



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Ingeniería Industrial

Unidad de Posgrado

**“Reducción de emisiones contaminantes mediante una
gestión de control de neumáticos en buses de
transporte”**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial

AUTOR

Jonathan Alexander RUIZ CARRILLO

ASESOR

Dr. Juan Manuel CEVALLOS AMPUERO

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ruíz, J. (2020). *Reducción de emisiones contaminantes mediante una gestión de control de neumáticos en buses de transporte*. Tesis para optar grado de Doctor en Ingeniería Industrial. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

HOJA DE METADATOS COMPLEMENTARIOS

| | |
|---|--|
| Código ORCID del autor | orcid.org/0000-0002-9183-0004 |
| DNI o pasaporte del autor | ECU / A5496017 |
| Código ORCID del asesor | orcid.org/0000-0001-8612-9128 |
| DNI o pasaporte del asesor | 07855059 |
| Grupo de investigación | - |
| Agencia financiadora | - |
| Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación | Lugar: Ecuador, El Oro, Machala, Parroquia Machala. Coordenadas geográficas: Latitud: -3.252016 Longitud: -79.952614 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | 2014-2019 |
| Disciplinas OCDE | Ingeniería industrial http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04 Otras ingenierías y tecnologías http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.02 |



**UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS**

Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 03-UPG-FII-2020

**SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO
DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

En la ciudad de Lima, del día doce del mes de marzo de dos mil veinte, siendo las catorce horas y media, en acto público se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **“REDUCCIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES MEDIANTE UNA GESTIÓN DE CONTROL DE NEUMÁTICOS EN BUSES DE TRANSPORTE”**, para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido *aprobado* con la calificación de *Diecisiete (17) (MUY BUENO)*

El Jurado recomienda que la Facultad de Ingeniería Industrial acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial, al **Mg. RUIZ CARRILLO JONATHAN ALEXANDER.**

En señal de conformidad, siendo las *15:35* horas se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

JLM
Dr. INCHE MITMA, JORGE LUIS
Presidente

Isaac
DR. CABRERA CARRANZA, CARLOS FRANCISCO
Miembro

FJ
Dr. WONG CABANILLAS, FRANCISCO JAVIER
Miembro

RK
Dra. MOORE TORRES, ROSA KAROL
Miembro

JMA
Dr. CEVALLOS AMPUERO, JUAN MANUEL
Asesor

Dedicatoria

A mis padres.

Agradecimiento

A todas las personas e instituciones que aportaron directa e indirectamente en la elaboración de la presente tesis.

Índice General

| | |
|--|----|
| Resumen | ix |
| Abstract | x |
| I. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Situación Problemática..... | 1 |
| 1.2. Formulación del Problema | 4 |
| 1.2.1. Problema General..... | 4 |
| 1.2.2. Problemas Específicos | 4 |
| 1.3. Justificación de la Investigación..... | 4 |
| 1.3.1. Justificación metodológica..... | 4 |
| 1.3.2. Justificación teórica..... | 5 |
| 1.3.3. Justificación práctica..... | 7 |
| 1.4. Objetivos | 8 |
| 1.4.1. Objetivo General | 8 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos..... | 8 |
| II. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO | 9 |
| 2.1. Marco filosófico y epistemológico de la investigación..... | 9 |
| 2.2. Antecedentes de la investigación..... | 16 |
| 2.3. Bases Teóricas | 20 |
| 2.3.1. Responsabilidad social ambiental | 20 |
| 2.3.2. Las emisiones contaminantes..... | 21 |
| 2.3.3. Emisiones contaminantes producto de la industria de fabricación de cubiertas y cámaras | 24 |
| 2.3.4. Control de gestión de neumáticos | 28 |
| 2.4. Marco Conceptual | 29 |
| 2.5. Hipótesis y variables | 32 |
| 2.5.1. Hipótesis General | 32 |
| 2.5.2. Hipótesis Específicas | 32 |
| 2.6. Identificación de variables..... | 32 |
| 2.6.1. Variables de la hipótesis general..... | 32 |
| 2.6.2. Variables de las hipótesis específicas | 33 |
| 2.7. Operacionalización de variables..... | 33 |
| 2.8. Matriz de consistencia | 35 |

| | | |
|--------|---|-----|
| III. | CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA | 36 |
| 3.1. | Tipo y Diseño de investigación | 36 |
| 3.2. | Unidades de análisis | 38 |
| 3.3. | Población de estudio..... | 39 |
| 3.4. | Tamaño de la muestra..... | 41 |
| 3.5. | Selección de la muestra | 43 |
| 3.6. | Técnicas de recolección de datos | 44 |
| 3.7. | Análisis e interpretación de información..... | 46 |
| IV. | CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 51 |
| 4.1. | Presentación de resultados..... | 51 |
| 4.1.1. | Sobre las variables de la hipótesis específica 1 | 51 |
| 4.1.2. | Sobre las variables de la hipótesis específica 2..... | 92 |
| 4.2. | Análisis, interpretación y discusión de resultados..... | 119 |
| 4.2.1. | Variables de la hipótesis específica 1..... | 119 |
| 4.2.2. | Variables de la hipótesis específica 2..... | 120 |
| 4.3. | Pruebas de hipótesis | 122 |
| 4.3.1. | Pruebas de las hipótesis específicas | 122 |
| 4.3.2. | Prueba de la hipótesis general | 124 |
| V. | CONCLUSIONES | 125 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 127 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 128 |
| VIII. | ANEXOS..... | 139 |

Lista de Tablas

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1.- | Monto de importaciones de neumáticos en Ecuador | 3 |
| Tabla 2. | Descripción del marco muestral para los estratos de la población. | 41 |
| Tabla 3. | Descripción de las variables que incluyen el instrumento de investigación para la hipótesis primera. | 45 |
| Tabla 4. | Ficha de observación usada como instrumento de investigación para verificar la hipótesis segunda. | 46 |
| Tabla 5. | Fallas más comunes de neumáticos nuevos por marca (fracción) | 53 |
| Tabla 6. | Fallas más comunes de neumáticos reencauchados por marca..... | 54 |
| Tabla 7. | Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera pavimentada de larga distancia) | 60 |
| Tabla 8. | Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Regional) | 61 |
| Tabla 9. | Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Mixta) | 62 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 10. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Urbano)..... | 63 |
| Tabla 11. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera pavimentada de larga distancia) | 65 |
| Tabla 12. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera regional) | 66 |
| Tabla 13. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera mixta) | 67 |
| Tabla 14. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera urbana) | 68 |
| Tabla 15. Frecuencias de marcas de neumáticos nuevos | 74 |
| Tabla 16. Marcas de neumáticos nuevos de buses más utilizados (Resumen) | 80 |
| Tabla 17. Frecuencias de marcas de neumáticos reencauchados | 80 |
| Tabla 18. Marcas de neumáticos reencauchados de buses más utilizados (Resumen) | 83 |
| Tabla 19. Frecuencias de fallas más comunes en neumáticos nuevos | 84 |
| Tabla 20. Fallas en neumáticos nuevos de buses de transporte más comunes (Resumen) | 87 |
| Tabla 21. Frecuencias de fallas más comunes en neumáticos reencauchados | 87 |
| Tabla 22. Fallas de neumáticos reencauchados de buses más comunes (Resumen).. | 90 |
| Tabla 23. Frecuencias de datos válidos registrados por tipos de carretera | 93 |
| Tabla 24. Frecuencia de los registros obtenidos por cada neumático | 93 |
| Tabla 25. Frecuencias de datos válidos obtenidos por cooperativa | 94 |
| Tabla 26. Frecuencias de datos válidos por marca de neumático | 95 |
| Tabla 27. Frecuencias de datos válidos por modelo de neumático (fracción) | 96 |
| Tabla 28. Frecuencias de datos válidos por medida de neumático | 97 |
| Tabla 29. Frecuencias de datos válidos por presiones registradas | 97 |
| Tabla 30. Frecuencias de datos válidos por índice de presión | 98 |
| Tabla 31. Frecuencias de datos válidos por ply rating | 98 |
| Tabla 32. Frecuencias de datos válidos por índice de carga singular | 98 |
| Tabla 33. Frecuencias de datos válidos por carga promedio | 99 |
| Tabla 34. Frecuencias de datos válidos por índice de velocidad | 99 |
| Tabla 35. Frecuencias de datos válidos por velocidad media | 99 |
| Tabla 36. Frecuencias de datos válidos por diseño de corona | 100 |
| Tabla 37. Frecuencias de datos válidos por observaciones varias en los neumáticos | 100 |
| Tabla 38. Información general del modelo de estimación aplicado..... | 101 |
| Tabla 39. Información de los efectos sujeto y datos correlacionados..... | 101 |
| Tabla 40. Estadísticos descriptivos básicos de los indicadores considerados para la segunda hipótesis | 102 |
| Tabla 41. Pruebas de efectos de modelo de estimación | 103 |
| Tabla 42. Estimaciones del ritmo de desgaste en función de las variables de la hipótesis segunda | 104 |
| Tabla 43. Ranking de tipos de neumáticos con menor ritmo de desgaste..... | 105 |
| Tabla 44. Hoja de cálculo desarrollada para establecer tipos de neumático con menor desgaste (fracción) | 106 |
| Tabla 45. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación general | 107 |
| Tabla 46. Resumen del modelo de estimación de la ecuación general | 108 |
| Tabla 47. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación general | 109 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 48. Variables excluidas en la estimación de la ecuación general..... | 109 |
| Tabla 49. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de la ecuación general . | 110 |
| Tabla 50. Coeficientes para la ecuación general | 110 |
| Tabla 51. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación pavimentado | 111 |
| Tabla 52. Resumen del modelo de estimación de la ecuación pavimentado | 111 |
| Tabla 53. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación pavimentado | 111 |
| Tabla 54. Variables excluidas en la estimación de la ecuación pavimentado..... | 112 |
| Tabla 55. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de ecuación pavimentado | 112 |
| Tabla 56. Coeficientes para la ecuación pavimentado | 112 |
| Tabla 57. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación de regional. | 113 |
| Tabla 58. Resumen del modelo de estimación de la ecuación de regional | 113 |
| Tabla 59. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación de regional.. | 113 |
| Tabla 60. Variables excluidas en la estimación de la ecuación de regional | 113 |
| Tabla 61. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de la ecuación de regional | 114 |
| Tabla 62. Coeficientes para la ecuación de regional..... | 114 |
| Tabla 63. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación de urbano... | 114 |
| Tabla 64. Resumen del modelo de estimación de la ecuación de urbano | 115 |
| Tabla 65. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación de urbano.... | 115 |
| Tabla 66. Variables excluidas en la estimación de la ecuación de urbano | 116 |
| Tabla 67. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de la ecuación de urbano | 116 |
| Tabla 68. Coeficientes para la ecuación de urbano..... | 116 |
| Tabla 69. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación de mixto..... | 117 |
| Tabla 70. Resumen del modelo de estimación de la ecuación de mixto..... | 117 |
| Tabla 71. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación de mixto..... | 117 |
| Tabla 72. Variables excluidas en la estimación de la ecuación de mixto | 117 |
| Tabla 73. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de la ecuación de mixto | 118 |
| Tabla 74. Coeficientes para la ecuación de mixto..... | 118 |
| Tabla 75. Constantes, coeficientes y variables de las ecuaciones para predicción del desgaste de la banda de rodamiento de neumáticos | 118 |
| Tabla 76. Cantidades de emisiones contaminantes que pueden ser contrarrestadas aplicando los tipos de neumáticos recomendados..... | 123 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Componentes del neumático..... | 29 |
| Figura 2. Gráfica del diseño de investigación | 37 |
| Figura 3. Resultado de la razón de uso o no uso del servicio de reencauche (porcentajes totales) | 55 |
| Figura 4. Porcentajes relativos de las fallas más comunes que se presentan en los neumáticos nuevos | 57 |
| Figura 5. Porcentajes relativos de las fallas más comunes que se presentan en los neumáticos reencauchados | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 6. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus Fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan | 59 |
| Figura 7. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus Fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan..... | 64 |
| Figura 8. Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos según tipo de carretera en que circulan..... | 69 |
| Figura 9. Kilometraje recorrido por llantas reencauchadas según tipo de carretera en que circulan | 70 |
| Figura 10. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados según el tipo de carretera en que circulan | 72 |
| Figura 11. Marcas de llantas reencauchadas más utilizadas según tipo de carretera en que circulan | 73 |
| Figura 12. Representación gráfica de marcas de neumáticos nuevos más utilizados | 75 |
| Figura 13. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados (Carretera mixta)..... | 76 |
| Figura 14. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados (Carretera pavimentado de larga distancia) | 77 |
| Figura 15. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados (Carretera regional)..... | 78 |
| Figura 16. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados (Carretera urbana)..... | 79 |
| Figura 17. Representación gráfica de marcas de neumáticos reencauchados más utilizados | 81 |
| Figura 18. Marcas de reencauche más común (Carretera mixta)..... | 81 |
| Figura 19. Marcas de reencauche más común (Carretera pavimentada de larga distancia) | 82 |
| Figura 20. Marcas de reencauche más común (Carretera regional)..... | 82 |
| Figura 21. Marcas de reencauche más común (Carretera urbana) | 83 |
| Figura 22. Representación gráfica de fallas más comunes de neumáticos nuevos | 84 |
| Figura 23. Fallas más comunes de neumáticos nuevos (Carretera mixta) | 85 |
| Figura 24. Fallas más comunes de neumáticos nuevos (Carretera pavimentado de larga distancia) | 85 |
| Figura 25. Fallas más comunes de neumáticos nuevos (Carretera regional) | 86 |
| Figura 26. Fallas más comunes de neumáticos nuevos (Carretera urbana) | 86 |
| Figura 27. Representación gráfica de las fallas más comunes en reencauchados..... | 88 |
| Figura 28. Fallas más comunes en reencauchados (Carretera mixta) | 88 |
| Figura 29. Fallas más comunes en reencauchados (Carretera pavimentada de larga distancia) | 89 |
| Figura 30. Fallas más comunes en reencauchados (Carretera regional) | 89 |
| Figura 31. Falla más común en reencauchados (Carretera urbana) | 90 |
| Figura 32. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según su marca y el tipo de carretera | 91 |
| Figura 33. Kilometraje recorrido por llantas reencauchadas según su marca y el tipo de carretera | 92 |

Resumen

El presente estudio se realizó con la finalidad de determinar los factores controlables que permitan reducir de forma significativa la generación de neumáticos desechados por los buses de transporte y su consecuente emisión contaminante, puesto que las llantas fuera de uso afectan de forma considerable al ecosistema y es necesario establecer medidas de control que extiendan el tiempo operativo de los neumáticos.

Se realizó esta investigación aplicando elementos de análisis estadístico exploratorio, descriptivo e inferencial para discriminar los efectos de los factores controlables que influyen en la duración de los neumáticos radiales aplicados en buses de transporte, en función del ritmo de desgaste de la banda de rodamiento. Con diferentes instrumentos de investigación, en forma de fichas de control, se pudo estimar el tipo de neumático adecuado para cada aplicación, lo cual permite reducir la cantidad de llantas desechadas y la contaminación producida por este elemento. También se aplica un análisis no lineal, verificando que un control de la presión de inflado, índice de carga y de velocidad pueden incrementar el tiempo de vida útil de las llantas. Con una regresión de mínimos cuadrados se estimaron ecuaciones para predecir el ritmo de desgaste.

Palabras clave: Neumáticos, emisiones contaminantes, ritmo de desgaste, índice de carga, índice de velocidad, presión de inflado.

Abstract

The current study was carried out with the purpose of determining the control elements that allow to reduce significantly the generation of discarded tires by the transport buses and their consequent polluting emission, since the tires out of use affect considerably the ecosystem and it is necessary to establish control measures that extend the operating time of the tires.

This research was carried out applying elements of exploratory, descriptive and inferential statistical analysis to discriminate the effects of the controllable factors that influence the duration of the radial tires applied in transport buses, according to the wear rate of the tread. With different research instruments, like control sheets, it was possible to estimate the type of tire suitable for each application, which allows to reduce the number of tires discarded and the pollution produced by this element. A non-linear analysis is also applied, verifying that a control of the inflation pressure, load and speed index can increase the life time of the tires. With a least squares regression, equations were estimated to predict the rate of wear.

Keywords: Tires, pollutant emissions, wear rate, load index, speed index, inflation pressure.

I. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

Las cooperativas de transporte urbano y regional tienen un control limitado del uso de neumáticos en los buses afiliados a ellas, lo cual genera una disminución en el tiempo de vida útil de las llantas, incrementando la demanda, la contaminación y el gasto por este rubro. El principal consumidor de llantas de caucho es la industria automotriz. Los neumáticos son un factor básico para la seguridad de los ocupantes del vehículo, y por tanto influye en la confianza de éstos. Entre los costos de insumo de transporte, los neumáticos son el segundo elemento que más costos genera, después del combustible (Deb Nath, Ahmed, Kim, & Wong, 2011; E. da C. Rodvalho & de Tomi, 2017).

El deficiente o nulo control de flotas de transporte durante el periodo operativo reduce la vida útil de las llantas y provoca el incremento en su demanda. Una baja presión de inflado, la sobrecarga o los daños que van sufriendo a lo largo de su uso inciden también en el desgaste prematuro del neumático, además de un mayor consumo de combustible dado que estos fenómenos hacen que el vehículo tenga que generar más fuerza de tracción para moverse. Es decir, las llantas en buenas condiciones contribuyen a reducir su consumo. Tanto el incremento en el uso de neumáticos como el de carburantes tienen un impacto negativo en el medioambiente (Dabić-Ostojić, Miljuš, Bojović, Glišović, & Milenković, 2014; Mondal & Mukherjee, 2012; Previati & Kaliske, 2012).

En Ecuador, en promedio se ha importado anualmente alrededor de 489.100 neumáticos nuevos de caucho entre los años 2011 y 2017, de los cuales aproximadamente 183.000 son neumáticos radiales para buses de transporte, cantidad estimada que puede llegar a provocar alrededor de 87 toneladas métricas (Ton) de emisiones de carbono (C), y sólo se aprovechan aproximadamente el 30% para reencauche. Es decir, desde el año 2018 tenemos más 128.000 unidades (und) de neumáticos radiales que se acumulan como basura luego de que han terminado su vida

útil, y esta cifra aumenta dado el continuo crecimiento del parque automotor nacional (International Trade Centre, 2018; Ramos, Alguacil, & López, 2011).

La enorme repercusión que tiene esto al medio ambiente es mucho más que representativa, sabiendo que un neumático de caucho puede llegar a tardar alrededor de 500 años en degradarse. Y si consideramos que las plantas reencauchadoras del Ecuador aprovechan menos del 70% de los neumáticos desgastados (carcasas) que se preseleccionan como aptas para ser renovadas, podemos deducir la reducida cantidad de llantas que no se desechan luego de que se desgasta la banda de rodadura por primera vez (Parise, 2015; Ramos et al., 2011).

La contaminación se deriva del dióxido de carbono (CO_2) emitido durante la fabricación de un neumático. En Ecuador, el factor de emisión de dióxido de carbono, entendida como la cantidad (en kg) de uso de energía por kg de equivalente de petróleo, hasta el año 2014 era de 3.097, muy superior al promedio global, que se ubicaba en 2.573. Este factor o intensidad de emisión estima el ritmo de desprendimiento de partículas de dióxido de carbono durante el proceso de producción industrial de petróleo (Grupo Banco Mundial, 2019).

Para la estimación de las emisiones contaminantes totales se puede hacer un análisis de ciclo de vida, que incluye las emisiones de carbono derivadas del desecho o reciclaje o desecho de los materiales manufacturados a base de petróleo, como los neumáticos (Hanova & Dowlatabadi, 2007). En el apartado 4.1.1 sobre las variables de la hipótesis específica 1 se muestra el cálculo detallado en función del total de neumáticos que se desechan anualmente. Es decir, valorando las emisiones de carbono que representa su fabricación, pero sin considerar aspectos como su transporte y operatividad.

Con relación a la materia prima, con una masa aproximada de 60 Kilogramos (Kg), un neumático radial nuevo requiere cerca de 22 galones (gal) de petróleo, lo que incide directamente tanto en su costo final como en el impacto ambiental generado mientras mayores sean las cantidades importadas. Debido a esto y a los montos de importación invertidos (Tabla 1), considerando valores representativos entre \$ 400 y \$ 600 cada llanta de bus, es necesario desarrollar técnicas de manejo de neumáticos radiales

desechados, para controlar la contaminación que generan al medioambiente (Gavilanes Triviño, 2013; Mott, 2015; Stevenson, Stallwood, & Hart, 2008).

Tabla 1.- Monto de importaciones de neumáticos en Ecuador

| Importaciones | Llantas en general | | Llantas para buses | |
|---------------|--------------------|----------------|--------------------|------------|
| | Año | Valores | Valores | Cantidades |
| | Valor en 2011 | \$ 223.263.000 | \$ 106.564.000 | 625.878 |
| | Valor en 2012 | \$ 246.510.000 | \$ 115.933.000 | 576.223 |
| | Valor en 2013 | \$ 214.014.000 | \$ 104.395.000 | 518.597 |
| | Valor en 2014 | \$ 220.950.000 | \$ 102.994.000 | 471.641 |
| | Valor en 2015 | \$ 174.755.000 | \$ 74.974.000 | 445.239 |
| | Valor en 2016 | \$ 123.083.000 | \$ 43.425.000 | 323.950 |
| | Valor en 2017 | \$ 180.081.000 | \$ 65.437.000 | 462.175 |

Fuente. Datos tomados de (International Trade Centre, 2018)

Algunas empresas de servicio de transporte y de comercialización han implementado técnicas de control de desgaste de neumáticos con el fin de reducir costos en este rubro, además de evitar el descarte prematuro de las llantas, pero con limitados alcances dado que no se evalúa adecuadamente el tipo de neumático más apropiado en función de la presión de inflado, carga, velocidad promedio y condiciones de terreno a las que será expuesto. No existe un sistema de control estándar diseñado para monitorear el desgaste de los neumáticos, tomando en cuenta las variaciones en las condiciones climáticas y de operación que se presenten mientras estos se encuentran instalados (X. Chen, Xu, & Guo, 2018; Hong, Erdogan, Hedrick, & Borrelli, 2013).

Un elemento por analizar es el costo por kilómetro de los neumáticos utilizados, ya que este indicador puede ayudar a elegir la mejor opción de compra, pero lo primordial es buscar acciones o controles que contribuyan a incrementar la eficiencia de uso del neumático. Para las compañías, la visión sería lograr la mayor productividad de los neumáticos con la menor tasa de elementos desechados, induciendo a las industrias a desarrollar una estrategia de producción más limpia. Es necesario un estudio que ayude a elaborar un modelo de control de desgaste de llantas, que permita reducir la cantidad desechada (E. da C. Rodvalho & de Tomi, 2017).

Luego, será necesario evaluar el modelo a lo largo de la vida útil de un grupo de neumáticos, considerando las variaciones climáticas y operativas. Es recomendable para el estudio que los vehículos en donde operen los neumáticos mantengan una carga promedio constante, con los mismos choferes o condiciones de manejo y en las mismas rutas de transporte. El uso de registros para el control y predicción del desgaste de neumáticos de buses de transporte urbano y regional sería la novedad de esta investigación (Grigoratos, Gustafsson, Eriksson, & Martini, 2018; Nguyen, Zheng, Schmerwitz, & Wriggers, 2018).

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuáles son los factores controlables que reducen la generación de neumáticos desechados por los buses de transporte?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son los factores controlables más representativos que afectan el tiempo de vida útil de los neumáticos instalados en buses de transporte?
- ¿Qué características deben tener los neumáticos de los buses de transporte para reducir la cantidad de llantas que desechan?

1.3. Justificación de la Investigación

1.3.1. Justificación metodológica

Muchas empresas de servicio de transporte ecuatorianas han implementado técnicas de control de desgaste de neumáticos de caucho con el fin de reducir costos en este rubro, además de evitar el descarte prematuro de las llantas y aplicar bandas de reencauche en algunos casos, pero con limitados alcances dado que no se evalúa adecuadamente el tipo de neumático más apropiado en función de la presión de inflado, carga, velocidad promedio y condiciones de terreno a las que será expuesto (Li, Zuo, Lei, Yang, & Wu, 2012; E. da C. Rodovalho & de Tomi, 2017).

En general, se necesita un sistema de control estandarizable diseñado para monitorear el desgaste de los neumáticos de buses de transporte, tomando en cuenta las variaciones en las condiciones de operación que se presenten mientras se encuentran instalados. Además, para este sector es preciso desarrollar técnicas de manejo de neumáticos fuera de uso para controlar la contaminación que generan al medioambiente (El Universo, 2018; E. da C. Rodvalho & de Tomi, 2017). Una de las metas de la presente investigación apuntará a caracterizar una metodología de estimación del ritmo de desgaste de un neumático, para lo cual se puede tomar como referente una base de datos de los buses de transporte que circulan en la provincia de El Oro, por ser una de las más diversas del Ecuador en condiciones climáticas y tipos de carreteras, por tanto, se pueden generalizar los resultados del estudio a nivel nacional (Noblecilla G., Ortíz B., Ruiz C., Encalada L., & Ordoñez C., 2016).

La mayor parte de las diferentes cooperativas de transporte del Ecuador y la provincia de El Oro tienen interés en los resultados de un tipo de estudio como el propuesto para la presente tesis (El Universo, 2018). Los datos pueden extraerse de los buses afiliados a las cooperativas de transporte urbano de la ciudad de Machala, provincia de El Oro, como son Multioro S.A., Ciudad de Machala Cia. Ltda. y Oroconti S.A. Además de cooperativas de transporte regional o intercantonales tales como OroExpress S.A., CIFA Cia. Ltda. y Cooperativa Centinela del Sur. Además de otras cooperativas con recorridos interprovinciales.

1.3.2. *Justificación teórica*

Uno estudio afín a la presente investigación se llevó a cabo en una zona minera ubicada en la región sureste de Brasil y su evaluación se llevó a cabo durante un año, con la finalidad de desarrollar una programación trimestral que permita la gestión del desgaste de los neumáticos aplicados en las unidades de transporte de una empresa minera. Se utilizaron técnicas de simulación mediante regresión lineal multivariable para considerar la estacionalidad climática en la zona. La metodología aplicada considerando elementos como la carga sobre los neumáticos, la distancia de recorrido promedio, los tiempos de maniobra, entre otros, fue efectiva para conseguir su objetivo principal. Los modelos desarrollados explican la operación de transporte de manera

apropiada, demostrando, con base en los valores R^2 la calidad de los modelos para ambos escenarios climáticos, tanto para condiciones húmedas como secas (E. da C. Rodvalho & de Tomi, 2017).

Existen varias investigaciones relativas a la presión de inflado en los neumáticos. En dos estudios similares en unidades de transporte agrícola, se comprobó que los niveles más bajos de presión de inflado causan un mayor consumo de combustible cuando se usan neumáticos desgastados, generando un impacto ambiental negativo. Al comparar el uso de neumáticos nuevos y desgastados, los nuevos neumáticos prestaron un mejor consumo de combustible del tractor que funcionaba en un suelo compacto. La baja presión genera una flexión exagerada de la carcasa del neumático, lo que aumenta la resistencia a la rodadura de la llanta. Una presión demasiado grande provoca la disminución de la adherencia del neumático, un desgaste irregular y mayor ritmo de desgaste. (Biris, Ungureanu, Maican, Murad, & Vladut, 2011; Spagnolo, Volpato, Barbosa, Palma, & Barros, 2012).

Otros estudios incluyen la velocidad de recorrido. En uno de estos, se midió la cantidad total de partículas de desgaste de los neumáticos a una velocidad constante de 80 km/h y se investigaron sus características morfológicas y elementales. Bajo condiciones de fricción severas, el diámetro medio aumentó y la distribución del tamaño se amplió, incrementándose el desgaste de la banda de rodamiento (Park, Kim, & Lee, 2018). Y en otro estudio afín, demuestra que los principales factores de impacto del desgaste de la banda de rodadura del neumático se obtienen a través del análisis de sensibilidad de los parámetros de velocidad, la temperatura ambiente, la presión de los neumáticos y la carga soportada. Se verifica que con un aumento en la velocidad vertical, aumenta la velocidad de deformación del neumático y la capacidad de generación de calor, lo que resulta en un desgaste acelerado de la banda de rodadura. El modelo establecido de desgaste se considera factible (Li et al., 2012).

Por tanto, existen bases teóricas suficientes para llevar a cabo el estudio propuesto, además de verificar que las variables consideradas inicialmente serían adecuadas para proponer un modelo de predicción del desgaste de los neumáticos, de acuerdo con parámetros como la presión de inflado, la carga sobre los neumáticos, la velocidad media a la que circule la unidad de transporte y el recorrido total. También se justifica

la necesidad de controlar la producción de neumáticos fuera de uso por su considerable impacto al medio ambiente debido a las emisiones de dióxido de carbono que produce la degradación de las llantas descartadas.

1.3.3. *Justificación práctica*

Es posible identificar diferentes procesos de operación, dependiendo de las variaciones en las condiciones climáticas, tomando en cuenta que existen estudios que aseguran que el ritmo de desgaste de un neumático es menor en climas secos o en épocas de verano. En temporadas lluviosas se incrementa la resistencia al rodaje, la cual es una medida de la fuerza que necesita la rueda para vencer la fricción entre la llanta y el suelo, pues durante el uso la flexión y penetración de objetos provocada en la capa de rodaje influye de forma considerable en el desgaste que sufre la llanta. Estos elementos analizados están relacionados directamente con la carga que soportan los neumáticos en los automotores de forma individual o por eje. Esto puede estimarse sumando la masa del bus con la de la cantidad de pasajeros promedio que puede trasladar. (Rodvalho & de Tomi, 2017; Svendenius, 2007).

El interés de la compañías o cooperativas de buses de transporte urbano, regional e interprovincial facilita incluir la mayor cantidad de información en distintas rutas de recorrido, y los estilos de conducción, lo cual viabiliza la estimación de los mejores neumáticos para cada aplicación por condiciones de operación. Los principales factores por estudiar en los neumáticos son su presión de inflado, la carga que soportan y las condiciones de operación a las que se vayan a someter. Para las mediciones, las herramientas principales serían un manómetro¹ y un profundímetro para llantas², las cuales son fáciles de conseguir y usar. Los datos por recoger facilitarán el análisis de resultados válidos (E. da C. Rodvalho & de Tomi, 2017).

¹ Instrumento utilizado como medidor de presión de aire en llantas neumáticas.

² Calibrador o instrumento de medida de surcos o profundidad remanente de una llanta.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo General*

Determinar los factores controlables que permitan reducir de forma significativa la generación de neumáticos desechados por los buses de transporte y su consecuente emisión contaminante.

1.4.2. *Objetivos Específicos*

- Discriminar los factores controlables más representativos que afectan el tiempo de vida útil de los neumáticos aplicados en buses de transporte.
- Estimar las características que deben tener los neumáticos de los buses de transporte para reducir la cantidad de llantas desechadas y la contaminación que estas producen.

II. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco filosófico y epistemológico de la investigación

Partimos de la llanta o rueda como el elemento base en nuestro estudio. La rueda lleva miles de años de uso para la humanidad, y aunque se desconoce a quién o quienes desarrollaron la idea y forma de este objeto, lo cierto es que se trata de un invento propiamente humano, dado que no existe en forma natural (Mogorrón, 2008). Pese a que, Gottfried Leibniz (1646-1716) indica que aquello que llamamos casualidad es en realidad ignorancia de las leyes físicas, realmente el descubrimiento de la rueda se considera casual (Leibniz, 2007). Siendo entonces empleada por los egipcios para transportar cargas pesadas, se presume que sus inicios datan del año 3500 A.C. aproximadamente (Uribe, 2008), por ese tiempo los humanos, observando la realidad y con ingenio, se dieron cuenta de que si ponían algo redondo debajo de un objeto pesado, este rodaría y se movería con mayor facilidad (Brom, 2012).

La rueda más antigua conocida apareció en un yacimiento de Ljubljana (Eslovenia). Se estimó que su antigüedad era de entre 5350 y 5100 años. Junto a esa rueda se evidenció un eje que debía encajar en el orificio rectangular que poseía esta, lo cual sugeriría que la tecnología de la rueda se encontraba en desarrollo en aquel tiempo. Sabemos la baja funcionalidad de un eje rectangular, pero dado que hablamos de los inicios de la rueda, es comprensible entender que la observación y experimentación todavía les permitiría mejorar el diseño de la rueda. Eso lleva a cuestionarse sobre si los hechos precedentes contradicen al principio de causalidad (y por lo tanto al saber científico) planteado por David Hume (1711-1776) (Pérez Tamayo, 2012)

En su obra “Crítica de la razón pura”, Immanuel Kant (1724-1804) criticó justamente el principio de causalidad y dio una nueva visión de la experiencia y su influencia en la generación de nuevos conocimientos (Kant, 2003). Buscando los inicios de la rueda, al parecer la primera aplicación de esta como tal, corresponde a los tornos usados en alfarería (aproximadamente 3300 A.C.) en Medio Oriente. El razonamiento sería que,

si los objetos con formas circulares puestos debajo de un objeto pesado facilitan su traslado, y lo mismo sucedía si se colocaban palos con formas cilíndricas o estructuras similares, entonces sería posible que al unir ambos se obtendría un mejor resultado en su mecánica. Confucio (551-479 A.C.) consideraba que si ya se sabe lo que hay que hacer y no se hace, entonces estaremos peor que al principio del razonamiento.

Entonces, la física empírica elemental llevó a la civilización de Medio Oriente a construir los primeros rodillos con canaletas y ranuras, que después se convirtieron en ejes primitivos para constituir, tras varios errores y mejoras, los primeros vehículos con ruedas de piedra. Sería así como este elemento empieza a aplicarse como medio de transporte en 3200 A.C., en forma de rueda maciza de piedra que formaba cuerpo con ejes de madera y se sujetaba a una carreta por medio de tiras de cuero, formando parte de carrosas de tracción animal. La rueda tuvo pronto muchas aplicaciones. Hacia el año 2900 A.C. se aplicó en Sumeria para la molienda de trigo, denominado molino de ruedas. Las distintas necesidades les proveían de ideas de aplicaciones que se perfeccionaban a base de pruebas y errores.

Teniendo a la rueda como base en el transporte, la imperiosa necesidad de economizar el material y de alcanzar mayores velocidades indujo a que aparecieran los primeros rayos de una rueda, que son barras que unen su zona central con la perimetral. Se cree que fueron los egipcios, aproximadamente en el año 2000 A.C. quienes se adelantaron en realizar dicha aplicación, algo que se ha quedado un tanto oculto en el pasado tras unas pocas pruebas. Pero la tendencia que marcaron las ruedas con rayos, también conocidos como radios, se mantuvo durante la época de la llamada Cultura Andrónovo (2000-1200 A.C.), en una región situada al norte de Asia Central y posibilitó la construcción de vehículos mucho más ligeros y rápidos.

No obstante, las ruedas con travesaños fueron introducidas por los griegos, como una adaptación que pone en práctica las bases de los conocimientos hasta entonces desarrollados. Aristóteles (384/382-322 A.C.) pensaba que la inteligencia no sólo consiste en el conocimiento, sino también en la destreza de llevar a la práctica lo que conocemos. Aristóteles también señaló lo que la investigación debe considerar como objeto de estudio y, que la *physis*, que es entendida como la unidad de materia y forma,

es el único objeto posible de estudio. En este caso la estructura de la rueda y su forma particular conforman esa physis.

Posteriormente, alrededor del 1000 A.C., los celtas pusieron en uso las primeras ruedas de hierro alrededor de las ruedas de sus vehículos, reflexionando sobre la importancia en esa época de contar con ruedas más resistentes. Epicuro (341-270 A.C.) pensaba que aprender sin reflexionar era malgastar energía. Luego se llegó a la conclusión de que la parte operativa de la rueda es la periferia del disco, que puede recubrirse con materiales o terminaciones de diversos tipos con el fin de adaptarla a la utilidad correspondiente. Es así como, por su forma, se le dieron diferentes usos, como poleas, engranes, turbinas, entre otros.

Pero, aun así, las ruedas de transporte se mantuvieron durante cientos de años sin grandes cambios; las investigaciones no avanzaban y se mantenía a la rueda como un artículo que no requiere tecnología ni mayor ingenio en aquellos momentos. Rene Descartes (1596-1650) enseñó que no basta con tener buen ingenio, que lo principal es aplicarlo bien. Aunque la correcta aplicación no era el problema, sino que no se habían analizado todas las variables. El mismo Descartes recomendaba que se divida las dificultades que examinemos en tantas partes como sea posible, para encontrar la mejor solución.

Refiriéndonos a otras aplicaciones de la rueda, hacia el 260 A.C. ya se empleaban las ruedas hidráulicas, conocidas con el nombre de norias, como elemento que aprovecha el movimiento lineal del agua de los ríos para producir un movimiento giratorio que sirve como fuerza motriz. Después, en 250 A.C. ya se usaban las ruedas dentadas, o engranajes, para la transmisión de movimientos rotativos entre ejes separados, como el del reloj hidráulico de Ctebiso (285-222 A.C.). Y luego de mucho tiempo, en el año 900 aproximadamente aparecen las ruedas eólicas, que aprovechan la fuerza del viento para producir un movimiento giratorio, para el accionamiento de molinos de piedra en Pekín y Persia.

