1					
d. Máquina de ensayo	A&V					
e. Manómetro de presión s.n°	EPN-LAB-15-1301-PI					
f. Cámara termográfica s.n°	TI27-12050267:LNM-T-2015-627					
g. Medidor de índice de desgaste s.n°	TPM4;LNM-L-2016-685					
PARÁMETROS DE ENSAYOS Y RESULTADOS						
CARGA %	CARGA APLICADA (Kg)	TIEMPO TEÓRICO (minutos)	TIEMPO REAL (minutos)	VELOCIDAD TEÓRICA DE ENSAYO (Km/h)	VELOCIDAD REAL (Km/h)	TEMPERATURA °C
		2	2	50	50	
100	0800	10	12: 18	50	50,34	25,60
100	0800	10	10: 25	75	74,77	25,90
100	0800	10	10: 28	100	99,77	26,20
0	0000	0	0: 0	0	0,00	0,00
Tiempo de reposo mínimo (15 a 20 min) para la medición de presión				Presión de ensayo final (No menor al 95 %) 270kPa(39Psi)		
EVIDENCIAS VISUALES						
Neumático, Marca C1, al 100% de la carga y al 85% de la máxima presión de inflado.						

Nota: Cuando ocurra un error debe ser tachado, no debe ser borrado, hecho ilegible, ni eliminado solo colocar valor al margen

Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Especialista de Laboratorio

\_\_\_\_\_  
Analista de Laboratorio





REGISTRO DE ENSAYO DE VELOCIDAD EN NEUMATICOS NUEVOS TIPO 2 RADIAL

DATOS GENERALES						
FECHA	11/05/2016		MUESTRA	REEN.CALIENTE 1		
NEUMÁTICO	225/70R15		PRESIÓN DE ENSAYO	36PSI 250,00KPA		
TEMPERATURA DE ENSAYO Y ACONDICIONAMIENTO	25,00 °C		TIEMPO ACONDICIONADO	3h		
CAPACIDAD DE CARGA O ÍNDICE DE CARGA SIMPLE	690kg		INICIO-FIN CLIMATIZACIÓN			
TIEMPO INICIAL DE ENSAYO	16: 47: 52		TIEMPO FINAL DE ENSAYO	17: 21: 11		
ÍNDICE DE VELOCIDAD	L (120km/h)		TUBE TYPE O TUBLESS	TUBLESS		
TIPO DE NEUMÁTICO	TIPO 2 PASAJER		INDICE DE DESGASTE			
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS						
a. Un aro	15X6,5J					
b. Compresor s.n°	ECPR1					
c. Enllantadora s.n°	EENLL1					
d. Máquina de ensayo	A&V					
e. Manómetro de presión s.n°	EPN-LAB-15-1301-PI					
f. Cámara termográfica s.n°	Ti27-12050267:LNM-T-2015-627					
g. Medidor de índice de desgaste s.n°	TPM4;LNM-L-2016-685					
PARÁMETROS DE ENSAYOS Y RESULTADOS						
CARGA %	CARGA APLICADA (Kg)	TIEMPO TEÓRICO (minutos)	TIEMPO REAL (minutos)	VELOCIDAD TEÓRICA DE ENSAYO (Km/h)	VELOCIDAD REAL (Km/h)	TEMPERATURA °C.
		2	2	50	50	
100	0690	10	12: 19	50	49,66	26,40
100	0690	10	10: 28	75	74,43	26,90
100	0690	10	10: 34	100	100,21	27,60
0	0000	0	0: 0	0	0,00	0,00
Tiempo de reposo mínimo (15 a 20 min) para la medición de presión				Presión de ensayo final (No menor al 95 %) 230kPa(33Psi)		
EVIDENCIAS VISUALES						
Neumático, Reen. Caliente 1, al 100% de la carga y al 85% de la máxima presión de inflado.						

Nota: Cuando ocurra un error debe ser tachado, no debe ser borrado, hecho ilegible, ni eliminado solo colocar valor al margen

Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Especialista de Laboratorio

\_\_\_\_\_  
Analista de Laboratorio



REGISTRO DE ENSAYO DE VELOCIDAD EN NEUMATICOS NUEVOS TIPO 2 RADIAL

DATOS GENERALES						
FECHA	13/05/2016		MUESTRA	REEN. FRIO 1		
NEUMÁTICO	225/70R15		PRESIÓN DE ENSAYO	55PSI 380,00KPA		
TEMPERATURA DE ENSAYO Y ACONDICIONAMIENTO	25,00 °C		TIEMPO ACONDICIONADO	3 h		
CAPACIDAD DE CARGA O ÍNDICE DE CARGA SIMPLE	1030kg		INICIO-FIN CLIMATIZACIÓN			
TIEMPO INICIAL DE ENSAYO	18: 48: 22		TIEMPO FINAL DE ENSAYO	19: 21: 41		
ÍNDICE DE VELOCIDAD	R (170 km/h)		TUBE TYPE O TUBLESS	TUBLESS		
TIPO DE NEUMÁTICO	TIPO 2 PASAJER		INDICE DE DESGASTE			
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS						
a. Un aro	15x6.5J					
b. Compresor s.n°	ECPR1					
c. Enllantadora s.n°	EENLL1					
d. Máquina de ensayo	A&V					
e. Manómetro de presión s.n°	EPN-LAB-15-1301-PI					
f. Cámara termográfica s.n°	TI27-12050267:LNM-T-2015-627					
g. Medidor de índice de desgaste s.n°	TPM4;LNM-L-2016-685					
PARÁMETROS DE ENSAYOS Y RESULTADOS						
CARGA %	CARGA APLICADA (Kg)	TIEMPO TEÓRICO (minutos)	TIEMPO REAL (minutos)	VELOCIDAD TEÓRICA DE ENSAYO (Km/h)	VELOCIDAD REAL (Km/h)	TEMPERATURA °C
		2	2	50	50	
100	1030	10	12: 18	50	49,77	28,00
100	1030	10	10: 27	75	75,44	28,70
100	1030	10	10: 34	100	100,57	29,50
0	0000	0	0: 0	0	0,00	0,00
Tiempo de reposo mínimo (15 a 20 min) para la medición de presión				Presión de ensayo final (No menor al 95 %) 345kPa (50Ps)		
EVIDENCIAS VISUALES						
Neumático, Reen. Frío 1, al 100% de la carga y al 85% de la máxima presión de inflado.						

Nota: Cuando ocurra un error debe ser tachado, no debe ser borrado, hecho ilegible, ni eliminado solo colocar valor al margen

Observaciones \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Especialista de Laboratorio

\_\_\_\_\_  
Analista de Laboratorio

## **ANEXO 2**

### **INFORMES CÁMARA TERMOGRÁFICA**



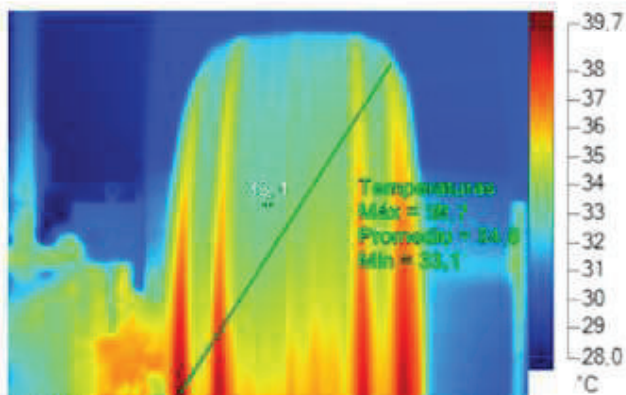
## **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MARCA A MUESTRAS 1,2,3**

*comparación entre el 85 % de la presión  
de inflado*



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

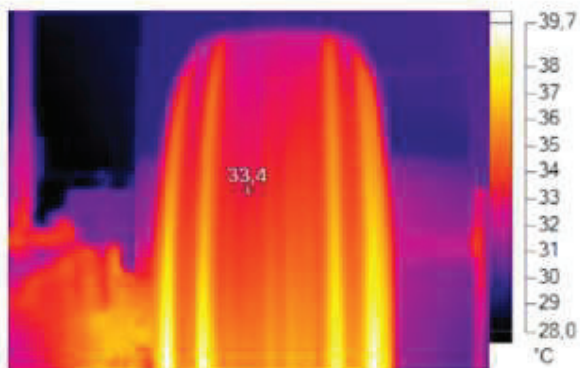
**Neumático A1 al 85% de presión de inflado.**



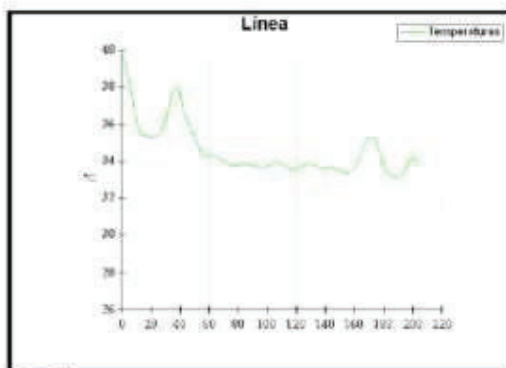
**A1 85%.IS2**  
06/05/2016 11:15:20



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
06/05/2016 11:15:20



**Gráfico**

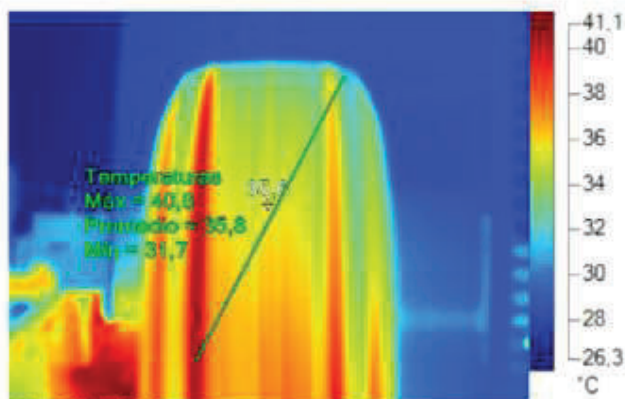
**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	34,6°C	33,1°C	39,7°C	1,40

Nombre	Temperatura
Punto central	33,4°C



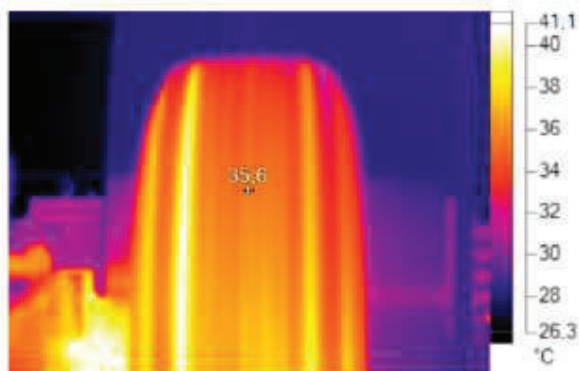
**Neumático A2 al 85% de presión de inflado.**