No fue sino hasta el año 1802 que se patentó el primer radio de alambre, cuyas modificaciones lo llevarían a lo que hoy vemos en la mayoría de las bicicletas. La idea de ponerle caucho en el borde exterior se desarrolla a principios del siglo XIX cuando

por primera vez se utilizó goma natural para recubrir las ruedas de madera o de acero. Sin embargo, como la goma se desgastaba con rapidez, se debían evaluar alternativas. John Locke (1632-1704) reflexiona que no existe un error que no haya tenido sus seguidores. Varias compañías proponían sus propios diseños, pero con la misma falencia. De esto se rescata la experiencia adquirida que contribuirá posteriormente al mejoramiento de la estructura de la rueda, también denominada llanta. John Locke creía que ningún conocimiento humano puede ir más allá de su experiencia.

El presente estudio se centra en la estructura y el material superficial de la llanta, el periférico superior, que es el que mantiene el contacto directo con el suelo y que necesita tener ciertas propiedades que le permitan soportar las diferentes fuerzas, pesos y cambios químicos a los que está expuesta la llanta. En 1839, un resuelto inventor de Connecticut, Estados Unidos de Norteamérica, llamado Charles Goodyear se adjudicó el descubrimiento de la vulcanización del caucho, proceso mediante el cual el caucho se mezcla con azufre y se le aplica calor y presión, lo que mejora su plasticidad y resistencia. Fue entonces cuando se hicieron populares las llantas de goma maciza, solo que los viajes todavía eran muy incómodos.

La goma tenía una baja amortiguación del impacto entre la llanta y el suelo. Como sabemos, Isaac Newton (1643-1727) ya lo había evaluado manifestando que a toda acción se le opone siempre una reacción de igual magnitud y dirección, pero en sentido contrario. Esta fuerza desde el suelo se debía contrarrestar o minimizar, ya que genera golpes o rebotes de la llanta. También Newton razonó que toda fuerza ejercida sobre un cuerpo es directamente proporcional a la aceleración que llegará a experimentar. La amortiguación adecuada de las llantas permitiría que no se produzcan movimientos de rebote.

En 1845, la primera llanta neumática, o llena de aire, fue patentada por el ingeniero escocés Robert William Thomson (1822-1873). Sin embargo, no fue sino hasta que su compatriota John Boyd Dunlop (1840-1921), veterinario e inventor escocés que vivía en Irlanda, se propuso hacer más agradable el paseo en bicicleta de su hijo, que la rueda llena de aire se convirtió en un éxito comercial. Se consideraba que había corregido una desventaja de la llanta de caucho sólido, sin que esto haya significado que su uso o fabricación fuera un error. Newton también pensaba que los errores no son la técnica,

pero si los artífices y, que ningún descubrimiento se ha hecho sin una conjetura audaz. Así, en 1847, Robert Thomson patentó la idea del neumático con cámara de aire en Francia.

En 1887, John Dunlop, diseñó un neumático con una cámara de aire, envuelta en una tela de algodón tejido. Posteriormente, en 1888, el mismo Dunlop desarrolló el primer neumático con cámara de aire para el triciclo que su hijo de nueve años usaba para ir a la escuela por las calles de Belfast. Pero aún no se había perfeccionado la calidad del neumático. Para resolver el problema del traqueteo, Dunlop infló unos tubos de goma con una bomba de aire para inflar balones, después envolvió los tubos de goma con una lona para protegerlos y los pegó sobre las llantas de las ruedas del triciclo. Hasta entonces, la mayoría de las ruedas tenían llantas con goma maciza, pero los neumáticos permitían una marcha notablemente más suave. Según la perspectiva de Newton, es el peso y no la cantidad de experimentos lo que ha de ser considerado.

El 23 de julio de 1888, Dunlop registró la patente que iba a revolucionar la rueda, y el 7 de diciembre de 1889, patentó el neumático con cámara. Sin embargo, dos años después de que le concedieran la patente, Dunlop fue informado oficialmente de que la patente fue invalidada por Robert Thomson, quien ya había patentado la idea en Francia en 1847 y en Estados Unidos en aquel año, es decir, en 1891. Dunlop ganó una batalla legal contra Robert Thomson y revalidó su patente. Ese mismo año, los hermanos André y Édouard Michelin inventaron el neumático desmontable, lo que revolucionó el neumático y permitió su adopción definitiva por el mundo automotriz.

En este punto había empezado una carrera científica por mejorar la calidad de los neumáticos. Immanuel Kant manifiesta que el pensamiento científico y la respuesta a estas interrogantes, se formula por medio de juicios analíticos (a priori) y sintéticos (posteriori). Los juicios analíticos son anteriores a la experiencia y parecen constituir el ideal de la ciencia. Los juicios sintéticos dependen de la experiencia. Son estos juicios los que enriquecen el conocimiento. Toda investigación científica debe constituirse de juicios a priori y a posteriori para que pueda decirse que es progresiva y, así, genere cada vez más conocimientos. Hasta aquí, son la carga sobre el neumático y su rigidez las variables de análisis que se usan para su mejora.

El desarrollo del neumático con cámara de Dunlop llegó en un momento crucial durante la expansión del transporte terrestre, con la construcción de nuevas bicicletas y automóviles. Sin embargo, al inicio de la década de 1900 en las llantas de los carros y camiones el mayor problema era conseguir que éstas pudieran soportar los cortes, penetraciones y explosiones por diferentes causas internas y/o externas a la llanta. Y en 1910, los neumáticos se equiparon con un aro metálico en el talón, destinado a mejorar la rigidez. También se adoptaron diversas estructuras y se añadió negro de carbón para aumentar su resistencia a la abrasión. Esto ponía de manifiesto la fuerza de la experiencia ganada dentro de esta área del conocimiento.

Immanuel Kant consideraba que la experiencia sólo es una aproximación, nunca una certidumbre y, que todo nuestro conocimiento comienza con la experiencia, pero eso no prueba que todo se derive de la experiencia. El camino del desarrollo de los neumáticos no terminó ahí, y desde 1915 se han desarrollado varias mejoras, tanto en la estructura, cuanto a la composición de los neumáticos de todo tipo de transporte, prestando especial atención a la zona de rodamiento, que es el área de contacto con el suelo, con el objetivo de mejorar sus propiedades y optimizar su rendimiento. Ello permitió el nacimiento del proceso de reencauche, también conocido como recapado o recauchutaje, en el año 1920, cuando se crearon nuevas maneras de extender la vida del neumático por medio del proceso de restaurar la zona o capa de rodamiento.

Un método popular para reencauchar una llanta era aplicar varias capas de caucho y tras varios procedimientos se curaba el neumático por completo. Pero las propuestas de tratamiento eran diversas y algunas contraponían a otras. Tal como razonaba y lo veía Kant, para toda tesis existe una antítesis que es igualmente válida. Para esta investigación es posible establecer un método de trabajo que involucre actividades experimentales, construyendo juicios a priori y a posteriori, con el fin de que este proceso permita generar más conocimientos, se inicia por observar el fenómeno producido y sus causas elementales para luego simplificar el objeto de la investigación (Pérez Tamayo, 2012).

Esto lleva a las enseñanzas de René Descartes, acerca de dividir o simplificar las dificultades examinadas en tantas partes como fuere posible, para optimizar la solución del problema planteado. De acuerdo con este método, una vez planteado el problema

que se quiera estudiar, lo primero que hay que hacer es observar sus orígenes o causas, aquellas circunstancias en las que se produce y sus características elementales. Esta observación ha de ser reiterada, minuciosa, rigurosa y sistemática. Luego de esto, se ha de buscar y analizar información documentada que describa el problema que se está estudiando, es decir, conocimiento científico que se ha generado al respecto, lo que inducirá a buscar una explicación que permita entender todas y cada una de las características del fenómeno o problema.

De lo anterior, nacerán una serie de conjeturas o suposiciones, de las que después, mediante una serie de comprobaciones experimentales, se definirá como posible explicación del fenómeno la más completa, concreta y sencilla, que mejor se ajuste a los conocimientos generales de la ciencia en la actualidad. Esta explicación razonable es lo que se conoce como hipótesis científica, que una vez formulada se ha de comprobar si ésta es válida en todos los casos, para lo cual se deben buscar y constatar situaciones que reproduzcan, lo más cercano posible, las condiciones naturales en las que se produce el fenómeno estudiado.

Si bajo esas condiciones el fenómeno tiene lugar, la hipótesis tendría validez, y entonces vendrá la etapa de realizar medidas sobre las variables que intervengan en el fenómeno que se estudia y que puedan medirse. Para esto es conveniente repetir la situación o experiencia antes enunciada en un lugar donde puedan registrarse datos. Estas actividades son las llamadas experiencias científicas, aquellas que permiten realizar una observación en la que pueden tomarse datos; que permiten que los distintos factores que intervienen en el fenómeno puedan ser controlados y que se puedan realizar tantas veces como fuere necesario sin que incida el factor humano.

Las medidas que se efectúen sobre los factores que intervienen en el fenómeno han de permitirnos encontrar algún tipo de relación matemática entre las magnitudes físicas que caracterizan el fenómeno que se estudia, que en nuestro caso es el desgaste de la banda de rodamiento del neumático, pues las investigaciones apuntan a incrementar el tiempo de vida útil de las llantas. El análisis de los datos y la comprobación de las hipótesis permitirá emitir criterios y conclusiones, que pueden ser empíricas (basadas en la experiencia) o deductivas, obtenidas tras un proceso de razonamiento en el que se parte de una verdad conocida hasta llegar a la explicación del fenómeno.

Estas conclusiones, deben ser divulgadas a la comunidad científica para que así sirvan como punto de referencia para otras investigaciones, o como el fundamento de una aplicación práctica tecnológica. No hay que dejar de lado la conciencia ambiental que se debe guardar en cualquier proceso de transformación de materia; aunque lo central es reducir el impacto derivado de materia que ya ha sido tratada, dándole una mayor esperanza de vida y minimizando su consumo. Con esto se llega a la finalidad misma de un trabajo de tesis doctoral, que es el aporte a la ciencia y su desarrollo.

2.2. Antecedentes de la investigación

En los trabajos de investigación que se han elaborado anteriormente y que se toman como base para el presente estudio, se han utilizado métodos experimentales (Sharma, 2013), de prueba error (Dabic-Ostojic, Momcilo, Nebojsa, Natasa, & Milos, 2014), con pruebas físico-químicas (Samaraez Chemical Consulting, 2008), con modelos matemáticos (Dabic-Ostojic, Momcilo, Nebojsa, Natasa, & Milos, 2014), entre otros. Los datos reales conjugados con información teórica que se recopila desde diferentes fuentes, como libros, artículos científicos, manuales, textos virtuales, entre otras proporcionan una visión más amplia de los diferentes problemas a tratar. (Hidalgo Cárdenas & Villacís Cabrera, 2012). Con estas referencias, se podrá elaborar un documento que describa las mejores llantas a aplicar por cada tipo de operación. En nuestra esta investigación los datos se concentrarán en registros de control por cada bus de las diferentes cooperativas urbanas, regionales e interprovinciales.

Se busca reducir las emisiones contaminantes que producen los neumáticos desechados luego que ha terminado su vida útil, y por tanto se procura incrementar este tiempo con una gestión de control de neumáticos. Según una investigación realizada por el Departamento de Maquinaria Agrícola de la Universidad de Urmia, los elementos iniciales por revisar son las presiones de inflado adecuadas, las cargas y su distribución uniforme, y las condiciones de operación incluyendo las de conducción. Los neumáticos con baja presión o con una presión excesiva pueden influir negativamente en la duración, la conducción, la adherencia y la frenada. La falta de presión genera una flexión excesiva de la cubierta, lo que provoca un sobrecalentamiento, una mayor resistencia a la rodadura y un desgaste prematuro,

pudiendo también provocar algunos daños en los neumáticos. Asimismo, el exceso de inflado puede reducir la vida útil del neumático, reducir el agarre y producir un desgaste irregular (Taghavifar & Mardani, 2013).

Empresas multinacionales como Continental Tire e Industrias Michelin consideran que los neumáticos sobrecargados pueden calentarse en exceso, lo que podría provocar una rotura de la llanta. Es recomendable seguir las recomendaciones de carga máxima del fabricante del vehículo y carga máxima por eje. Para verificar que los neumáticos no están sobrecargados, se comprueba el índice de carga máxima de los neumáticos que se encuentra en uno o los dos laterales de la llanta. Las llantas suelen exponerse a condiciones de rodaje en alta velocidad. Esto hace que aumente la temperatura del neumático. Una temperatura muy elevada puede provocar daños importantes en el neumático, pudiendo llegar a una acelerada pérdida de presión, y la probabilidad de sufrir un accidente al perder el control del vehículo. Un golpe con un obstáculo a alta velocidad, tiene más probabilidades de dañar el neumático que a baja velocidad (Continental, 2016; Industrias Michelin S.A. de C.V., 2013).

Una opción de alargar la vida de los neumáticos es renovar la banda de rodamiento, reencauchándola, sin embargo, en Ecuador, menos del 30% de las llantas consumidas se aprovechan para reencauche. Al respecto el gobierno del Ecuador se encuentra impulsando un proyecto denominado Sistema Ecuatoriano de Gestión Integral de Neumáticos Usados (SEGINUS)³, que se encargará de la recopilación, transporte, almacenamiento y disposición final adecuada de los neumáticos con el aporte de los consumidores de un dólar por cada llanta nueva de vehículo liviano, lo que aplica para esta gestión de los neumáticos fuera de uso. No obstante, esto no incluye a los neumáticos de buses (El Universo, 2018).

Por lo general, al referirnos a los buses de transporte, se pueden clasificar los tipos de ruta por las que circulan en asfaltadas de larga distancia, urbano o regional, mixto o asfalto-destapado y, terreno severo o de construcción. No obstante, lo central son los buses de transporte de personas, así que para esta clase de vehículos los neumáticos para terreno severo se consideran mal aplicados; tampoco se han de considerar los

³ SEGINUS: Corporación ecuatoriana sin fines de lucro conformada por distintas empresas que representan más del 75% del mercado nacional de neumáticos.

neumáticos de uso especial como los destinados para nieve, de aplicación agrícola o de tipo industrial, es decir, para maquinaria muy pesada (Sakhaeifar, Banihashemrad, Liao, & Waller, 2018; Wang, Alexander, & Rajamani, 2004).

De acuerdo con diferentes estudios, las emisiones de carbono que producen los neumáticos fuera de uso se incrementan con su constante descarte por desgaste y fallas, que a menudo se presentan por la mala aplicación o deficiente control de estos neumáticos luego de haberse instalado. Dependiendo del tipo de recorrido, carga soportada, velocidad promedio y otras condiciones de operación, se deben instalar neumáticos acordes a estos factores. No obstante, la inexperiencia, impericia o falta de asesoría suele provocar que las personas no consideren estos elementos e instalen neumáticos en función del precio, profundidad de labrado o por simple emulación (Colfecar, 2014; Kunnappillil Madhusudhanan, Corno, Arat, & Holweg, 2016; E. da C. Rodvalho & de Tomi, 2017).

Uno de los estudios base para la presente investigación se llevó a cabo en una zona minera ubicada en la región sureste de Brasil, denominado “Reducing environmental impacts via improved tyre wear management”, y su evaluación se llevó a cabo durante un año, con la finalidad de desarrollar una programación trimestral que permita la gestión del desgaste de los neumáticos aplicados en las unidades de transporte de una empresa minera. Se utilizaron técnicas de simulación mediante regresión lineal multivariable para considerar la estacionalidad climática en la zona. La metodología aplicada fue efectiva para conseguir su objetivo principal. Los modelos desarrollados explican la operación de transporte de manera apropiada, demostrando, con base en los valores R^2 la calidad de los modelos para ambos escenarios climáticos, tanto para condiciones húmedas como secas (E. da C. Rodvalho & de Tomi, 2017).

En el artículo titulado “Effects of resistive loads and tire inflation pressure on tire power losses and CO₂ emissions in real-world conditions” los autores se propusieron investigar las pérdidas de potencia en los neumáticos y examinar la influencia de las condiciones de la carretera y la presión de inflado de los neumáticos sobre ellos. Para cubrir las condiciones del mundo real, se realizaron experimentos en un vehículo de pasajeros con combustible de gasolina en una carretera urbana a lo largo de dos rutas con la misma longitud y gradientes opuestos para comprender el cambio de las

condiciones de la carretera. Luego, mediante el uso del modelo de rendimiento del motor que se prepara en el laboratorio del dinamómetro, las pérdidas de potencia en las ruedas motrices y accionadas se realizaron por separado. De acuerdo con los resultados, la pérdida de potencia debida a la resistencia a la rodadura es primaria y, como consecuencia, las pérdidas de potencia del neumático se reducirían a medida que aumenta la presión de inflado. Pero cuando la fuerza de tracción es significativa, el papel de la pérdida de potencia de deslizamiento se vuelve sustancial en las ruedas motrices, por lo que la suma de la resistencia a la rodadura y las pérdidas por deslizamiento del neumático deben ser evaluadas. Además, con las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) obtenidas durante las pruebas, se evidencia que una reducción en las pérdidas de potencia de los neumáticos conduce a una disminución de estas emisiones (Sina, Nasiri, & Karkhaneh, 2015).

Otra fuente considerada fue el artículo titulado “Characteristics of tire wear particles generated in a laboratory simulation of tire/road contact conditions”, donde se presenta un estudio experimental de las características de emisión sin escape de partículas de desgaste de neumáticos, utilizando un simulador de desgaste de neumáticos. Sobre la base de estudios previos, se midió la cantidad total de partículas de desgaste de los neumáticos y se investigaron sus características morfológicas y elementales. El tamaño máximo de las partículas de desgaste generadas a una velocidad constante de 80 km/h fue de alrededor de 2 micrómetros. Bajo condiciones de fricción severas, el diámetro medio aumentó y la distribución del tamaño se amplió, es decir se incrementó el desgaste de la banda de rodamiento (Park et al., 2018).

Para un estudio futuro podemos considerar una investigación desarrollada por Andrew Myers “Improved Fuel Efficiency from Nanocomposite Tire Tread” que propone el uso de nanopartículas para crear un nanocompuesto que reemplace el Sílice en las llantas, basados en información que sugiere que las nanopartículas pueden mejorar la histéresis del caucho del neumático en un sistema diferente al de prueba. Luego se prepararon nanopartículas que sean compatibles con Styrene-Butadiene Rubber (SBR) o Caucho Estireno-Butadieno, el principal componente de la banda de rodamiento de los neumáticos. Después, el nanocompuesto de caucho fue probado midiendo la energía perdida de histéresis por una muestra de caucho que fue comprimida y expandida (Myers, 2005).

Para medir la histéresis se usaron dos métodos, uno conocido como Instron Tensile Tester, el más usado a nivel industrial, y otro con un método automatizado nombrado por sus desarrolladores como Dynamic Mechanical Analysis Tester, elaborado por el equipo de TDA Research, Inc⁴. Luego de las pruebas de laboratorio, el resultado fue una reducción en la pérdida de energía de histéresis llegó hasta cerca de un 20% respecto de la muestra de SBR sin el nanocompuesto. Se observó que el SBR donde se adicionaron las nanopartículas mejoró su histéresis en un 17% respecto de una muestra de caucho sin modificar. Las nanopartículas elaboradas son más fáciles de mezclar en SBR que un tipo de Sílice de alta dispersión que normalmente es utilizado para reducir la resistencia al rodaje de los neumáticos (Myers, 2005).

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Responsabilidad social ambiental

De acuerdo con un estudio a nivel de empresas de los estados miembros de la Unión Europea (EU), realizadas durante el 2018 por el Foro Económico Mundial, después de la investigación temática sobre el Índice de Competitividad Global (GCI), para las empresas exitosas, la responsabilidad social y ambiental se ha convertido en un elemento estructural y estratégico. El desafío para las empresas es elaborar nuevos paradigmas para los procedimientos operativos y mejorar las condiciones comerciales hacia las responsabilidades sociales y ambientales. Las empresas se centran en aquellas innovaciones ecológicas y producción de artículos que contaminen lo menos posible. Las tecnologías ecológicas pueden ser utilizadas por empresas de todos los tamaños y las organizaciones tienen más de un motivo para implementar una estrategia o procesos amigables con el medio ambiente. Además, los consumidores se han vuelto asiduos a usar productos ecológicos, puesto que les da la sensación de que están protegiendo el medio ambiente (Lončar, Paunković, Jovanović, & Krstić, 2019).

Un estudio más reciente que el antes mencionado, desarrollado en 2019, centrado en empresas manufactureras chinas que cotizan en la Bolsa de Valores de Shanghai, para

⁴ TDA: Organización estadounidense que desarrolla procesos químicos, materiales y hardware para clientes en las industrias de defensa aeroespacial, energética y química (<http://tda.com>).

identificar variables que explican las diferencias en rendimiento de la Responsabilidad Social Corporativa (CSR), como responsabilidad ambiental y comunitaria, indica que las exportaciones no están correlacionadas con la responsabilidad social. Sin embargo, los resultados también mostraron que el tamaño de la empresa, la rentabilidad, la industria, el tamaño de la junta de supervisión y los niveles de exportación son determinantes significativos del desempeño general de la CSR. Además, esto se suma al hecho de que, las industrias que tradicionalmente son más contaminantes tienen calificaciones más altas de CSR (Z. Chen & Hamilton, 2020).

2.3.2. Las emisiones contaminantes

2.3.2.1. Definiciones

Emisión. - Según la Real Academia Española (RAE), la emisión es la “acción y efecto de emitir”; lo cual deriva en el verbo emitir, que hace referencia a “arrojar, exhalar o echar hacia afuera algo” (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2020). Muchas investigaciones hacen mención de las emisiones analizándolas como factores de emisión, las cuales se entienden como la cantidad promedio de contaminantes emitidos, que se expresan en términos de masa de contaminante emitido por unidad de distancia recorrida (Binder, Macfarlane, Garrow, & Bierlaire, 2014; Tipanluisa, Remache, Ayabaca, & Reina, 2017).

Contaminante. - Según la RAE, contaminante es el adjetivo o sustantivo que indica “que contamina”, lo que conduce al verbo transitivo contaminar, que significa “alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de una cosa o un medio por agentes químicos o físicos” (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2020). Específicamente, en el presente estudio se hace referencia a la denominada como contaminación ambiental, que puede entenderse como la presencia de componentes nocivos, químicos, físicos o biológicos, en el medio ambiente. Y, siendo nocivos aquellos componentes perjudiciales para los seres vivos (Línea Verde, 2020).

Entonces, se podría entender a la emisión contaminante como la acción de arrojar hacia el medio ambiente agentes físicos o químicos que alteran nocivamente sus condiciones normales. De acuerdo con los elementos que se analizan en el presente estudio, los

agentes contaminantes que emiten los neumáticos serían de tipo químico, pues son productos derivados de un proceso industrial de diferentes componentes.

2.3.2.2. Características

Las emisiones contaminantes que se analizan son las derivadas del proceso de combustión de los neumáticos fuera de uso, un residuo resultante de la actividad de transporte. En este sector, los servicios que se ofrecen también generan emisiones asociadas con el uso de combustibles y, en parte, es subcontratado. Además, el uso de varios factores de entrada implica la generación de residuos sólidos, uno de estos son las partículas de neumáticos. Las emisiones de las empresas, que suplen al sector del transporte, aumentan principalmente como resultado del aumento de la producción de industrial, que está en función de la demanda (Fæhn & Holmøy, 2003).

La cadena de suministros, sin embargo, no es el foco de atención para los problemas que generan las emisiones contaminantes. En los países que conforman la EU, los estándares de emisiones más estrictos, además de orientar una serie de actividades de investigación e innovación de las empresas proveedoras, es probable que apoyen la difusión de innovación ambiental en la cadena de suministro (Jean, 2008).

El enfoque podría estar en el uso de productos químicos, en especial los derivados del petróleo. En este sentido, las industrias son los principales consumidores de los combustibles fósiles, para procesos de combustión y reducción, contribuyendo así al aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), dióxido de azufre (SO_2), óxido de nitrógeno (NO) y monóxido de carbono (CO). En cuanto a los efectos de composición sobre las emisiones derivadas del consumo doméstico, solo se encuentran contribuciones para SO_2 y partículas suspendidas orgánicas e inorgánicas (Fæhn & Holmøy, 2003; E. Rodovalho et al., 2020)

El papel que la investigación debe tener, para hacer frente a la contaminación, es el de incentivar la eficiencia energética, además de promover el uso de nuevas tecnologías más limpias. La eficiencia energética y las emisiones contaminantes evolucionan de manera diferente, principalmente mostrando una tendencia decreciente y creciente respectivamente (Jiang, Yang, Tang, & Bao, 2020).

2.3.2.3. Tipos

Los tipos de emisiones contaminantes ambientales o atmosféricos dependen de la fuente de emisión que las genera. Uno de los componentes de mayor concentración es el CO₂, que es único que se puede catalogar dentro de todas las categorías de emisiones contaminantes, aunque en diferentes concentraciones (Adams & Nsiah, 2019; Puliafito, Allende, Castesana, & Ruggeri, 2017; Wasti & Zaidi, 2020).

Un tipo o categoría de emisión es la que procede del sector del transporte (también denominados fuentes móviles o lineales). Este tipo de emisiones se compone básicamente de CO₂, CO, óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC), ozono (O₃), partículas de hollín (que en su mayoría se componen de carbono impuro) y derivados de precursores de HC y NO_x y que se derivan de un proceso de fotooxidación. Los HC pueden ser compuestos orgánicos tanto volátiles como no volátiles (Guo, Chen, Stuart, Li, & Zhang, 2020; Han, Yu, Tang, Liao, & Wei, 2017).

Otro tipo de emisiones son las que proceden de industrias, hogares y actividades de agricultura (también denominadas fuentes fijas o superficiales). Las más importantes son el CO₂, SO₂, los NO_x, HC, CH₄, partículas de hollín (resultantes de la combustión incompleta o el pirólisis de un material orgánico, que son a base de carbono), clorofluorocarbonos (CFC) y partículas de algunos metales pesados (Mohan, 2018; Tran, Siriwardana, Meng, & Nong, 2019; Zhu, Song, Lim, Wang, & Zhao, 2020).

Un último tipo de emisiones son las denominadas como puntuales, que se derivan de la producción de energía y de grandes industrias. Estas emisiones se calculan en forma individualizada para cada infraestructura. Las principales son el CO₂, SO₂ y partículas de hollín, cuyo contenido de carbono (C) suele superar el 50%. Las concentraciones elevadas de estos contaminantes son producidas por reacción química en la atmósfera, en el suelo o en el agua (Ren, Tian, Liu, & Shen, 2020; Velders et al., 2020).

2.3.3. Emisiones contaminantes producto de la industria de fabricación de cubiertas y cámaras

2.3.3.1. Definiciones

Neumático. - Según la RAE, neumático es el nombre que se le da a la “pieza de caucho con cámara de aire o sin ella, que se monta sobre la llanta de una rueda”. La palabra proviene del latín *pneumatĭcus* que significa “relativo al aire” (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2020). En muchos estudios, los neumáticos se analizan desde el impacto que generan al ecosistema, pues la producción en grandes cantidades y su posterior degradación, pueden contaminar gravemente el medio ambiente, teniendo en cuenta que el caucho natural es su principal componente (Fernanda, V., & Daniel, 2015).

Cámara. - Según la RAE, una de las definiciones de cámara es la del nombre que se le da al “anillo tubular de goma, que forma parte de los neumáticos y está provisto de una válvula para inyectar aire a presión”. Entendiéndose como válvula al “mecanismo que impide el retroceso de un fluido que circula por un conducto” (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2020). Sobre las cámaras se han realizado estudios que tratan de comprobar si influyen en la vida útil de los neumáticos, su composición e impacto al medio ambiente y el aislamiento generado en el neumático, entre otros aspectos (Sánchez & Guzmán, 2018).

Cubierta. - Según la RAE, una de las definiciones de cubierta hace alusión a la “banda de caucho vulcanizado que protege exteriormente la cámara de los neumáticos y sufre el roce con el suelo” (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2020). La cubierta es el elemento sobre el que se analizan formas de conservación y desgaste de los neumáticos, lo que ha inducido la generación de procesos como el reencauchado, regrabado u otras formas de reutilizar la cubierta (Heras Barras, 2010; Puiggrós, 2016).

Combustión. – Según la RAE, en el campo de la química, la combustión se refiere a la “reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama” (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2020). La combustión es un

proceso común que atraviesan los neumáticos cuando pasan a estar fuera de uso, lo que conlleva un efecto perjudicial a la atmósfera. Para esto, el desarrollo de neumáticos con componentes menos tóxicos es probablemente el factor más importante para tener en cuenta para reducir el impacto ambiental de los neumáticos (Wik & Dave, 2009).

Degradar. - Según la RAE, la degradación es la “acción y efecto de degradar o degradarse”. Entendiéndose, en el campo de la química, a degradar como “transformar una sustancia compleja en otra de estructura más sencilla” (Asociación de Academias de la Lengua Española, 2020). Esa estructura es la partícula de desgaste del neumático. Al respecto, se han desarrollado investigaciones que apuntan a que un cambio en la composición del caucho del neumático y la elección de aditivos químicos apropiados es probablemente la acción más importante que se debe tomar para reducir el impacto ambiental de las partículas de desgaste de los neumáticos (Wik & Dave, 2009).

Peso molecular. - Según la RAE, en el campo de la química, el peso molecular es la “suma de los pesos atómicos que entran en la fórmula molecular de un compuesto”. (Gaḡol, Boczkaj, Haponiuk, & Formela, 2015). La determinación del peso molecular de los compuestos del neumático permite estimar la cantidad de emisiones producidas por cada uno de los componentes desagregados. Por sector transporte, los neumáticos son una fuente generación de CO₂, óxido de zinc (ZnO), hidrocarburos poliaromáticos, entre otros (Chang, Huang, Jiao, & Liu, 2020; E. Rodvalho et al., 2020).

2.3.3.2. Características

Las emisiones contaminantes producto de la industria de fabricación de cubiertas y cámaras afectan a todo el medioambiente, incluidos el aire, el agua y los suelos. Los efectos sobre el medio ambiente terrestre probablemente estén restringidos a los alrededores inmediatos de la carretera. El riesgo para los organismos acuáticos está relacionado principalmente con la toxicidad causada por las partículas derivadas del procesamiento industrial de los neumáticos, dada sus altas concentraciones en los sedimentos o residuos (Abreu, Echeverría, Echeverría, Ortega, & García, 2018; Wik & Dave, 2009).

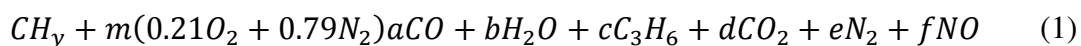
Las emisiones producto de este tipo de industrias, en su mayor parte, son derivados del petróleo diésel, que se compone de aproximadamente 75% de hidrocarburos saturados (parafinas y cicloparafinas) y 25 % de hidrocarburos aromáticos. La mayoría de estos gases se desprenden de motores diésel. Para su tratamiento, se deben analizar las concentraciones de CO₂, CO, NO_x, SO₂, HC, y Oxígeno (O₂), que en su conjunto componen hasta el 95% de la cantidad global de emisiones contaminantes. Esto incluye los gases de efecto invernadero de mayor impacto en el Ecuador, que son: CO₂, CH₄ y óxido nitroso (N₂O). No obstante, las investigaciones ecotoxicológicas futuras deberían centrarse en la toxicidad del sedimento de las partículas de desgaste de los neumáticos (Ministerio del Ambiente, 2014; Serrano & Carranza Sánchez, 2005).

Respecto a los neumáticos, como producto principal de las industrias de fabricación de cubiertas y cámaras, su poder calorífico es de aproximadamente 35×10^6 J/Kg, o unas 8.3×10^6 Cal/Kg, lo que representa un desperdicio de entre 10 y 12 Kg de carbón, el equivalente a 7.52 Kg de petróleo por cada neumático, con una masa aproximada de 60 Kg. En general, eso corresponde al tipo R22.5; es decir, a los neumáticos radiales que se montan en llantas medida 22.5 (Abreu et al., 2018; Aguado Alonso, 2010).

El papel que desempeñan las partículas de los neumáticos en la alteración de la biodisponibilidad de otros contaminantes, en el agua y sedimentos, debe investigarse más a fondo, pues lo desperdiciado podría aprovecharse como combustible mediante procesos como el pirólisis. Un cambio en la composición del caucho de los neumáticos y la elección de aditivos químicos apropiados y más respetuosos con el medio ambiente es probablemente una acción representativa que se debe tomar para reducir el impacto ambiental de las partículas de desgaste de los neumáticos (Okoro, Sanni, Emetere, & Orodu, 2019; Wik & Dave, 2009).

2.3.3.3. Modelos de medición de emisiones

En muchos estudios, las emisiones se evalúan como factores de emisión. De estos factores es posible desarrollar un balance de masa respecto a la cantidad de carbono presente en la combustión, puesto que muchos de los gases mencionados en el presente estudio, como el CO₂, CO y HC, son resultados de la combustión, que contienen carbono. En este caso, el balance de masa para el carbono se podría escribir como:



(Llanes Cedeño, Rocha Hoyos, Peralta Zurita, & Leguísamo Milla, 2018)

Las emisiones se basan en coeficientes exógenos para cada fuente en cada sector. Estos coeficientes generalmente están vinculados a variables económicas en el modelo. Por ejemplo, la emisión estacionaria de la combustión en una industria está vinculada a la entrada de combustible, mientras que la emisión móvil del transporte por carretera está vinculada a la entrada de gasolina y diésel. Varias emisiones del proceso están ligadas a la entrada de intermediarios. La generación de residuos sólidos se calcula usando la misma metodología que para emisiones de contaminantes del aire, que lo componen los gases de efecto invernadero (Fæhn & Holmøy, 2003).

Es importante considerar que, en un estudio desarrollado al norte del continente europeo se determinó que las emisiones a largo plazo de las fuentes noruegas de gases de Kioto aumentan un 0,4%, debido principalmente al aumento de las emisiones de CO₂ y perfluorcarbonos, que dominan la reducción de iones en las emisiones de CH₄ y N₂O, aparte de las de SO₂. Esta situación es similar a la que ocurre en el Ecuador. Las partículas suspendidas y el CO aumentan entre 1 y 2%, considerando que las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles distintos del Metano (COVDM) y los NO_x, así como la degradación de residuos sólidos, casi no se ven afectados por los procesos productivos (Fæhn & Holmøy, 2003; Ministerio del Ambiente, 2014).

Los modelos de cálculo, considerando la composición química de los neumáticos, usan el peso molecular de las partículas analizadas mediante procesos de conversión. Esta composición química varía dependiendo de la marca y modelo del neumático. Por lo tanto, la marca y modelo influye en los niveles de emisiones contaminantes que producen los neumáticos. (Marathe, Westerhof, & Kersten, 2019; Wik & Dave, 2009). Un modelo general para estimar las emisiones contaminantes atmosféricas desde una fuente específica se basa en al menos dos variables, que serían el nivel de la actividad X que produce la emisión del contaminante Y (A_{XY}), y el factor de emisión del contaminante Y típico de la actividad X (F_{XY}). Esto nos permitiría estimar la emisión atmosférica de contaminante Y , a causa de la actividad X (E_{XY}). Esto podría expresarse:

$$E_{XY} = A_{XY} \cdot F_{XY} \quad (2)$$

(Ministerio del Ambiente, 2014)

2.3.4. Control de gestión de neumáticos

El control de gestión de neumáticos es un proceso de gran utilidad en las denominadas flotas de transporte, entendidas como instituciones públicas o privadas que poseen un parque automotor de al menos 10 vehículos. Específicamente, se va a analizar la gestión para neumáticos de vehículos de transporte de pasajeros. Los indicadores con los que se evalúa la gestión, en la mayoría de los casos, versan sobre la eficiencia y eficacia del control. Un modelo de control de gestión requiere de un conocimiento íntegro de la flota para la mejora del desempeño ambiental y económico, con un trabajo de investigación de campo usando un soporte tecnológico para el monitoreo de datos, lo cual estará a cargo de un personal capacitado para las tareas de revisión de los equipos (E. Rodovalho et al., 2020).

Entre los indicadores más comunes se encuentran: la eficiencia de reencauche en la flota, para determinar cuántas llantas reencauchadas están en servicio; el costo por kilómetro recorrido, para medir el rendimiento por kilómetro recorrido (por lo general, en términos monetarios); el costo por kilómetro recorrido acumulado, para medir el rendimiento por kilómetro del neumático en toda su vida útil; el índice de reencauche de la flota, para determinar la cantidad de neumáticos que se han reencauchado al finalizar cada vida útil; el costo perdido en pila de desechos, para determinar el valor monetario de los neumáticos que salen de servicio antes de finalizar su vida útil; y, costo perdido por la incorrecta presión de aire, para determinar el valor monetario que la flota pierde debido a que los neumáticos se usan con presiones de aire incorrectas (González & Vélez Carrera, 2014; E. da C. Rodovalho & de Tomi, 2017).

Un buen control de gestión de los neumáticos en flotas de transporte se apoya de un modelo de gestión de mantenimiento, un manual de uso y aplicación de neumáticos, y un instructivo de control de carga y velocidades para los vehículos. Esto incide, entre otras cosas, sobre el tipo de neumático aplicado, las condiciones de manejo, la presión de inflado y las velocidades según el tipo de ruta o carretera. Algunas de las actividades relevantes para el control de neumáticos son: el seguimiento al desgaste del neumático (medición de la profundidad del labrado o remanente); la alineación periódica de ejes; la revisión de la presión de inflado; el balanceo y la rotación de los neumáticos (Li et al., 2012; E. da C. Rodovalho & de Tomi, 2017).

2.4. Marco Conceptual

Considerando lo establecido por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO - International Organization for Standardization)⁵ acogido y redactado en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE)⁶ establecida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)⁷, se toma como parte fundamental del marco conceptual lo establecido por la norma INEN 2581 que se incluye en el glosario que se detalla a continuación. Para una mejor apreciación, se incluye una ilustración (Figura 1) donde se esbozan los componentes elementales de un neumático.