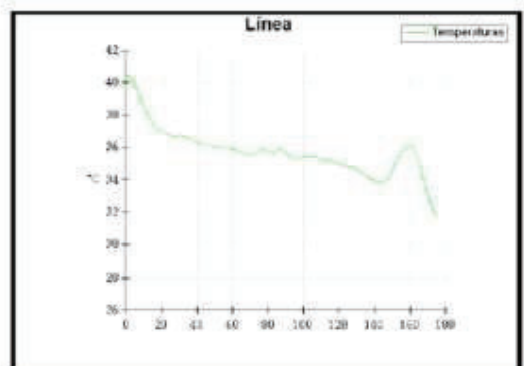
**A2 85%.IS2**  
06/05/2016 20:00:24



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
06/05/2016 20:00:24



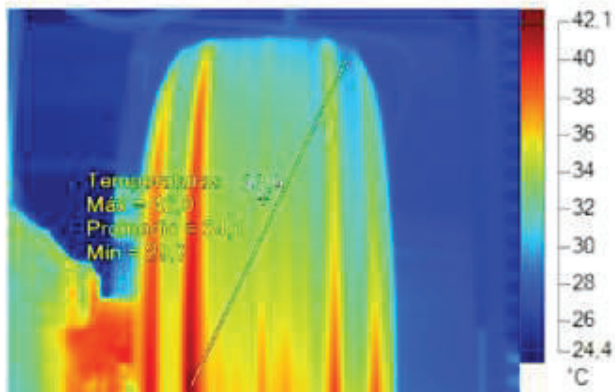
**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	35,8°C	31,7°C	40,6°C	1,49

Nombre	Temperatura
Punto central	35,6°C

Neumático A3 al 85% de presión de inflado.



A3 85%.IS2  
07/05/2016 15:58:25

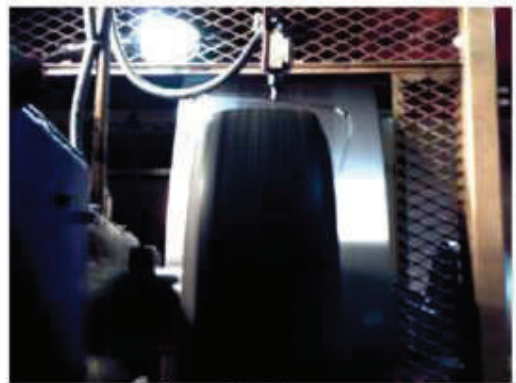


Imagen de luz visible

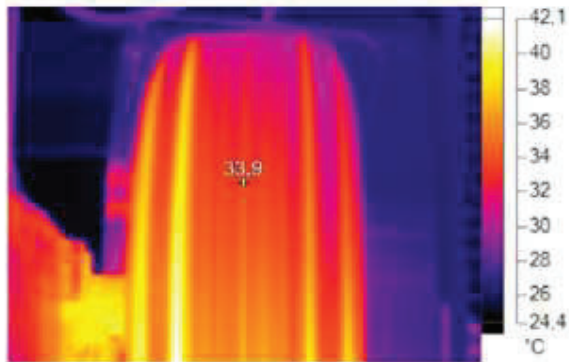
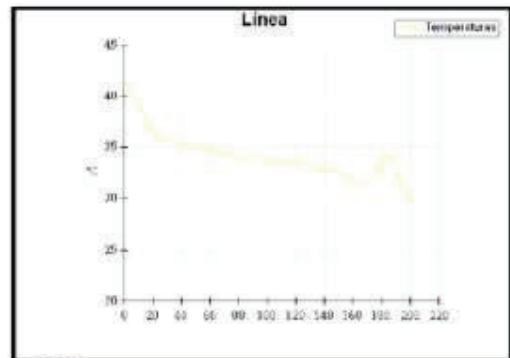


Imagen Termográfica.IS2  
07/05/2016 15:58:25



Gráfico

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	34,1°C	29,7°C	42,0°C	2,27

Nombre	Temperatura
Punto central	33,9°C



## **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MARCA B MUESTRAS 1,2,3**

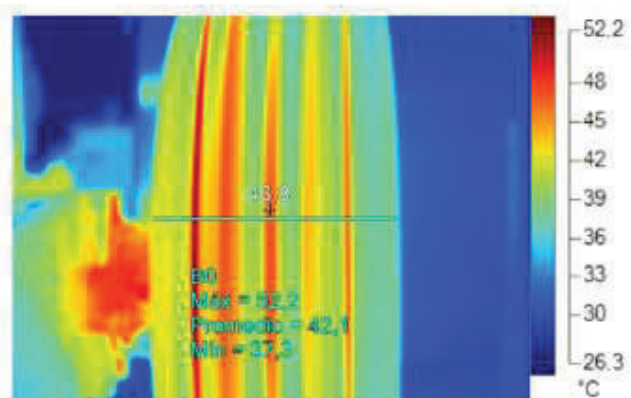
*comparación entre el 85% de la presión  
de inflado*



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



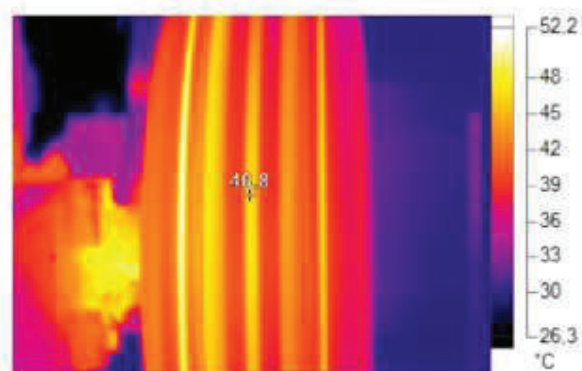
**Neumático B1 al 85% de presión de inflado.**



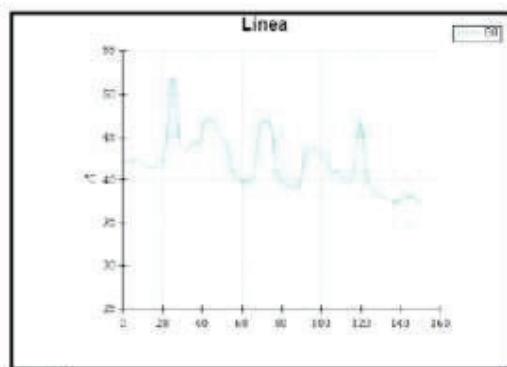
**B1 85%.IS2**  
12/05/2016 16:19:16



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
12/05/2016 16:19:16



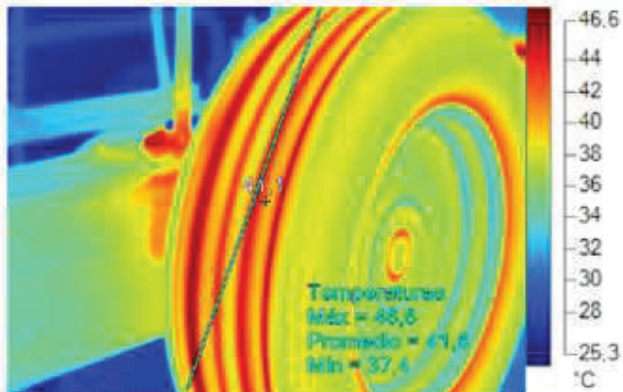
**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

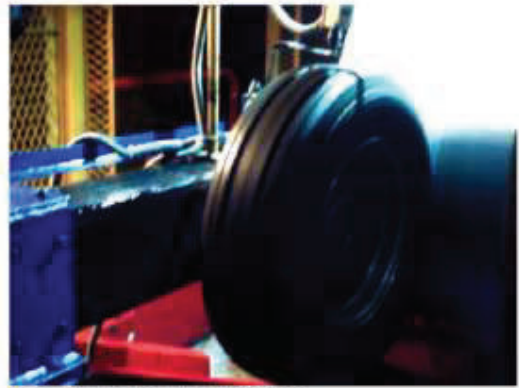
Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
B0	42,1°C	37,3°C	52,2°C	3,11

Nombre	Temperatura
Punto central	46,8°C

**Neumático B2 al 85% de presión de inflado.**



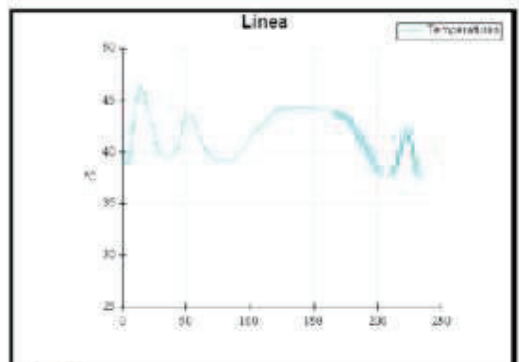
**B2 85%.IS2**  
12/05/2016 19:29:42



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
12/05/2016 19:29:42



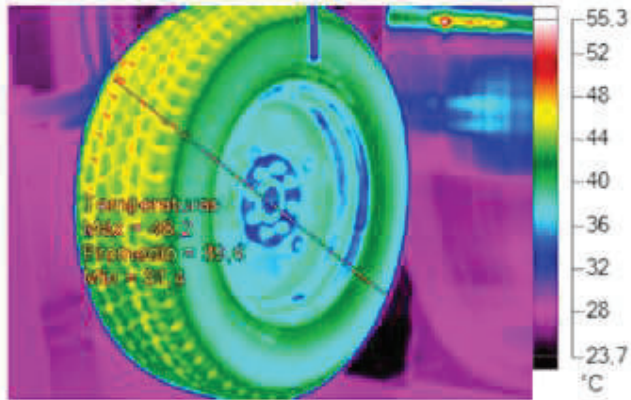
**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	41,6°C	37,4°C	46,6°C	2,31

Nombre	Temperatura
Punto central	41,1°C

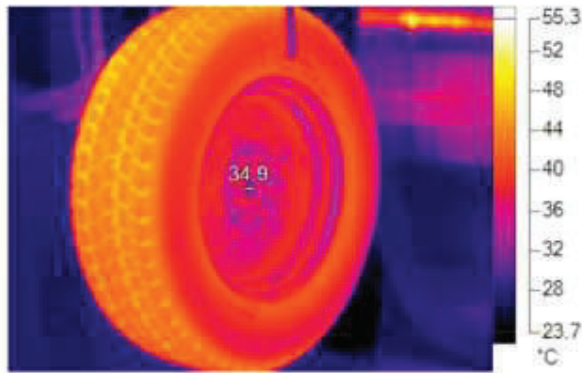
**Neumático B3 al 85% de presión de inflado.**