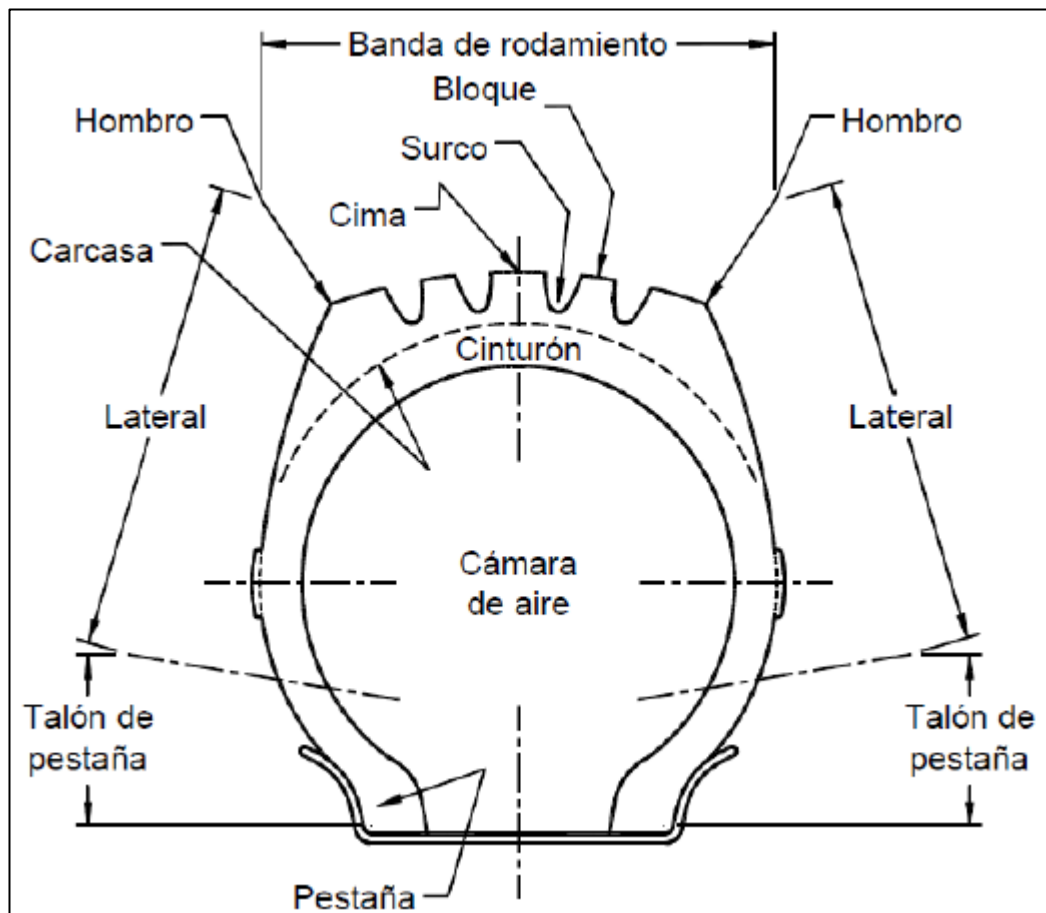


Figura 1. Componentes del neumático

Fuente: Datos tomados de NTE INEN 2581 (2011)

⁵ ISO: Organismo internacional de normalización compuesto por representantes de varias organizaciones nacionales de normalización.

⁶ NTE: Organismo de normalización ecuatoriano que desarrolla, promulga, revisa, enmienda, interpreta o, de lo contrario, produce normas técnicas destinadas a atender diferentes necesidades.

⁷ INEN: Organismo público ecuatoriano encargado de la normalización, validación y certificación, metrología y reglamentación técnica.

- **Ancho del aro (rin).** La mínima distancia lineal entre las paredes internas de los blancos (rin, llanta o aro) medida en la zona recta o al final de la curvatura del asiento de la pestaña.
- **Área de la pestaña.** Sección comprendida entre la línea del aro del neumático hasta la parte interna correspondiente a dicha línea.
- **Área de rodamiento.** Área del neumático que está en contacto con el piso.
- **Área interna.** Cuerpo de pliegos (lonas) comprendido en el área de las pestanas.
- **Área lateral.** Sección externa de la carcasa entre la pestaña y el área de rodamiento.
- **Banda de rodamiento vulcanizado (procurada).** Banda de caucho vulcanizada que posee el diseño y el ancho de acuerdo con el tamaño y uso del neumático.
- **Banda de rodamiento no vulcanizada (camel back).** Banda de rodamiento no vulcanizado con dimensiones específicas para cada matriz (molde).
- **Corona.** Circunferencia externa de un neumático (entre hombros) en la que se aplica a la banda de rodamiento. Ver nota 1.
- **Corte.** Rompimiento del caucho y/o pliegos, que no atraviesan el 100% de la banda de rodamiento y/o cara lateral.
- **Cojín.** Es un material de caucho sin vulcanizar utilizado como una capa de unión entre la banda de rodamiento y la carcasa. También es utilizado para reparar daños menores.
- **Cuadrantes.** Cuarta parte de la circunferencia de un neumático.
- **Desgaste.** Deterioro progresivo del caucho y/o pliegos de la carcasa.
- **Diámetro nominal del aro (rin).** Es el diámetro de identificación del aro (rin) y que se incorpora en la designación de la dimensiones del neumático.
- **Embandando.** Acción de aplicar una nueva banda de rodamiento sobre la carcasa, pudiendo esta ser vulcanizada o no.
- **Forro interior del neumático.** Es la capa del caucho que recubre internamente a los pliegos o las lonas del neumático.
- **Innerline.** Es la capa de caucho que es impermeable y cumple la función del tubo en los neumáticos sin tubo.
- **Línea del aro del neumático.** Huella dejada por el aro utilizado.
- **Material para extrusión.** Tira o perfil de material de caucho no vulcanizado de banda de rodamiento que es extruida directamente sobre la carcasa.

- **Neumático reencauchado.** Neumático usado (carcasa) en el cual se ha situado la banda de rodadura por una nueva, con el objetivo de prolongar su vida útil.
- **Neumático usado.** Neumático que ha sido desgastado en su banda de rodadura debido al uso (carcasa).
- **Oxidación.** Proceso de corrosión en las cuerdas de acero y/o caucho de la carcasa.
- **Parche de refuerzo.** Parche fabricado con lonas, en el cual restituye la capacidad de carga original del neumático.
- **Penetración de clavo (puntillo o pinchazo).** Penetración total de la carcasa por un objeto fino o puntiagudo de tamaño menor o igual a 6 mm de diámetro.
- **Penetración seccional.** Daño mayor a 6mm producido por la penetración de un objeto en la totalidad de la carcasa.
- **Porosidad.** Poros que evidencia la falta de vulcanización en el neumático.
- **Refuerzo.** Reparación que se efectúa en la carcasa cuando el daño producido afecta entre el 25% y el 75% de los pliegos.
- **Relabrado.** Neumático que por su fabricación permite ser relabrado.
- **Relabrado.** Proceso mediante el cual se ha dado mayor profundidad a los surcos de la banda de rodadura de un neumático, cuyo diseño o dibujo se ha desgastado por el uso.
- **Rellenado.** Acción de reemplazar el caucho removido en las áreas preparadas y todas las que ameriten con la finalidad de conseguir una superficie simétrica.
- **Reparación.** Reconstrucción de la carcasa con el objeto de recuperar las características originales del neumático y su capacidad de carga.
- **Reparación menor.** Es la reparación que afecta menos del 25% de los pliegos de la carcasa y no requiere de parche.
- **Reparación con refuerzo.** Es la reparación de una avería que afecta el 25 % y el 75% de los pliegos de la carcasa y que requiere de un parche para reforzar. Esto es aplicable únicamente para el caso de llantas convencionales.
- **Sobrecarga.** Someter a un neumático a condiciones por encima de la máxima recomendada por el fabricante.
- **Surco (labrado).** Espacio comprendido entre dos bloques o ribetes adyacentes de la banda de rodadura.

- **Vulcanización.** Proceso fisicoquímico mediante el cual el compuesto de caucho pasa de su estado plástico a un estado elástico por la acción de variables como temperatura, tiempo y presión.
- **Zonas de volteo.** Zona de anclaje de las lonas en el área de la pestaña.

2.5. Hipótesis y variables

2.5.1. Hipótesis General

El control de la presión de inflado, carga promedio sobre los neumáticos, y condiciones de operación de los buses de transporte contribuirá a reducir la cantidad de llantas desechadas y su consecuente emisión contaminante.

2.5.2. Hipótesis Específicas

Hipótesis Específica 1

La estimación del tipo de neumático adecuado para cada aplicación permite reducir la cantidad de llantas desechadas y la contaminación producida por este elemento.

Hipótesis Específica 2

La incorrecta presión de inflado, sobrecarga y malas condiciones de operación de los neumáticos reducen su tiempo de vida útil.

2.6. Identificación de variables

2.6.1. Variables de la hipótesis general

- Variable independiente:
 - Procesos de control para neumáticos en buses de transporte.
- Variables dependientes:
 - Tiempo de vida útil del neumático.
 - Cantidad de neumáticos desechados.
 - Contaminación producida por neumáticos desechados.

2.6.2. Variables de las hipótesis específicas

Para la hipótesis específica 1:

- Variable independiente:
 - Tipo de neumático instalado.
- Variables dependientes:
 - Cantidad de neumáticos desechados.
 - Contaminación producida por neumáticos desechados.

Para la hipótesis específica 2:

- Variables independientes:
 - Presión de inflado.
 - Carga soportada.
 - Condiciones de operación.
- Variable dependiente:
 - Tiempo de vida útil del neumático.

2.7. Operacionalización de variables

Para la hipótesis general:

- Procesos de control para neumáticos en buses de transporte.
 - Diseño de corona estimado.
 - Presión estimada.
 - Carga estimada.
 - Velocidad estimada.
- Tiempo de vida útil del neumático.
 - Kilometraje promedio recorrido por los neumáticos.
- Cantidad de neumáticos desechados.
 - Número de neumáticos desechados.
- Contaminación producida por neumáticos desechados.
 - Toneladas métricas de emisiones contaminantes.

Para la hipótesis específica 1:

- Tipo de neumático instalado.

- Diseño de corona.
- Características del neumático instalado.
- Cantidad de neumáticos desechados.
 - Número de neumáticos desechados.
- Contaminación producida por neumáticos desechados.
 - Toneladas métricas de emisiones contaminantes.

Para la hipótesis específica 2:

- Presión de inflado.
 - Presión de inflado promedio.
 - Índice de presión.
- Carga soportada.
 - Carga promedio.
 - Índice de carga.
- Condiciones de operación.
 - Velocidad promedio.
 - Índice de velocidad.
 - Diseño de corona.
 - Tipo de carretera.
 - Fallas más comunes.
- Tiempo de vida útil del neumático.
 - Kilometraje recorrido.
 - Ritmo de desgaste.

2.8. Matriz de consistencia

| ASPECTOS GENERALES | | | | | |
|---|---|--|---|--|--|
| PROBLEMA GENERAL | | OBJETIVO GENERAL | | HIPÓTESIS GENERAL | |
| ¿Cuáles son los factores controlables que reducen la generación de neumáticos desechados por los buses de transporte? | | Determinar los factores controlables que permitan reducir de forma significativa la generación de neumáticos desechados por los buses de transporte y su consecuente emisión contaminante. | | El control de la presión de inflado, carga promedio sobre los neumáticos, y condiciones de operación de los buses de transporte contribuirá a reducir la cantidad de llantas desechadas y su consecuente emisión contaminante. | |
| ASPECTOS ESPECÍFICOS | | | | | |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | HIPÓTESIS ESPECÍFICAS | VARIABLES Y DIMENSIONES | INDICADORES | METODOLOGÍA |
| ¿Qué características deben tener los neumáticos de los buses de transporte para reducir la cantidad de llantas que desechan? | Estimar las características que deben tener los neumáticos de los buses de transporte para reducir la cantidad de llantas desechadas y la contaminación que estas producen. | La estimación del tipo de neumático adecuado para cada aplicación permite reducir la cantidad de llantas desechadas y la contaminación producida por este elemento. | V.I: Tipo de neumático instalado. | Diseño de corona. Características del neumático instalado. | El tipo de investigación inicia como no experimental. Se aplica un diseño longitudinal de tendencia con un registro histórico de cada elemento analizado. La población la componen los neumáticos instalados en los buses de las cooperativas de transporte que circulan en Machala y la Provincia de El Oro, Ecuador. La muestra es probabilística para determinar el número mínimo de neumáticos a considerar para obtener datos relevantes. La técnica para utilizar es estadística exploratoria, descriptiva e inferencial. Como instrumento de análisis se usará el software IBM SPSS. |
| | | | V.D: Cantidad de neumáticos desechados. | Número de neumáticos desechados. | |
| | | | V.D: Contaminación producida por neumáticos desechados. | Toneladas métricas de emisiones contaminantes. | |
| | | | V.I: Presión de inflado. | Presión de inflado promedio. Índice de presión. | |
| ¿Cuáles son los factores controlables más representativos que afectan el tiempo de vida útil de los neumáticos instalados en buses de transporte? | Discriminar los factores controlables más representativos que afectan el tiempo de vida útil de los neumáticos aplicados en buses de transporte. | La incorrecta presión de inflado, sobrecarga y malas condiciones de operación de los neumáticos reducen su tiempo de vida útil. | V.I: Carga soportada. | Carga promedio. Índice de carga. | |
| | | | V.I: Condiciones de operación. | Velocidad promedio. Índice de velocidad. Diseño de corona. Tipo de carretera. Fallas más comunes. | |
| | | | V.D: Tiempo de vida útil del neumático. | Kilometraje recorrido por neumático. Ritmo de desgaste. | |

III. CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de investigación

El presente trabajo de tesis sigue un proceso de investigación cuantitativo; una vez definidos los indicadores a medir, para el análisis de resultados el diseño de investigación empezó como no experimental con un diseño longitudinal de evolución de grupos, ya que se tomaron medidas repetidas en diferentes tiempos, y se contó con varios grupos de comparación asignados al azar, en caso de la primera hipótesis específica. Mientras que, para la segunda hipótesis el tipo de investigación es experimental con un mínimo grado de control de las variables presión de inflado, carga promedio y velocidad media en los neumáticos, es decir, se emplea una pre-experimentación. (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2014).

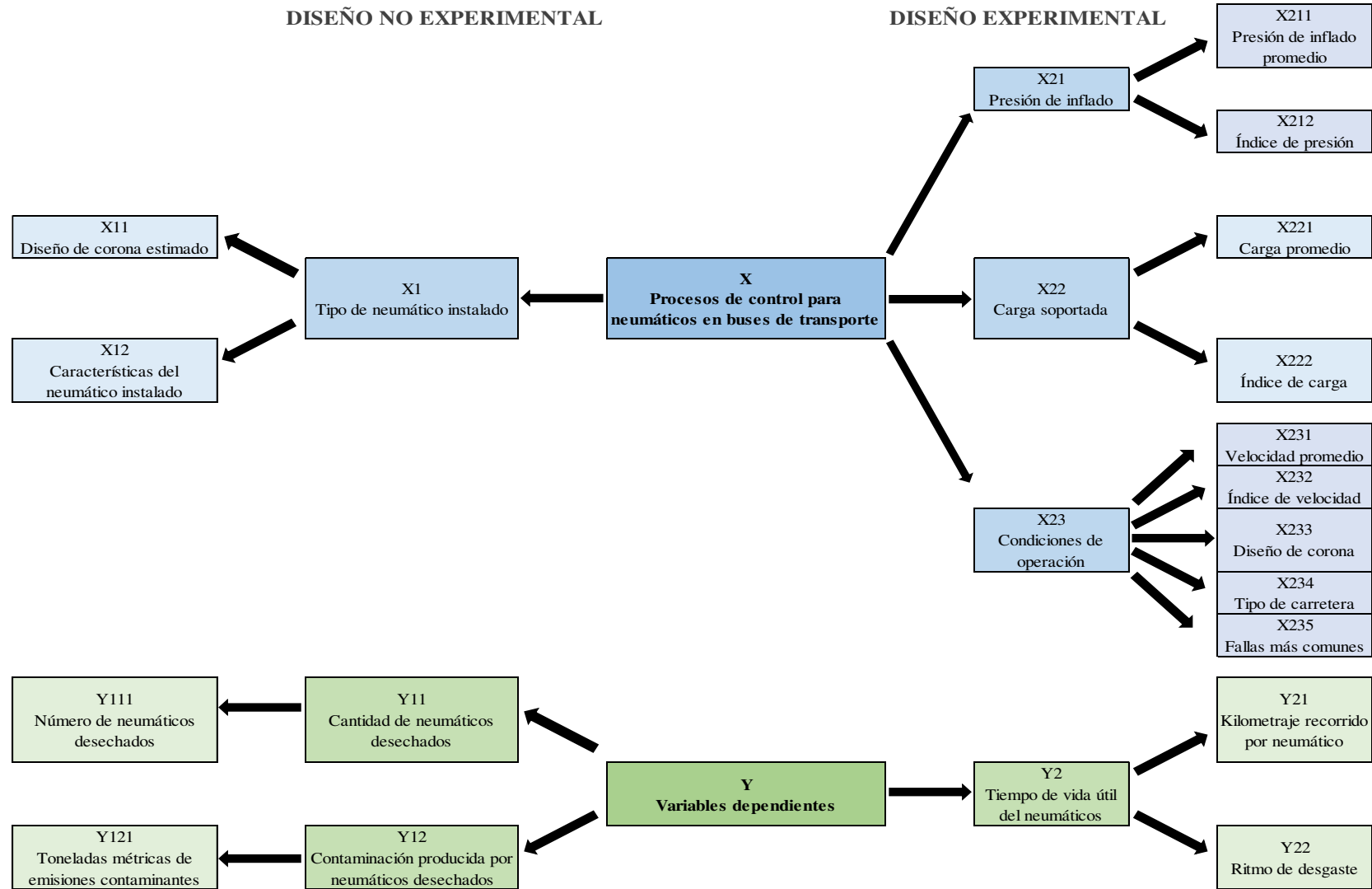


Figura 2. Gráfica del diseño de investigación

Sobre la hipótesis primera, para determinar los factores controlables que permitan reducir de forma significativa la generación de neumáticos desechados por los buses de transporte y su consecuente emisión contaminante, se propuso en primera instancia discriminar los factores controlables más representativos que afectan el tiempo de vida útil de los neumáticos aplicados en buses de transporte, siendo estos la presión de inflado, carga soportada y condiciones de operación; y respecto de esta última se podrían controlar la velocidad promedio, el índice de velocidad y diseño de corona aplicado, adaptando esto al tipo de carretera donde circularon los buses y a las fallas más comunes a las que están expuestos en función del kilometraje recorrido (Rodvalho & de Tomi, 2017).

Para la hipótesis específica segunda, con la finalidad de verificar la incidencia de la presión de inflado, carga soportada y condiciones de operación de los neumáticos en su tiempo de vida útil, se analizaron indicadores como la presión de inflado promedio (medida en libras por pulgada cuadrada o psi, donde cada psi equivale a 6894.76 Pascales de presión), índice de presión, carga promedio soportada (medida en kilogramos, también se puede medir en toneladas), índice de carga, velocidad promedio de recorrido (medida en kilómetros por hora), índice de velocidad, diseño de corona, tipo de carretera y, ritmo de desgaste de los neumáticos muestreados, medido en milímetros (Serway & Vuille, 2012; Taghavifar & Mardani, 2013).

3.2. Unidades de análisis

Las unidades informáticas de la presente investigación son:

- Cooperativas de transporte urbano.
- Compañías de transporte regional o inter-cantonal.
- Cooperativas de transporte interprovincial.
- Responsables de las unidades de transporte.
- Empresas o industrias reencauchadoras.

Las unidades de observación estadística, como objetos de estudio, para la presente investigación son todos los neumáticos radiales de caucho instalados en los buses de transporte pasajeros que circulan al interior de la provincia de El Oro, Ecuador.

3.3. Población de estudio

La población de estudio se compone del conjunto de unidades de observación, que en nuestro estudio lo componen un aproximado de 183000 neumáticos radiales de caucho instalados en los buses de transporte pasajeros que circulan en la provincia de El Oro (Yuni & Urbano, 2006). Estas unidades se encuentran instaladas en diferentes tipos de cooperativas de transporte a nivel urbano, regional e interprovincial, siempre y cuando circulen dentro de la provincia El Oro el 75% o más del tiempo de recorrido. También se consideran a los neumáticos en etapa de proceso de reencauche, las cuales se encuentran temporalmente en distintas empresas reencauchadoras y que están destinadas a formar parte de las unidades de observación (El Universo, 2018; International Trade Centre, 2018).

Las cooperativas de transporte urbano son aquellas compañías o asociaciones que estén legalmente constituidas que prestan servicio de transporte de pasajeros dentro de un cantón. Cuentan con diferentes rutas dentro del mismo cantón, y las personas las identifican con los números de cada línea. La característica principal de las vías urbanas es que los buses viajan a velocidades relativamente bajas, promedio inferior a 30 Km/h, con constantes paradas y arranques, haciendo un gran esfuerzo por tracción en los neumáticos (Bridgestone, 2019; Continental, 2016).

Las compañías de transporte regional o inter-cantonal, son aquellas empresas o asociaciones que estén legalmente constituidas que prestan servicio de transporte de pasajeros dentro de una provincia. En el Ecuador las provincias están formadas o se dividen por cantones. Cuentan con diferentes destinos dentro de la misma provincia, y las personas las identifican por estos destinos o rutas. En las vías regionales los tramos de parada son más distantes que en el servicio urbano, aunque la velocidad promedio se ubica entre 30 y 40 Km/h por estar circulando en zonas pobladas o en carreteras con muchas curvas. Algunas de las rutas regionales se pueden considerar mixtas cuando existen tramos de carretera sin asfalto o destapadas (Bridgestone, 2012; Double Coin, 2016; H.B. Plus Bandamatic, 2018).

Las cooperativas de transporte interprovincial son aquellas empresas o asociaciones que estén legalmente constituidas que prestan servicio de transporte de pasajeros

dentro de una provincia. En el Ecuador las provincias están formadas o se dividen por cantones. Cuentan con diferentes destinos dentro de la misma provincia, y las personas las identifican por estos destinos o rutas. En vías inter-provinciales las carreteras son asfaltadas en casi todo del trayecto, exceptuando algunos pocos tramos que pueden tener desperfectos por desgaste o por falla geológica. En Ecuador, la velocidad media de los buses en estos trayectos es de 60 Km/h, por la densidad de la población en este país. Los neumáticos pueden experimentar desgaste por recalentamiento cuando el tramo de recorrido es muy largo (Bridgestone, 2012; Renovallanta, 2017b).

Los responsables de las unidades de transporte son las personas dueñas de los buses o que se les delega una unidad bajo su responsabilidad, para que lleven control de las rutas que deben cumplir y los diferentes cuidados que necesita el bus. Estas personas, por lo general, tienen registros que permiten determinar las frecuencias con que se cambian los neumáticos, su recorrido total, fallas más comunes entre otros datos que se detallarán en los instrumentos de investigación.

Las empresas o industrias reencauchadoras, son entidades legalmente constituidas que principalmente prestan el servicio de reencauche de neumáticos. Estas empresas conocen las condiciones y cuidados que deben tener las llantas para que se extienda su vida útil y puedan ser luego reencauchadas sin fallas en su estructura. Además, pueden identificar los tipos de neumáticos más adecuados según su aplicación (Ministerio de Industrias y Productividad, 2018).

Los neumáticos radiales de caucho instalados en buses de transporte pasajeros son uno de sus componentes primordiales en cuanto a seguridad, pues son los que sostienen al bus sobre el suelo y soportan cualquier cambio en la unidad de transporte. Su compuesto principal es el caucho, el cual no es biodegradable y, por tanto, es recomendable minimizar su uso pues la degradación al aire libre de un neumático puede llegar a tardar más de 500 años, dependiendo de los componentes que posea (Gupta, Chaudhary, & Sharma, 2016; Torretta et al., 2015).

El medio ambiente es analizado como un factor no controlable dentro del diseño experimental, para los datos receptados para el procesamiento estadístico y posterior modelamiento matemático del ritmo de desgaste de los neumáticos. Por el impacto que

el medio ambiente sufre por las emisiones contaminantes que producen los neumáticos cuando terminan su vida útil y son desechados, este factor es fundamental dentro del estudio. Es necesario desarrollar técnicas de gestión de residuos para controlar la contaminación de la industria en todo el mundo. El CO₂ es el principal contaminante al que el medio ambiente tiene que enfrentarse por el descarte de llantas, y (E. da C. Rodovalho & de Tomi, 2017; E. Rodovalho et al., 2020).

3.4. Tamaño de la muestra

La muestra es probabilística para determinar el número mínimo de neumáticos a considerar para obtener datos relevantes, considerando un marco muestral relativo a la población de cooperativas de transporte pasajero de la provincia de El Oro. Esta población se divide en secciones por tipos de carreteras o recorridos. Las carreteras de la provincia de El Oro contienen al menos 35% de rutas de cobertura urbana, 25% regional, 15% pavimentado larga distancia y 15% carreteras mixtas (Ministerio de Transporte y Obras Públicas Subsecretaría de Infraestructura del Transporte, 2015). La distribución básica del marco muestral se detalla en la Tabla 2. Los porcentajes individuales mostrados corresponden a la cantidad de datos obtenida de cada una de las cooperativas incluidas, respetando los mínimos por tipo de carretera.

Tabla 2. Descripción del marco muestral para los estratos de la población.

| Tipo carretera | Cooperativas de transporte | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Urbano > 35% | Multioro S.A. 5% | Ciudad de Machala 12% | Oroconti S.A. 17% | Jolumbo C.A. < 1% | Pasaje Especial < 1% | 6 de Octubre 4% |
| Regional > 25% | Centinela del Sur 5% | Azuay 10% | Guabo 2% | TAC 8% | Pullman < 1% | Piñas 3% |
| Interprovincial > 15% | Loja 6% | CIFA 6% | Rutas Orenses 4% | Transportes Occidentales < 1% | Panamericana 2% | |
| Mixto > 15% | OroExpress 5% | | Interprovincial Pasaje 6% | | Victoria S.A. 4% | |

Fuente: Elaboración propia

Consideramos varias cooperativas de transporte urbano como Multioro S.A., Ciudad de Machala Cia. Ltda., Oroconti S.A, Jolumbo C.A., Pasaje Especial y, Cooperativa 6 de Octubre. Además de cooperativas de transporte regional o provincial tales como Centinela del Sur, Cooperativa Azuay, Transportes Guabo, Cooperativa TAC, Cooperativa Ecuatoriano Pullman y, Piñas Interprovincial. También se incluyen buses algunos de recorrido interprovincial o de larga distancia como la Cooperativa Loja Internacional, CIFA Internacional, Rutas Orenses Cia. Ltda., Cooperativa de Transportes Occidentales y, Panamericana, entre otras que circulan en carreteras mixtas (asfalto y tierra) como OroExpress S.A., Interprovincial Pasaje y, Victoria S.A.

Debido a los recursos que conllevan la obtención de los datos para registrarse como resultados del estudio, se propuso obtener alrededor del 5% de las unidades de análisis. De 183000 neumáticos, eso representa 9150 unidades en total. Sin embargo, se obtuvo 8778 registros válidos. La muestra base mínima, del total de registros repetidos (como la cantidad de buses de transporte) a lo largo del estudio se ha estimado a partir de:

$$n = \frac{N \cdot p \cdot q \cdot z^2}{(N - 1) \cdot \varepsilon^2 + p \cdot q \cdot z^2} \quad (3)$$

Relación matemática que sirve para determinar muestras estadísticas para poblaciones normales finitas, cuando no existen datos para determinar desviaciones estándar, y donde n es la muestra por calcular, N es la población de 9150 neumáticos, p es el nivel de aceptación, q es el nivel de rechazo, estimadas en 30% y 70% respectivamente (en Ecuador), z es un coeficiente estándar del nivel de confianza que se desea dar a la muestra, para el 95% de confianza corresponde un valor de 1.96 aproximadamente, ε es el error estimado máximo permisible para el estudio, establecido en 5%. Con esto en (3) resulta $n = 312$ como muestra mínima de datos repetidos de neumáticos (la cantidad de buses de transporte que se les pudo hacer el seguimiento completo) a lo largo del estudio (Apolo, Chavez, Rueda, & Sarmiento, 2018; D. Montgomery, Peck, & Vining, 2012; Ortiz Berrezueta, Noblecilla Grunauer, Ruiz Carrillo, Ordoñez Contreras, & Crespo Garcia, 2017).

No obstante, para comprobar la primera hipótesis se lograron obtener 476 registros de un total de 20 cooperativas de transporte de la provincia de El Oro. Para trabajar en la

hipótesis segunda se obtuvieron un total de 1463 datos correspondiente a 627 unidades de transporte, de 17 cooperativas o compañías; con lo que se reunió registros de 61 marcas de neumáticos. En ambos casos, se disminuye considerablemente el error estimado. En sí, los datos obtenidos de 476 buses de transporte superan la muestra calculada, que fue de 312, es decir, que es representativa de la población. Lo central fueron los buses que utilizaban neumáticos con diferentes dimensiones radiales tipo R17.5 y R22.5.

La diferenciación en la cantidad de unidades informáticas se produjo por los tiempos en que se registraron los datos para verificar cada hipótesis. La primera base de datos se obtuvo para verificar la primera hipótesis, al ser más general el tipo de información que se requería. Además, los instrumentos empleados también fueron distintos, pero siempre manteniendo la relación con la hipótesis general. Eso también produjo la diferencia en el número total de unidades de observación estadística, pues se perdieron 151 (627-476) registros de buses porque no se apegaron a las recomendaciones o restricciones solicitadas para el seguimiento de cada uno de los buses de transporte, que era esencial para la segunda hipótesis.

3.5. Selección de la muestra

La selección de la muestra corresponde a un muestreo estadístico. El método utilizado para este muestreo fue estratificado, por ser más preciso que los métodos de muestreo aleatorio simple, sistemático o por conglomerados (Lind & Marchal, 2012). Los estratos se definieron por tipo de carretera, como se mostró en la Tabla 2, teniendo un total de 4. Considerando el interés que mostraron las cooperativas de transporte en participar del presente estudio, al principio participaron 17 cooperativas, para luego llegar a 20, que fueron las que cumplieron todas las condiciones solicitadas para la etapa experimental del estudio, que se aplica para la segunda hipótesis.

Las cooperativas de transporte que contribuyeron en la hipótesis primera de la presente tesis fueron: Multioro S.A., Ciudad de Machala Cia. Ltda., Oroconti S.A, Jolumbo C.A., Pasaje Especial y, Cooperativa 6 de Octubre, de transporte urbano (Estrato 1). Además de cooperativas de transporte regional o provincial tales como Centinela del Sur, Cooperativa Azuay, Transportes Guabo, Cooperativa TAC y, Piñas

Interprovincial (Estrato 2). También se incluyen buses que circulan en carreteras mixtas (asfalto y tierra) como OroExpress S.A., Interprovincial Pasaje y, Victoria S.A. (Estrato 3). Finalmente, algunos de recorrido interprovincial o de larga distancia como la Cooperativa Loja Internacional, CIFA Internacional, Rutas Orenses Cia. Ltda., Cooperativa de Transportes Occidentales y, Panamericana (Estrato 4).

Para la hipótesis segunda se contó con la participación de la Cooperativa 6 de Octubre, Cooperativa Ciudad de Machala, Multioro S.A. y Oroconti S.A. de recorrido urbano (Estrato 1); Centinela del Sur, Cooperativa Azuay, Cooperativa El Guabo, Cooperativa Piñas Interprovincial y Cooperativa TAC, de recorrido regional (Estrato 2); CIFA, Cooperativa de Transporte Panamericana, Cooperativa de Transportes Loja Internacional, Cooperativa Ecuatoriano Pullman y Rutas Orenses de recorrido en carreteras pavimentadas de larga distancia (Estrato 3); y, Cooperativa de Transporte Interprovincial Pasaje, Cooperativa de Transporte Oro Express y Cooperativa de Transportes Victoria S.A. de recorrido en carreteras mixtas (Estrato 4).

3.6. Técnicas de recolección de datos

El instrumento de investigación aplicado para comprobar la hipótesis primera incluía los elementos descritos en la Tabla 3, en fichas impresas sencillas para llenar a mano. Con las que adicionalmente se estima el kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos y por los reencauchados instalados en las diferentes cooperativas o compañías de transporte. Los datos fueron recogidos por el autor, por lo que no hubo necesidad de capacitar personal para este fin.

Vale mencionar que, en la práctica, primero se registraron los datos para la hipótesis primera, ya que, como se puede apreciar en la Tabla 3, esta información es un poco más general que la registrada para la hipótesis segunda, que es la que se usa para definir el modelo matemático de desgaste de los neumáticos. La información compilada para la hipótesis segunda brinda una perspectiva bastante completa de las condiciones en que se desempeñan los neumáticos en las cooperativas de transporte de pasajeros, el mantenimiento a las unidades, el uso de reencauche, la frecuencia de cambio de los neumáticos y las fallas más comunes que estos presentan.

Tabla 3. Descripción de las variables que incluyen el instrumento de investigación para la hipótesis primera.

| ÍTEM | DESCRIPCIÓN |
|--|---|
| Cooperativa o compañía | Razón social de la Cooperativa o Compañía |
| Nombre responsable del bus | Apellidos y Nombres |
| Marca – bus | Marca del bus |
| Modelo – bus | Modelo del bus |
| Año fabricación | Año de fabricación del bus |
| Placa | Placa del bus |
| Km de cambio de aceite | Cada cuántos Km cambia el aceite del motor |
| Frecuencia cambio de aceite | Cada cuántos días cambia el aceite del motor |
| Tipo de carretera | Mixto / Pavimentado larga distancia / Regional / Urbano |
| Marca de neumáticos más utilizada | Marcas de neumático nuevo que más utiliza. |
| Frecuencia cambio neumáticos nuevos | Cada cuánto tiempo (meses) cambia los neumáticos nuevos |
| Fallas más comunes neumáticos nuevos | Fallas más comunes que se le presentan en neumáticos nuevos. Respuesta múltiple |
| Usa reencauche | Sí / No |
| Motivo de uso o no uso de reencauche | Por qué usa (o no usa) servicio de reencauche |
| Marca de reencauche más utilizada | Marca de reencauche que más utiliza. Respuesta múltiple |
| Frecuencia cambio neumáticos reencauchados | Cuánto tiempo (meses) le duran los neumáticos reencauchados |
| Fallas más comunes neumáticos reencauchados | Fallas más comunes que se presentan en los neumáticos reencauchados. Respuesta múltiple |

Fuente: Elaboración propia

El instrumento de investigación aplicado para comprobar la hipótesis segunda, además de la general, incluía los elementos descritos en la Tabla 4. Para evitar variaciones, a los representantes de las diferentes compañías participantes y sus miembros se les solicitó mantener sin cambios las rutas de transporte de los autobuses y los neumáticos instalados, además de no cambiar los neumáticos de las unidades. En los casos en los que algún neumático fue retirado de un bus por falla, desgaste o cualquier otra razón, no se procedió a tomar datos y/o se cerró el registro para dicho bus; esto también aplicó a los buses que por razones particulares alteraron su recorrido habitual (Ejmont, Ronowski, Świeczko-Żurek, & Sommer, 2016; E. da C. Rodovalho & de Tomi, 2017).

La variable marca del neumático se incluye para verificar el impacto de la composición o fórmula de la mezcla de los diferentes componentes de los neumáticos, la cual es

diferente para cada marca e influye en su tiempo de vida útil. Esto se concreta al especificar el modelo del neumático, que define las condiciones en las que este puede desempeñarse. Otras aclaraciones y especificaciones se muestran en variables como el índice de presión, el ply rating, los índices de carga, el índice de velocidad y el diseño de corona (Moresco, Giovanela, Carli, & Crespo, 2016; Stevenson et al., 2008).

Tabla 4. Ficha de observación usada como instrumento de investigación para verificar la hipótesis segunda.

| | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------|--------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| FICHA CONTROL | Cooperativa o Compañía | | | | | | |
| | Placa del Bus | | | | | | |
| | Tipo de carretera | | Pavimentado larga distancia / Regional / Urbano / Mixto | | | | |
| | Periodo / Fecha | | | | | | |
| Ítem | Descripción | Neumático 1 | Neumático 2 | Neumático 3 | Neumático 4 | Neumático 5 | Neumático 6 |
| 1 | Marca del neumático | | | | | | |
| 2 | Modelo del neumático | | | | | | |
| 3 | Medida del neumático | | | | | | |
| 4 | Remanente (mm) | | | | | | |
| 5 | Presión registrada (psi) | | | | | | |
| 6 | Índice de presión | | | | | | |
| 7 | Ply Rating | | | | | | |
| 8 | Índice de Carga Simple | | | | | | |
| 9 | Índice de Carga Dual | | | | | | |
| 10 | Carga promedio (Kg) | | | | | | |
| 11 | Índice de velocidad | | | | | | |
| 12 | Velocidad media (Km/h) | | | | | | |
| 13 | Diseño de corona | | | | | | |
| 14 | Observaciones varias | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

3.7. Análisis e interpretación de información.

En la mayor parte de las investigaciones referidas se han hecho análisis enfocados a uno de los tipos de carretera que se mencionan en el presente trabajo de investigación, y que se han tomado como estratos. Sin embargo, los factores comunes para cada tipo de carretera suelen ser los índices de presión, de carga, de velocidad, la composición del neumático y/o el diseño de corona, ya sea nueva o reencauchada. Por tanto, el análisis de la información receptada, para el estudio se enfoca estadísticamente y su interpretación depende de las herramientas y métodos de tratamiento estadístico de los datos (X. Chen et al., 2018; Li et al., 2012; Nguyen et al., 2018).