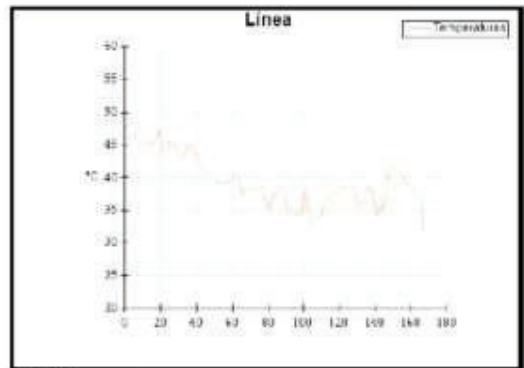
**B3 85%.IS2**  
13/05/2016 15:19:16



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
13/05/2016 15:19:16



**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	39,6°C	31,4°C	48,2°C	3,81



## **ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MARCA C MUESTRAS 1,2,3**

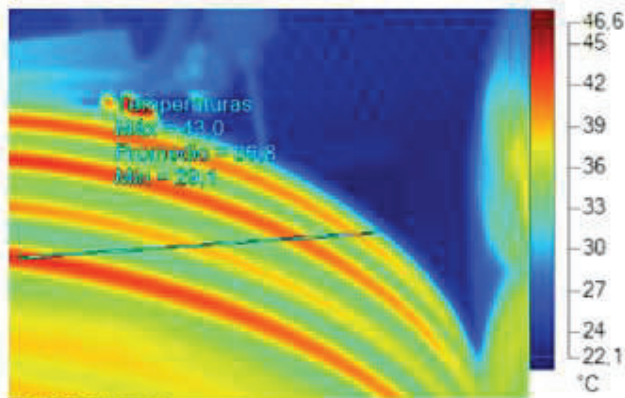
*comparación entre el 85% de la presión  
de inflado*



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

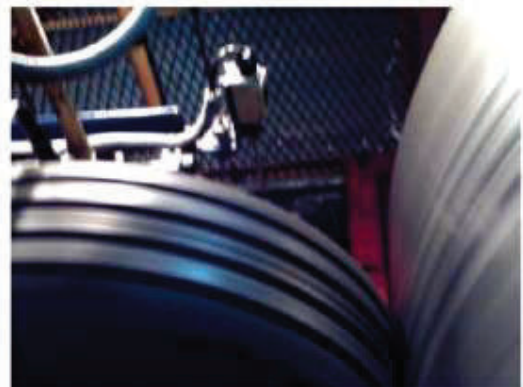


**Neumático C1 al 85% de presión de inflado.**

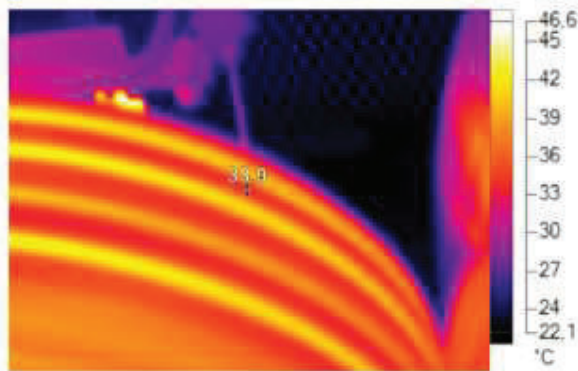


**C1 85%.IS2**

07/05/2016 19:23:12

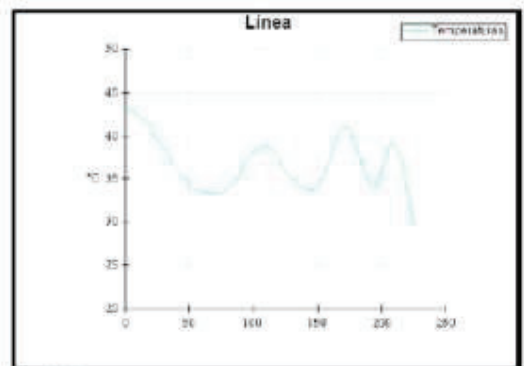


**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**

07/05/2016 19:23:12

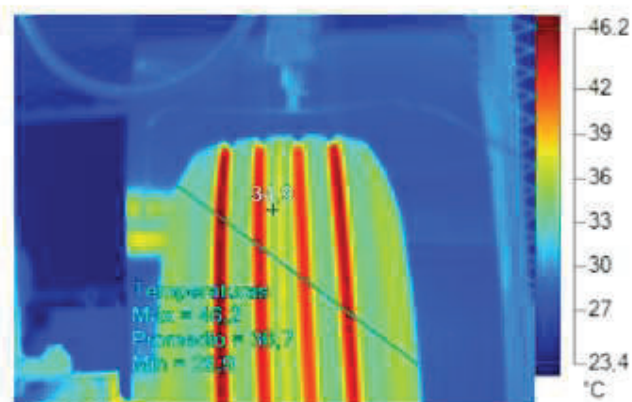


**Gráfico**

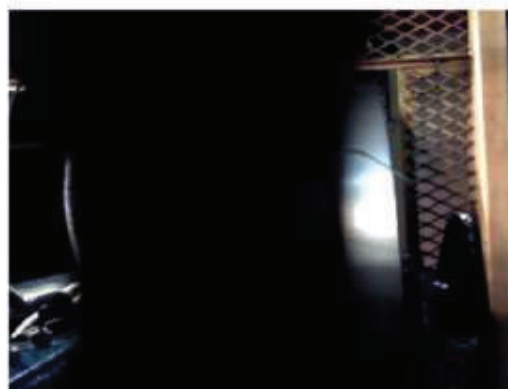
**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	36,8°C	29,1°C	43,0°C	2,91

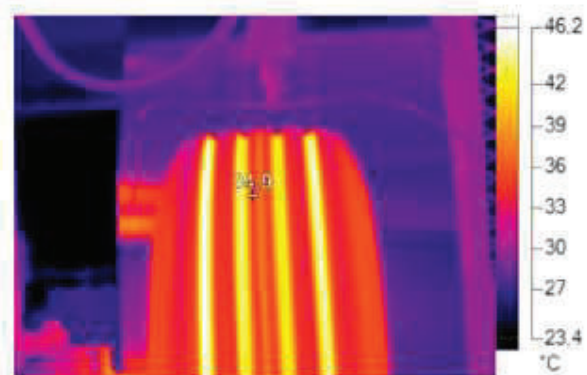
**Neumático C2 al 85% de presión de inflado.**



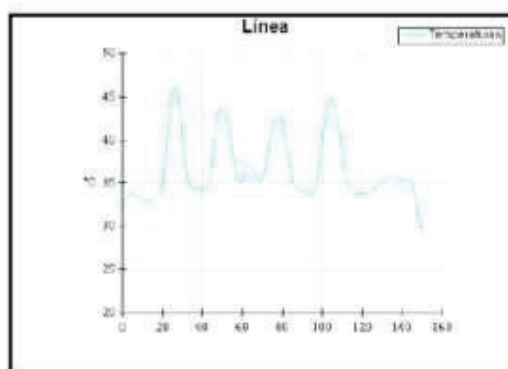
**C2 85%.IS2**  
09/05/2016 14:35:15



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
09/05/2016 14:35:15



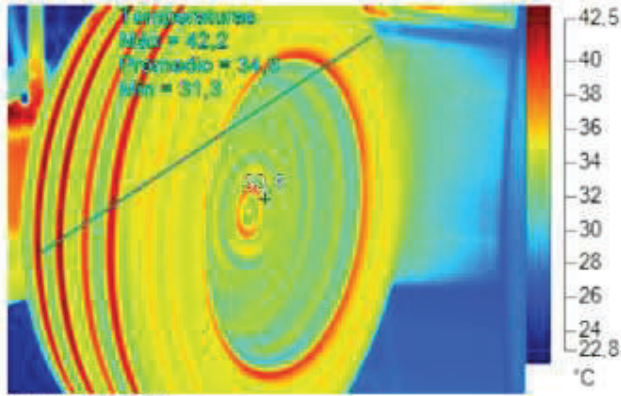
**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	36,7°C	28,9°C	46,2°C	3,75

Nombre	Temperatura
Punto central	34,9°C

**Neumático C3 al 85% de presión de inflado.**

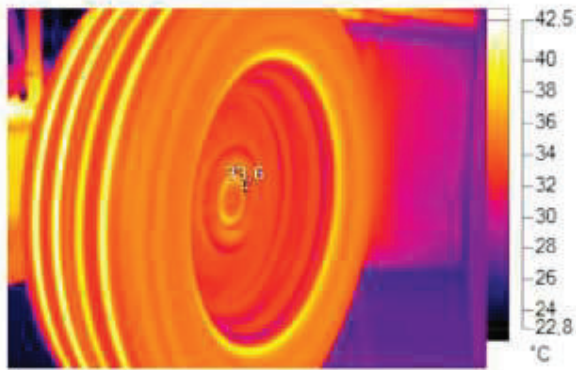


**C3 85%.IS2**

09/05/2016 17:31:08

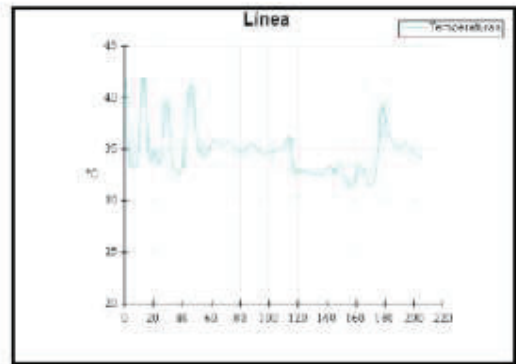


**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**

09/05/2016 17:31:08



**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

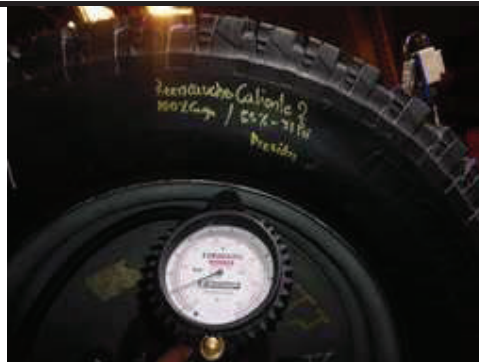
Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	34,8°C	31,3°C	42,2°C	2,16

Nombre	Temperatura
Punto central	33,6°C



## ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL REENCAUCHE EN CALIENTE MUESTRAS 1,2,3

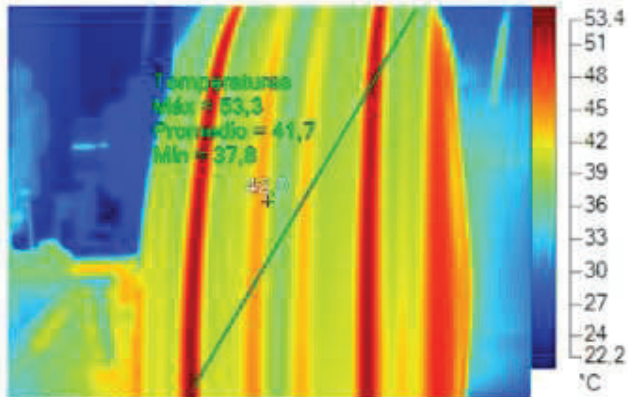
*comparación entre el 85 % de la presión  
de inflado*



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



**Neumático CA.1 al 85% de presión de inflado.**

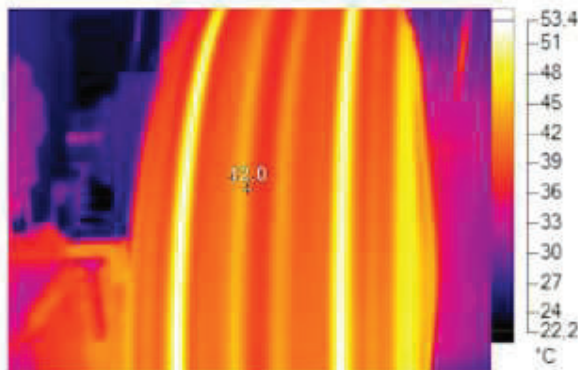


**CA.1 85%.IS2**

11/05/2016 17:02:20

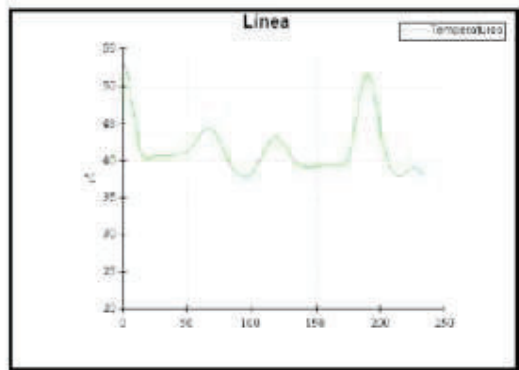


**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**

11/05/2016 17:02:20



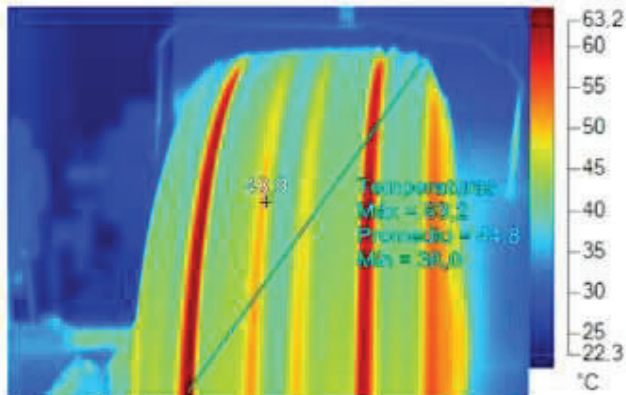
**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	41,7°C	37,8°C	53,3°C	3,51

Nombre	Temperatura
Punto central	42,0°C

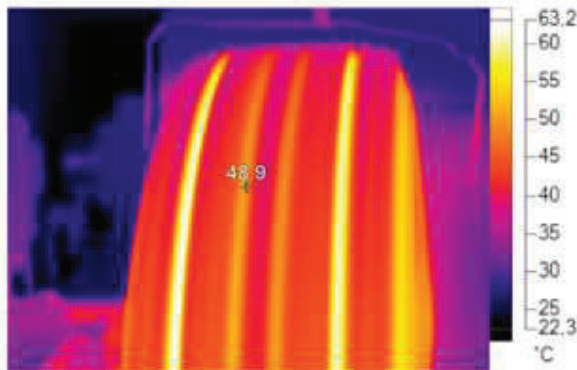
**Neumático CA.2 al 85% de presión de inflado.**



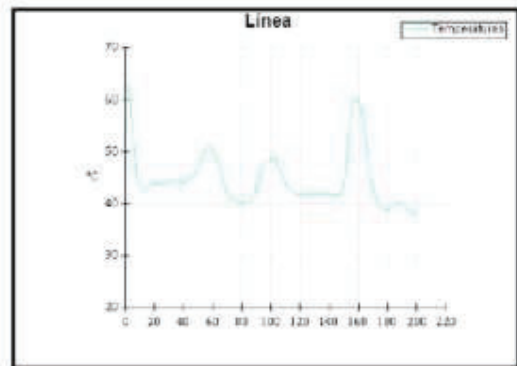
**CA.2 85%.IS2**  
12/05/2016 12:14:47



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
12/05/2016 12:14:47



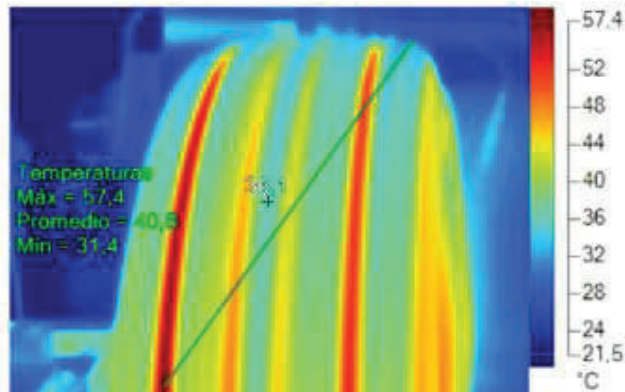
**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	44,8°C	38,0°C	63,2°C	5,40

Nombre	Temperatura
Punto central	48,9°C

**Neumático CA.3 al 85% de presión de inflado.**

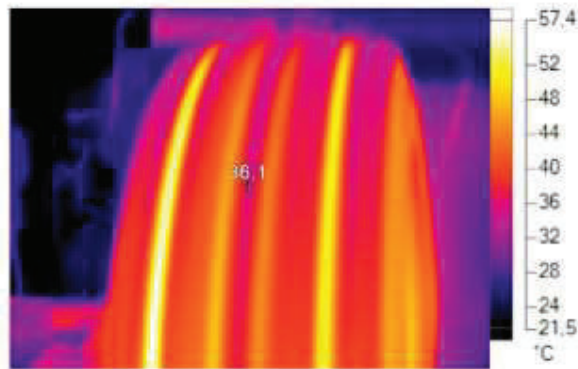


**CA.3 85%.IS2**

10/05/2016 19:02:20

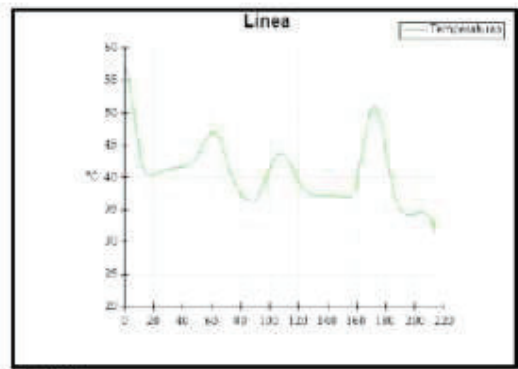


**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**

10/05/2016 19:02:20



**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

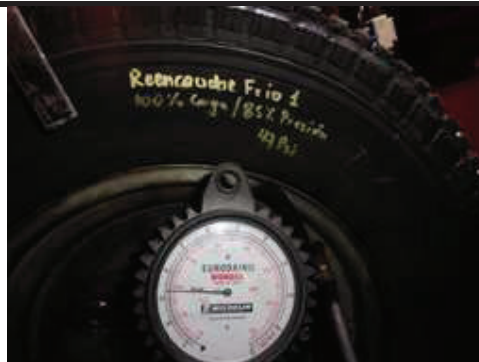
Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	40,8°C	31,4°C	57,4°C	4,91

Nombre	Temperatura
Punto central	36,1°C



## ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL REENCAUCHE EN FRÍO MUESTRAS 1,2,3

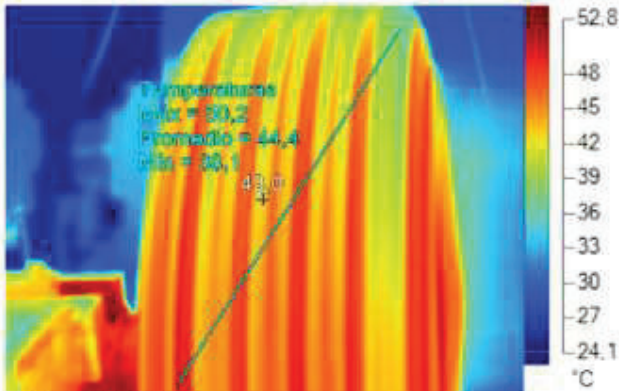
*comparación entre el 85 % de la presión  
de inflado*



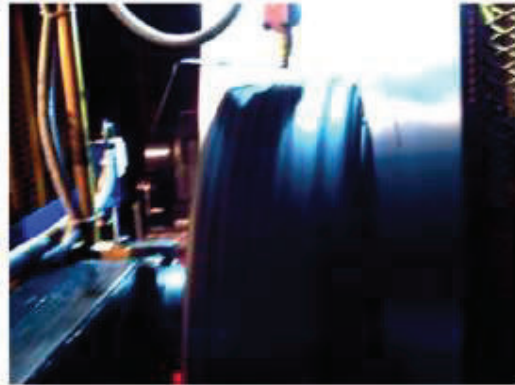
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



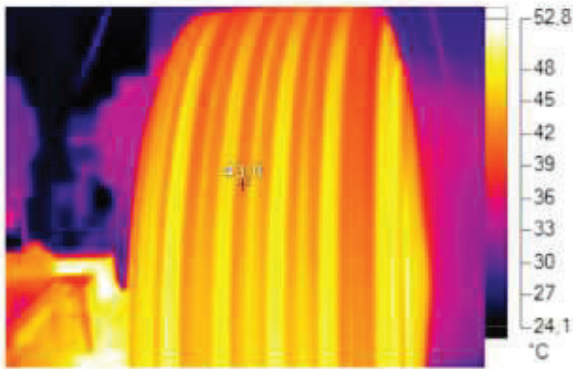
**Neumático Frío1 al 85% de presión de inflado.**