En la verificación de la hipótesis específica primera, el valor del kilometraje recorrido se estima multiplicando los registros numéricos del kilometraje y la frecuencia de cambio de aceite (convertido en meses) y la frecuencia de cambio de las llantas, tanto para las nuevas como para las reencauchadas. En tipos de carretera, se entiende por urbana a las vías pavimentadas donde los buses hacen continuos arranques y paradas al desplazarse. La carretera mixta se define como aquellas con tramos de asfalto y caminos de tierra. El tipo regional es aquella que tiene escasos tramos vía de tierra y muchos extensos de asfalto o pavimento, pero los puntos de parada y formas de las carreteras impiden desarrollar altas velocidades. Y, las vías pavimentadas de larga distancia permiten desarrollar velocidades relativamente altas por la considerable distancia entre paradas y formas poco sinuosas de los caminos (Bridgestone, 2019; H.B. Plus Bandamatic, 2018; Renovallanta, 2017a, 2017b; Ruzi, 2012).

Al resumir los resultados, primero se explica la relación matemática que se usó para calcular la cantidad de emisiones contaminantes que generan los neumáticos al quemarse o degradarse. Luego se determina de forma general datos como las marcas de neumáticos nuevos y reencauchados más utilizadas, las fallas más comunes de estos, las razones de uso o no uso del servicio de reencauche aparte de todos los elementos demográficos, establecidos mediante tablas de frecuencia, tablas cruzadas o gráficos de frecuencia obtenidas con el software IBM SPSS 23 versión de prueba.

Entonces pasamos a visualizar los kilometrajes recorridos (en total) por los neumáticos según tipo de carretera en que circularon y las fallas más comunes que estos presentaron; para lo cual se aplicaron tablas de contingencia para conjuntos de respuesta múltiple; con lo cual se busca identificar la mayor duración en cada tipo de carretera (grupos). A la par, se verificó si esta agrupación establece diferencias significativas en cada caso, usando una prueba de hipótesis no paramétrica, puesto que los datos son nominales y ordinales (Medina Moral, 2002; D. C. Montgomery, 2017).

En el caso del kilometraje, los valores eran de escala discreta, pero se realizó una distribución de frecuencias con una amplitud de clase de 15000 Km de diferencia con ayuda del mismo software estadístico mencionado anteriormente. Las hipótesis siguieron esta lógica de interpretación:

- Hipótesis nula: No hay diferencia en los kilometrajes de duración entre los grupos. Significancia mayor al 5%.
- Hipótesis alterna: Existe diferencia en los kilometrajes de duración entre los grupos. Significancia igual o menor a 5%

Esta información se contrastó con los kilometrajes de duración más frecuentes según el grupo. Además, se consideró de utilidad verificar el mayor kilometraje registrado de acuerdo con la marca y grupo, para luego, en este mismo sentido, analizar las fallas más comunes por marca de neumático. Todos estos contrastes permiten determinar la cantidad de emisiones contaminantes que se pueden evitar sólo usando las marcas con mayor duración en kilometraje o vida útil efectiva. En un siguiente estudio se ha de analizar el ritmo de desgaste de los neumáticos en función de factores como la velocidad promedio, carga soportada por cada llanta, presión de inflado, tipo de recorrido y las características técnicas del neumático, incluyendo el modelo de labrado de la banda de rodamiento, tanto en llantas nuevas como reencauchadas (Kunnappillil Madhusudhanan et al., 2016; Liu, Li, Yang, Ji, & Wu, 2017).

Para comprobar la hipótesis específica segunda, y luego la hipótesis general planteada para la presente tesis, se aplica un análisis estadístico exploratorio, descriptivo e inferencial, con ayuda del software IBM SPSS 23 versión de prueba. Las características estadísticas exploratorias de los indicadores incluidos en el análisis se obtuvieron con la opción Estadísticos descriptivos, sub-opción Frecuencias. Las estimaciones de desgaste de la banda de rodadura o ritmo de desgaste de los neumáticos se realizaron usando Modelos lineales generalizado (GLM)⁸, sub-opción Ecuaciones de estimación generalizadas (GEE)⁹ (Departamento de Sociología de la Universidad Complutense de Madrid, 2013; Reding Bernal, Zamora Macorra, & López Alvarenga, 2011).

En el tratamiento agrupamos los datos, primero por número de registros históricos obtenidos para cada neumático (que estadísticamente es recomendable que sean al

⁸ GLM: Generalized Linear Model, es una generalización flexible de la regresión lineal ordinaria. Relaciona la distribución aleatoria de la variable dependiente en el experimento con la parte sistemática a través de una función de enlace.

⁹ GEE: Generalized Estimating Equation, amplía el modelo lineal generalizado para permitir el análisis de mediciones repetidas y otras observaciones correlacionadas, como datos clústeres.

menos 5), luego por placa del vehículo y después por número del neumático. Estos tres filtros eliminan la posibilidad de que se repita la información o se mezcle e invalide los resultados, además de considerar comparaciones equitativas en función del número de registros que se hayan obtenido en cada bus. Para categorizar los datos resultantes se usó como variable de ponderación de escala a la medida del neumático, siendo esta ponderación más alta cuanto mayor es la dimensión de la llanta, pues la mayoría son R22,5 (D. Montgomery et al., 2012).

Los factores predictores serían el periodo, la presión registrada, la carga promedio y la velocidad media. Los elementos covariables utilizados fueron el ply rating, el índice de presión, índice de carga simple y dual, índice de velocidad y diseño de corona aplicado, verificando la interacción entre los factores, covariables y el elemento dependiente. Se establece el modelo de estimación usando la distribución gamma con enlace logarítmico dado que la respuesta de desgaste no es lineal (X. Chen et al., 2018; D. Montgomery et al., 2012). El valor pronosticado del predictor lineal nos permitirá identificar los menores valores de desgaste de acuerdo con los registros obtenidos.

Se hizo una comparación de las medias de desgaste de las bandas de rodadura de las diferentes marcas, modelos y medidas de llantas usando la opción Comparar medias, sub-opción Medias. La variable dependiente en este caso será el valor pronosticado del predictor lineal anteriormente obtenido. Las capas de filtrado fueron los registros, número de neumático, marca, modelo y medida. Para contraste se usaron las medias y desviaciones estándar de cada caso. Con esto, se pudo establecer un ranking de los tipos de neumáticos que evidenciaron el menor ritmo de desgaste de la banda de rodadura para las distintas aplicaciones. Los mejores valores serían los que tengan el promedio más bajo con la menor desviación estándar. Esto último puede verificarse calculando el límite superior (media + desviación) del valor de desgaste de cada caso, definido por marca, modelo y medida de neumático (Lind & Marchal, 2012).

Por último, las ecuaciones para predicción del desgaste se estimaron con ayuda del mismo software IBM SPSS con la opción Regresión, sub-opción Lineales. La variable dependiente vuelve a ser el valor pronosticado del predictor lineal, ingresando las variables de periodo, carga promedio, velocidad media y presión registrada. En la ecuación general la variable de selección fue Registros, siempre que sean al menos 5.

La ponderación se volvió a hacer en función de la medida del neumático, identificando las marcas como casos. Y, en las ecuaciones específicas por tipo de carretera, se tomó este componente como variable de selección, ponderando según los registros obtenidos. Con esto se logra identificar predictores usando el método de regresión de mínimos cuadrados con el método paso a paso. Posteriormente se ha de optimizar tanto el diseño como la respuesta en las pruebas (D. Montgomery et al., 2012). El análisis matemático-estadístico se plantea de la siguiente forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_kx_k + \varepsilon \quad (4)$$

Donde y representa el rendimiento del proceso (ritmo de desgaste de la banda de rodamiento), las x representan los factores influyentes o variables independientes (tiempo o periodo, presión de inflado, carga promedio, velocidad media). Estas variables se clasifican por niveles, para estimar su comportamiento con un análisis de regresión, siendo coeficientes de regresión los representados por β . Estadísticamente, el tratamiento de estos parámetros se realiza de forma matricial para su análisis y optimización (D. C. Montgomery, 2017; D. Montgomery et al., 2012).

IV. CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Sobre las variables de la hipótesis específica 1

La cantidad de emisiones contaminantes generadas por los neumáticos desechados por los buses, promediando los años de 2011 a 2017, se obtuvo con la relación:

$$m_{Nt} = \frac{\sum_{i=2011}^{2017} \frac{Im_i}{Pe_{min}} + \sum_{i=2011}^{2017} \frac{Im_i}{Pe_{max}}}{Dif} \times m_N \quad (5)$$

Donde se denomina: Valores de importaciones en un periodo (Im) en dólares americanos (\$)/año; Precio menor estimado (Pemin) en \$/und; Precio mayor estimado (Pemax) en \$/und; Diferencia entre periodos (Dif) en años; Masa media de un neumático (mN) en kilogramos (Kg); Masa total de llantas (mNt) adquiridas en Kg/año; Masa del dióxido de carbono (mCO₂) en Kg; Masa del carbono (mC); Volumen de CO₂ (VCO₂) en Litros (Lt); Densidad del petróleo (ρP) en Kg/Lt (Generalitat De Catalunya & Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, 2011). A partir de la Tabla 1 y, mN = 60 Kg, Pemin = \$ 400, Pemax = \$ 600, Dif = 6 años, tendríamos:

$$m_{Nt} = 10959321,4 \frac{[Kg]}{[año]}$$

Luego, aplicando las siguientes relaciones y equivalencias:

1 Ton = 22727 moles de CO₂ (peso molecular = 0,044 Kg/mol)

1 mol de CO₂ = 22,4 Lt

1 Kg de CO₂ = 0,2727 Kg de C

Densidad de petróleo (como compuesto pesado) relativa = 0.906 Kg/Lt.

Podemos definir que:

$$m_{CO_2} = V_{CO_2} \times \rho_P \quad (6)$$

Entonces:

$$\frac{m_{CO_2}}{[Ton]} = \left(22727 \frac{[mol]}{[Ton]} \right) \left(22.4 \frac{[Lt]}{[mol]} \right) \times \left(0.906 \frac{[Kg]}{[Lt]} \right) = 461230,8 \frac{[Kg]_{CO_2}}{[Ton]}$$

Por tanto, las emisiones de carbono que producirían los neumáticos desechados (E_c) se establecería por la siguiente relación:

$$E_c = \frac{m_{Nt}}{\frac{m_c}{Ton}} \quad (7)$$

$$E_c = \frac{10959321,4 \frac{[Kg]}{[año]}}{\left(461230,8 \frac{[Kg]_{CO_2}}{[Ton]} \right) \left(0.2727 \frac{[Kg]_c}{[Kg]_{CO_2}} \right)} \approx 87 \frac{[Ton]}{[año]}$$

Este resultado es similar al que se obtuvo en la investigación de E. Rodvalho et al. (2020), donde los modelos de simulación generados a través de la regresión lineal múltiple, y se logró una reducción de 86.1 Ton de emisiones de CO₂ por año. Cabe mencionar que, con las relaciones matemáticas antes descritas, para el caso de querer analizar otra materia interviniente después del proceso de manufactura, lo que se cambiaría sería la densidad del petróleo (ρ_P) por la densidad de cualquier otra sustancia o combustible. Esto sería útil si consideráramos las emisiones contaminantes producto del transporte y operatividad de los neumáticos luego de su fabricación, sin embargo, la finalidad que buscamos no es suprimir el uso de llantas, sino optimizar su vida útil y postergar al máximo el desecho de estas.

En relación con los datos receptados de los buses de las cooperativas de transporte urbano y regional de la provincia de El Oro se determinó que, para los 476 buses, con diferentes cantidades de registros (receptados por respuestas múltiples), para definir las marcas de neumáticos nuevos y reencauchados más utilizadas, además de las fallas más comunes tanto en llantas nuevas como en reencauchadas. Por su extensión, en la

Tablas 5 se muestra una fracción de las fallas más comunes de neumáticos nuevos por marca, y en la Tabla 6 lo correspondiente a llantas reencauchadas.

Tabla 5. Fallas más comunes de neumáticos nuevos por marca (fracción)

| | | | Marca de neumáticos más utilizados ^a | | | | | Total |
|---|---|--------------------------|---|-------|-------------|-------------|--------|-------|
| | | | Advance | Barum | Bridgestone | Continental | Daewoo | |
| Fallas más comunes de neumáticos ^a | Ampollas por calor | Recuento | 0 | 8 | 6 | 3 | 0 | 60 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 13,3% | 10,0% | 5,0% | 0,0% | |
| | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 0 | 29 | 7 | 6 | 1 | 151 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 19,2% | 4,6% | 4,0% | ,7% | |
| | Baja resistencia a los cortes en | Recuento | 1 | 1 | 3 | 3 | 0 | 26 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 3,8% | 3,8% | 11,5% | 11,5% | 0,0% | |
| | Baja resistencia a los impactos | Recuento | 0 | 2 | 9 | 5 | 0 | 41 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 4,9% | 22,0% | 12,2% | 0,0% | |
| | Desgaste excesivo | Recuento | 0 | 19 | 8 | 5 | 0 | 115 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 16,5% | 7,0% | 4,3% | 0,0% | |
| | Desgaste irregular | Recuento | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 8 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 12,5% | |
| | Deterioro o degradación acelerado | Recuento | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 9 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 55,6% | 11,1% | 0,0% | |
| | Explosión súbitamente | Recuento | 0 | 12 | 1 | 4 | 0 | 62 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 19,4% | 1,6% | 6,5% | 0,0% | |
| | Fallas de fábrica | Recuento | 0 | 22 | 0 | 2 | 0 | 75 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 29,3% | 0,0% | 2,7% | 0,0% | |
| | Fallas en ceja/talón | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 8 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 12,5% | 0,0% | 0,0% | |
| | Fallas en la carcasa | Recuento | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 20 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 5,0% | 0,0% | 20,0% | 0,0% | |
| | Fallas en los costados | Recuento | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 11 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 45,5% | 0,0% | 0,0% | |
| | Fallas en válvula | Recuento | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 16,7% | 16,7% | 0,0% | |
| | Filtraciones de aire | Recuento | 0 | 2 | 9 | 7 | 0 | 63 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 3,2% | 14,3% | 11,1% | 0,0% | |
| | Problemas para balanceo | Recuento | 0 | 1 | 4 | 1 | 0 | 11 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 9,1% | 36,4% | 9,1% | 0,0% | |
| | Recalentamiento excesivo | Recuento | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 8 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 25,0% | 12,5% | 0,0% | |
| | Rigidez alta con la presión recomendada | Recuento | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 | 72 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Ninguna | Recuento | 0 | 24 | 5 | 5 | 0 | 112 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 21,4% | 4,5% | 4,5% | 0,0% | |
| Total | Recuento | 1 | 145 | 66 | 48 | 2 | 858 | |

Los porcentajes y los totales se basan en respuestas.

a. Grupo

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 6. Fallas más comunes de neumáticos reencauchados por marca

| | | | Marca de reencauche más común ^a | | | | | | | | | | Total | |
|---|-----------------------------------|---------------------------|--|--------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | | | Automundial | Bandag | Bandamatic | Contitread | Hules Banda | Indelband | Marangoni | Pre-Q | Recamic | Ruzi | | Vipal |
| Falla más común en reencauchados ^a | Ampollas por calor | Recuento | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 2 | 0 | 4 | 20 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 20,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 10,0% | 0,0% | 20,0% | |
| | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 1 | 27 | 0 | 0 | 1 | 2 | 23 | 2 | 0 | 0 | 0 | 56 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 1,8% | 48,2% | 0,0% | 0,0% | 1,8% | 3,6% | 41,1% | 3,6% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Baja resistencia a los impactos | Recuento | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Desgaste excesivo | Recuento | 5 | 33 | 1 | 3 | 4 | 15 | 23 | 0 | 1 | 0 | 2 | 87 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 5,7% | 37,9% | 1,1% | 3,4% | 4,6% | 17,2% | 26,4% | 0,0% | 1,1% | 0,0% | 2,3% | |
| | Desprendimiento de banda | Recuento | 4 | 27 | 3 | 15 | 8 | 20 | 3 | 4 | 2 | 6 | 12 | 104 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 3,8% | 26,0% | 2,9% | 14,4% | 7,7% | 19,2% | 2,9% | 3,8% | 1,9% | 5,8% | 11,5% | |
| | Deterioro o degradación acelerado | Recuento | 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 11 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 9,1% | 36,4% | 18,2% | 0,0% | 0,0% | 18,2% | 0,0% | 9,1% | 0,0% | 0,0% | 9,1% | |
| | Explotan súbitamente | Recuento | 0 | 16 | 0 | 4 | 7 | 7 | 1 | 5 | 5 | 0 | 2 | 47 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 34,0% | 0,0% | 8,5% | 14,9% | 14,9% | 2,1% | 10,6% | 10,6% | 0,0% | 4,3% | |
| | Fallas en la carcasa | Recuento | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 14 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 7,1% | 21,4% | 0,0% | 7,1% | 7,1% | 42,9% | 0,0% | 0,0% | 7,1% | 0,0% | 7,1% | |
| | Filtraciones de aire | Recuento | 0 | 24 | 0 | 0 | 1 | 2 | 22 | 0 | 0 | 0 | 1 | 50 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 48,0% | 0,0% | 0,0% | 2,0% | 4,0% | 44,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 2,0% | |
| Recalentamiento excesivo | Recuento | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 40,0% | 20,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 40,0% | | |
| Ninguna | Recuento | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 12 | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 8,3% | 25,0% | 0,0% | 8,3% | 8,3% | 16,7% | 0,0% | 8,3% | 16,7% | 0,0% | 8,3% | | |
| Total | Recuento | 13 | 142 | 6 | 27 | 24 | 66 | 72 | 13 | 13 | 6 | 26 | 408 | |

Los porcentajes y los totales se basan en respuestas.

a. Grupo

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Para visualizar si las fallas más comunes que se presentan en los neumáticos afectan el uso del servicio de reencauche, se cuantificó la razón de uso o no de este servicio, los resultados en porcentajes totales se muestran en la Figura 3, siendo usual que los que usan el servicio de reencauche lo hagan porque son más económicos que los neumáticos nuevos, mientras que la razón para no usar este servicio es porque las llantas reencauchadas se consideran no confiables o de baja seguridad, lo cual puede estar ligado a los desperfectos que se puedan presentar.

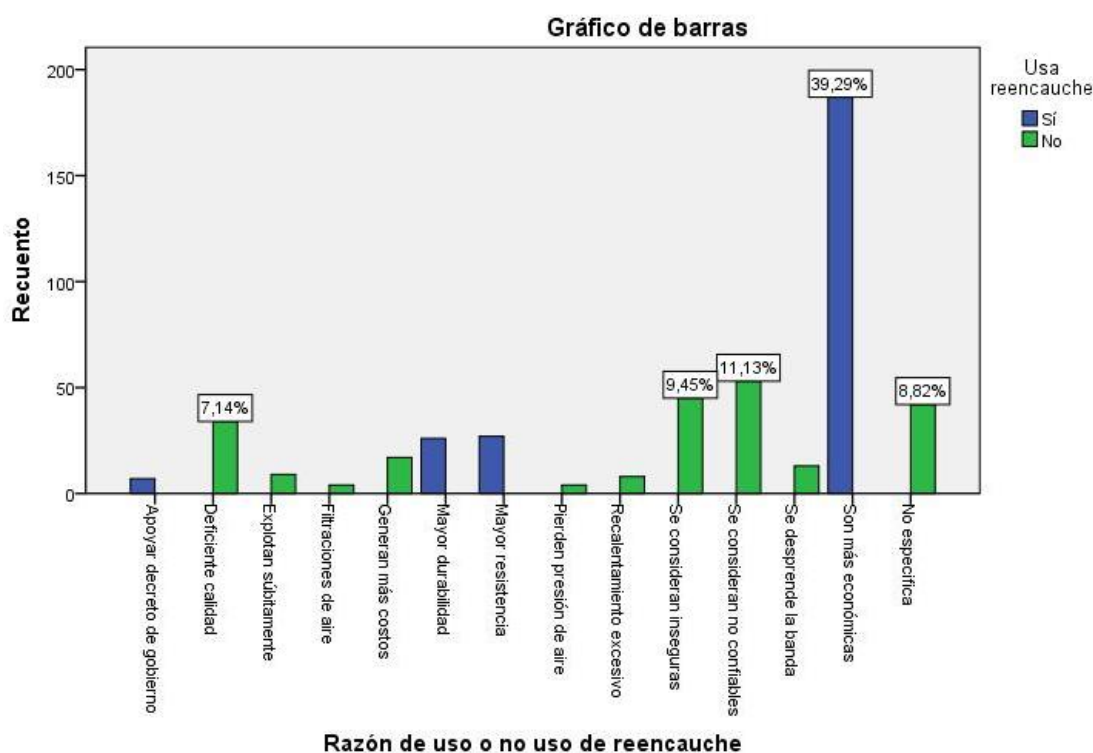


Figura 3. Resultado de la razón de uso o no uso del servicio de reencauche (porcentajes totales)

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Para verificar si las fallas más comunes de neumáticos en general son representativas de los grupos por tipo de carretera, se realizó una prueba de hipótesis no paramétrica H de Kruskal-Wallis; respecto a las fallas más comunes, los resultados fueron:

- Hipótesis: La distribución de *Fallas más comunes en neumáticos* es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.282. Se acepta.

- Hipótesis: La distribución de *Fallas más comunes en reencauchado* es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.000. Se rechaza.

Entonces, únicamente en los tipos de fallas más comunes en neumáticos reencauchados hay diferencias significativas entre los grupos de tipo de carretera y, por tanto, los resultados aquí obtenidos tienen variaciones marcadas entre sí; una ilustración de esto se muestra en las Figura 4 y 5. Para este caso se resalta una opción por grupo. Para las nuevas se presentan dos elementos por grupo.

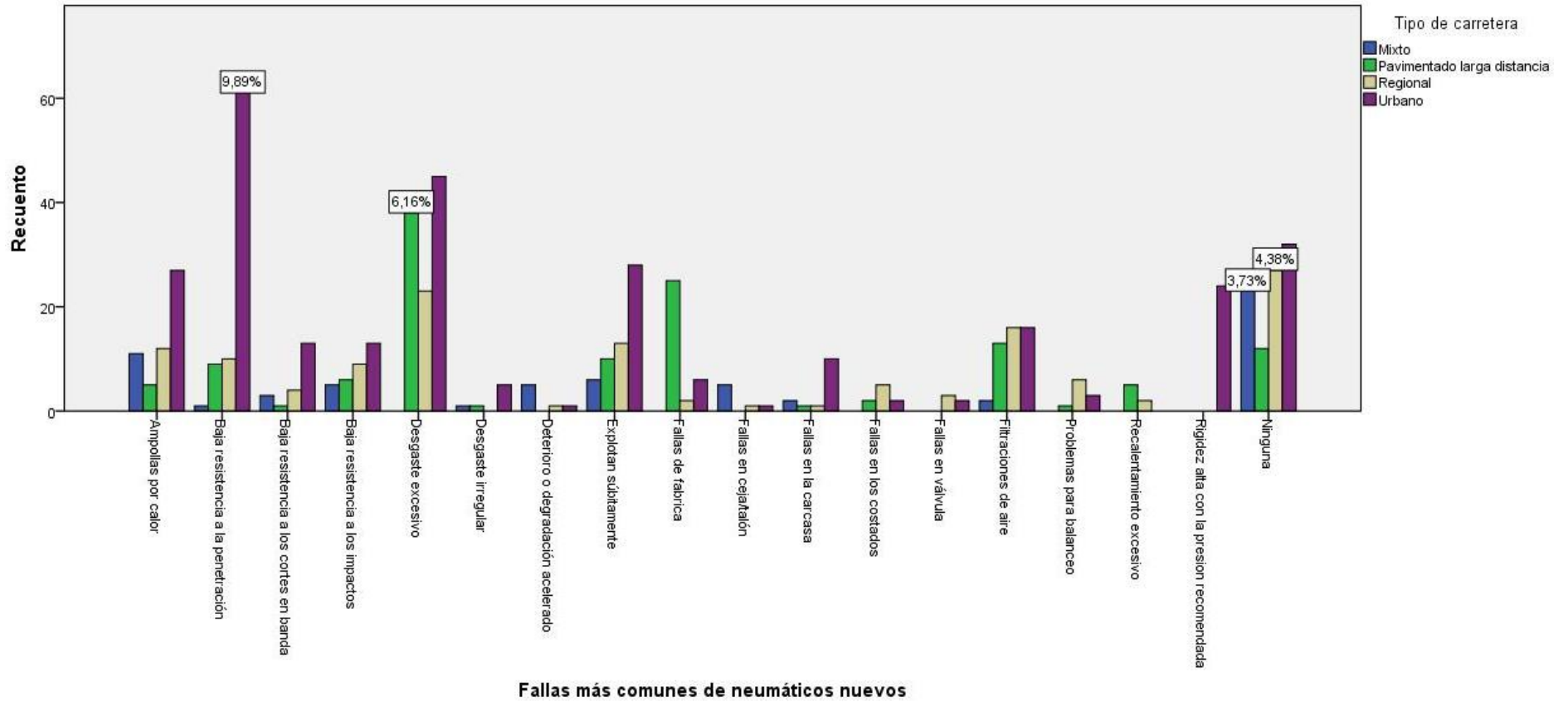


Figura 4. Porcentajes relativos de las fallas más comunes que se presentan en los neumáticos nuevos

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

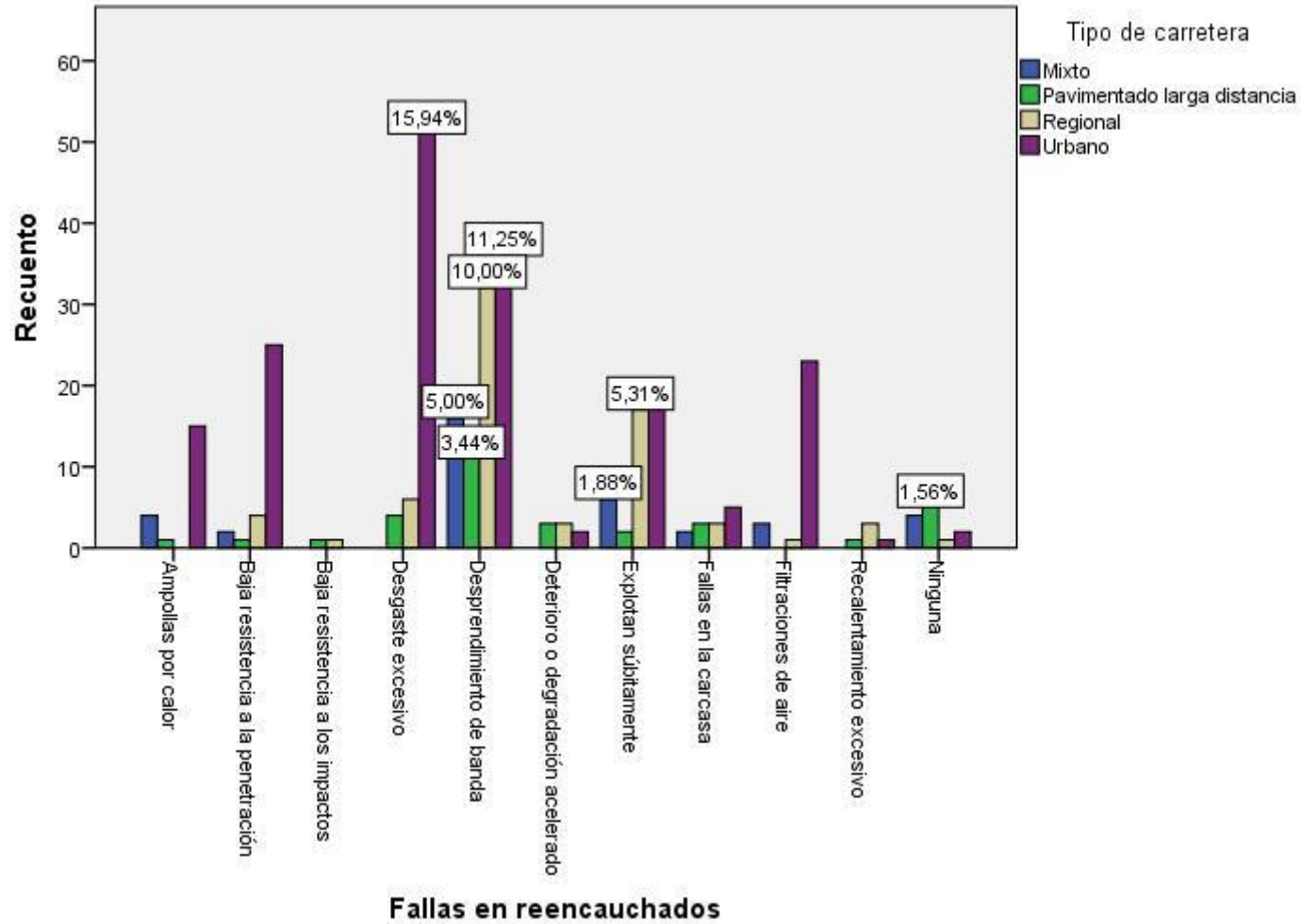


Figura 5. Porcentajes relativos de las fallas más comunes que se presentan en los neumáticos renecauchados

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Estas relaciones se contrastaron con los kilometrajes medios recorridos por los neumáticos, presentando dos elementos o máximo tres con variaciones bajas. Para llantas nuevas, los datos se representan en la Figura 6, cuyos datos se detallan en las Tablas de la 7 a la 10. En aplicación carretera pavimentada larga distancia la duración más alta es de 216000 Km presentado problemas para balanceo. En aplicación regional, la duración máxima promedio en 131000 Km con fallas en los costados y baja resistencia a los impactos. En carretera mixta, el kilometraje máximo oscila en alrededor de 91000 con fallas en ceja/talón y deterioro o degradación acelerado. Y, en buses urbanos la duración máxima registrada es de 129000 Km presentando fallas en la ceja o talón.

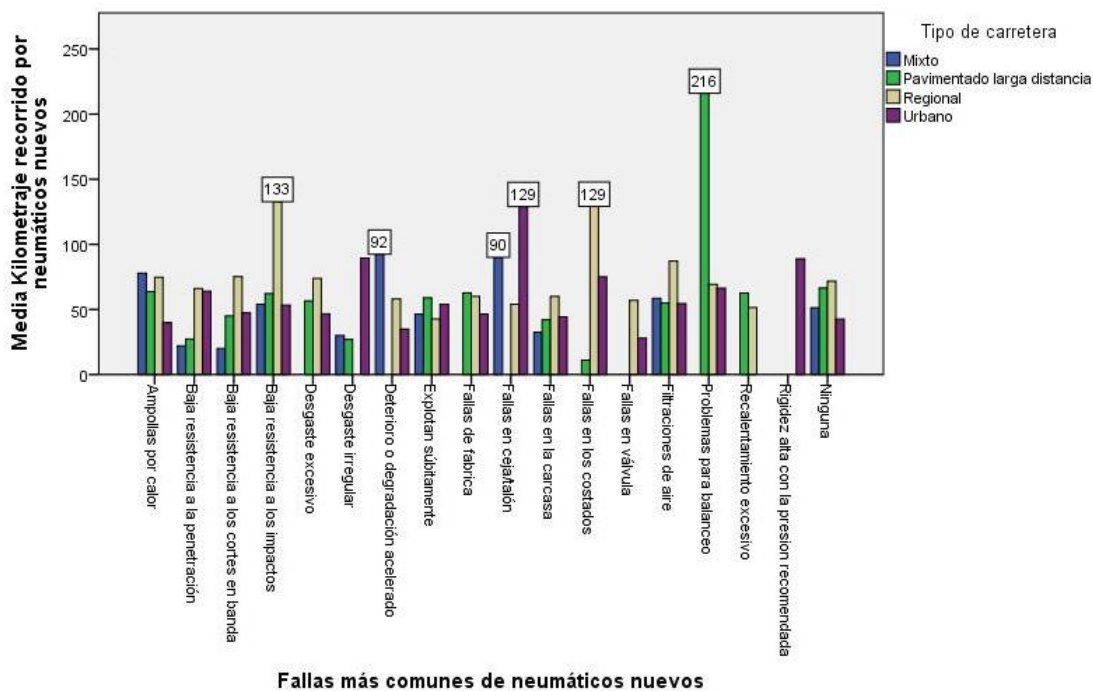


Figura 6. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus Fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan
 Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 7. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera pavimentada de larga distancia)

| | | Tabla cruzada de \$FALLASNEUM*INTKMRECNEUM*TIPOCARRET | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|----------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|--------|------|----|
| Tipo de carretera | | Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos (agrupado) | | | | | | | | | | | | |
| | | <= 15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 60 | 61 - 75 | 76 - 90 | 91 - 105 | 106 - 120 | 121 - 135 | 151 - 165 | >210 | | |
| Pavimentado larga distancia | Fallas en neumáticos nuevos ^a | Ampollas por calor | Recuento | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 20,0% | 60,0% | 0,0% | 0,0% | 20,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 4 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 44,4% | 11,1% | 33,3% | 0,0% | 11,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Baja resistencia a los cortes en | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Baja resistencia a los impactos | Recuento | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 16,7% | 16,7% | 50,0% | 16,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Desgaste excesivo | Recuento | 0 | 7 | 9 | 8 | 7 | 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 38 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 18,4% | 23,7% | 21,1% | 18,4% | 13,2% | 0,0% | 2,6% | 0,0% | 2,6% | 0,0% | |
| | | Desgaste irregular | Recuento | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Explotan súbitamente | Recuento | 0 | 1 | 2 | 4 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 10,0% | 20,0% | 40,0% | 10,0% | 0,0% | 20,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Fallas de fabrica | Recuento | 0 | 1 | 2 | 0 | 21 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 25 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 4,0% | 8,0% | 0,0% | 84,0% | 0,0% | 0,0% | 4,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Fallas en la carcasa | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | Fallas en los costados | Recuento | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | Filtraciones de aire | Recuento | 0 | 0 | 5 | 3 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 38,5% | 23,1% | 30,8% | 7,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | Problemas para balanceo | Recuento | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | | |
| | Recalentamie nto excesivo | Recuento | 0 | 1 | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 20,0% | 0,0% | 40,0% | 20,0% | 0,0% | 20,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | Ninguna | Recuento | 3 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 12 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 25,0% | 0,0% | 16,7% | 0,0% | 8,3% | 16,7% | 16,7% | 8,3% | 8,3% | 0,0% | 0,0% | | |
| | Total | Recuento | 9 | 12 | 27 | 21 | 39 | 9 | 6 | 3 | 1 | 1 | 129 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 8. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Regional)

| | | Tabla cruzada de \$FALLASNEUM*INTKMRECNEUM*TIPOCARRET | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|--|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|---|----|
| Tipo de carretera | | Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos (agrupado) | | | | | | | | | | | | |
| | | | <= 15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 60 | 61 - 75 | 76 - 90 | 91 - 105 | 106 - 120 | 121 - 135 | 136 - 150 | | |
| Regional | Fallas en neumáticos nuevos ^a | Ampollas por calor | Recuento | 0 | 0 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 12 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 8,3% | 33,3% | 8,3% | 33,3% | 8,3% | 0,0% | 8,3% | 0,0% | | |
| | | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 0 | 0 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 30,0% | 20,0% | 30,0% | 10,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 10,0% | | |
| | | Baja resistencia a los cortes en | Recuento | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 25,0% | 0,0% | 0,0% | 25,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | | Baja resistencia a los impactos | Recuento | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 5 | 9 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 44,4% | 0,0% | 55,6% | | |
| | | Desgaste excesivo | Recuento | 0 | 1 | 4 | 7 | 2 | 4 | 0 | 2 | 0 | 3 | 23 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 4,3% | 17,4% | 30,4% | 8,7% | 17,4% | 0,0% | 8,7% | 0,0% | 13,0% | | |
| | | Deterioro o degradación acelerado | Recuento | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | | Explotan súbitamente | Recuento | 0 | 4 | 4 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 30,8% | 30,8% | 15,4% | 23,1% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | | Fallas de fabrica | Recuento | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | | Fallas en ceja/talón | Recuento | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| | | Fallas en la carcasa | Recuento | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| Fallas en los costados | Recuento | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 2 | 5 | | |
| % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 60,0% | 0,0% | 40,0% | | | | |
| Fallas en válvula | Recuento | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | | |
| % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 33,3% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | | |
| Filtraciones de aire | Recuento | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 | 4 | 16 | | |
| % dentro de \$FALLASNEUM | 6,3% | 6,3% | 12,5% | 18,8% | 6,3% | 0,0% | 0,0% | 25,0% | 0,0% | 25,0% | | | | |
| Problemas para balanceo | Recuento | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 | | |
| % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 33,3% | 16,7% | 16,7% | 0,0% | 16,7% | 16,7% | 0,0% | 0,0% | | | | |
| Recalentamiento excesivo | Recuento | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | | |
| % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | | |
| Ninguna | Recuento | 0 | 0 | 4 | 6 | 7 | 4 | 4 | 1 | 1 | 0 | 27 | | |
| % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 14,8% | 22,2% | 25,9% | 14,8% | 14,8% | 3,7% | 3,7% | 0,0% | | | | |
| Total | Recuento | 1 | 7 | 22 | 33 | 19 | 13 | 7 | 16 | 2 | 15 | 135 | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 9. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Mixta)

| | | | | Tabla cruzada de \$FALLASNEUM*INTKMRECNEUM*TIPOCARRET | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|-----------------------------------|--------------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------|---|
| Tipo de carretera | | | | Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos (agrupado) | | | | | | | | | | |
| | | | | <= 15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 60 | 61 - 75 | 76 - 90 | 91 - 105 | 106 - 120 | 136 - 150 | | |
| Mixto | Fallas en neumáticos nuevos ^a | Ampollas por calor | Recuento | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 11 | |
| | | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 45,5% | 0,0% | 9,1% | 9,1% | 0,0% | 18,2% | 18,2% | | |
| | | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Baja resistencia a los cortes en | Recuento | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| | | | % dentro de \$FALLASNEUM | 33,3% | 66,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Baja resistencia a los impactos | Recuento | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 |
| | | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 60,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 20,0% | 20,0% | 0,0% | |
| | | Desgaste irregular | Recuento | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | | Deterioro o degradación acelerado | Recuento | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 5 |
| | | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 40,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 40,0% | 20,0% | |
| | | Explotan súbitamente | Recuento | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| % dentro de \$FALLASNEUM | 16,7% | | 16,7% | 33,3% | 0,0% | 16,7% | 16,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | |
| Fallas en ceja/talón | Recuento | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | |
| Fallas en la carcasa | Recuento | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 50,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | |
| Filtraciones de aire | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | |
| Ninguna | Recuento | 0 | 3 | 9 | 4 | 4 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 | | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 13,0% | 39,1% | 17,4% | 17,4% | 13,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | |
| Total | | | Recuento | 2 | 12 | 20 | 4 | 7 | 10 | 1 | 5 | 3 | 64 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 10. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Urbano)

| | | | Tabla cruzada de \$FALLASNEUM*INTKMRECNEUM*TIPOCARRET | | | | | | | | | | |
|---|--|--------------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----|
| Tipo de carretera | | | Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos (agrupado) | | | | | | | | | | |
| | | | <= 15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 60 | 61 - 75 | 76 - 90 | 91 - 105 | 106 - 120 | 121 - 135 | 151 - 165 | |
| Urbano | Fallas en neumáticos nuevos ^a | Ampollas por calor | Recuento | 0 | 4 | 18 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 14,8% | 66,7% | 11,1% | 7,4% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 1 | 5 | 22 | 6 | 3 | 15 | 7 | 5 | 0 | 0 | 64 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 1,6% | 7,8% | 34,4% | 9,4% | 4,7% | 23,4% | 10,9% | 7,8% | 0,0% | 0,0% | |
| | Baja resistencia a los cortes en | Recuento | 0 | 2 | 3 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 15,4% | 23,1% | 53,8% | 7,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Baja resistencia a los impactos | Recuento | 0 | 0 | 9 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 69,2% | 0,0% | 7,7% | 15,4% | 7,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Desgaste excesivo | Recuento | 1 | 10 | 13 | 14 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 2,2% | 22,2% | 28,9% | 31,1% | 6,7% | 8,9% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Desgaste irregular | Recuento | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 20,0% | 40,0% | 40,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Deterioro o degradación acelerado | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Explotan súbitamente | Recuento | 0 | 1 | 7 | 15 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 28 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 3,6% | 25,0% | 53,6% | 10,7% | 3,6% | 0,0% | 3,6% | 0,0% | 0,0% | |
| | Fallas de fábrica | Recuento | 0 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 50,0% | 16,7% | 16,7% | 0,0% | 0,0% | 16,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | |
| | Fallas en ceja/talón | Recuento | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | |
| Fallas en la carcasa | Recuento | 0 | 0 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 70,0% | 30,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| Fallas en los costados | Recuento | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| Fallas en válvula | Recuento | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 50,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| Filtraciones de aire | Recuento | 0 | 1 | 11 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 17 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 5,9% | 64,7% | 11,8% | 0,0% | 5,9% | 5,9% | 0,0% | 0,0% | 5,9% | | |
| Problemas para balanceo | Recuento | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 33,3% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | |
| Rigidez alta con la presión recomendada | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 11 | 6 | 4 | 0 | 0 | 24 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 0,0% | 4,2% | 0,0% | 8,3% | 45,8% | 25,0% | 16,7% | 0,0% | 0,0% | | |
| Ninguna | Recuento | 0 | 13 | 7 | 8 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 32 | |
| | % dentro de \$FALLASNEUM | 0,0% | 40,6% | 21,9% | 25,0% | 6,3% | 3,1% | 0,0% | 3,1% | 0,0% | 0,0% | | |
| Total | | | Recuento | 2 | 40 | 102 | 61 | 18 | 38 | 19 | 11 | 1 | 293 |

Los porcentajes y los totales se basan en respuestas.

a. Grupo

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

En llantas reencauchadas, los datos se representan en la Figuras 7, cuyos datos se detallan en las Tablas de la 11 a la 14 para aplicación carretera pavimentada larga distancia la duración más alta esta entre 72000 y 88000 Km registrando ninguna falla o que explotan de forma súbita supuestamente. En aplicación regional, la duración máxima promedia entre 65000 y 85000 Km con problemas de desprendimiento de banda o de baja resistencia a la penetración de objetos en la banda de rodamiento. En carretera mixta, el kilometraje máximo oscila entre 58000 y 65000 Km registrando filtraciones de aire y formación de ampollas por calor generado por rodaje. Y, en buses urbanos la duración máxima registrada es de entre 65000 y 69000 Km presentando fallas en la carcasa y filtraciones de aire.