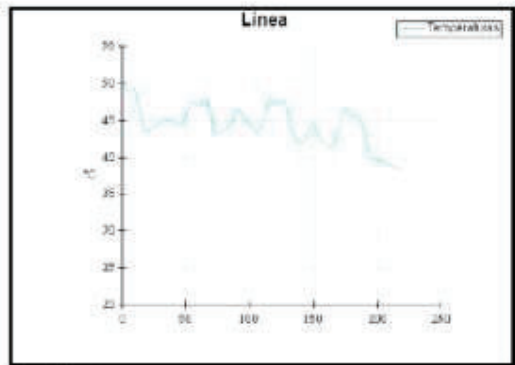
**Frio1 85%.IS2**  
13/05/2016 19:21:03



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
13/05/2016 19:21:03



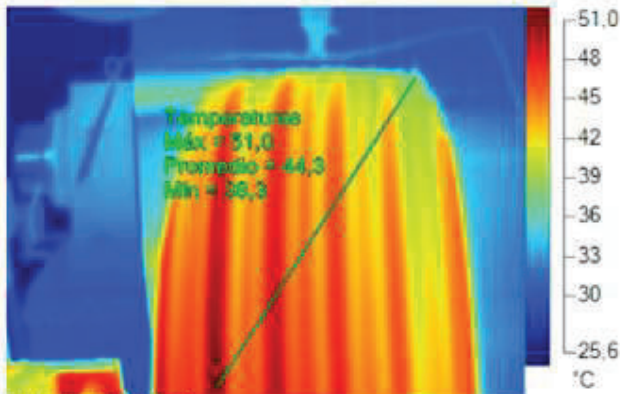
**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	44,4°C	38,1°C	50,2°C	2,72

Nombre	Temperatura
Punto central	43,0°C

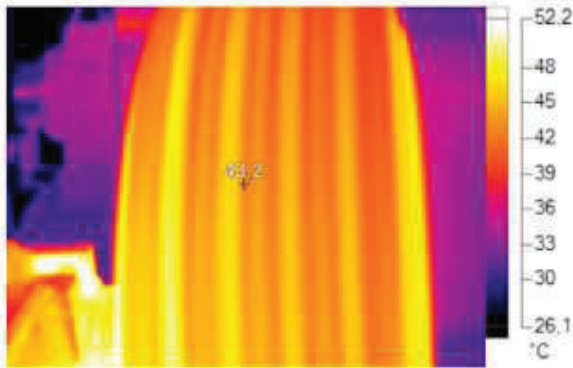
**Neumático Frio2 al 85% de presión de inflado.**



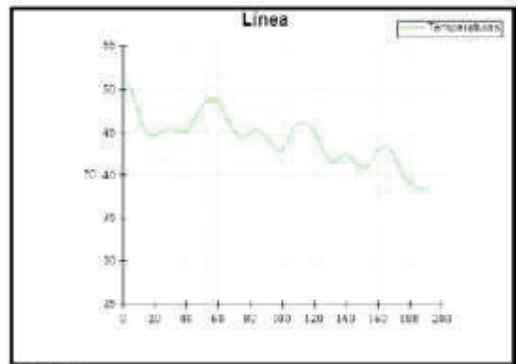
**Frio2 85%.IS2**  
14/05/2016 13:50:49



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
14/05/2016 14:42:06

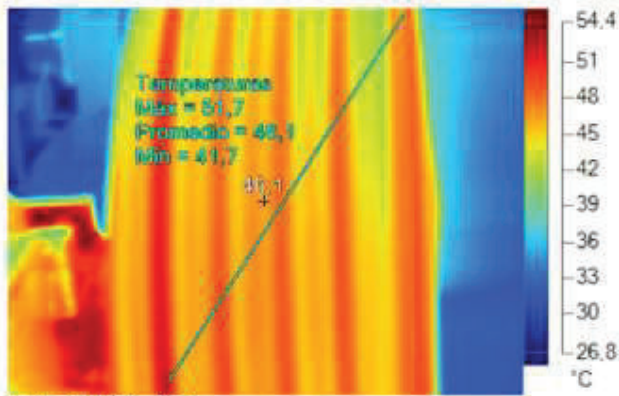


**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	44,3°C	38,3°C	51,0°C	2,84

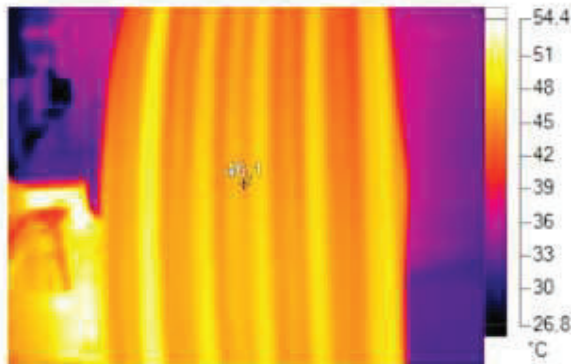
**Neumático Frío3 al 85% de presión de inflado.**



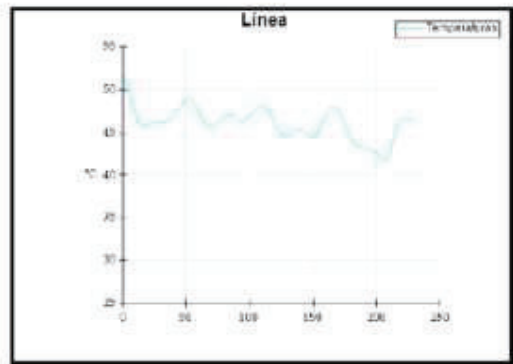
**Frio3 85%.IS2**  
14/05/2016 16:57:51



**Imagen de luz visible**



**Imagen Termográfica.IS2**  
14/05/2016 16:57:51



**Gráfico**

**Marcadores de la imagen principal**

Nombre	Promedio	Mín	Máx	Desviación estándar
Temperaturas	46,1°C	41,7°C	51,7°C	1,86

Nombre	Temperatura
Punto central	46,1°C

## **ANEXO 3**

### **HOJAS DE REGISTRO DE LAS PRUEBAS**





## REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE NEUMÁTICOS

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

DATOS GENERALES DE PRUEBA					
FECHA	09/06/2016	MUESTRA	Marca A		
MARCA DE NEUMÁTICO	GENERAL	TIPO DE NEUMÁTICO	Tipo II, Radial		
TEMPERATURA DE PRUEBA	25°C	ALTITUD	2200 Msnm		
NUEVO O REENCAUCHADO	Nuevo	SERVICIO	Vehículo De Pasajeros		
TIEMPO INICIAL DE PRUEBA	09/0/2016 13:00	TIEMPO FINAL DE PRUEBA	09/0/2016 15:00		
TIPO DE SUELO	Asfalto	LONGITUD DE PISTA	3200 m		
DATOS DEL NEUMÁTICO					
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	225/70R15	DIÁMETRO DE NEUMÁTICO	710 mm		
CONSTRUCCIÓN DEL NEUMÁTICO	RADIAL	FECHA DE FABRICACIÓN PAÍS DE ORIGEN	4515 HECHO EN ECUADOR		
ÍNDICE DE CARGA	100	ÍNDICE DE VELOCIDAD	S (180 km/h)		
MÁXIMA CAPACIDAD DE CARGA	800 kg	PRESIÓN MÁXIMA DE INFLADO	300 kPa (44 Psi)		
TIPO DE RIN	15x6.5 J	DOT	1H30M9D		
ETIQUETA DE NIEVE	M+S	MODELO	GRABBER AT		
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS					
a. Compresor b. Enllantadora c. Manómetro de presión d. Cámara termográfica e. Medidor de índice de desgaste f. Acelerómetro g. Cinta métrica h. Datalogger					
PARAMETROS DEL VEHICULO DE PRUEBA					
Vehículo	PICK-UP	Potencia Del Motor ( Kw )	157,30 HP /3500 RPM		
Fabricante	MAZDA	Peso En Vacío ( Kg )	1850		
Marca	BT-50	Peso Bruto Del Vehículo ( Kg )	3000		
Año	2014	Tipo De Rin	15 X 6.5 J		
Serie De Motor	M-129331	Diámetro Del Círculo Del Rin	15		
VIN	M-129331	Tipo De Vehículo	DOBLE CABINA 4X4		
PARAMETROS DE PRUEBA DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y RESULTADOS					
PRUEBA	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia		Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final	
I	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	415,8 m	44
		65 km / h	0 m	421,7 m	
		65 km / h	0 m	425,5 m	
II	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	439,8 m	37
		65 km / h	0 m	433,5 m	
		65 km / h	0 m	427,6 m	
III	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	425,8 m	26
		65 km / h	0 m	429,0 m	
		65 km / h	0 m	421,9 m	



**REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE  
RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE  
NEUMÁTICOS**

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

PARAMETROS DE PRUEBA DE FRENADO Y RESULTADOS						
PRUEBA I	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	42,8 m	9.8	44
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	40,8 m	9.7	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	44,3 m	9.8	
PRUEBA II	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	40,8 m	9.7	37
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	39,8 m	9.6	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	41,3 m	9.7	
PRUEBA III	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	40,4 m	9.7	26
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	40,4 m	9.6	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	38,7 m	9.6	

**Nota 1:** Antes de ejecutar las pruebas, caliente los neumáticos en la pista por un lapso de 5 minutos a una velocidad máxima de 80 km/h.

**Nota 2:** Utilice el cinturón de seguridad y procure mantener cerradas las ventanas del vehículo por su seguridad.

**Nota 3:** Utilice el acelerómetro y registre cada uno de los puntos considerados en la tabla, en relación al frenado.

**Nota 4:** Si va utiliza pesos extras a los pasajeros, asegúrelos con fajas o cinturones.

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Evaluador 1

\_\_\_\_\_  
Evaluador 2



## REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE NEUMÁTICOS

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

DATOS GENERALES DE PRUEBA					
FECHA	09/06/2016	MUESTRA	Marca B		
MARCA DE NEUMÁTICO	GOOD YEAR	TIPO DE NEUMÁTICO	Tipo II, Radial		
TEMPERATURA DE PRUEBA	25°C	ALTITUD	2200 Msnm		
NUEVO O REENCAUCHADO	Nuevo	SERVICIO	Vehículo De Pasajeros		
TIEMPO INICIAL DE PRUEBA	09/0/2016 15:10	TIEMPO FINAL DE PRUEBA	09/0/2016 16:55		
TIPO DE SUELO	Asfalto	LONGITUD DE PISTA	3200 m		
DATOS DEL NEUMÁTICO					
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	225/70R15	DIÁMETRO DE NEUMÁTICO	710 mm		
CONSTRUCCIÓN DEL NEUMÁTICO	RADIAL	FECHA DE FABRICACIÓN PAÍS DE ORIGEN	3513 MADE IN THAILAND		
ÍNDICE DE CARGA	100	ÍNDICE DE VELOCIDAD	S (180 km/h)		
MÁXIMA CAPACIDAD DE CARGA	800 kg	PRESIÓN MÁXIMA DE INFLADO	300 kPa (44 Psi)		
TIPO DE RIN	15x6.5 J	DOT	NYUU 2AW4		
ETIQUETA DE NIEVE	M+S	MODELO	Wrangler AT/S		
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS					
a. Compresor b. Enllantadora c. Manómetro de presión d. Cámara termográfica e. Medidor de índice de desgaste f. Acelerómetro g. Cinta métrica h. Datalogger					
PARAMETROS DEL VEHICULO DE PRUEBA					
Vehículo	PICK-UP	Potencia Del Motor ( Kw )	157,30 HP /3500 RPM		
Fabricante	MAZDA	Peso En Vacío ( Kg )	1850		
Marca	BT-50	Peso Bruto Del Vehículo ( Kg )	3000		
Año	2014	Tipo De Rin	15 X 6.5 J		
Serie De Motor	M-129331	Diámetro Del Círculo Del Rin	15		
VIN	M-129331	Tipo De Vehículo	DOBLE CABINA 4X4		
PARAMETROS DE PRUEBA DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y RESULTADOS					
PRUEBA	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia		Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final	
I	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	444,15 m	44
		65 km / h	0 m	419,1 m	
		65 km / h	0 m	446,5 m	
II	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	443,0 m	37
		65 km / h	0 m	464,0 m	
		65 km / h	0 m	460,5 m	
III	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	438,9 m	26
		65 km / h	0 m	422,4 m	
		65 km / h	0 m	445,8 m	



## REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE NEUMÁTICOS

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

PARAMETROS DE PRUEBA DE FRENADO Y RESULTADOS						
PRUEBA I	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	43,2 m	9.9	44
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	44,3 m	9.7	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	41,8 m	9.7	
PRUEBA II	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	41,7 m	9.6	37
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	38,7 m	9.6	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	40,45 m	9.7	
PRUEBA III	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	38,7 m	9.7	26
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	38,7 m	9.6	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	39,35 m	9.7	

**Nota 1:** Antes de ejecutar las pruebas, caliente los neumáticos en la pista por un lapso de 5 minutos a una velocidad máxima de 80 km/h.

**Nota 2:** Utilice el cinturón de seguridad y procure mantener cerradas las ventanas del vehículo por su seguridad.

**Nota 3:** Utilice el acelerómetro y registre cada uno de los puntos considerados en la tabla, en relación al frenado.

**Nota 4:** Si va utiliza pesos extras a los pasajeros, asegúrelos con fajas o cinturones.

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Evaluador 1

\_\_\_\_\_  
Evaluador 2



## REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE NEUMÁTICOS

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

DATOS GENERALES DE PRUEBA					
FECHA	09/06/2016	MUESTRA	Marca C		
MARCA DE NEUMÁTICO	AEOLUS	TIPO DE NEUMÁTICO	Tipo II, Radial		
TEMPERATURA DE PRUEBA	25°C	ALTITUD	2200 Msnm		
NUEVO O REENCAUCHADO	Nuevo	SERVICIO	Vehículo De Pasajeros		
TIEMPO INICIAL DE PRUEBA	09/0/2016 17:00	TIEMPO FINAL DE PRUEBA	09/0/2016 18:30		
TIPO DE SUELO	Asfalto	LONGITUD DE PISTA	3200 m		
DATOS DEL NEUMÁTICO					
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	225/70R15	DIÁMETRO DE NEUMÁTICO	710 mm		
CONSTRUCCIÓN DEL NEUMÁTICO	RADIAL	FECHA DE FABRICACIÓN PAÍS DE ORIGEN	4515 MADE IN CHINA		
ÍNDICE DE CARGA	100	ÍNDICE DE VELOCIDAD	T (190 km/h)		
MÁXIMA CAPACIDAD DE CARGA	800 kg	PRESIÓN MÁXIMA DE INFLADO	300 kPa (44 Psi)		
TIPO DE RIN	15x6.5 J	DOT	AGFF005130315		
ETIQUETA DE NIEVE	M+S	MODELO	AG03		
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS					
a. Compresor b. Enllantadora c. Manómetro de presión d. Cámara termográfica e. Medidor de índice de desgaste f. Acelerómetro g. Cinta métrica h. Datalogger					
PARAMETROS DEL VEHICULO DE PRUEBA					
Vehículo	PICK-UP	Potencia Del Motor ( Kw )	157,30 HP /3500 RPM		
Fabricante	MAZDA	Peso En Vacío ( Kg )	1850		
Marca	BT-50	Peso Bruto Del Vehículo ( Kg )	3000		
Año	2014	Tipo De Rin	15 X 6.5 J		
Serie De Motor	M-129331	Diámetro Del Círculo Del Rin	15		
VIN	M-129331	Tipo De Vehículo	DOBLE CABINA 4X4		
PARAMETROS DE PRUEBA DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y RESULTADOS					
PRUEBA	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia		Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final	
I	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	455,5 m	44
		65 km / h	0 m	444,15 m	
		65 km / h	0 m	459,2 m	
II	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	542,3 m	37
		65 km / h	0 m	443,5 m	
		65 km / h	0 m	468,2 m	
III	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	444,15 m	26
		65 km / h	0 m	533,2 m	
		65 km / h	0 m	446,5 m	



**REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE  
RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE  
NEUMÁTICOS**

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

PARAMETROS DE PRUEBA DE FRENADO Y RESULTADOS						
PRUEBA I	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	40,45 m	9.6	44
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	38,7 m	9.7	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	43,2 m	9.6	
PRUEBA II	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	38,7 m	9.6	37
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	38,7 m	9.6	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	38,7 m	9.7	
PRUEBA III	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) m/s <sup>2</sup>	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	39,35 m	9.6	26
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	39,85 m	9.6	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	37,07 m	9.6	

**Nota 1:** Antes de ejecutar las pruebas, caliente los neumáticos en la pista por un lapso de 5 minutos a una velocidad máxima de 80 km/h.

**Nota 2:** Utilice el cinturón de seguridad y procure mantener cerradas las ventanas del vehículo por su seguridad.

**Nota 3:** Utilice el acelerómetro y registre cada uno de los puntos considerados en la tabla, en relación al frenado.

**Nota 4:** Si va utiliza pesos extras a los pasajeros, asegúrelos con fajas o cinturones.

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Evaluador 1

\_\_\_\_\_  
Evaluador 2



## REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE NEUMÁTICOS

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

DATOS GENERALES DE PRUEBA					
FECHA	10/06/2016	MUESTRA	REENCAUCHE EN CALIENTE		
MARCA DE NEUMÁTICO	CYCLONE	TIPO DE NEUMÁTICO	Tipo II, Radial		
TEMPERATURA DE PRUEBA	25°C	ALTITUD	2200 Msnm		
NUEVO O REENCAUCHADO	Nuevo	SERVICIO	Vehículo De Pasajeros		
TIEMPO INICIAL DE PRUEBA	10/06/2016 12:20	TIEMPO FINAL DE PRUEBA	10/06/2016 13:30		
TIPO DE SUELO	Asfalto	LONGITUD DE PISTA	3200 m		
DATOS DEL NEUMÁTICO					
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	225/70R15	DIÁMETRO DE NEUMÁTICO	710 mm		
CONSTRUCCIÓN DEL NEUMÁTICO	RADIAL	FECHA DE FABRICACIÓN PAÍS DE ORIGEN	2016 HECHO EN ECUADOR		
ÍNDICE DE CARGA	95	ÍNDICE DE VELOCIDAD	L (120 km/h)		
MÁXIMA CAPACIDAD DE CARGA	1030 kg	PRESIÓN MÁXIMA DE INFLADO	250 kPa (36 Psi)		
TIPO DE RIN	15x6.5 J	DOT	NO TIENE		
ETIQUETA DE NIEVE	NO TIENE	MODELO	MONTAÑA		
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS					
a. Compresor b. Enllantadora c. Manómetro de presión d. Cámara termográfica e. Medidor de índice de desgaste f. Acelerómetro g. Cinta métrica h. Datalogger					
PARAMETROS DEL VEHICULO DE PRUEBA					
Vehículo	PICK-UP	Potencia Del Motor ( Kw )	157,30 HP /3500 RPM		
Fabricante	MAZDA	Peso En Vacío ( Kg )	1850		
Marca	BT-50	Peso Bruto Del Vehículo ( Kg )	3000		
Año	2014	Tipo De Rin	15 X 6.5 J		
Serie De Motor	M-129331	Diámetro Del Círculo Del Rin	15		
VIN	M-129331	Tipo De Vehículo	DOBLE CABINA 4X4		
PARAMETROS DE PRUEBA DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y RESULTADOS					
PRUEBA	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia		Presión de prueba (Psi-kPa)
			Inicial	Final	
I	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	402,25 m	36
		65 km / h	0 m	389,9 m	
		65 km / h	0 m	391,05 m	
II	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	394,2 m	31
		65 km / h	0 m	392,4 m	
		65 km / h	0 m	376,9 m	
III	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	363,35 m	22
		65 km / h	0 m	375,7 m	
		65 km / h	0 m	362,6 m	



## REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE NEUMÁTICOS

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

PARAMETROS DE PRUEBA DE FRENADO Y RESULTADOS						
PRUEBA I	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) $m/s^2$	Presión de prueba (Psi-kPa)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	44,55 m	9.7	36
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	43,65 m	9.7	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	46 m	9.6	
PRUEBA II	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) $m/s^2$	Presión de prueba (Psi-kPa)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	45,05 m	9.7	31
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	42,25 m	9.8	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	45,65 m	9.6	
PRUEBA III	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) $m/s^2$	Presión de prueba (Psi-kPa)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	40,8 m	9.8	22
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	43,65 m	9.7	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	42,55 m	9.7	

**Nota 1:** Antes de ejecutar las pruebas, caliente los neumáticos en la pista por un lapso de 5 minutos a una velocidad máxima de 80 km/h.