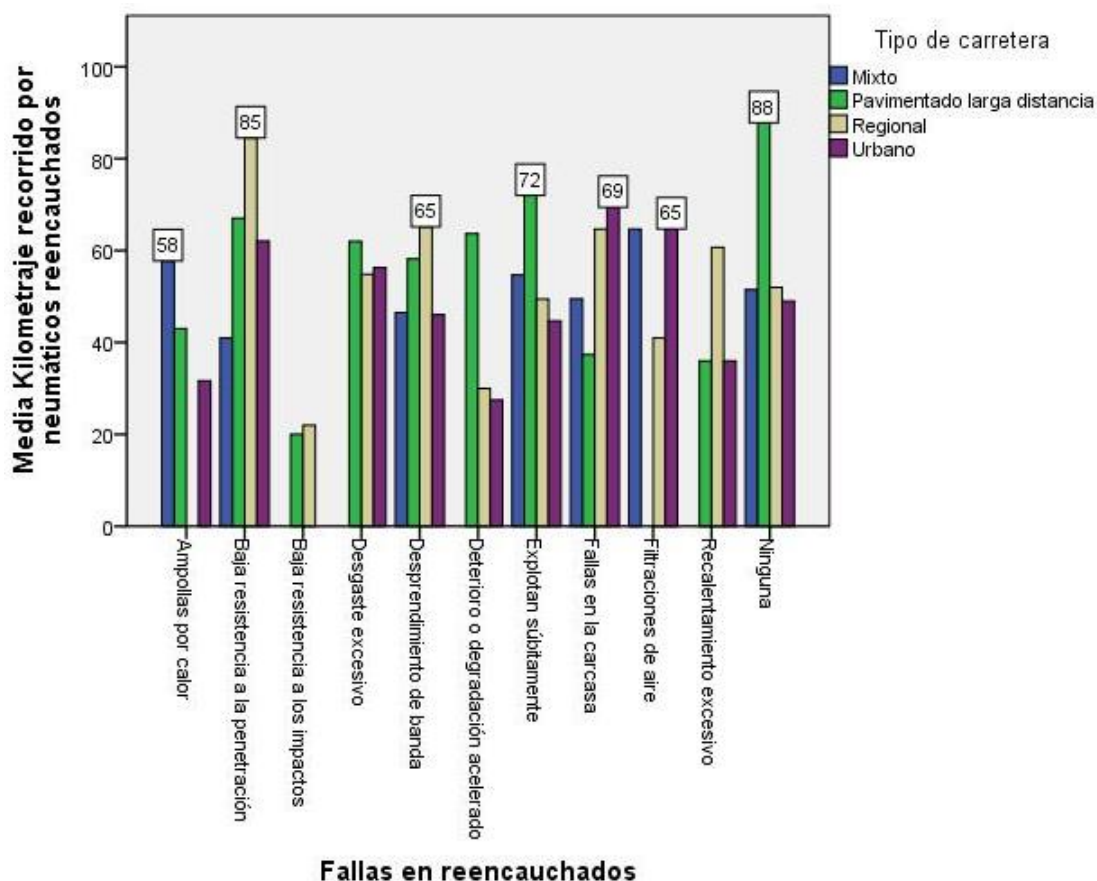


Figura 7. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus Fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 11. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera pavimentada de larga distancia)

| | | | | Kilometraje recorrido por neumáticos reencauchados (agrupado) | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|------|-------|----|
| Tipo de carretera | | | | <= 15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 60 | 61 - 75 | 76 - 90 | 91 - 105 | 106 - 120 | 121 - 135 | >135 | Total | |
| Pavimentado larga distancia | Fallas más comunes en reencauchados ^a | Ampollas por calor | Recuento | | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | 1 | |
| | | | % dentro de \$FALLASREE NC | | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | 0,0% | | |
| | | Baja resistencia a la penetración | Recuento | | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | | 0 | 1 |
| | | | % dentro de \$FALLASREE NC | | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | | | | 0,0% | |
| | | Baja resistencia a los impactos | Recuento | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | 1 |
| | | | % dentro de \$FALLASREE NC | | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | | 0,0% | |
| | | Desgaste excesivo | Recuento | | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | | 0 | 4 |
| | | | % dentro de \$FALLASREE NC | | 25,0% | 0,0% | 25,0% | 25,0% | 25,0% | 0,0% | | | | 0,0% | |
| | | Desprendimi ento de banda | Recuento | | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | | | | 0 | 11 |
| | | | % dentro de \$FALLASREE NC | | 9,1% | 27,3% | 27,3% | 9,1% | 18,2% | 9,1% | | | | 0,0% | |
| Deterioro o degradación acelerado | Recuento | | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | | | | 0 | 3 | | |
| | % dentro de \$FALLASREE NC | | 0,0% | 0,0% | 33,3% | 66,7% | 0,0% | 0,0% | | | | 0,0% | | | |
| Explotan súbitamente | Recuento | | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | | | | 0 | 2 | | |
| | % dentro de \$FALLASREE NC | | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | | | | 0,0% | | | |
| Fallas en la carcasa | Recuento | | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | | 0 | 3 | | |
| | % dentro de \$FALLASREE NC | | 66,7% | 0,0% | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | | | | 0,0% | | | |
| Recalentami ento excesivo | Recuento | | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | 1 | | |
| | % dentro de \$FALLASREE NC | | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | | 0,0% | | | |
| Ninguna | Recuento | | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | | | | 1 | 5 | | |
| | % dentro de \$FALLASREE NC | | 0,0% | 20,0% | 20,0% | 0,0% | 20,0% | 20,0% | | | | 20,0% | | | |
| Total | | | Recuento | 5 | 6 | 7 | 6 | 5 | 2 | | | 1 | 32 | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 12. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera regional)

| | | | | Tabla cruzada de \$FALLASREENC*INTKMRECREENC*TIPOCARRET | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------|-------|----|
| | | | | Kilometraje recorrido por neumáticos reencauchados (agrupado) | | | | | | | | | | | |
| Tipo de carretera | | | | <= 15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 60 | 61 - 75 | 76 - 90 | 91 - 105 | 106 - 120 | 121 - 135 | >135 | Total | |
| Regional | Fallas más comunes en reencauchados ^a | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | 1 | | 4 | |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 25,0% | 25,0% | 25,0% | 0,0% | | 25,0% | | | |
| | | Baja resistencia a los impactos | Recuento | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0 | | 1 |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | 0,0% | | |
| | | Desgaste excesivo | Recuento | 0 | 0 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 0 | | 6 |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 16,7% | 66,7% | 16,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | 0,0% | | |
| | | Desprendimiento de banda | Recuento | 0 | 1 | 8 | 11 | 4 | 2 | 2 | | | 4 | | 32 |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 3,1% | 25,0% | 34,4% | 12,5% | 6,3% | 6,3% | | | 12,5% | | |
| | | Deterioro o degradación acelerado | Recuento | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | | 3 |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 33,3% | 33,3% | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | 0,0% | | |
| | | Explotan súbitamente | Recuento | 0 | 2 | 7 | 4 | 3 | 1 | 0 | | | 0 | | 17 |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 11,8% | 41,2% | 23,5% | 17,6% | 5,9% | 0,0% | | | 0,0% | | |
| Fallas en la carcasa | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | | | 0 | | 3 | | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 33,3% | 33,3% | 0,0% | | | 0,0% | | | | |
| Filtraciones de aire | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | | 1 | | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | 0,0% | | | | |
| Recalentamiento excesivo | Recuento | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | | | 0 | | 3 | | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | 33,3% | | | 0,0% | | | | |
| Ninguna | Recuento | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | | 1 | | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | 0,0% | | | | |
| Total | | | Recuento | 1 | 6 | 18 | 23 | 10 | 5 | 3 | | 5 | | 71 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 13. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera mixta)

| | | | | Tabla cruzada de \$FALLASREENC*INTKMRECREENC*TIPOCARRET | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|-----------------------------------|---------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-------|-----------|------|----|
| Tipo de carretera | | | | Kilometraje recorrido por neumáticos reencauchados (agrupado) | | | | | | | | Total | | | |
| | | | | <= 15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 60 | 61 - 75 | 76 - 90 | 91 - 105 | 106 - 120 | | 121 - 135 | >135 | |
| Mixto | Fallas más comunes en reencauchados ^a | Ampollas por calor | Recuento | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 1 | 0 | | 4 | |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 25,0% | 25,0% | 25,0% | 0,0% | 0,0% | | 25,0% | 0,0% | | | |
| | | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | | 0 | 0 | | | 2 |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | | 0,0% | 0,0% | | | |
| | | Desprendimiento de banda | Recuento | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 0 | | 0 | 1 | | | 16 |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 12,5% | 18,8% | 25,0% | 25,0% | 12,5% | 0,0% | | 0,0% | 6,3% | | | |
| | | Explotan súbitamente | Recuento | 1 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 | | 0 | 1 | | | 6 |
| | | | % dentro de \$FALLASREENC | 16,7% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | 16,7% | 16,7% | | 0,0% | 16,7% | | | |
| Fallas en la carcasa | Recuento | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 0 | | | 2 | | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | | 0,0% | 0,0% | | | | | |
| Filtraciones de aire | Recuento | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | | 0 | 1 | | | 3 | | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 33,3% | 0,0% | 0,0% | | 0,0% | 33,3% | | | | | |
| Ninguna | Recuento | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | | 0 | 0 | | | 4 | | |
| | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 25,0% | 25,0% | 0,0% | | 0,0% | 0,0% | | | | | |
| Total | | Recuento | 3 | 8 | 8 | 8 | 5 | 1 | | 1 | 3 | | 37 | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 14. Kilometraje recorrido por los neumáticos reencauchados según sus fallas más comunes y el tipo de carretera en que circulan (Carretera urbana)

| | | Tabla cruzada de \$FALLASREENC*INTKMRECREENC*TIPOCARRET | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|---|----------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|------|-------|----|
| Tipo de carretera | | Kilometraje recorrido por neumáticos reencauchados (agrupado) | | | | | | | | | | Total | |
| | | <= 15 | 16 - 30 | 31 - 45 | 46 - 60 | 61 - 75 | 76 - 90 | 91 - 105 | 106 - 120 | 121 - 135 | >135 | | |
| Urbano | Fallas más comunes en reencauchados ^a | Ampollas por calor | Recuento | 0 | 10 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 66,7% | 26,7% | 6,7% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | |
| | | Baja resistencia a la penetración | Recuento | 0 | 1 | 1 | 9 | 12 | 2 | 0 | 0 | | 25 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 4,0% | 4,0% | 36,0% | 48,0% | 8,0% | 0,0% | 0,0% | | | |
| | | Desgaste excesivo | Recuento | 2 | 4 | 10 | 14 | 14 | 7 | 0 | 0 | | 51 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 3,9% | 7,8% | 19,6% | 27,5% | 27,5% | 13,7% | 0,0% | 0,0% | | | |
| | | Desprendimiento de banda | Recuento | 2 | 9 | 13 | 6 | 3 | 1 | 0 | 2 | | 36 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 5,6% | 25,0% | 36,1% | 16,7% | 8,3% | 2,8% | 0,0% | 5,6% | | | |
| | | Deterioro o degradación acelerado | Recuento | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 2 |
| | | % dentro de \$FALLASREENC | 50,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | |
| Explotan súbitamente | Recuento | 4 | 1 | 6 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | | 20 | | |
| % dentro de \$FALLASREENC | 20,0% | 5,0% | 30,0% | 35,0% | 5,0% | 5,0% | 0,0% | 0,0% | | | | | |
| Fallas en la carcasa | Recuento | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | | 5 | | |
| % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 20,0% | 0,0% | 0,0% | 40,0% | 20,0% | 20,0% | 0,0% | | | | | |
| Filtraciones de aire | Recuento | 0 | 0 | 0 | 9 | 12 | 2 | 0 | 0 | | 23 | | |
| % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 39,1% | 52,2% | 8,7% | 0,0% | 0,0% | | | | | |
| Recalentamiento excesivo | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 1 | | |
| % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 100,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | | | |
| Ninguna | Recuento | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | 2 | | |
| % dentro de \$FALLASREENC | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 50,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | | | | | |
| Total | Recuento | 9 | 26 | 37 | 46 | 45 | 14 | 1 | 2 | | 180 | | |

Los porcentajes y los totales se basan en respuestas.

a. Grupo

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Los kilometrajes promedio recorridos por los neumáticos nuevos según el tipo de carretera se representan en la Figura 8, con porcentajes relativos al total de registros tomados con el instrumento de investigación. Se aplica una prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis para muestras independientes para verificar diferencias entre grupos, según la cual:

- Hipótesis: La distribución de *Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos* (agrupado) es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.004. Se rechaza.

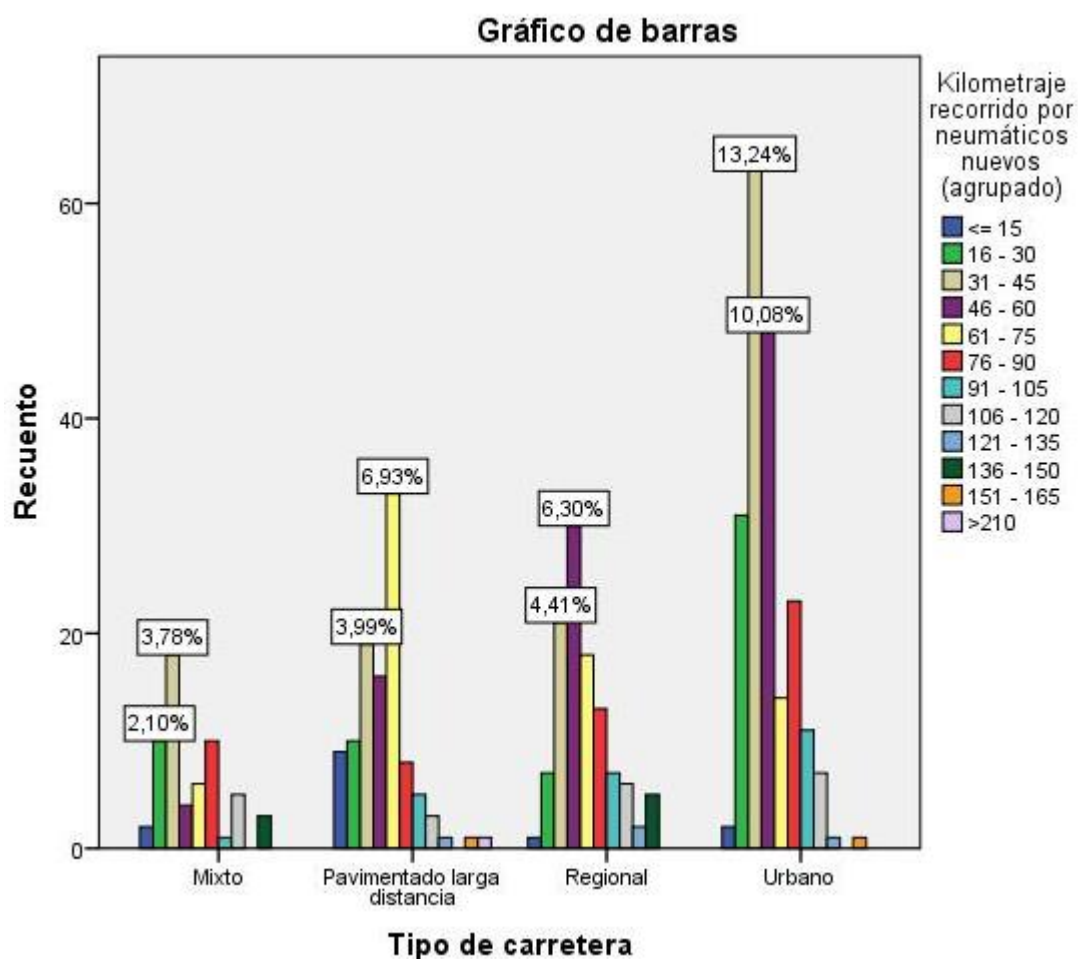


Figura 8. Kilometraje recorrido por neumáticos nuevos según tipo de carretera en que circulan

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Por tanto, destacamos un valor por grupo. En los buses de transporte de recorrido larga distancia, las llantas nuevas duran una media de entre 61000 y 75000 Km

(representando el 6.93% del total de neumáticos). En los de recorrido regional, sus neumáticos duran entre 46000 y 60000 Km (6.30%). Los neumáticos aplicados en carreteras mixtas duran de 31000 a 45000 Km (3.78%); y la misma duración media se evidencia en las llantas de recorrido urbano (13.24%). En general la vida útil efectiva va de 31000 a 60000 Km.

Los kilometrajes promedio recorridos por los neumáticos rencauchados según el tipo de carretera se representan en la Figura 9 con los porcentajes relativos al total de registros. Se aplica también una prueba de hipótesis de Kruskal-Wallis, según la cual:

- Hipótesis: La distribución de *Kilometraje recorrido por neumáticos rencauchados* (agrupado) es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.045. Se rechaza.

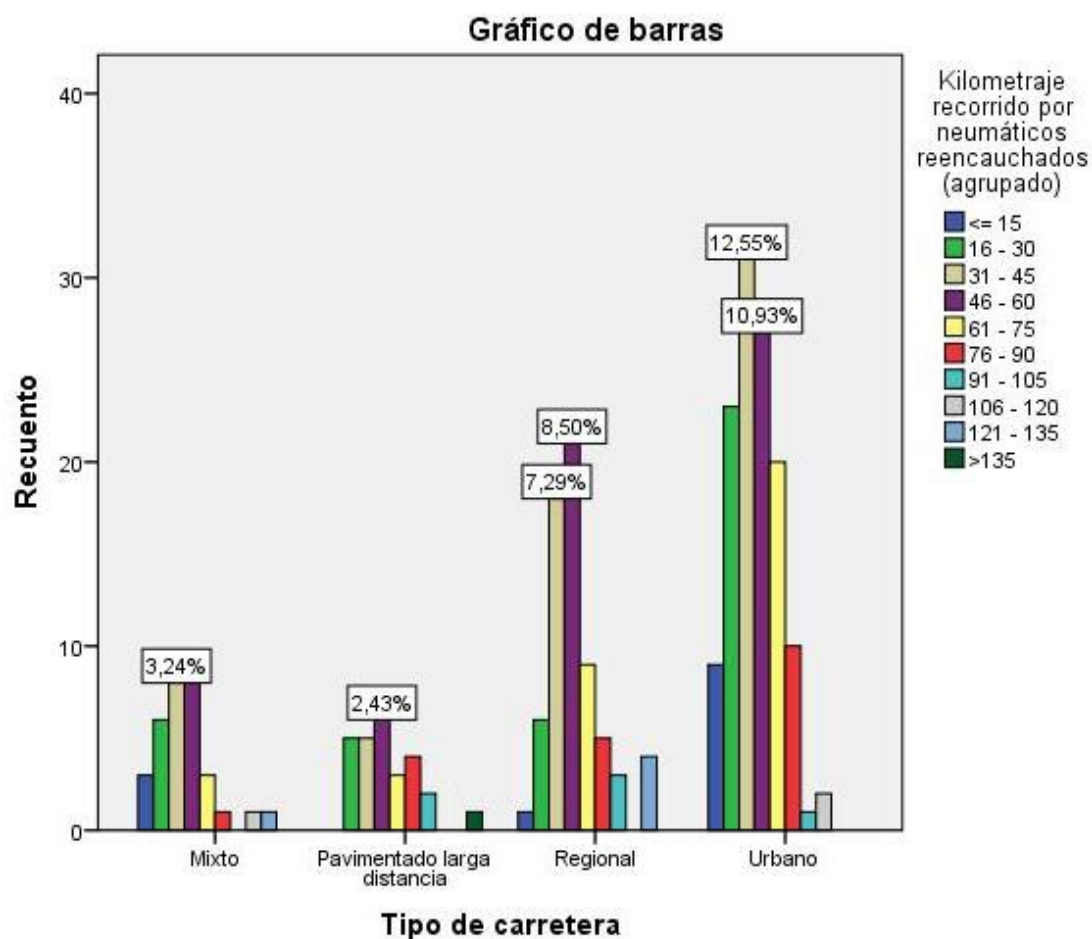


Figura 9. Kilometraje recorrido por llantas rencauchadas según tipo de carretera en que circulan

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Entonces, también deberíamos destacar únicamente el porcentaje mayor. En los buses de transporte de recorrido pavimentado larga distancia los reencaches duran una media de entre 46000 y 60000 Km (representando el 2.43% del total de datos); en los de recorrido regional la duración es la misma (8.50%). Los neumáticos aplicados en carreteras mixtas duran de 31000 a 45000 Km o entre 46000 y 60000 Km (3.24% cada intervalo). Por último, los neumáticos reencauchados de recorrido urbano duran una media entre 31000 y 45000 Km (12.55%). En general las duraciones van de 31000 a 60000 Km como vida útil efectiva, similar a lo registrado en llantas nuevas.

En las pruebas de hipótesis, respecto a las marcas de los neumáticos, los resultados fueron:

- Hipótesis: La distribución de *Marca de neumáticos más utilizada* es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.025. Se rechaza.
- Hipótesis: La distribución de *Marca de reencache más utilizada* es la misma entre las categorías de *Tipo de carretera*. Nivel de significancia 0.05. Resultado 0.008. Se rechaza.

Conviene entonces diferenciar las marcas más utilizadas según el tipo de carretera en el que circulan. Estos registros constan en las Figuras 10 y 11. Respecto a neumáticos nuevos, en carreteras pavimentadas de larga distancia, la marca más utilizada es Michelin (5.93% del total consultado). Para el tipo de carretera regional la marca preferida es Bridgestone (5.77%). En carreteras mixtas la elección más común es Jis Saph (2.72%). Y, con porcentajes relativamente cercanos, los buses de recorrido urbano suelen usar General Tire o Barum (9.94 y 10.42% respectivamente). En general la preferencia habitual en llantas nuevas depende de su aplicación y no hay un consenso específico.

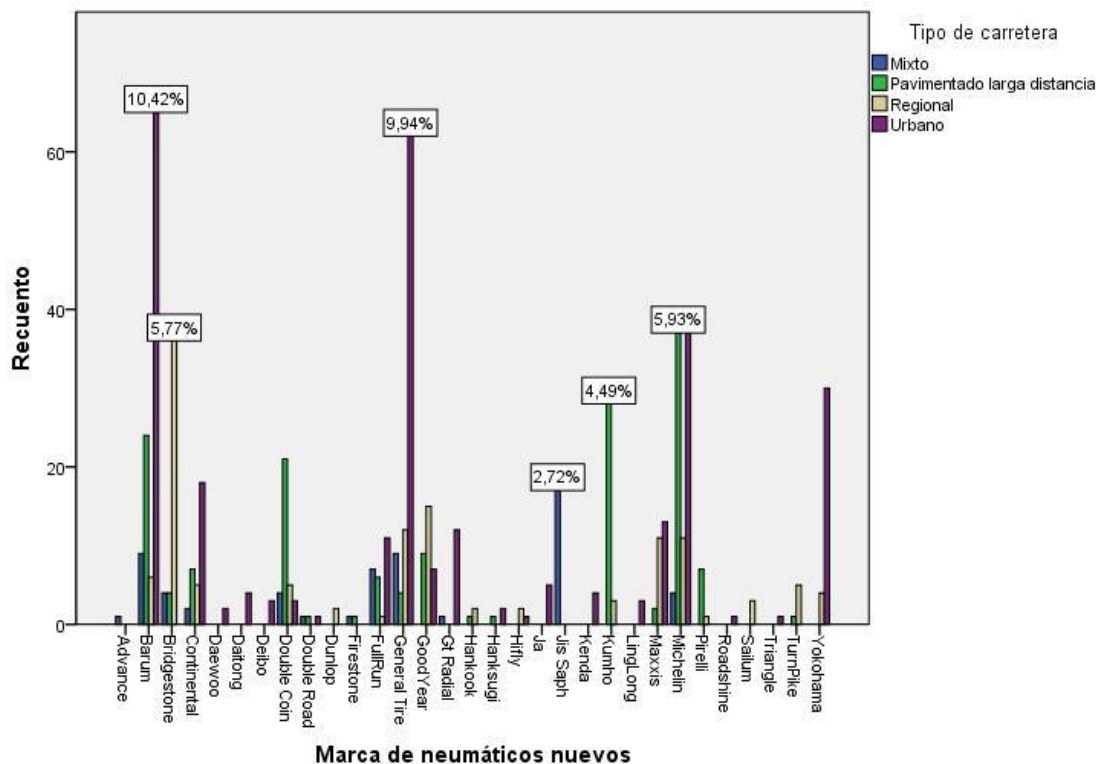


Figura 10. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados según el tipo de carretera en que circulan

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

En el caso de los neumáticos reencauchados, para carreteras pavimentadas de larga distancia, la marca más utilizada es Bandag (5.63% del total registrado). La misma marca es la preferida para el tipo de carretera regional (con 8.45% del total). En carreteras mixtas la elección más común es Indelband (4.93%). Y, los buses de recorrido urbano suelen usar reencauche Bandag (14.44%). Así, la elección habitual en servicio de reencauche es Bandag.

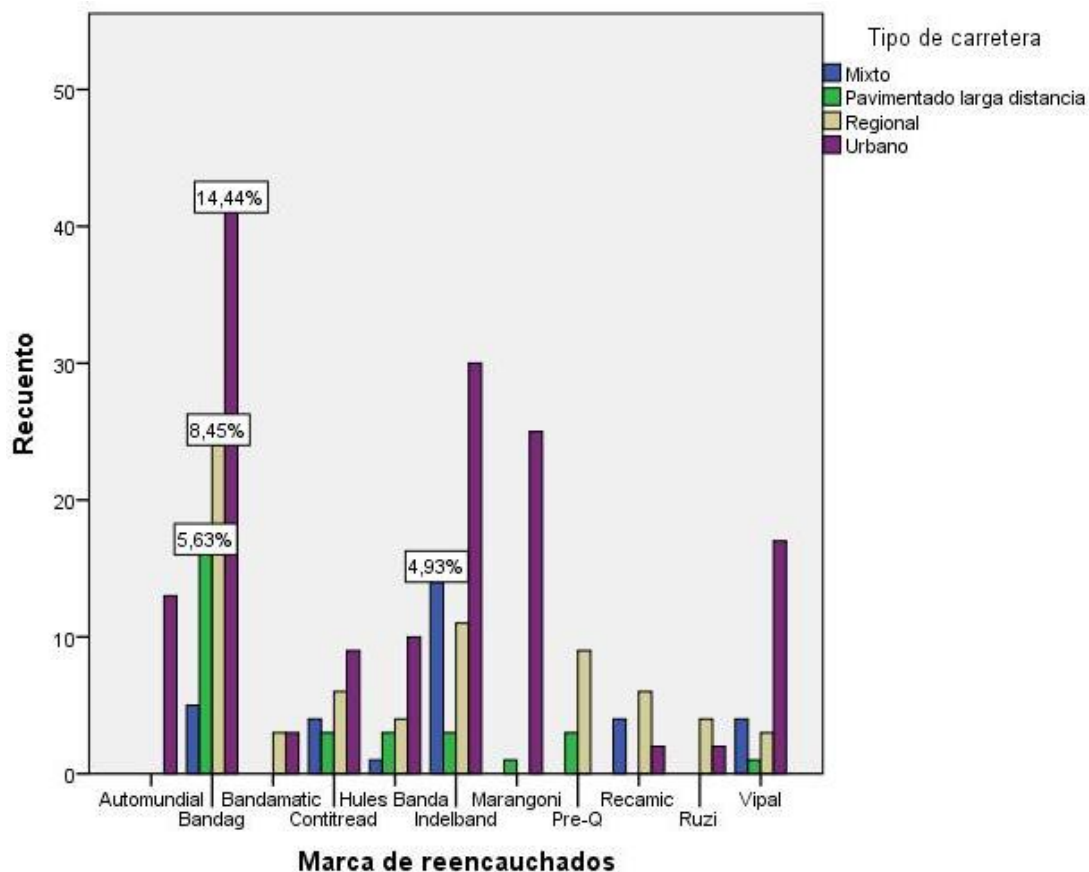


Figura 11. Marcas de llantas reencauchadas más utilizadas según tipo de carretera en que circulan

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Para las interpretaciones generales se tendrán como base referente las marcas de más comunes de neumáticos nuevos (Tablas 15 y 16, Figuras 12 a 16) y reencauchados (Tablas 17 y 18, Figuras 17 a 21); las fallas más comunes que suelen presentarse en llantas nuevas (Tablas 19 y 20, Figuras 22 a 26) y reencauchadas (Tablas 21 y 22, Figuras 27 a 31).

Tabla 15. Frecuencias de marcas de neumáticos nuevos

| \$MARCANEUM frecuencias | | | | |
|---|--------------|------------|---------------|---------------------|
| | | Respuestas | | Porcentaje de casos |
| | | N | Porcentaje | |
| Marca de neumáticos más utilizados ^a | Advance | 1 | ,2% | ,2% |
| | Barum | 104 | 16,7% | 21,8% |
| | Bridgestone | 44 | 7,1% | 9,2% |
| | Continental | 32 | 5,1% | 6,7% |
| | Daewoo | 2 | ,3% | ,4% |
| | Daitong | 4 | ,6% | ,8% |
| | Deibo | 3 | ,5% | ,6% |
| | Double Coin | 33 | 5,3% | 6,9% |
| | Double Road | 3 | ,5% | ,6% |
| | Dunlop | 2 | ,3% | ,4% |
| | Firestone | 2 | ,3% | ,4% |
| | FullRun | 25 | 4,0% | 5,3% |
| | General Tire | 87 | 13,9% | 18,3% |
| | GoodYear | 31 | 5,0% | 6,5% |
| | Gt Radial | 13 | 2,1% | 2,7% |
| | Hankook | 3 | ,5% | ,6% |
| | Hanksugi | 3 | ,5% | ,6% |
| | Hifly | 3 | ,5% | ,6% |
| | Ja | 5 | ,8% | 1,1% |
| | Jis Saph | 17 | 2,7% | 3,6% |
| | Kenda | 4 | ,6% | ,8% |
| | Kumho | 31 | 5,0% | 6,5% |
| | LingLong | 3 | ,5% | ,6% |
| | Maxxis | 26 | 4,2% | 5,5% |
| | Michelin | 90 | 14,4% | 18,9% |
| | Pirelli | 8 | 1,3% | 1,7% |
| | Roadshine | 1 | ,2% | ,2% |
| | Sailum | 3 | ,5% | ,6% |
| | Triangle | 1 | ,2% | ,2% |
| | TurnPike | 6 | 1,0% | 1,3% |
| Yokohama | 34 | 5,4% | 7,1% | |
| Total | | 624 | 100,0% | 131,1% |

a. Grupo

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

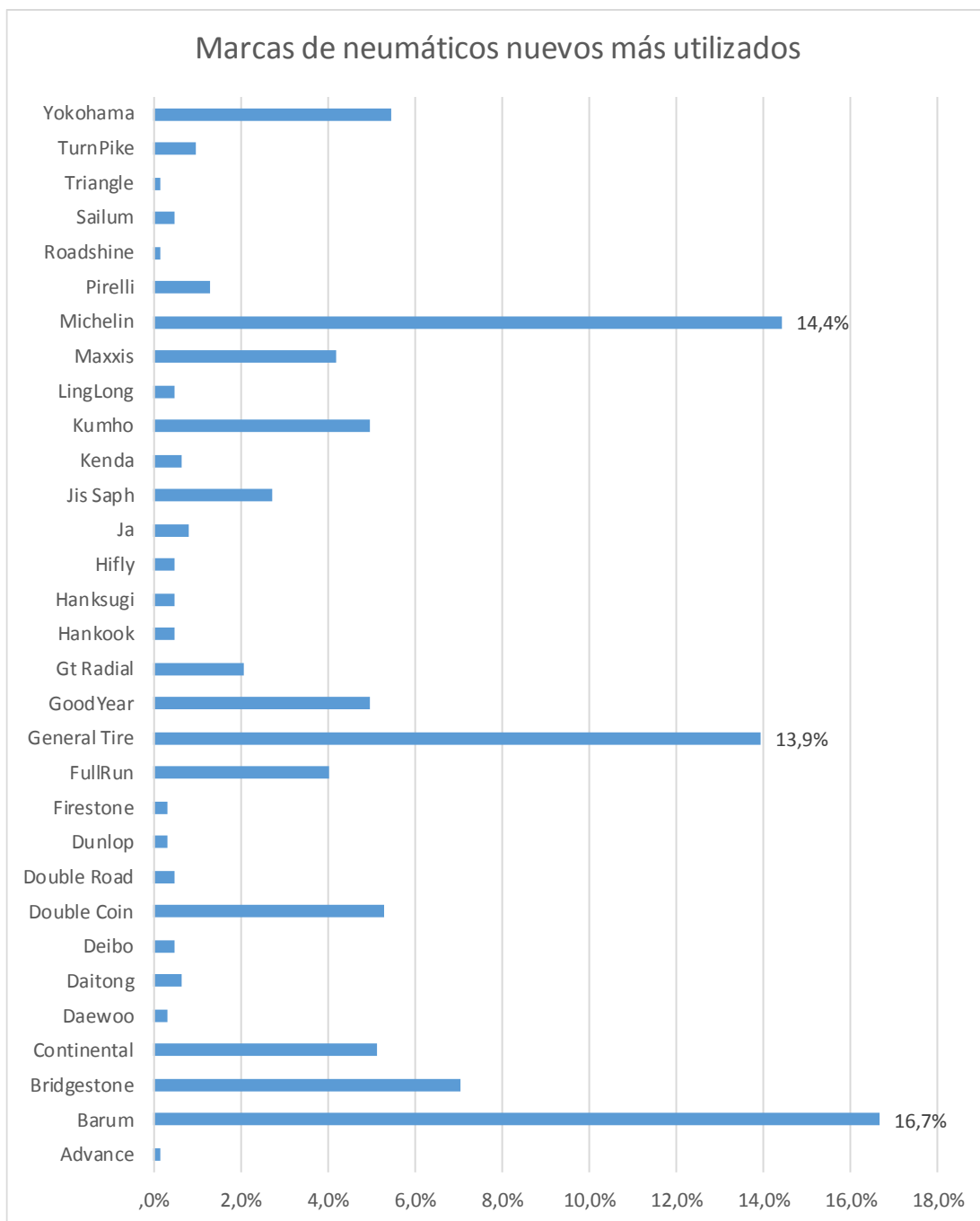


Figura 12. Representación gráfica de marcas de neumáticos nuevos más utilizados
Fuente: Elaboración propia

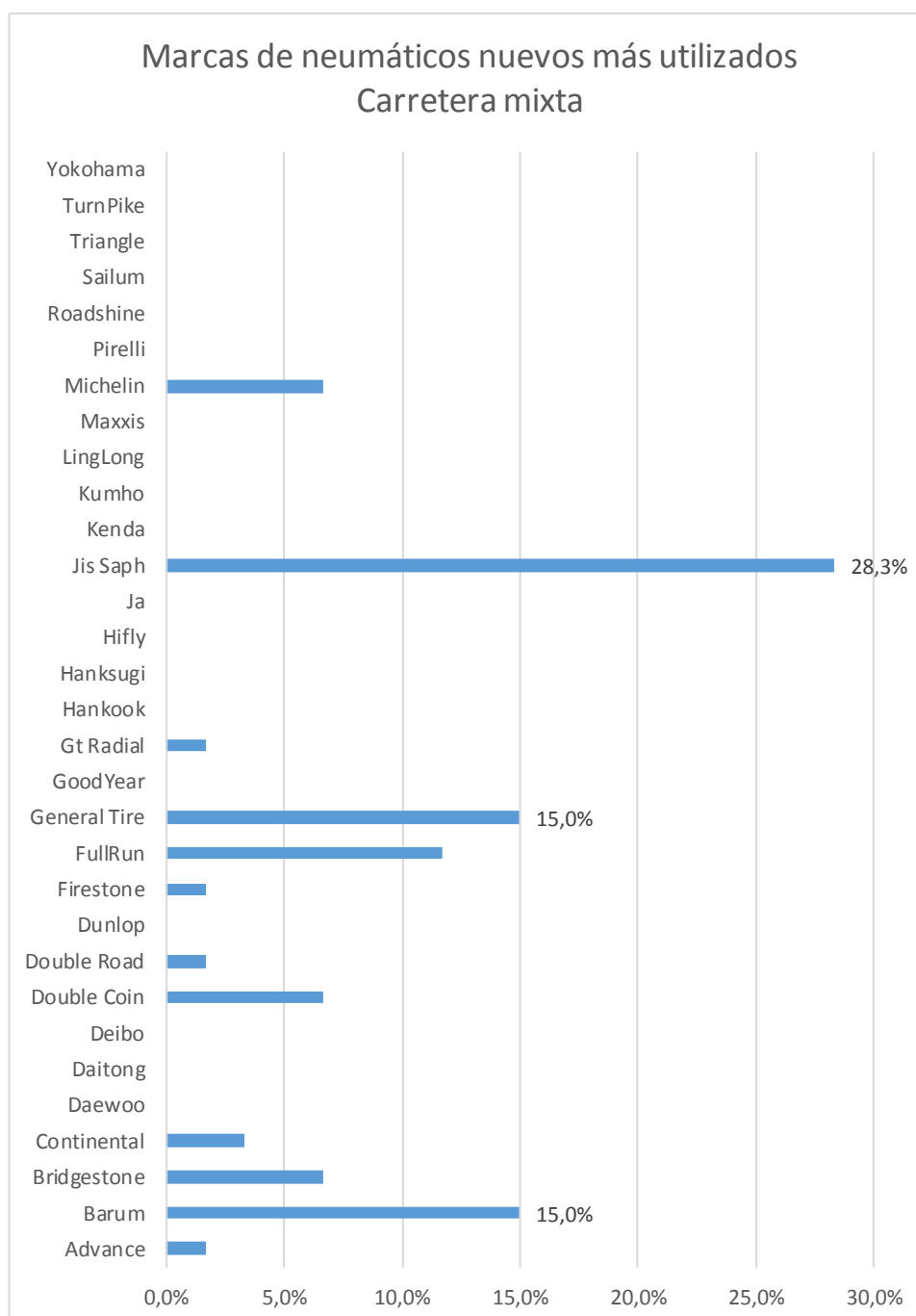


Figura 13. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados (Carretera mixta)
Fuente: Elaboración propia

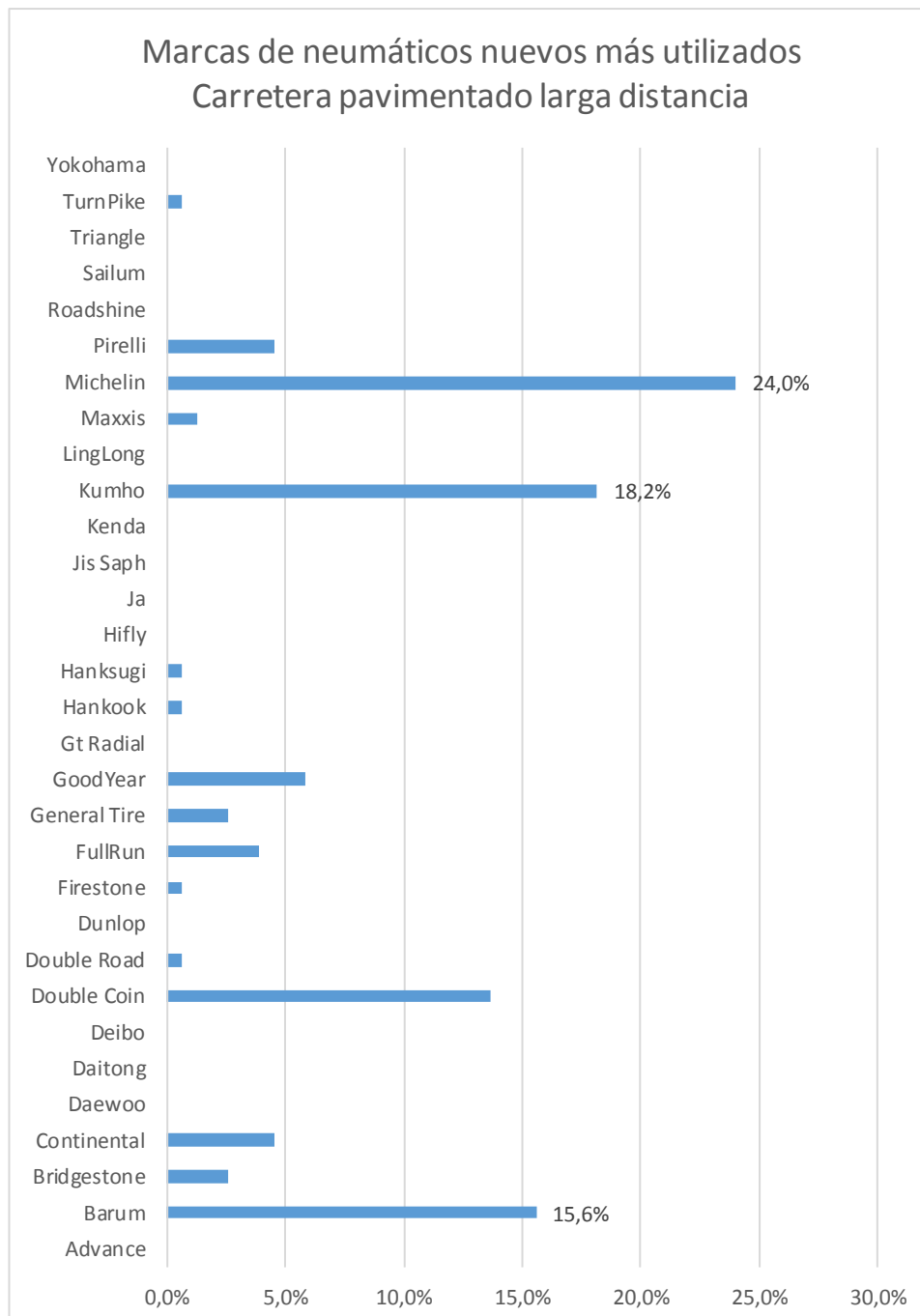


Figura 14. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados (Carretera pavimentado de larga distancia)

Fuente: Elaboración propia

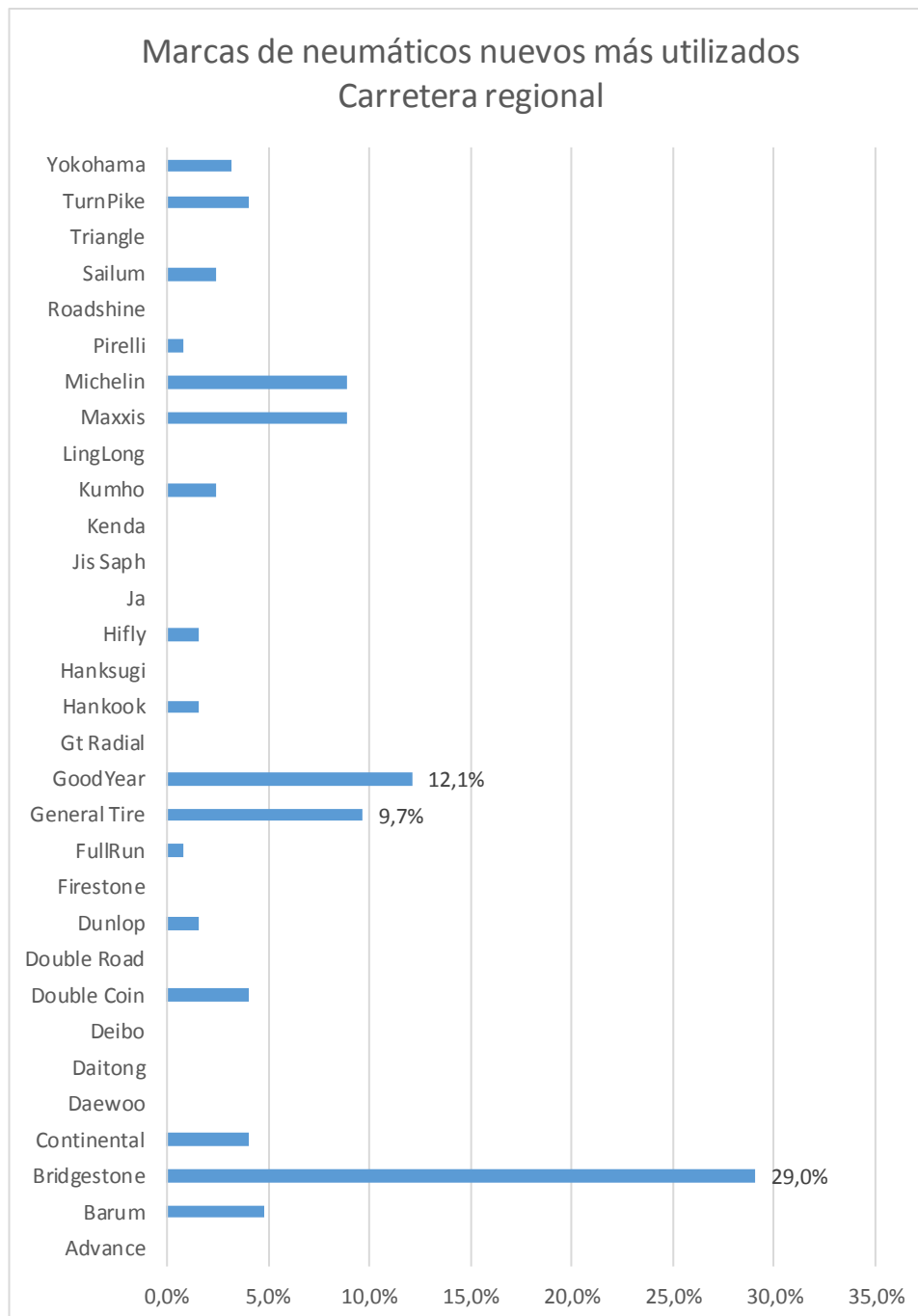


Figura 15. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados (Carretera regional)
Fuente: Elaboración propia

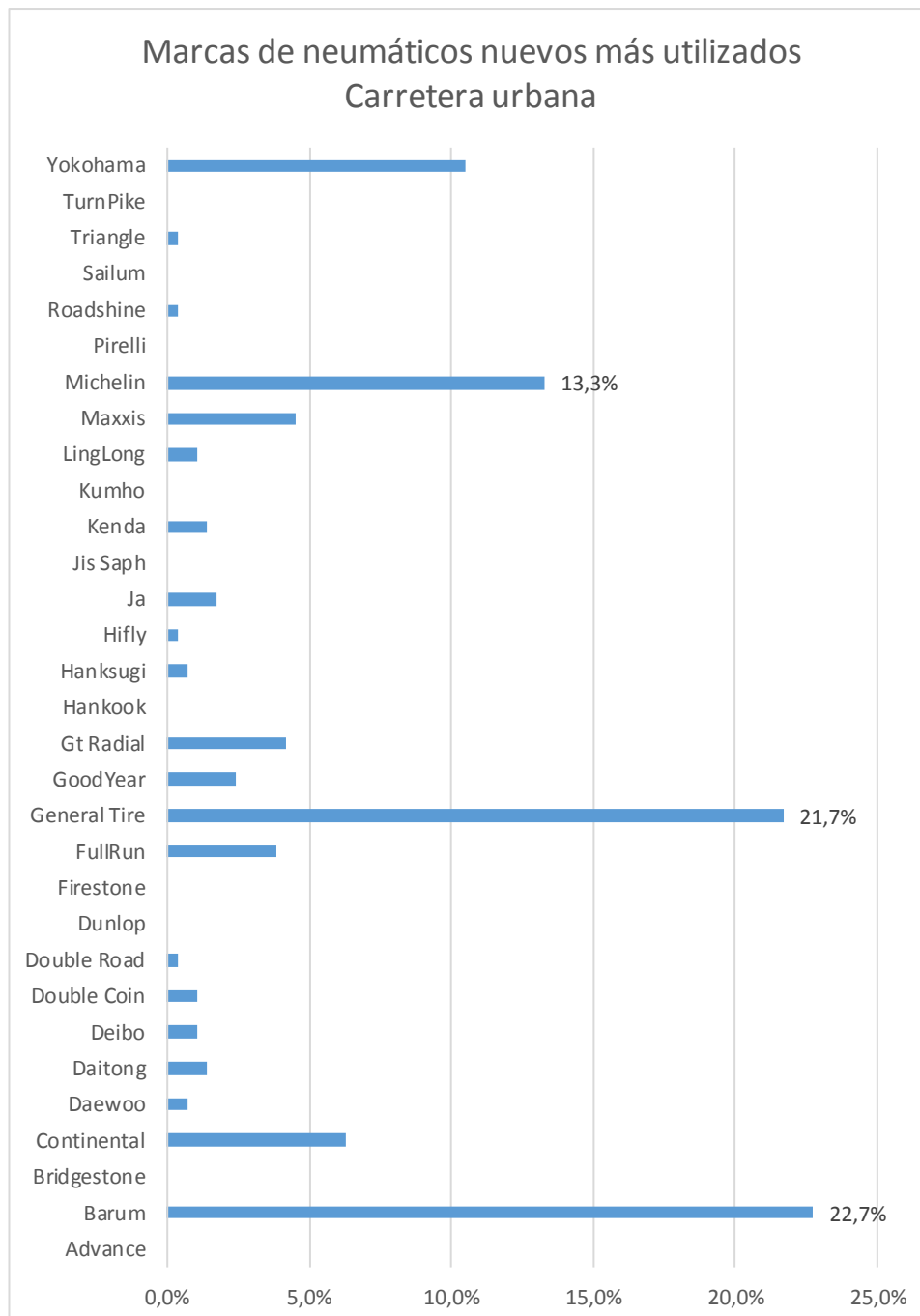


Figura 16. Marcas de neumáticos nuevos más utilizados (Carretera urbana)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Marcas de neumáticos nuevos de buses más utilizados (Resumen)

| Tipo de carretera | Marcas más utilizadas | Porcentaje | Registros |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|------------|
| Todos | Barum | 16.7% | 624 |
| | Michellin | 14.4% | |
| | General Tire | 13.9% | |
| Mixto | Jis Saph | 28.3% | 60 |
| | Barum | 15.0% | |
| | General Tire | 15.0% | |
| Pavimentado larga distancia | Michellin | 24.0% | 154 |
| | Kumho | 18.2% | |
| | Barum | 15.6% | |
| Regional | Bridgestone | 29.0% | 124 |
| | Good Year | 12.1% | |
| | General Tire | 09.7% | |
| Urbano | Barum | 22.7% | 286 |
| | General Tire | 21.7% | |
| | Michellin | 13.3% | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Frecuencias de marcas de neumáticos reencauchados

| \$MARCAREENC frecuencias | | | | |
|--|-------------|------------|---------------|---------------------|
| | | Respuestas | | Porcentaje de casos |
| | | N | Porcentaje | |
| Marca de reencauche más común ^a | Automundial | 13 | 4,6% | 5,3% |
| | Bandag | 86 | 30,3% | 34,8% |
| | Bandamatic | 6 | 2,1% | 2,4% |
| | Contitread | 22 | 7,7% | 8,9% |
| | Hules Banda | 18 | 6,3% | 7,3% |
| | Indelband | 58 | 20,4% | 23,5% |
| | Marangoni | 26 | 9,2% | 10,5% |
| | Pre-Q | 12 | 4,2% | 4,9% |
| | Recamic | 12 | 4,2% | 4,9% |
| | Ruzi | 6 | 2,1% | 2,4% |
| | Vipal | 25 | 8,8% | 10,1% |
| Total | | 284 | 100,0% | 115,0% |

a. Grupo

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

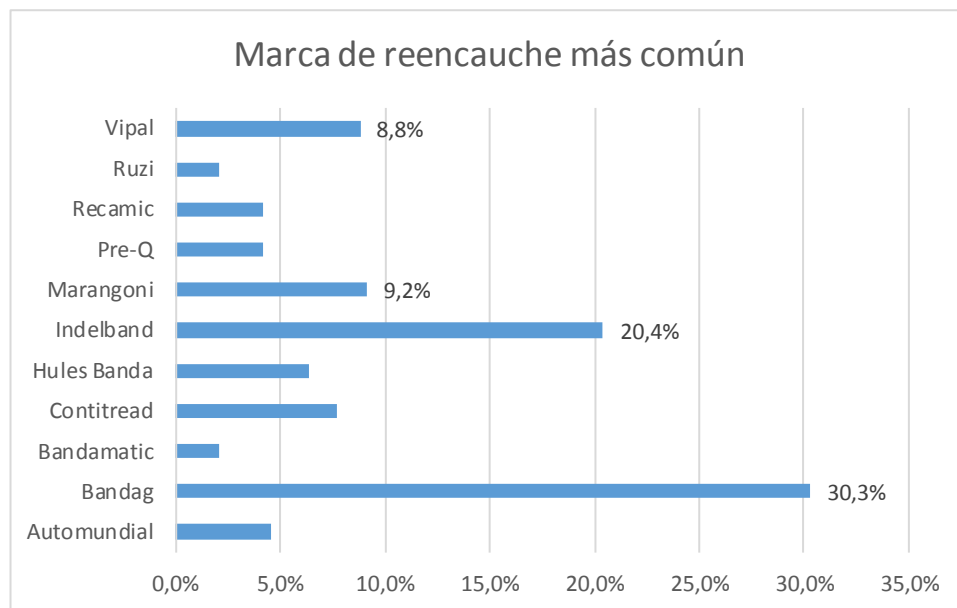


Figura 17. Representación gráfica de marcas de neumáticos reencauchados más utilizados

Fuente: Elaboración propia

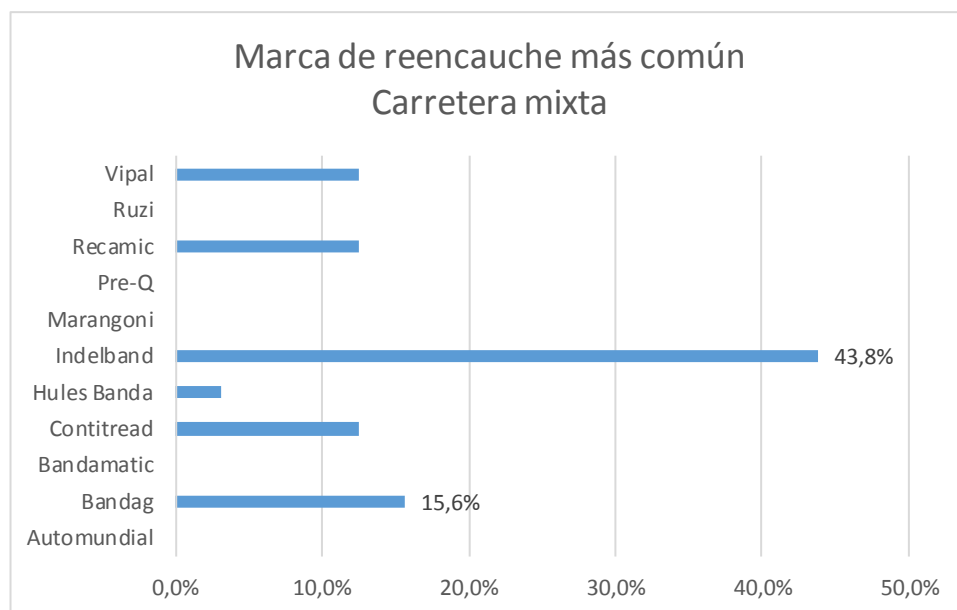


Figura 18. Marcas de reencauche más común (Carretera mixta)

Fuente: Elaboración propia

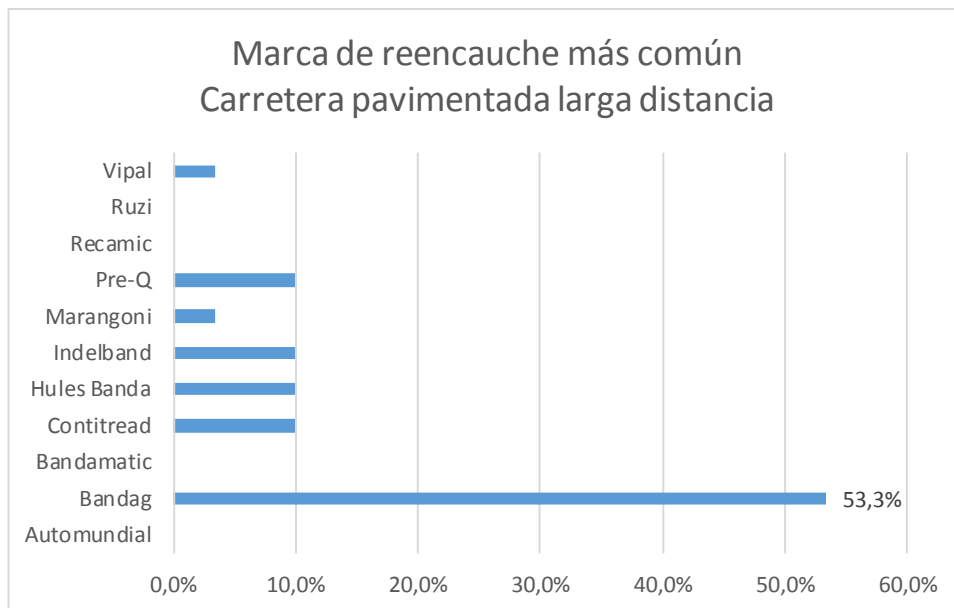


Figura 19. Marcas de reencauche más común (Carretera pavimentada de larga distancia)

Fuente: Elaboración propia

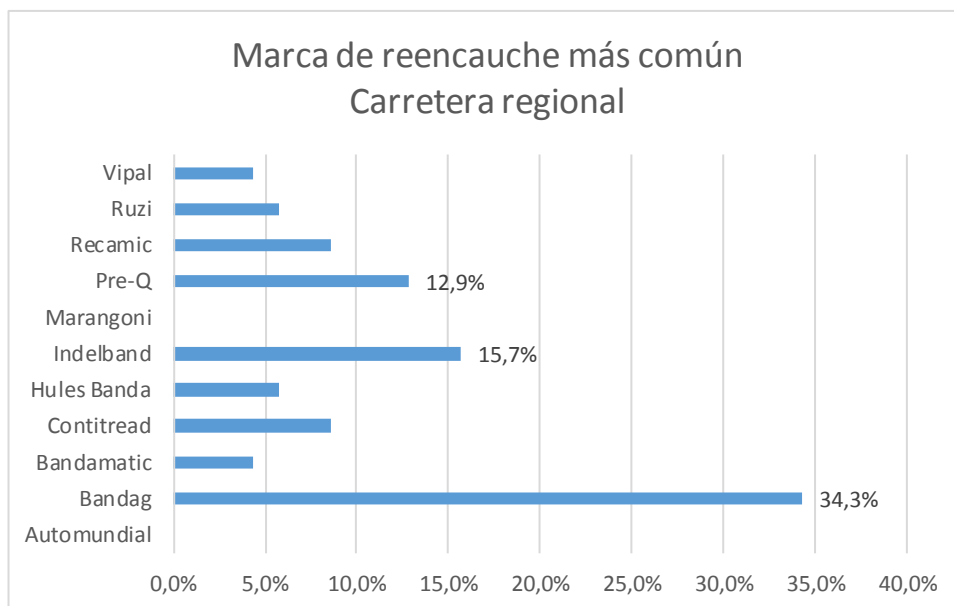


Figura 20. Marcas de reencauche más común (Carretera regional)

Fuente: Elaboración propia

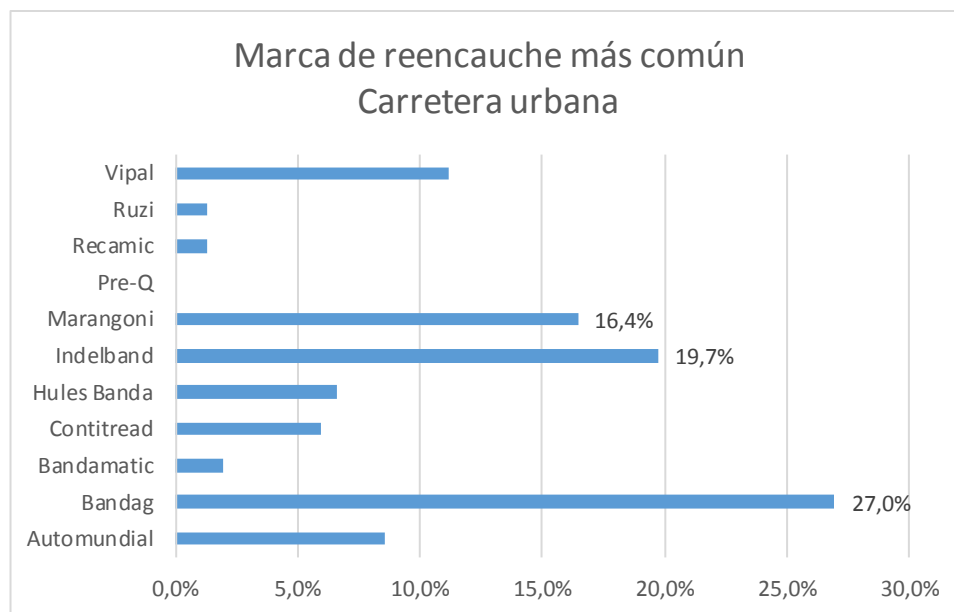


Figura 21. Marcas de reencauche más común (Carretera urbana)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Marcas de neumáticos reencauchados de buses más utilizados (Resumen)

| Tipo de carretera | Marcas más utilizadas | Porcentaje | Registros |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|------------|
| Todos | Bandag | 30.3% | |
| | Indelband | 20.4% | 284 |
| | Marangoni | 09.2% | |
| Mixto | Indelband | 43.8% | 32 |
| | Bandag | 15.6% | |
| Pavimentado larga distancia | Bandag | 53.3% | 30 |
| Regional | Bandag | 34.3% | 70 |
| | Indelband | 15.7% | |
| | Pre-Q | 12.9% | |
| Urbano | Bandag | 27.0% | 152 |
| | Indelband | 19.7% | |
| | Marangoni | 16.4% | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Frecuencias de fallas más comunes en neumáticos nuevos

| \$FALLASNEUM frecuencias | | | | |
|---|---|------------|---------------|---------------------|
| | | Respuestas | | Porcentaje de casos |
| | | N | Porcentaje | |
| Fallas más comunes de neumáticos ^a | Ampollas por calor | 55 | 8,9% | 11,6% |
| | Baja resistencia a la penetración | 84 | 13,5% | 17,6% |
| | Baja resistencia a los cortes en banda | 21 | 3,4% | 4,4% |
| | Baja resistencia a los impactos | 33 | 5,3% | 6,9% |
| | Desgaste excesivo | 106 | 17,1% | 22,3% |
| | Desgaste irregular | 7 | 1,1% | 1,5% |
| | Deterioro o degradación acelerado | 7 | 1,1% | 1,5% |
| | Explotan súbitamente | 57 | 9,2% | 12,0% |
| | Fallas de fabrica | 33 | 5,3% | 6,9% |
| | Fallas en ceja/talón | 7 | 1,1% | 1,5% |
| | Fallas en la carcasa | 14 | 2,3% | 2,9% |
| | Fallas en los costados | 9 | 1,4% | 1,9% |
| | Fallas en válvula | 5 | ,8% | 1,1% |
| | Filtraciones de aire | 48 | 7,7% | 10,1% |
| | Problemas para balanceo | 10 | 1,6% | 2,1% |
| | Recalentamiento excesivo | 7 | 1,1% | 1,5% |
| | Rigidez alta con la presión recomendada | 24 | 3,9% | 5,0% |
| | Ninguna | 94 | 15,1% | 19,7% |
| | Total | 621 | 100,0% | 130,5% |

a. Grupo

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

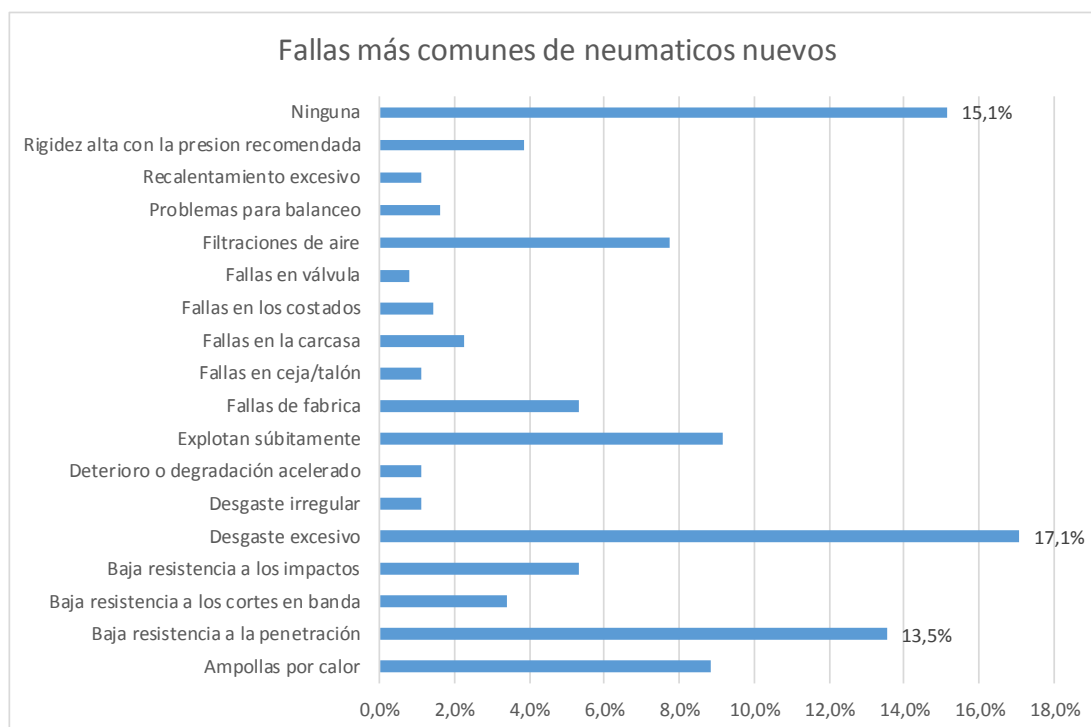


Figura 22. Representación gráfica de fallas más comunes de neumáticos nuevos
Fuente: Elaboración propia

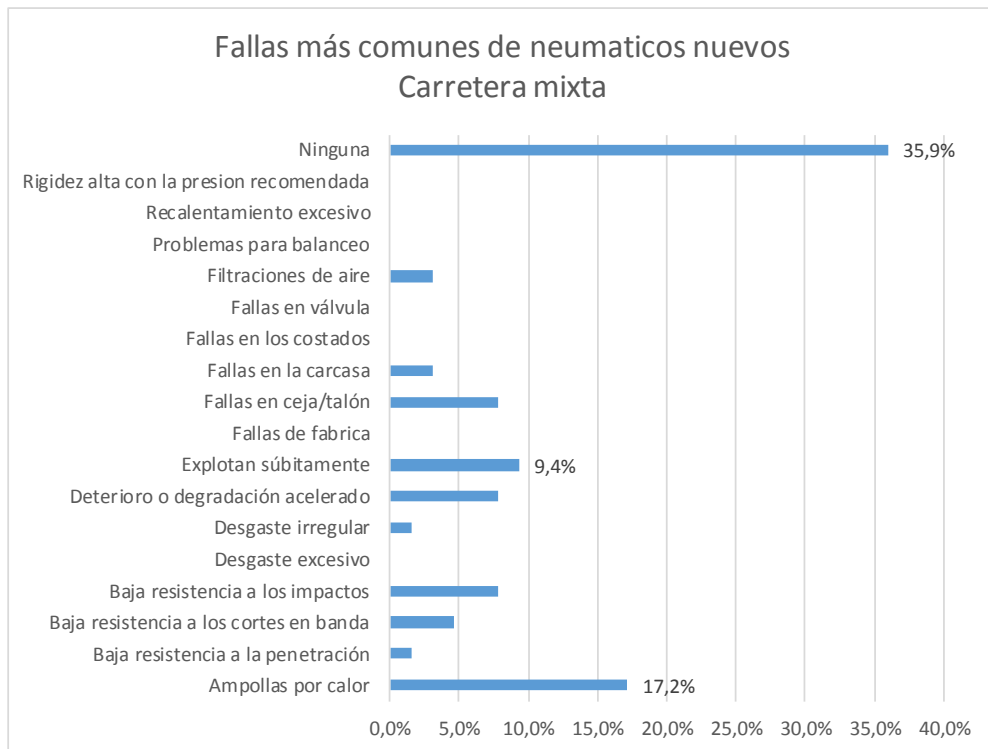


Figura 23. Fallas más comunes de neumáticos nuevos (Carretera mixta)
Fuente: Elaboración propia