**Nota 2:** Utilice el cinturón de seguridad y procure mantener cerradas las ventanas del vehículo por su seguridad.

**Nota 3:** Utilice el acelerómetro y registre cada uno de los puntos considerados en la tabla, en relación al frenado.

**Nota 4:** Si va utiliza pesos extras a los pasajeros, asegúrelos con fajas o cinturones.

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Evaluador 1

\_\_\_\_\_  
Evaluador 2





## REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE NEUMÁTICOS

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

DATOS GENERALES DE PRUEBA					
FECHA	10/06/2016	MUESTRA	REENCAUCHE EN FRIO		
MARCA DE NEUMÁTICO	CONTINENTAL	TIPO DE NEUMÁTICO	Tipo II, Radial		
TEMPERATURA DE PRUEBA	25°C	ALTITUD	2200 Msnm		
NUEVO O REENCAUCHADO	Nuevo	SERVICIO	Vehículo De Pasajeros		
TIEMPO INICIAL DE PRUEBA	10/06/2016 10:30	TIEMPO FINAL DE PRUEBA	10/06/2016 11:50		
TIPO DE SUELO	Asfalto	LONGITUD DE PISTA	3200 m		
DATOS DEL NEUMÁTICO					
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	225/70R15	DIÁMETRO DE NEUMÁTICO	710 mm		
CONSTRUCCIÓN DEL NEUMÁTICO	RADIAL	FECHA DE FABRICACIÓN PAÍS DE ORIGEN	0111 HECHO EN ECUADOR		
ÍNDICE DE CARGA	109	ÍNDICE DE VELOCIDAD	R (170 km/h)		
MÁXIMA CAPACIDAD DE CARGA	1030 kg	PRESIÓN MÁXIMA DE INFLADO	380 kPa (55 Psi)		
TIPO DE RIN	15x6.5 J	DOT	DOT 1H8Y ETF2		
ETIQUETA DE NIEVE	M+S	MODELO	VANCO		
INSTRUMENTOS DE MEDIDA UTILIZADOS					
a. Compresor b. Enllantadora c. Manómetro de presión d. Cámara termográfica e. Medidor de índice de desgaste f. Acelerómetro g. Cinta métrica h. Datalogger					
PARÁMETROS DEL VEHICULO DE PRUEBA					
Vehículo	PICK-UP	Potencia Del Motor ( Kw )	157,30 HP /3500 RPM		
Fabricante	MAZDA	Peso En Vacío ( Kg )	1850		
Marca	BT-50	Peso Bruto Del Vehículo ( Kg )	3000		
Año	2014	Tipo De Rin	15 X 6.5 J		
Serie De Motor	M-129331	Diámetro Del Círculo Del Rin	15		
VIN	M-129331	Tipo De Vehículo	DOBLE CABINA 4X4		
PARÁMETROS DE PRUEBA DE RESISTENCIA A LA RODADURA Y RESULTADOS					
PRUEBA	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia		Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final	
I	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	429,3 m	55
		65 km / h	0 m	417,1 m	
		65 km / h	0 m	415,7 m	
II	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	425,8 m	47
		65 km / h	0 m	436,95 m	
		65 km / h	0 m	414,7 m	
III	64 ± 1.6 km / h	65 km / h	0 m	420,95 m	33
		65 km / h	0 m	424,35 m	
		65 km / h	0 m	425,7 m	



**REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS DE  
RESISTENCIA A LA RODADURA Y FRENADO DE  
NEUMÁTICOS**

Código: RGT-1  
Revisión: 1  
Fecha: 2016-04-05

PARAMETROS DE PRUEBA DE FRENADO Y RESULTADOS						
PRUEBA I	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) $m/s^2$	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	53,05 m	9.7	55
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	49,8 m	9.7	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	49,15 m	9.6	
PRUEBA II	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) $m/s^2$	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	49,15 m	9.6	47
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	48,5 m	9.8	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	47,2 m	9.6	
PRUEBA III	Velocidad teórica de prueba	Velocidad real de prueba	Distancia de frenado		Desplazamiento (aceleración en X) $m/s^2$	Presión de prueba (Psi)
			Inicial	Final		
1	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	45,2 m	9.7	33
2	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	47,2 m	9.7	
3	97 ± 1.6 km / h	98 km / h	0 m	50,45 m	9.6	

**Nota 1:** Antes de ejecutar las pruebas, caliente los neumáticos en la pista por un lapso de 5 minutos a una velocidad máxima de 80 km/h.

**Nota 2:** Utilice el cinturón de seguridad y procure mantener cerradas las ventanas del vehículo por su seguridad.

**Nota 3:** Utilice el acelerómetro y registre cada uno de los puntos considerados en la tabla, en relación al frenado.

**Nota 4:** Si va utiliza pesos extras a los pasajeros, asegúrelos con fajas o cinturones.

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Evaluador 1

\_\_\_\_\_  
Evaluador 2

## **ANEXO 4**

### **TABLA DE COMPORTAMIENTOS DINÁMICOS DESARROLLADA**

DESCRIPCIÓN	MARCA A GENERAL	MARCA B GOODYEAR	MARCA C AEOLUS	REENCAUCHE EN FRIO (Europea)	REENCAUCHE EN CALIENTE (CYCLONE)
TAMAÑO DEL NEUMÁTICO	225/70R15	225/70R15	225/70R15	225/70R15	225/70R15
CONSTRUCCIÓN DEL NEUMÁTICO	RADIAL	RADIAL	RADIAL	RADIAL	RADIAL
ÍNDICE DE CARGA	100	100	100	109	95
MÁXIMA CAPACIDAD DE CARGA	800 kg	800 kg	800 kg	1030 kg	1030 kg
TIPO DE RIN	15x6.5 J	15x6.5 J	15x6.5 J	15x6.5 J	15x6.5 J
ETIQUETA DE NIEVE	M+S	M+S	M+S	M+S	NO TIENE
DIÁMETRO DE NEUMÁTICO	710 mm	710 mm	710 mm	710 mm	710 mm
FECHA DE FABRICACIÓN	4515	3513	4515	0111	2016
PAÍS DE ORIGEN	HECHO EN ECUADOR	MADE IN THAILAND	MADE IN CHINA	HECHO EN ECUADOR	HECHO EN ECUADOR
ÍNDICE DE VELOCIDAD	S (180 km/h)	S (180 km/h)	T (190 km/h)	R (170 km/h)	L (120 km/h)
PRESIÓN MÁXIMA DE INFLADO	300 kPa (44 Psi)	300 kPa (44 Psi)	300 kPa (44 Psi)	380 kPa (55 Psi)	250 kPa (36 Psi)
DOT	1H30M9D	NYUU 2AW4	AGFF0051303 15	DOT 1H8Y ETF2	NO TIENE
MODELO	GRABBER AT	Wrangler AT/S	AG03	VANCO	MONTAÑA
Datos finales del comportamiento dinámico tanto en laboratorio y pruebas de pista (Autodromo Yahuarcocha)					
DISTANCIA DE FRENADO	42.63 m	43.10 m	42.78 m	50.67	44.73 m
RESISTENCIA A LA RODADURA	433.65 m	455.83 m	484.67 m	425.82 m	387.83 m
COMPARATIVO ADHERENCIA	100 %	100 %	90 %	80%	70 %
TEMPERATURA	30.13 °C	36.30 °C	42.03 °C	45.47 °C	49.77 °C

## **ANEXO 5**

### **FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO DE PRUEBA**

# FICHA TECNICA BT-50 2WD A GASOLINA 2.6L CABINA DOBLE ACTION

## MOTOR

TIPO	4 cilindros SOHC 12V
CILINDRADA (cc)	2606cc
POTENCIA (HP / RPM (SAE))	105.3 / 4600
TORQUE (Nm / RPM (SAE))	220.0 A 3000
RELACION DE COMPRESION	8.6:1
ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE	Inyección múltiple de gasolina de control electrónico

## TRANSMISION Y CAJA

TIPO	Manual de 5 velocidades • retro
RELACIONES DE TRANSMISION:	
1ra.	4.415
2da.	2.630
3ra.	1.997
4ta.	1
5ta.	0.875
6ta.	3.716
DESCRIPCION FINAL	4:1
TIPO DE DIFERENCIAL POSTERIOR	Estándar

## SUSPENSION

SUSPENSION DELANTERA	Independiente doble brazo con barra de torsión, amortiguadores a gas y barra estabilizadora
SUSPENSION POSTERIOR	Eje rígido con balanza (C-CLB) de 5 hojas y amortiguadores a gas

## DIRECCION

TIPO DE DIRECCION	Caja de cambio sin fin y bolas recirculadas, asistencia hidráulica (HPS) sensible a la velocidad de motor
VOLANTE DE ALTURA AJUSTABLE	Equipado
RADIO DE GIRO (m)	6

## FRENOS

TIPO	Hidráulico servo asistido con circuitos independientes
FRENOS DELANTEROS	Discos ventilados
FRENOS POSTERIORES	Tambores con sistema de bandas autoblocantes
SISTEMA DE COMPRESION SENSIBLE A LA CARGA EN EL BALDE	Equipado con válvula (SPV) de control de fuerza de frenado

## DIMENSIONES PRINCIPALES

LARGO TOTAL (mm)	5169
ANCHO TOTAL (mm)	1715
ALTURA TOTAL (mm)	1632
DISTANCIA ENTRE EJES (mm)	3000
TROCHA DELANTERA (mm)	1445
TROCHA POSTERIOR (mm)	1450
PESO TOTAL SIN CARGA (kg)	1549
CAPACIDAD DE CARGA VEHICULO (kg)	1100
CAPACIDAD TANQUE DE COMBUSTIBLE (lpm)	35



Las especificaciones y colores de pintura están sujetos a cambios sin previo aviso y pueden variar según la región. Para los más preciosos consulte a su concesionario Mazda.

www.mazda.com.ec

## SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA

DISEÑO DE CABINA	Cartero de seguridad MACAS de absorción y distribución de fuerza de impacto Protección triple H para habitáculo Equipado 2 de 3 barras (verticales) y 1 central fija de 2 puntos Conductor y pasajero Equipado con 4 sensores y 3 canales de distribución con distribución electrónica de fuerza de frenado (EBD) Conductor y pasajero Equipado Equipado en ventanilla conductor Equipado Equipado
PUERTAS CON BARRAS DE PROTECCION	
CINTURONES DE SEGURIDAD DELANTEROS	
CINTURONES DE SEGURIDAD POSTERIORES	
PRETENSOR Y LIMITADOR DE CARGA	
SISTEMA ABS	
SISTEMA AIRBAG	
DESEMPEÑO EN PARAMETRIS POSTERIOR	
SISTEMA DE AUTODIRECCION EN VIRAJES ELECTRICOS	
COLUMNA DE DIRECCION COLAPSIBLE	
ALARMA	

## EQUIPO EXTERIOR

LAMPARAS BARRAS DELANTERO	Intermitente con cortejo de frecuencia, 3 velocidades y 1 flash
RETROVISORES EXTERIORES	Cromados, eléctricos y plegables
GUARDALANCIAS DELANTEROS Y POSTERIORES	Delanteros y posteriores
GUARDACHOCOS DELANTERO	Polípropileno reforzado de 1 solo pieza bodycolor con refuerzo interno metálico
GUARDACHOCOS POSTERIOR	Polípropileno reforzado de 1 sola pieza bodycolor con refuerzo interno metálico y acero antirrotura
MANIJAS INTERIORES PUERTAS	Cromadas
RECORRIDO DE OJAL DE PUERTAS	Equipado
VANILLAS DE CARGA EN BALDE	Internas, sin flotar de balde
MANEJA COMPUERTA BALDE	Cromada
LLANTAS	225/70 R16
ANOS PARA MONTAR EN EJES	15 x 6.5 J de aluminio 6 y 6.5