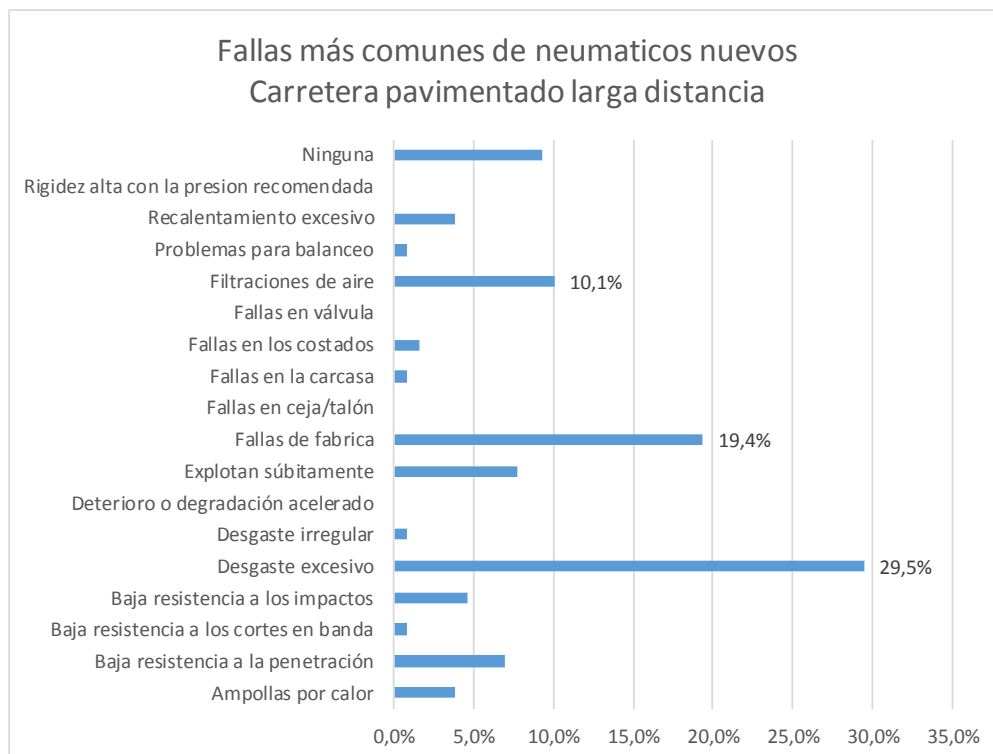


Figura 24. Fallas más comunes de neumáticos nuevos (Carretera pavimentado de larga distancia)
Fuente: Elaboración propia

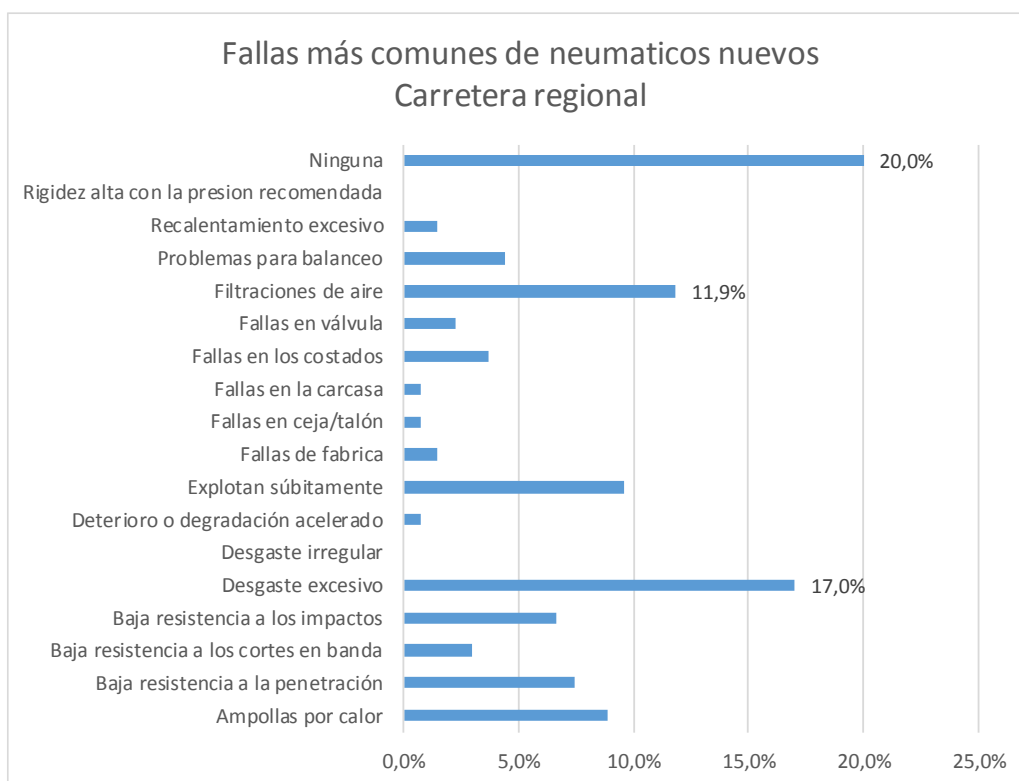


Figura 25. Fallas más comunes de neumáticos nuevos (Carretera regional)
Fuente: Elaboración propia

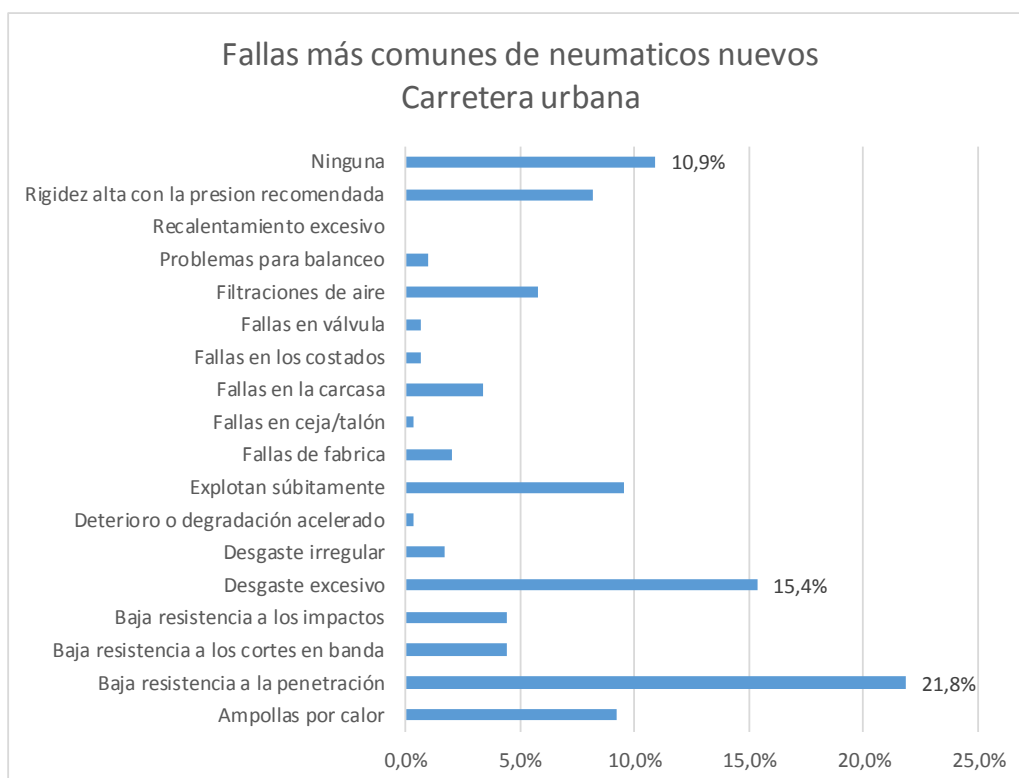


Figura 26. Fallas más comunes de neumáticos nuevos (Carretera urbana)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Fallas en neumáticos nuevos de buses de transporte más comunes (Resumen)

| Tipo de carretera | Fallas más comunes | Porcentaje | Registros |
|------------------------------------|--|--------------|------------|
| Todos | Desgaste excesivo | 17.1% | 621 |
| | Ninguna | 15.1% | |
| | Baja resistencia a la penetración | 13.5% | |
| Mixto | Ninguna | 35.9% | 64 |
| | Ampollas por calor | 17.2% | |
| | Explotan súbitamente | 09.4% | |
| Pavimentado larga distancia | Desgaste excesivo | 29.5% | 129 |
| | Fallas de fabrica | 19.4% | |
| | Filtraciones de aire | 10.1% | |
| Regional | Ninguna | 20.0% | 135 |
| | Desgaste excesivo | 17.0% | |
| | Filtraciones de aire | 11.9% | |
| Urbano | Baja resistencia a la penetración | 21.8% | 293 |
| | Desgaste excesivo | 15.4% | |
| | Ninguna | 10.9% | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Frecuencias de fallas más comunes en neumáticos reencauchados

| \$FALLASREENC frecuencias | | | | |
|---|-----------------------------------|------------|------------|---------------------|
| | | Respuestas | | Porcentaje de casos |
| | | N | Porcentaje | |
| Falla más común en reencauchados ^a | Ampollas por calor | 20 | 6,3% | 8,1% |
| | Baja resistencia a la penetración | 32 | 10,0% | 13,0% |
| | Baja resistencia a los impactos | 2 | ,6% | ,8% |
| | Desgaste excesivo | 61 | 19,1% | 24,7% |
| | Desprendimiento de banda | 95 | 29,7% | 38,5% |
| | Deterioro o degradación acelerada | 8 | 2,5% | 3,2% |
| | Explotan súbitamente | 45 | 14,1% | 18,2% |
| | Fallas en la carcasa | 13 | 4,1% | 5,3% |
| | Filtraciones de aire | 27 | 8,4% | 10,9% |
| | Recalentamiento excesivo | 5 | 1,6% | 2,0% |
| | Ninguna | 12 | 3,8% | 4,9% |
| Total | | 320 | 100,0% | 129,6% |

a. Grupo

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

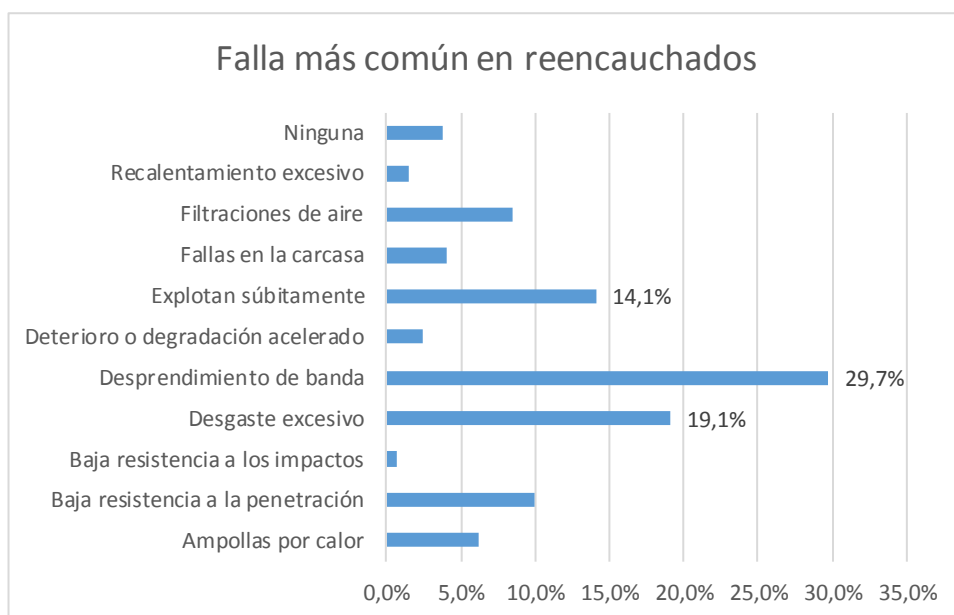


Figura 27. Representación gráfica de las fallas más comunes en reencauchados
Fuente: Elaboración propia

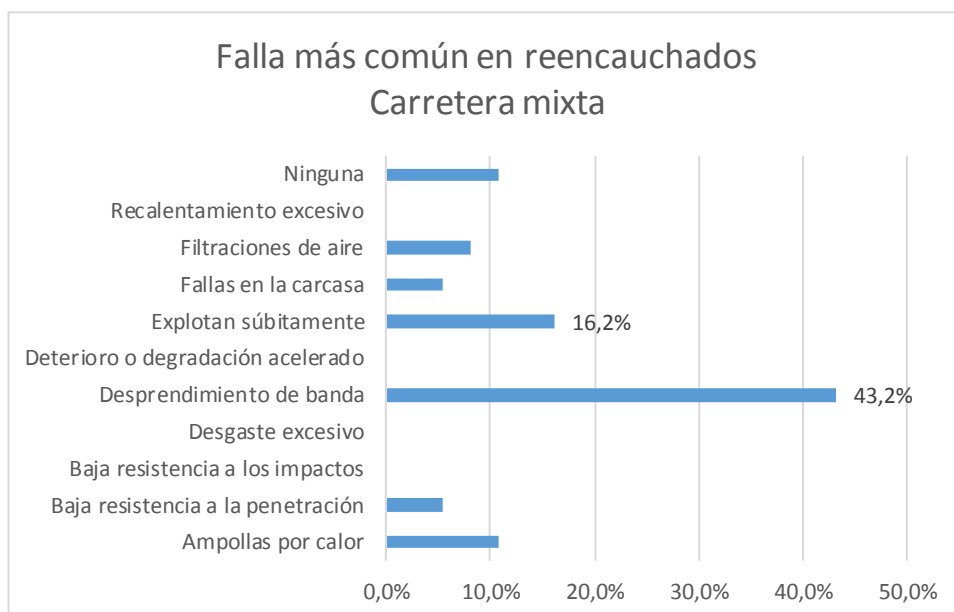


Figura 28. Fallas más comunes en reencauchados (Carretera mixta)
Fuente: Elaboración propia

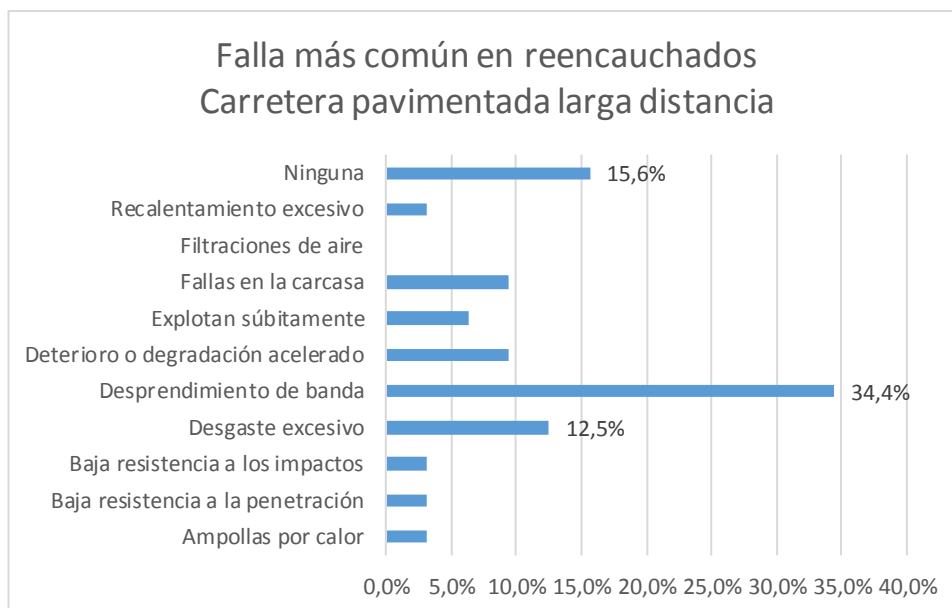


Figura 29. Fallas más comunes en reencauchados (Carretera pavimentada de larga distancia)

Fuente: Elaboración propia

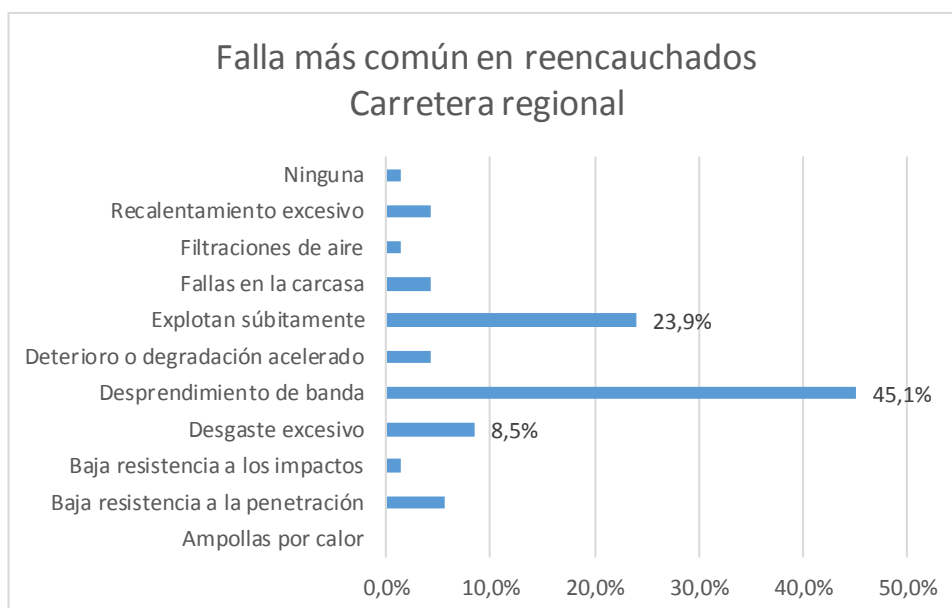


Figura 30. Fallas más comunes en reencauchados (Carretera regional)

Fuente: Elaboración propia

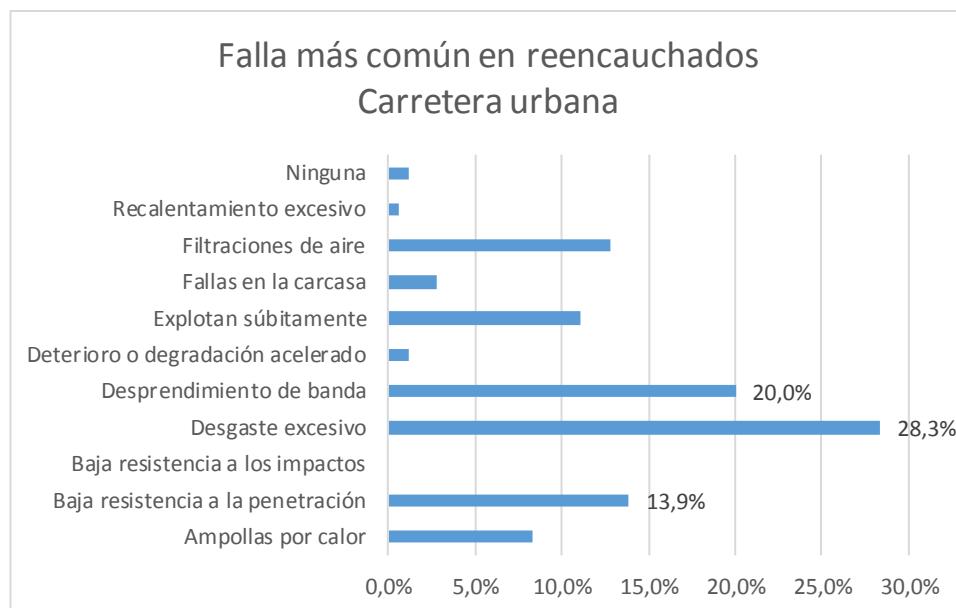


Figura 31. Falla más común en reencauchados (Carretera urbana)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Fallas de neumáticos reencauchados de buses más comunes (Resumen)

| Tipo de carretera | Fallas más comunes | Porcentaje | Registros |
|--|-----------------------------------|--------------|------------|
| Todos | Desprendimiento de banda | 29.7% | |
| | Desgaste excesivo | 19.1% | 320 |
| | Explotan súbitamente | 14.1% | |
| Mixto | Desprendimiento de banda | 43.2% | 37 |
| | Explotan súbitamente | 16.2% | |
| Pavimentado distancia larga | Desprendimiento de banda | 34.4% | 32 |
| | Ninguna | 15.6% | |
| | Desgaste excesivo | 12.5% | |
| Regional | Desprendimiento de banda | 45.1% | 71 |
| | Explotan súbitamente | 23.9% | |
| | Desgaste excesivo | 08.5% | |
| Urbano | Desgaste excesivo | 28.3% | 180 |
| | Desprendimiento de banda | 20.0% | |
| | Baja resistencia a la penetración | 13.9% | |

Fuente: Elaboración propia

En llantas nuevas, para aplicación en carretera pavimentada larga distancia la duración más alta está alrededor de 71000 Km para las marcas Michelin o Continental. En

aplicación regional, la duración máxima presenta la mayor variación de esta lista yendo de 83000 a 143000 Km para las marcas Bridgestone o TurnPike. En carretera mixta, el kilometraje máximo oscila entre 84000 y 107000 en las marcas Bridgestone o Jis Saph. Y, en buses de transporte urbano las duraciones máximas registradas van de 120000 a 160000 Km para las marcas Roadshine o Double Road. Estos resultados se representan en la Figura 32.

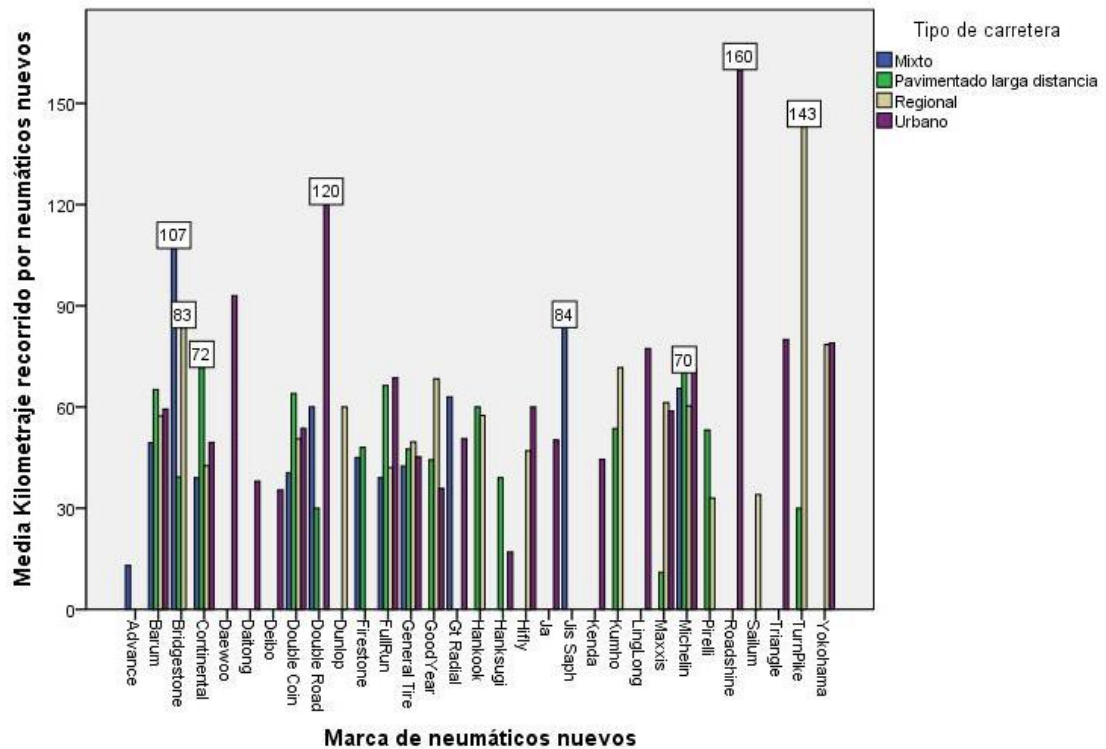


Figura 32. Kilometraje recorrido por los neumáticos nuevos según su marca y el tipo de carretera

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

En llantas reencauchadas, para aplicación en carretera pavimentada larga distancia la duración más alta está alrededor de 79000 Km para las marcas Indelband o Contitread. En aplicación regional, la duración máxima es de 67000 a 78000 Km para las marcas Indelband o Pre-Q. En carretera mixta, el kilometraje máximo oscila entre 54000 y 68000 en las marcas Bandag o Recamic. Y, en buses de transporte urbano las duraciones máximas registradas van de 63000 a 80000 Km para las marcas Ruzi o Marangoni. Estos resultados se representan en la Figura 33.

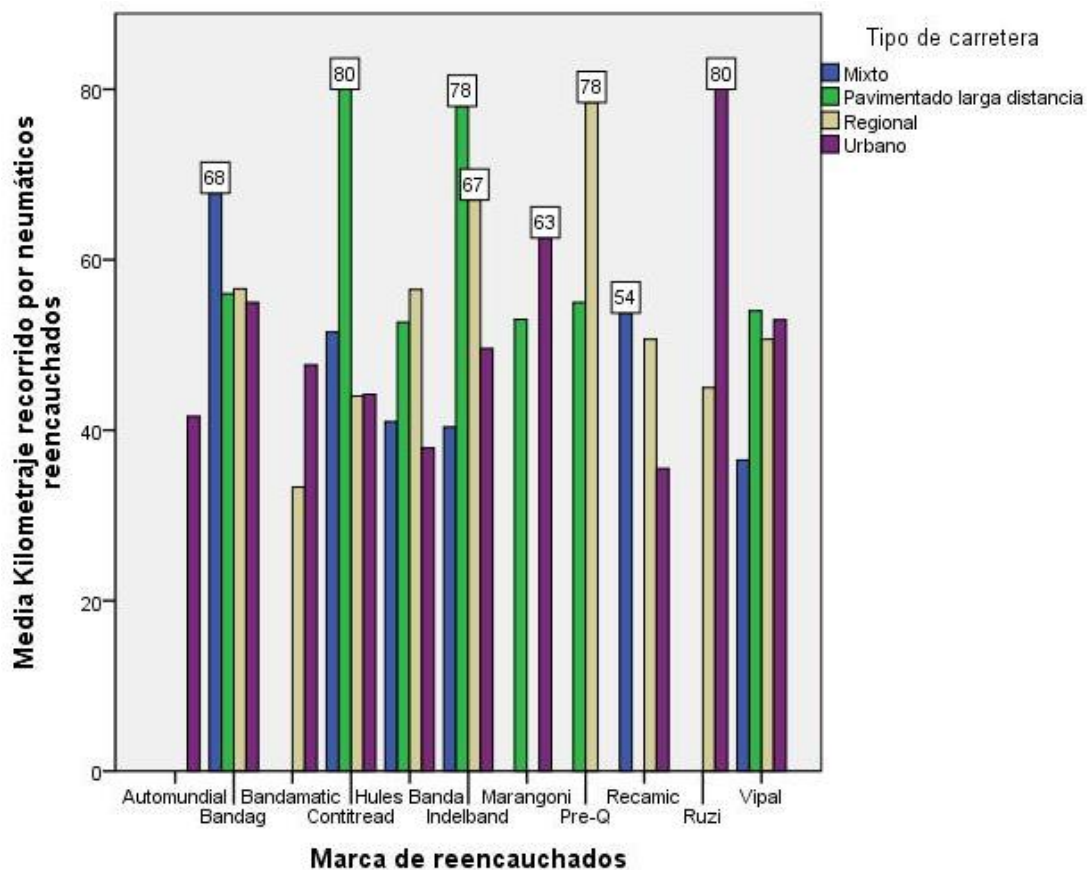


Figura 33. Kilometraje recorrido por llantas reencauchadas según su marca y el tipo de carretera

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

4.1.2. Sobre las variables de la hipótesis específica 2

Los estadísticos descriptivos de los indicadores incluidas en las variables de la hipótesis primera se resumen en que se obtuvieron 1463 datos de buses, con un total de 8778 registros por los 6 neumáticos. No hubo casos perdidos. El 37.3 % de los buses circulan en trayectos urbanos y el 28.4 % en regional (Tabla 23). Para el diseño de corona no se hace esta diferenciación, contabilizando 62.6 % de neumáticos con diseño regional, es decir, que conjuga urbano y regional. Del 78.3 % de las llantas se recogieron entre 1 y 4 registros, y del 21.7 % se contabilizaron al menos 5 datos secuenciales (Tabla 24). Para el modelo sólo se consideró este último grupo.

Tabla 23. Frecuencias de datos válidos registrados por tipos de carretera

| | | Tipo de carretera | | | |
|--------|-----------------------------|-------------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | Pavimentado larga distancia | 1674 | 19,1 | 19,1 | 19,1 |
| | Regional | 2496 | 28,4 | 28,4 | 47,5 |
| | Urbano | 3276 | 37,3 | 37,3 | 84,8 |
| | Mixto | 1332 | 15,2 | 15,2 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 24. Frecuencia de los registros obtenidos por cada neumático

| | | Registros obtenidos | | | |
|----------|-------|---------------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 5 | 810 | 9,2 | 42,6 | 42,6 |
| | 6 | 612 | 7,0 | 32,2 | 74,8 |
| | 7 | 210 | 2,4 | 11,0 | 85,8 |
| | 8 | 48 | 0,5 | 2,5 | 88,3 |
| | 9 | 162 | 1,8 | 8,5 | 96,8 |
| | 10 | 60 | 0,7 | 3,2 | 100,0 |
| | Total | 1902 | 21,7 | 100,0 | |
| Perdidos | 1 | 1422 | 16,2 | | |
| | 2 | 2004 | 22,8 | | |
| | 3 | 1818 | 20,7 | | |
| | 4 | 1632 | 18,6 | | |
| | Total | 6876 | 78,3 | | |
| Total | | 8778 | 100,0 | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

La compañía de donde se obtuvieron más datos fue de Oroconti S.A. con el 16.6 %, seguido de la cooperativa Ciudad de Machala con el 11.7 % (Tabla 25). La marca de neumático más popular fue Barum con 21.8 % del total válido (Tabla 26), con igual porcentaje para su modelo BF 12 (Tabla 27). La medida típica fue la 295/80R22.5 que representó el 74.4 % de registros (Tabla 28). Más del 75 % de las presiones registradas se ubican por encima de los 95 psi (Tabla 29). El índice de presión habitual fue de 120 psi, el 78.7 % (Tabla 30). El 79.5 % de las llantas tiene un Ply Rating H o 16 capas equivalentes (Tabla 31). Los índices de carga en singular son 152 y en dual 148 con el 73.9 y el 65.2 % de frecuencia respectivamente (Tabla 32).

Tabla 25. Frecuencias de datos válidos obtenidos por cooperativa

| Cooperativa o Compañía | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|-------------------------------|---|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Centinela del Sur | 468 | 5,3 | 5,3 | 5,3 |
| | CIFA | 540 | 6,2 | 6,2 | 11,5 |
| | Cooperativa 6 de Octubre | 384 | 4,4 | 4,4 | 15,9 |
| | Cooperativa Azuay | 864 | 9,8 | 9,8 | 25,7 |
| | Cooperativa Ciudad de Machala | 1026 | 11,7 | 11,7 | 37,4 |
| | Cooperativa de Transporte Interprovincia I Pasaje | 504 | 5,7 | 5,7 | 43,1 |
| | Cooperativa de Transporte Oro Express | 450 | 5,1 | 5,1 | 48,3 |
| | Cooperativa de Transporte Panamericana | 204 | 2,3 | 2,3 | 50,6 |
| | Cooperativa de Transportes Loja Internacional | 498 | 5,7 | 5,7 | 56,3 |
| | Cooperativa de Transportes Victoria S.A. | 378 | 4,3 | 4,3 | 60,6 |
| | Cooperativa Ecuatoriano Pullman | 42 | 0,5 | 0,5 | 61,0 |
| | Cooperativa El Guabo | 180 | 2,1 | 2,1 | 63,1 |
| | Cooperativa Piñas Interprovincia I | 252 | 2,9 | 2,9 | 66,0 |
| | Cooperativa TAC | 738 | 8,4 | 8,4 | 74,4 |
| | Multioro S.A. | 408 | 4,6 | 4,6 | 79,0 |
| | Oroconti S.A. | 1458 | 16,6 | 16,6 | 95,6 |
| | Rutas Orenses | 384 | 4,4 | 4,4 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 26. Frecuencias de datos válidos por marca de neumático

| | | Marca del neumático | | | |
|-----------|--------------|---------------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | Advance | 67 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| | Aeolus | 22 | 0,3 | 0,3 | 1,0 |
| | Antyre | 67 | 0,8 | 0,8 | 1,8 |
| | Apollo | 5 | 0,1 | 0,1 | 1,8 |
| | Barum | 1913 | 21,8 | 21,8 | 23,6 |
| | Basoon | 3 | 0,0 | 0,0 | 23,7 |
| | Boto | 15 | 0,2 | 0,2 | 23,8 |
| | Bridgestone | 455 | 5,2 | 5,2 | 29,0 |
| | Chang Feng | 13 | 0,1 | 0,1 | 29,2 |
| | Chengshan | 2 | 0,0 | 0,0 | 29,2 |
| | Compasal | 28 | 0,3 | 0,3 | 29,5 |
| | Continental | 312 | 3,6 | 3,6 | 33,1 |
| | Daewoo | 41 | 0,5 | 0,5 | 33,5 |
| | Deruibo | 9 | 0,1 | 0,1 | 33,6 |
| | Double Coin | 727 | 8,3 | 8,3 | 41,9 |
| | Double Road | 99 | 1,1 | 1,1 | 43,0 |
| | Double Star | 40 | 0,5 | 0,5 | 43,5 |
| | Doupro | 6 | 0,1 | 0,1 | 43,6 |
| | Dunhope | 16 | 0,2 | 0,2 | 43,7 |
| | Dunlop | 20 | 0,2 | 0,2 | 44,0 |
| | Durun | 20 | 0,2 | 0,2 | 44,2 |
| | Effiplus | 4 | 0,0 | 0,0 | 44,2 |
| | Falken | 7 | 0,1 | 0,1 | 44,3 |
| | Fullrun | 614 | 7,0 | 7,0 | 51,3 |
| | General Tire | 249 | 2,8 | 2,8 | 54,2 |
| | Good Year | 553 | 6,3 | 6,3 | 60,5 |
| | Goodride | 7 | 0,1 | 0,1 | 60,5 |
| | Grenlander | 2 | 0,0 | 0,0 | 60,6 |
| | GT Radial | 395 | 4,5 | 4,5 | 65,1 |
| | Hankook | 67 | 0,8 | 0,8 | 65,8 |
| | Hanksugi | 73 | 0,8 | 0,8 | 66,7 |
| | Hercules | 7 | 0,1 | 0,1 | 66,7 |
| | Hifly | 237 | 2,7 | 2,7 | 69,4 |
| | JK Tyre | 2 | 0,0 | 0,0 | 69,5 |
| | Keter | 19 | 0,2 | 0,2 | 69,7 |
| | Kumho | 650 | 7,4 | 7,4 | 77,1 |
| | Kunyuan | 6 | 0,1 | 0,1 | 77,1 |
| | Ling Long | 112 | 1,3 | 1,3 | 78,4 |
| | Long March | 132 | 1,5 | 1,5 | 79,9 |
| | Marshal | 37 | 0,4 | 0,4 | 80,3 |
| | Maxxis | 507 | 5,8 | 5,8 | 86,1 |
| | Michelin | 322 | 3,7 | 3,7 | 89,8 |
| | Miller | 3 | 0,0 | 0,0 | 89,8 |
| | Odyking | 12 | 0,1 | 0,1 | 90,0 |
| | Pirelli | 120 | 1,4 | 1,4 | 91,3 |
| | Regal | 21 | 0,2 | 0,2 | 91,6 |
| | Roadlux | 2 | 0,0 | 0,0 | 91,6 |
| Roadshine | 4 | 0,0 | 0,0 | 91,6 | |
| Roadwing | 84 | 1,0 | 1,0 | 92,6 | |
| Safemax | 12 | 0,1 | 0,1 | 92,7 | |
| Sailun | 70 | 0,8 | 0,8 | 93,5 | |
| Sumitomo | 9 | 0,1 | 0,1 | 93,6 | |
| Sunfull | 75 | 0,9 | 0,9 | 94,5 | |
| Taitong | 20 | 0,2 | 0,2 | 94,7 | |
| Toyo | 5 | 0,1 | 0,1 | 94,8 | |
| Triangle | 259 | 3,0 | 3,0 | 97,7 | |
| Turnpike | 10 | 0,1 | 0,1 | 97,8 | |
| Vinkrant | 8 | 0,1 | 0,1 | 97,9 | |
| Westlake | 71 | 0,8 | 0,8 | 98,7 | |
| Wosen | 8 | 0,1 | 0,1 | 98,8 | |
| Yokohama | 103 | 1,2 | 1,2 | 100,0 | |
| Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 27. Frecuencias de datos válidos por modelo de neumático (fracción)