## EQUIPO INTERIOR

ASIENTOS DELANTEROS	Individuales con apoyabrazos, espaldas reclinables, ergonómicos y con bolitas laterales en tela
ASIENTOS TRASEROS	Tipo banca con apoyabrazos, apoyacabezas incorporados, espaldas abatible / asiento flip, tapizados en tela
SISTEMA DE APERTURA DE TAPA DE COMBUSTIBLE	Accionamiento con cable desde el interior de la cabina
CONSOLA DELANTERA	Con portabóvedas fimbriado (si se enciende las luces, portabovedas y sanitario (servicio)) Equipado, con 2 compartimientos y portabovedas Equipado (2)
CONSOLA CENTRAL	Equipado (2)
CONSOLA PORTAVASOS POSTERIOR	Modular, integrada al panel de instrumentos, reproducir MP3/CD/MP4 con cargador de LCD, receptor AM/FM con memorias y reloj
RADIO	Equipado en consola central
ENTRADA ALUGO AUXILIAR	Equipado en 2 delanteros y 2 posteriores en tapado de puertas, más 2 llaveros en tapa de refuerzos
PARLANTE	Equipado (2)
ENCENDEDOR Y TOMA-CORRIENTE AUXILIAR	Equipado
REOSTATO PARA CONTROL DE ILUMINACION PANEL INSTR	De 4 velocidades con retroalimentación de aire interno
ARE ACONDICIONADO	Equipado
CALEFACCION / VENTILACION	Diá y noche
RETROVISOR INTERIOR	Eléctrico (con sistema autorotacional)
ACCIONAMIENTO VIDRIOS	Equipado en las 4 puertas
BLOQUEO CENTRAL	
LAMPARA DE SALON	Equipada en techo cabina y con luz de lectura

## **ANEXO 6**

### **FOTOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS A LOS NEUMÁTICOS**



Neumáticos para ensayo en el Laboratorio de Llantas de la Escuela Politécnica Nacional



Enllantaje de neumáticos en aros especiales para pruebas en el tambor dinamométrico



Pista de pruebas vista exterior Autódromo Yahuarcocha.





Pista de pruebas vista interna Autódromo Yahuarcocha.



Piloto (Fernando Madera), Tesistas (Alex Nuñez y Javier Sánchez)



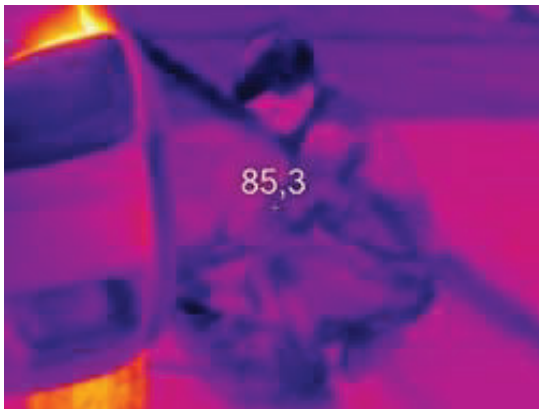
Medición de las distancias de frenado según el tipo de neumático.



Pruebas de neumático en el vehículo de prueba.



Vehículo con la velocidad de prueba



Medición de la temperatura y presión de los neumáticos luego de las pruebas

## **ANEXO 7**

### **MEDICIONES CON EL ACELERÓMETRO**



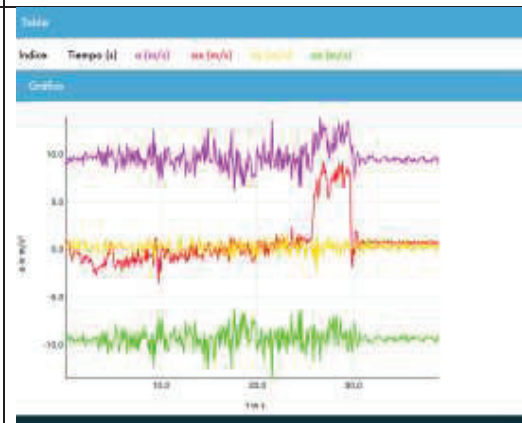
## Distancias de frenado 100% de presión



### MARCA A



### MARCA B



### MARCA C



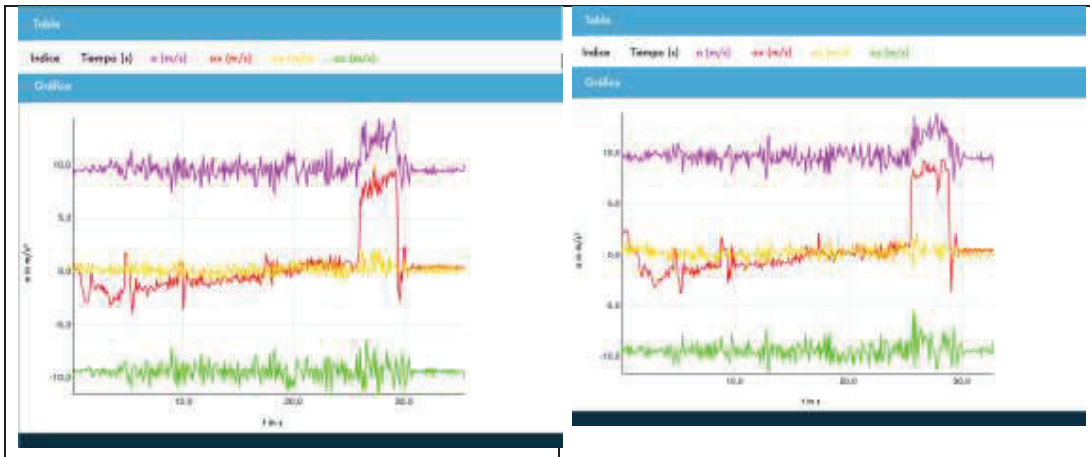
### REENCAUCHE EN FRIO



### REENCAUCHE EN CALIENTE

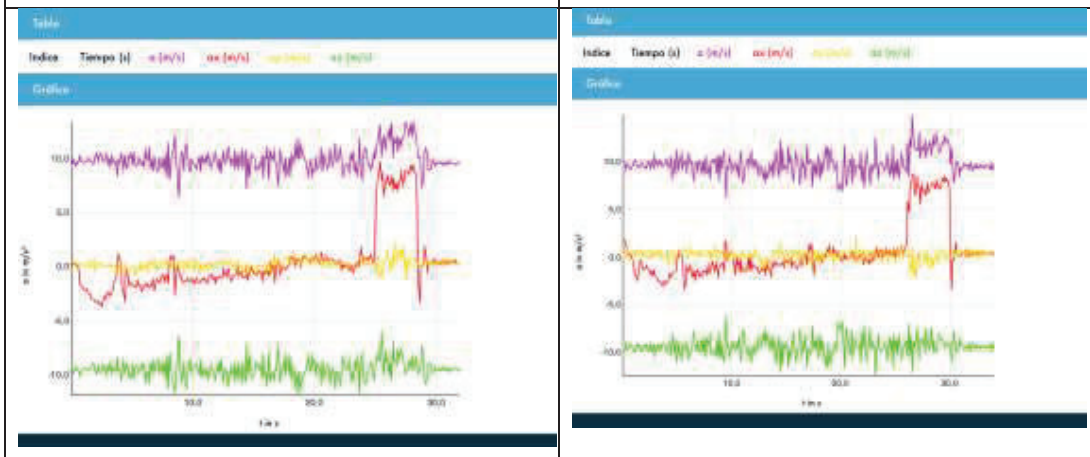
### RECORRIDO DE PISTA 3.2 km

## Distancias de frenado 85% de presión



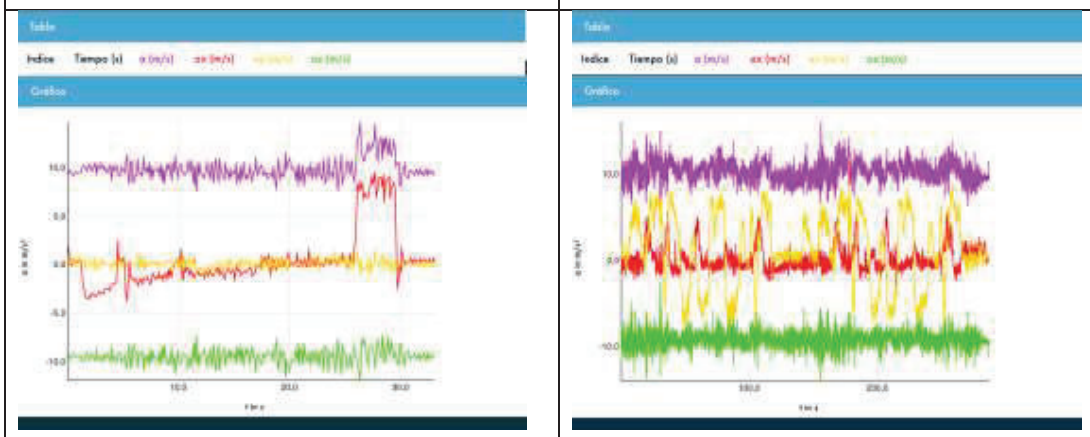
**MARCA A**

**MARCA B**



**MARCA C**

**REENCAUCHE EN FRIO**



**REENCAUCHE EN CALIENTE**

**RECORRIDO DE PISTA 3.2 km**

**Distancias de frenado 60% de presión**



**MARCA A**



**MARCA B**



**MARCA C**



**REENCAUCHE EN FRIO**



**REENCAUCHE EN CALIENTE**



**RECORRIDO DE PISTA 3.2 km**

## **ANEXO 8**

### **INFORMACIÓN DEL PILOTO PROFESIONAL FERNANDO MADERA**





Licencia deportiva Fernando Madera



Homenaje a Pilotos destacados internacionalmente en el 2014

**Fernando Madera Jr.**  
 Ecuadorian 19 years old September 5, 1997 Ibarra

**Racing highlights**

2014	3rd	Italian Formula ACI-CSAI Abarth Championship
------	-----	----------------------------------------------

**Racing career summary**

Races entered	34
Wins	0
Podiums	9
Pole positions	0
Fastest laps	1
Race win percentage	0%
Podium percentage	26.5%

Disclaimer: the data and summaries are all taken from the data available in the career details section further below on this page. If you know of things missing or have corrections, please log in and submit them

Resumen de las carreras del Campeonato de Italia de Fórmula Abarth ACI-CSAI