| Modelo del neumático | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|-----------------------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Válido | 366 | 12 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | 465 | 9 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| | AH22 | 20 | 0,2 | 0,2 | 0,5 |
| | AL 02 | 8 | 0,1 | 0,1 | 0,6 |
| | AM 06 | 14 | 0,2 | 0,2 | 0,7 |
| | AU 03 | 25 | 0,3 | 0,3 | 1,0 |
| | AZ 670 | 13 | 0,1 | 0,1 | 1,2 |
| | BF 12 | 1912 | 21,8 | 21,8 | 22,9 |
| | BT 168 | 2 | 0,0 | 0,0 | 23,0 |
| | BT 388 | 13 | 0,1 | 0,1 | 23,1 |
| | BU53 | 1 | 0,0 | 0,0 | 23,1 |
| | C 600 | 11 | 0,1 | 0,1 | 23,2 |
| | CM 958 | 13 | 0,1 | 0,1 | 23,4 |
| | CM 985 | 7 | 0,1 | 0,1 | 23,5 |
| | CM 986 | 13 | 0,1 | 0,1 | 23,6 |
| | CM 993 | 7 | 0,1 | 0,1 | 23,7 |
| | CONTIGOL | 65 | 0,7 | 0,7 | 24,4 |
| | CPS 21 | 19 | 0,2 | 0,2 | 24,7 |
| | CPS 60 | 9 | 0,1 | 0,1 | 24,8 |
| | CR 906 | 1 | 0,0 | 0,0 | 24,8 |
| | CR 960 | 10 | 0,1 | 0,1 | 24,9 |
| | CR 966 | 6 | 0,1 | 0,1 | 24,9 |
| | CR 976A | 4 | 0,0 | 0,0 | 25,0 |
| | CST103 | 2 | 0,0 | 0,0 | 25,0 |
| | D 905 | 38 | 0,4 | 0,4 | 25,4 |
| | DH368 | 9 | 0,1 | 0,1 | 25,6 |
| | DH588 | 7 | 0,1 | 0,1 | 25,6 |
| | DR 801 | 8 | 0,1 | 0,1 | 25,7 |
| | DR 812 | 91 | 1,0 | 1,0 | 26,8 |
| | DR 909 | 3 | 0,0 | 0,0 | 26,8 |
| | DRB 662 | 9 | 0,1 | 0,1 | 26,9 |
| | DSR 266 | 34 | 0,4 | 0,4 | 27,3 |
| | DSR 566 | 6 | 0,1 | 0,1 | 27,4 |
| | DW 317 | 21 | 0,2 | 0,2 | 27,6 |
| | DW 321 | 4 | 0,0 | 0,0 | 27,6 |
| | DW 511 | 16 | 0,2 | 0,2 | 27,8 |
| | EnduRace RA | 5 | 0,1 | 0,1 | 27,9 |
| | F805 | 15 | 0,2 | 0,2 | 28,0 |
| | FH 73 | 6 | 0,1 | 0,1 | 28,1 |
| | FR 85 | 29 | 0,3 | 0,3 | 28,4 |
| | G 658 | 51 | 0,6 | 0,6 | 29,0 |
| | G 665 | 265 | 3,0 | 3,0 | 32,0 |
| | G 667 | 203 | 2,3 | 2,3 | 34,4 |
| | GAR 821 | 2 | 0,0 | 0,0 | 34,4 |
| | GI 388 | 4 | 0,0 | 0,0 | 34,4 |
| | GL 282 A | 10 | 0,1 | 0,1 | 34,5 |
| | GL 283 A | 49 | 0,6 | 0,6 | 35,1 |
| | GL 665 A | 8 | 0,1 | 0,1 | 35,2 |
| | GR 662 | 2 | 0,0 | 0,0 | 35,2 |
| | GRABBER OA | 5 | 0,1 | 0,1 | 35,3 |
| | GT 659 | 8 | 0,1 | 0,1 | 35,4 |
| | GT 679 | 9 | 0,1 | 0,1 | 35,5 |
| | GT 867 | 218 | 2,5 | 2,5 | 37,9 |
| | GT 879 | 158 | 1,8 | 1,8 | 39,7 |
| | H 601 | 7 | 0,1 | 0,1 | 39,8 |
| | HDC 1 | 13 | 0,1 | 0,1 | 40,0 |
| | HDR 2 | 21 | 0,2 | 0,2 | 40,2 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 28. Frecuencias de datos válidos por medida de neumático

| Medida del neumático | | | | | |
|-----------------------------|-------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 215/75R17,5 | 199 | 2,3 | 2,3 | 2,3 |
| | 9,5R17,5 | 66 | 0,8 | 0,8 | 3,0 |
| | 235/75R17,5 | 281 | 3,2 | 3,2 | 6,2 |
| | 255/70R22,5 | 16 | 0,2 | 0,2 | 6,4 |
| | 275/70R22,5 | 115 | 1,3 | 1,3 | 7,7 |
| | 275/75R22,5 | 13 | 0,1 | 0,1 | 7,9 |
| | 275/80R22,5 | 578 | 6,6 | 6,6 | 14,4 |
| | 11R22,5 | 555 | 6,3 | 6,3 | 20,8 |
| | 295/75R22,5 | 81 | 0,9 | 0,9 | 21,7 |
| | 295/80R22,5 | 6531 | 74,4 | 74,4 | 96,1 |
| | 12R22,5 | 258 | 2,9 | 2,9 | 99,0 |
| | 315/70R22,5 | 6 | 0,1 | 0,1 | 99,1 |
| | 315/80R22,5 | 79 | 0,9 | 0,9 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 29. Frecuencias de datos válidos por presiones registradas

| Presión registrada (psi) | | | | | |
|---------------------------------|------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 80 | 100 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| | 82 | 91 | 1,0 | 1,0 | 2,2 |
| | 84 | 113 | 1,3 | 1,3 | 3,5 |
| | 86 | 106 | 1,2 | 1,2 | 4,7 |
| | 88 | 130 | 1,5 | 1,5 | 6,2 |
| | 90 | 449 | 5,1 | 5,1 | 11,3 |
| | 92 | 467 | 5,3 | 5,3 | 16,6 |
| | 94 | 424 | 4,8 | 4,8 | 21,4 |
| | 95 | 7 | 0,1 | 0,1 | 21,5 |
| | 96 | 422 | 4,8 | 4,8 | 26,3 |
| | 98 | 408 | 4,6 | 4,6 | 31,0 |
| | 100 | 478 | 5,4 | 5,4 | 36,4 |
| | 102 | 464 | 5,3 | 5,3 | 41,7 |
| | 104 | 526 | 6,0 | 6,0 | 47,7 |
| | 106 | 509 | 5,8 | 5,8 | 53,5 |
| | 108 | 503 | 5,7 | 5,7 | 59,2 |
| | 110 | 627 | 7,1 | 7,1 | 66,3 |
| | 112 | 622 | 7,1 | 7,1 | 73,4 |
| | 114 | 598 | 6,8 | 6,8 | 80,2 |
| | 116 | 575 | 6,6 | 6,6 | 86,8 |
| | 118 | 564 | 6,4 | 6,4 | 93,2 |
| 120 | 595 | 6,8 | 6,8 | 100,0 | |
| Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 30. Frecuencias de datos válidos por índice de presión

| Índice de presión | | | | | |
|--------------------------|-------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 95 | 114 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| | 100 | 8 | 0,1 | 0,1 | 1,4 |
| | 105 | 73 | 0,8 | 0,8 | 2,2 |
| | 110 | 349 | 4,0 | 4,0 | 6,2 |
| | 115 | 103 | 1,2 | 1,2 | 7,4 |
| | 120 | 6905 | 78,7 | 78,7 | 86,0 |
| | 125 | 70 | 0,8 | 0,8 | 86,8 |
| | 130 | 1156 | 13,2 | 13,2 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 31. Frecuencias de datos válidos por ply rating

| Ply Rating | | | | | |
|-------------------|-------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | G | 223 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| | H | 6982 | 79,5 | 79,5 | 82,1 |
| | J | 1521 | 17,3 | 17,3 | 99,4 |
| | K | 52 | 0,6 | 0,6 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 32. Frecuencias de datos válidos por índice de carga singular

| Índice de Carga Simple | | | | | |
|-------------------------------|-------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 126 | 114 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| | 129 | 54 | 0,6 | 0,6 | 1,9 |
| | 132 | 39 | 0,4 | 0,4 | 2,4 |
| | 135 | 85 | 1,0 | 1,0 | 3,3 |
| | 140 | 16 | 0,2 | 0,2 | 3,5 |
| | 141 | 54 | 0,6 | 0,6 | 4,1 |
| | 143 | 200 | 2,3 | 2,3 | 6,4 |
| | 144 | 47 | 0,5 | 0,5 | 6,9 |
| | 146 | 112 | 1,3 | 1,3 | 8,2 |
| | 147 | 37 | 0,4 | 0,4 | 8,6 |
| | 148 | 928 | 10,6 | 10,6 | 19,2 |
| | 149 | 507 | 5,8 | 5,8 | 25,0 |
| | 150 | 14 | 0,2 | 0,2 | 25,1 |
| | 151 | 6 | 0,1 | 0,1 | 25,2 |
| | 152 | 6491 | 73,9 | 73,9 | 99,2 |
| | 154 | 22 | 0,3 | 0,3 | 99,4 |
| | 156 | 8 | 0,1 | 0,1 | 99,5 |
| | 157 | 44 | 0,5 | 0,5 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

La carga promedio se estima en 2500 Kg el 92.5 % de las veces (Tabla 33), partiendo de una masa total del automotor de 15 Toneladas (Ton) distribuida en 6 neumáticos (este promedio es aproximado pues la carga no se distribuye de manera uniforme). El índice de velocidad más común fue M, es decir, 130 Kilómetros por hora (Km/h) con el 62.8 % (Tabla 34). La velocidad media sugerida para control fue inferior a 50 Km/h el 86.7 % de las veces (Tabla 35). Las observaciones considerables más comunes fueron desgaste irregular (10.7 %), válvula sin tapón y fuga de aire; ambas se presentaron con el 10 % de frecuencia (Tabla 37).

Tabla 33. Frecuencias de datos válidos por carga promedio

| Carga promedio (Kg) | | | | | |
|----------------------------|-------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 1500 | 546 | 6,2 | 6,2 | 6,2 |
| | 2000 | 36 | 0,4 | 0,4 | 6,6 |
| | 2500 | 8118 | 92,5 | 92,5 | 99,1 |
| | 3250 | 78 | 0,9 | 0,9 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 34. Frecuencias de datos válidos por índice de velocidad

| Índice de velocidad | | | | | |
|----------------------------|-------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | H | 5 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | I | 258 | 2,9 | 2,9 | 3,0 |
| | J | 1346 | 15,3 | 15,3 | 18,3 |
| | K | 611 | 7,0 | 7,0 | 25,3 |
| | L | 1048 | 11,9 | 11,9 | 37,2 |
| | M | 5510 | 62,8 | 62,8 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 35. Frecuencias de datos válidos por velocidad media

| Velocidad media (Km/h) | | | | | |
|-------------------------------|-------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
| Válido | 30 | 2892 | 32,9 | 32,9 | 32,9 |
| | 40 | 1716 | 19,5 | 19,5 | 52,5 |
| | 50 | 3000 | 34,2 | 34,2 | 86,7 |
| | 60 | 1170 | 13,3 | 13,3 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 36. Frecuencias de datos válidos por diseño de corona

| Diseño de corona | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|-------------------------|-----------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Larga distancia | 1699 | 19,4 | 19,4 | 19,4 |
| | Regional | 5495 | 62,6 | 62,6 | 82,0 |
| | Mixta | 1537 | 17,5 | 17,5 | 99,5 |
| | Construcción | 47 | 0,5 | 0,5 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 37. Frecuencias de datos válidos por observaciones varias en los neumáticos

| Observaciones varias | | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|-----------------------------|-------------------------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Válido | Válvula sin tapón | 874 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| | Dual mal montado o ensamblado | 87 | 1,0 | 1,0 | 10,9 |
| | Desgaste irregular | 939 | 10,7 | 10,7 | 21,6 |
| | Aro dañado o agrietado | 7 | 0,1 | 0,1 | 21,7 |
| | Ninguna | 5449 | 62,1 | 62,1 | 83,8 |
| | Válvula obstruida | 23 | 0,3 | 0,3 | 84,1 |
| | Válvula inaccesible | 69 | 0,8 | 0,8 | 84,8 |
| | Tuerca floja/dañada/faltante | 219 | 2,5 | 2,5 | 87,3 |
| | Tipo de llanta inadecuado | 120 | 1,4 | 1,4 | 88,7 |
| | Llanta lisa o sin remanente | 28 | 0,3 | 0,3 | 89,0 |
| | Llanta en condición crítica | 14 | 0,2 | 0,2 | 89,2 |
| | Llanta averiada o desgarrada | 70 | 0,8 | 0,8 | 90,0 |
| | Fuga de aire | 879 | 10,0 | 10,0 | 100,0 |
| | Total | 8778 | 100,0 | 100,0 | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Para estimar las ecuaciones no se usaron todos los datos puesto que los neumáticos de los que se obtuvieron entre uno y cuatro registros no proporcionaban suficiente información para caracterizar su ritmo de desgaste. Por esta razón se validaron 1902 (21.7 %) de los registros, que lo componen aquellos neumáticos de los que se obtuvieron de 5 a 10 datos secuenciales (10 fue el número máximo de registros, esto no fue restringido), contando con información efectiva de 54 buses, 6 neumáticos por cada uno. Esto último se presenta en las estimaciones de parámetro (desgaste) como niveles o filtros de efecto sujeto (Tablas 38 y 39).

Tabla 38. Información general del modelo de estimación aplicado

| Información de modelo | | |
|--|------------------------------|----------------------|
| Variable dependiente | Profundidad / Remanente (mm) | |
| Distribución de probabilidad | Gamma | |
| Función de enlace | Logaritmo | |
| Variable de ponderación de escala | Medida del neumático | |
| Efecto sujeto | 1 | Registros obtenidos |
| | 2 | Placa del Bus |
| | 3 | Número del neumático |
| Estructura de matriz de correlaciones de trabajo | Independiente | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 39. Información de los efectos sujeto y datos correlacionados

| Resumen de datos correlacionados | | | |
|---|---------------|----------------------|-----|
| Número de niveles | Efecto sujeto | Registros obtenidos | 6 |
| | | Placa del Bus | 54 |
| | | Número del neumático | 6 |
| Número de sujetos | | | 324 |
| Número de mediciones por sujeto | Mínimo | 5 | |
| | Máximo | 10 | |
| Dimensión de la matriz de correlaciones | | | 10 |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

La información descriptiva básica de los indicadores considerados se muestra en la Tabla 40. Se puede verificar las escalas obtenidas en cada indicador con los mínimos y máximos. Para diseño de corona se entiende 1 de larga distancia y 4 de construcción, ordenado por índice de velocidad de mayor a menor admitido. Las medidas de neumático se ordenaron por dimensión, siendo 215/75R17.5 la menor (1) y 315/80R22.5 la mayor (13).

Tabla 40. Estadísticos descriptivos básicos de los indicadores considerados para la segunda hipótesis

| Variable tipo | Indicador | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar |
|-----------------------|------------------------------|--------|--------|--------|---------------------|
| Variable dependiente | Profundidad / Remanente (mm) | ,1 | 20,0 | 8,527 | 3,9032 |
| Covariable | Ply Rating | 14 | 20 | 16,25 | ,781 |
| | Índice de presión | 95 | 130 | 120,87 | 3,917 |
| | Índice de Carga Simple | 126 | 157 | 151,14 | 2,339 |
| | Índice de Carga Dual | 124 | 154 | 147,42 | 2,006 |
| | Índice de velocidad | 80 | 130 | 120,46 | 13,065 |
| | Diseño de corona | 1 | 4 | 2,03 | ,566 |
| Ponderación de escala | Medida del neumático | 1 | 13 | 9,56 | 1,323 |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Las estimaciones del ritmo de desgaste obtenidos con la herramienta software IBM SPSS versión 23, opción GLM sub-opción GEE en función de las variables consideradas para la presente investigación se detallan en la Tabla 42, obtenida luego de verificar las pruebas de efectos del modelo, las cuales validan las variables que inciden en el modelo de estimación a un nivel de significancia 0.01 (Tabla 41). Nótese que en las estimaciones de los ritmos de desgaste de la banda de rodadura se deben considerar el valor de intersección (constante), el periodo, la carga media, la velocidad media, el ply rating, los índices de carga y tipo de labrado (diseño de corona). Con los valores de la Tabla 42 se obtienen las medias de desgaste de la banda de rodaje de los neumáticos por marca, modelo y medida.

Tabla 41. Pruebas de efectos de modelo de estimación

| Pruebas de efectos del modelo | | | |
|--|----------------------|----|-------|
| Origen | Tipo III | | |
| | Chi-cuadrado de Wald | gl | Sig. |
| (Intersección) | 11,052 | 1 | 0,001 |
| Periodo | 1300,218 | 11 | 0,000 |
| Presion | 28,866 | 20 | 0,090 |
| CargaMedia | 9,355 | 1 | 0,002 |
| VelocMedia | 94,248 | 3 | 0,000 |
| PlyRating | 8,038 | 1 | 0,005 |
| IndicePresion | 0,709 | 1 | 0,400 |
| ICSingle | 10,787 | 1 | 0,001 |
| ICDual | 11,252 | 1 | 0,001 |
| IndiceVeloc | 0,034 | 1 | 0,854 |
| TipoLabrado | 5,413 | 1 | 0,020 |
| Variable dependiente: Profundidad / Remanente (mm) Modelo: (Intersección), Periodo, Presion, CargaMedia, VelocMedia, PlyRating, IndicePresion, ICSingle, ICDual, IndiceVeloc, TipoLabrado | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 42. Estimaciones del ritmo de desgaste en función de las variables de la hipótesis segunda

| Parámetro | B | Error estándar | 95% de intervalo de confianza de Wald | | Contraste de hipótesis | | |
|-------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|----------|------------------------|--------------------|---------------|
| | | | Inferior | Superior | Chi-cuadrado de Wald | Grados de libertad | Significancia |
| (Intersección) | 4,739 | 1,6084 | 1,587 | 7,892 | 8,682 | 1 | ,003 |
| [Periodo=1] | 1,228 | ,0413 | 1,147 | 1,309 | 882,884 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=2] | 1,113 | ,0463 | 1,022 | 1,204 | 577,085 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=3] | 1,017 | ,0450 | ,929 | 1,105 | 510,770 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=4] | ,948 | ,0442 | ,861 | 1,034 | 459,123 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=5] | ,837 | ,0445 | ,749 | ,924 | 353,873 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=6] | ,732 | ,0457 | ,643 | ,822 | 256,590 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=7] | ,739 | ,0501 | ,641 | ,837 | 217,845 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=8] | ,575 | ,0507 | ,476 | ,675 | 128,903 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=9] | ,489 | ,0518 | ,387 | ,590 | 88,997 | 1 | 0,000 |
| [Periodo=10] | ,555 | ,0643 | ,429 | ,681 | 74,602 | 1 | ,000 |
| [Periodo=11] | ,393 | ,0564 | ,282 | ,504 | 48,565 | 1 | ,000 |
| [Periodo=12] | 0 ^a | | | | | | |
| [Presion=80] | -,006 | ,1153 | -,232 | ,220 | ,003 | 1 | ,956 |
| [Presion=82] | -,144 | ,1277 | -,394 | ,107 | 1,266 | 1 | ,260 |
| [Presion=84] | ,109 | ,1082 | -,103 | ,321 | 1,009 | 1 | ,315 |
| [Presion=86] | -,017 | ,1074 | -,227 | ,194 | ,025 | 1 | ,876 |
| [Presion=88] | ,036 | ,1051 | -,170 | ,242 | ,118 | 1 | ,731 |
| [Presion=90] | -,098 | ,0534 | -,203 | ,007 | 3,369 | 1 | ,066 |
| [Presion=92] | -,049 | ,0542 | -,155 | ,057 | ,812 | 1 | ,367 |
| [Presion=94] | -,030 | ,0561 | -,140 | ,080 | ,292 | 1 | ,589 |
| [Presion=96] | -,016 | ,0547 | -,123 | ,091 | ,087 | 1 | ,768 |
| [Presion=98] | ,003 | ,0562 | -,107 | ,113 | ,003 | 1 | ,954 |
| [Presion=100] | ,032 | ,0508 | -,068 | ,132 | ,396 | 1 | ,529 |
| [Presion=102] | -,029 | ,0496 | -,127 | ,068 | ,351 | 1 | ,553 |
| [Presion=104] | -,055 | ,0491 | -,151 | ,042 | 1,239 | 1 | ,266 |
| [Presion=106] | ,001 | ,0504 | -,098 | ,100 | ,000 | 1 | ,988 |
| [Presion=108] | ,015 | ,0518 | -,087 | ,116 | ,079 | 1 | ,778 |
| [Presion=110] | -,070 | ,0469 | -,162 | ,022 | 2,210 | 1 | ,137 |
| [Presion=112] | -,093 | ,0461 | -,183 | -,003 | 4,057 | 1 | ,044 |
| [Presion=114] | -,030 | ,0466 | -,121 | ,061 | ,414 | 1 | ,520 |
| [Presion=116] | -,135 | ,0469 | -,227 | -,043 | 8,332 | 1 | ,004 |
| [Presion=118] | -,088 | ,0477 | -,182 | ,005 | 3,418 | 1 | ,064 |
| [Presion=120] | 0 ^a | | | | | | |
| [CargaMedia=1500] | -,493 | ,1613 | -,809 | -,177 | 9,355 | 1 | ,002 |
| [CargaMedia=2500] | 0 ^a | | | | | | |
| [VelocMedia=30] | -,056 | ,0736 | -,200 | ,088 | ,581 | 1 | ,446 |
| [VelocMedia=40] | -,001 | ,0813 | -,160 | ,158 | ,000 | 1 | ,992 |
| [VelocMedia=50] | ,180 | ,0764 | ,030 | ,330 | 5,544 | 1 | ,019 |
| [VelocMedia=60] | 0 ^a | | | | | | |
| PlyRating | ,090 | ,0317 | ,028 | ,152 | 8,038 | 1 | ,005 |
| IndicePresion | -,005 | ,0055 | -,015 | ,006 | ,709 | 1 | ,400 |
| ICSingle | ,115 | ,0351 | ,047 | ,184 | 10,787 | 1 | ,001 |
| ICDual | -,147 | ,0439 | -,233 | -,061 | 11,252 | 1 | ,001 |
| IndiceVeloc | ,000 | ,0009 | -,002 | ,002 | ,034 | 1 | ,854 |
| TipoLabrado | -,039 | ,0168 | -,072 | -,006 | 5,413 | 1 | ,020 |
| (Escala) | 1,469 | | | | | | |

Variable dependiente: Profundidad / Remanente (mm)

Modelo: (Intersección), Periodo, Presion, CargaMedia, VelocMedia, PlyRating, IndicePresion, ICSingle, ICDual, IndiceVeloc, TipoLabrado

a. Definido en cero porque este parámetro es redundante.

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Las menores de estas medias o ritmos de desgaste promedio corresponden a los tipos de neumáticos que se muestran en la Tabla 43, abarcando el total de datos sobre cada tipo de llanta. El ranking se determinó en función de los límites superiores, entendido como la suma de la media con la desviación estándar, promedio calculados por marca, modelo y medida de neumático. Por la dimensión de la tabla, el detalle de una parte de estos cálculos se incluye en la Tabla 44.

Tabla 43. Ranking de tipos de neumáticos con menor ritmo de desgaste

| Marca | Modelo | Medida | Ply Rating | IC Single | IC Dual | Índice de velocidad | Diseño de corona | Media de desgaste | Desviación estándar | Límite superior |
|--------------|----------|-------------|------------|-----------|---------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Double Coin | RT 500 | 235/75R17,5 | H | 143 | 141 | K | Regional | 1,7431 | 0,1315 | 1,8746 |
| Hifly | HH 111 | | H | 143 | 141 | J | Regional | 1,7692 | 0,1621 | 1,9314 |
| Daewoo | DW 317 | | H | 141 | 140 | J | Larga distancia | 1,7417 | 0,2448 | 1,9866 |
| Maxxis | UR 275 | | J | 143 | 141 | J | Regional | 1,9052 | 0,1518 | 2,0570 |
| Ling Long | D 905 | | J | 143 | 141 | J | Regional | 1,8645 | 0,1971 | 2,0616 |
| Fullrun | TB 766 | 275/80R22,5 | H | 149 | 146 | M | Larga distancia | 1,7314 | 0,4049 | 2,1362 |
| General Tire | S 370 | | H | 149 | 146 | L | Regional | 1,8790 | 0,4046 | 2,2836 |
| Double Coin | RT 606 | 295/75R22,5 | G | 144 | 141 | L | Regional | 1,8887 | 0,3649 | 2,2536 |
| General Tire | S 370 | | H | 152 | 148 | M | Regional | 1,8361 | 0,4515 | 2,2876 |
| General Tire | RA | | H | 152 | 148 | M | Regional | 1,7967 | 0,4086 | 2,2053 |
| Double Coin | RR 660 | 315/80R22,5 | J | 152 | 149 | L | Regional | 1,8913 | 0,3946 | 2,2858 |
| Advance | GL 665 A | | G | 154 | 150 | K | Mixta | 1,9718 | 0,2491 | 2,2209 |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 44. Hoja de cálculo desarrollada para establecer tipos de neumático con menor desgaste (fracción)

| Marca | Modelo | Medida | Media de desgaste | Desviación estándar | Límite superior |
|-------------|-------------|-------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Advance | GL 665 A | 315/80R22,5 | 1,97183 | ,249064 | 2,220893 |
| | | Total | 1,97183 | ,249064 | 2,220893 |
| | Total | 315/80R22,5 | 1,97183 | ,249064 | 2,220893 |
| | | Total | 1,97183 | ,249064 | 2,220893 |
| Antyre | TB 707 | 295/80R22,5 | 2,33931 | ,270105 | 2,609419 |
| | | Total | 2,33931 | ,270105 | 2,609419 |
| | TB 726 | 295/75R22,5 | 2,17796 | ,185780 | 2,363741 |
| | | Total | 2,17796 | ,185780 | 2,363741 |
| | Total | 295/75R22,5 | 2,17796 | ,185780 | 2,363741 |
| | | 295/80R22,5 | 2,33931 | ,270105 | 2,609419 |
| | | Total | 2,26248 | ,242546 | 2,505025 |
| | | Total | 2,26248 | ,242546 | 2,505025 |
| Apollo | EnduRace RA | 295/80R22,5 | 2,28667 | ,286758 | 2,573432 |
| | | Total | 2,28667 | ,286758 | 2,573432 |
| | Total | 295/80R22,5 | 2,28667 | ,286758 | 2,573432 |
| | | Total | 2,28667 | ,286758 | 2,573432 |
| Barum | BF 12 | 275/80R22,5 | 2,01082 | ,377788 | 2,388613 |
| | | 11R22,5 | 2,10503 | ,184075 | 2,289101 |
| | | 295/80R22,5 | 2,02772 | ,326277 | 2,354000 |
| | | Total | 2,03062 | ,323371 | 2,353993 |
| | Total | 275/80R22,5 | 2,01082 | ,377788 | 2,388613 |
| | | 11R22,5 | 2,10503 | ,184075 | 2,289101 |
| | | 295/80R22,5 | 2,02772 | ,326277 | 2,354000 |
| | | Total | 2,03062 | ,323371 | 2,353993 |
| Boto | BT 388 | 295/80R22,5 | 2,31767 | ,217886 | 2,535553 |
| | | Total | 2,31767 | ,217886 | 2,535553 |
| | Total | 295/80R22,5 | 2,31767 | ,217886 | 2,535553 |
| | | Total | 2,31767 | ,217886 | 2,535553 |
| Bridgestone | M 840 | 275/70R22,5 | 2,06153 | ,320835 | 2,382363 |
| | | Total | 2,06153 | ,320835 | 2,382363 |
| | R 155 | 275/80R22,5 | 2,36247 | ,170040 | 2,532510 |
| | | 295/80R22,5 | 2,34055 | ,302757 | 2,643310 |
| | | Total | 2,34674 | ,271087 | 2,617828 |
| | R 250 | 295/80R22,5 | 1,88477 | ,414661 | 2,299428 |
| | | Total | 1,88477 | ,414661 | 2,299428 |
| | R 297 | 295/80R22,5 | 2,15735 | ,450105 | 2,607457 |
| | | Total | 2,15735 | ,450105 | 2,607457 |
| | Total | 275/70R22,5 | 2,06153 | ,320835 | 2,382363 |
| | | 275/80R22,5 | 2,36247 | ,170040 | 2,532510 |
| | | 295/80R22,5 | 2,25258 | ,372870 | 2,625454 |
| | | Total | 2,26760 | ,341228 | 2,608829 |
| | Compasal | CPS 21 | 275/80R22,5 | 1,98943 | ,505508 |
| Total | | | 1,98943 | ,505508 | 2,494938 |
| CPS 60 | | 295/80R22,5 | 2,24572 | ,269394 | 2,515110 |
| | | Total | 2,24572 | ,269394 | 2,515110 |
| Total | | 275/80R22,5 | 1,98943 | ,505508 | 2,494938 |
| | | 295/80R22,5 | 2,24572 | ,269394 | 2,515110 |
| Continental | HDC 1 | 295/80R22,5 | 2,07133 | ,423726 | 2,495056 |
| | | Total | 2,07133 | ,423726 | 2,495056 |
| | HSC 1 | 295/80R22,5 | 2,10075 | ,346611 | 2,447364 |
| | | Total | 2,10075 | ,346611 | 2,447364 |
| | HSR 2 | 295/80R22,5 | 2,01217 | ,293461 | 2,305631 |
| | | Total | 2,01217 | ,293461 | 2,305631 |
| | HSR2 SA | 295/80R22,5 | 2,26168 | ,321834 | 2,583518 |
| | | Total | 2,26168 | ,321834 | 2,583518 |
| | Total | 295/80R22,5 | 2,07860 | ,340210 | 2,418812 |
| | | Total | 2,07860 | ,340210 | 2,418812 |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Para obtener las variables que compongan las ecuaciones de predicción aplicamos un modelo de regresión de mínimos cuadrados ponderada con el método paso a paso, desarrollado con ayuda del mismo software estadístico IBM SPSS. Para establecer la ecuación general de predicción, las variables de entrada y eliminadas se muestran en la Tabla 45, el resumen del modelo en la 46, el análisis de varianza en la 47, las variables excluidas en la 48, las estadísticas de residuos en la 49 y, los coeficientes del modelo en la Tabla 50. La Tabla 45 indica que se realizaron 4 modelos por pasos, considerando sólo los datos que correspondan a un mínimo de 5 registros obtenidos por neumático. La primera variable ingresada al modelo fue periodo y la última fue la presión registrada. No se eliminó ninguna variable.

Tabla 45. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación general

| Variables entradas/eliminadas ^{a,b,c} | | | |
|--|-------------------------------------|----------------------|--|
| Modelo | Variables entradas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | Periodo (15 días) ^d | | Entrar |
| 2 | Carga promedio (Kg) ^d | | Entrar |
| 3 | Velocidad media (Km/h) ^d | | Entrar |
| 4 | Presión registrada (psi) | | Por pasos (Criterios: Probabilidad-de-F-para-entrar \leq ,050, Probabilidad-de-F-para-eliminar \geq ,100). |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Medida del neumático | | | |
| c. Los modelos sólo se basan en casos para los cuales Registros obtenidos \geq 5 | | | |
| d. Todas las variables solicitadas introducidas. | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

La Tabla 46 muestra que los valores R (coeficiente de correlación entre los valores observados y pronosticados en la variable dependiente, que es el desgaste de la banda de rodamiento cada 15 días) son mayores para los modelos con 3 y 4 variables. Los valores de R son mejores mientras sean más cercanos a 1. El valor de bondad de ajuste R^2 (coeficiente de determinación que indica si el modelo se ajusta bien a los datos) es mayor para el modelo con 4 variables. Este último valor también debería ser cercano a uno (1) para asegurar que el modelo resultante se ajusta a los datos.

Tabla 46. Resumen del modelo de estimación de la ecuación general

| Resumen del modelo ^{e,f,g} | | | | | | | |
|---|---|---|------------|---------------------|---------------------------------|---|---|
| Modelo | R | | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Estadístico de Durbin-Watson | |
| | Registros obtenidos >= 5 (Seleccionado) | Registros obtenidos < 5 (Sin seleccionar) | | | | Registros obtenidos >= 5 (Seleccionado) | Registros obtenidos < 5 (Sin seleccionar) |
| 1 | ,906 ^a | | 0,820 | 0,820 | 0,453201 | | |
| 2 | ,910 ^b | | 0,828 | 0,828 | 0,442867 | | |
| 3 | ,956 ^c | | 0,914 | 0,914 | 0,312864 | | |
| 4 | ,956 ^d | 0,890 | 0,915 | 0,915 | 0,312158 | 1,657 | 0,754 |
| a. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | | |
| b. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg) | | | | | | | |
| c. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg), Velocidad media (Km/h) | | | | | | | |
| d. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg), Velocidad media (Km/h), Presión registrada (psi) | | | | | | | |
| e. A menos que se indique lo contrario, las estadísticas se basan sólo en los casos para los cuales Registros obtenidos >= 5. | | | | | | | |
| f. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | | |
| g. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Medida del neumático | | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

La Tabla 47 muestra que todos los modelos tienen una significación menor a 0.01, lo que indica que los resultados no se deben a la distribución aleatoria de los datos. Los valores altos de F se fortalecen con lo anterior. El valor menor de media cuadrática de los residuos lo tiene el modelo 4. En la Tabla 48 se visualizan los coeficientes de las variables que fueron excluidas de los modelos de ecuaciones estimados.

Tabla 47. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación general

| ANOVA ^{a,b,c} | | | | | | |
|---|-----------|-------------------|--------------------|------------------|----------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regresión | 1778,148 | 1 | 1778,148 | 8657,378 | ,000 ^d |
| | Residuo | 390,243 | 1900 | 0,205 | | |
| | Total | 2168,391 | 1901 | | | |
| 2 | Regresión | 1795,938 | 2 | 897,969 | 4578,412 | ,000 ^e |
| | Residuo | 372,453 | 1899 | 0,196 | | |
| | Total | 2168,391 | 1901 | | | |
| 3 | Regresión | 1982,607 | 3 | 660,869 | 6751,559 | ,000 ^f |
| | Residuo | 185,784 | 1898 | 0,098 | | |
| | Total | 2168,391 | 1901 | | | |
| 4 | Regresión | 1983,542 | 4 | 495,885 | 5088,987 | ,000 ^g |
| | Residuo | 184,849 | 1897 | 0,097 | | |
| | Total | 2168,391 | 1901 | | | |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Medida del neumático | | | | | | |
| c. Selección de casos sólo para los cuales Registros obtenidos >= 5 | | | | | | |
| d. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |
| e. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg) | | | | | | |
| f. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg), Velocidad media (Km/h) | | | | | | |
| g. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg), Velocidad media (Km/h), Presión registrada | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 48. Variables excluidas en la estimación de la ecuación general

| Variables excluidas ^{a,b} | | | | | | |
|--|--------------------------|--------------------|--------|---------------|---------------------|------------------------------|
| Modelo | | En beta | t | Significancia | Correlación parcial | Estadísticas de colinealidad |
| | | | | | | Tolerancia |
| 1 | Carga promedio (Kg) | ,091 ^c | 9,524 | 0,000 | 0,214 | 0,998 |
| | Velocidad media (Km/h) | ,298 ^c | 42,949 | 0,000 | 0,702 | 0,998 |
| | Presión registrada (psi) | ,010 ^c | 1,052 | 0,293 | 0,024 | 1,000 |
| 2 | Velocidad media (Km/h) | ,294 ^d | 43,670 | 0,000 | 0,708 | 0,995 |
| | Presión registrada (psi) | ,005 ^d | 0,495 | 0,621 | 0,011 | 0,996 |
| 3 | Presión registrada (psi) | -,021 ^e | -3,097 | 0,002 | -0,071 | 0,989 |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Medida del neumático | | | | | | |
| c. Predictores en el modelo: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |
| d. Predictores en el modelo: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg) | | | | | | |
| e. Predictores en el modelo: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg), Velocidad media (Km/h) | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

En la Tabla 49 se muestran algunos estadísticos de los valores residuales que tanto para los datos válidos como para los no válidos. La Tabla 50 muestra los coeficientes

que deben componer las ecuaciones de predicción del ritmo de desgaste de la banda de rodamiento. Todas las variables inscritas en el modelo son significativas.

Tabla 49. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de la ecuación general

| Estadísticas de residuos ^{a,b,c} | | | | | | | | | | |
|---|---|----------|-----------|---------------------|------|---|----------|-----------|---------------------|------|
| | Registros obtenidos >= 5 (Seleccionado) | | | | | Registros obtenidos < 5 (Sin seleccionar) | | | | |
| | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N |
| Valor pronosticado | 1,36265 | 2,73758 | 2,09256 | 0,329648 | 1902 | 1,07703 | 2,74635 | 2,35969 | 0,314579 | 6755 |
| Residuo | -0,357139 | 0,455245 | -0,000993 | 0,102275 | 1902 | -0,482746 | 0,647818 | -0,027089 | 0,145155 | 6755 |
| Valor pronosticado estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |
| Residuo estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal
b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Medida del neumático
c. Casos combinados
d. No se ha calculado para la regresión de mínimos cuadrados ponderados.

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 50. Coeficientes para la ecuación general

| Coeficientes ^{a,b,c} | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|----------|-------|
| Modelo | | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
| | | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 | (Constante) | 2,581 | 0,006 | | 415,553 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,093 | 0,001 | -0,906 | -93,045 | 0,000 |
| 2 | (Constante) | 1,402 | 0,124 | | 11,318 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,093 | 0,001 | -0,910 | -95,543 | 0,000 |
| | Carga promedio (Kg) | 0,000 | 0,000 | 0,091 | 9,524 | 0,000 |
| 3 | (Constante) | 1,214 | 0,088 | | 13,859 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,094 | 0,001 | -0,922 | -136,931 | 0,000 |
| | Carga promedio (Kg) | 0,000 | 0,000 | 0,075 | 11,150 | 0,000 |
| | Velocidad media (Km/h) | 0,010 | 0,000 | 0,294 | 43,670 | 0,000 |
| 4 | (Constante) | 1,274 | 0,090 | | 14,232 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,094 | 0,001 | -0,922 | -137,226 | 0,000 |
| | Carga promedio (Kg) | 0,000 | 0,000 | 0,076 | 11,333 | 0,000 |
| | Velocidad media (Km/h) | 0,011 | 0,000 | 0,296 | 43,872 | 0,000 |
| | Presión registrada (psi) | -0,001 | 0,000 | -0,021 | -3,097 | 0,002 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal
b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Medida del neumático
c. Selección de casos sólo para los cuales Registros obtenidos >= 5

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

La misma lógica que se usa en el análisis de las Tablas 45 a la 50 se usa para las ecuaciones desarrolladas para tipo de aplicación de llantas, es decir, para vías urbanas, regionales, pavimentadas de larga distancia y mixtas. Esto se muestra a partir de la Tabla 51 hasta la 73.

Tabla 51. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación pavimentado

| Variables entradas/eliminadas ^{a,b,c} | | | |
|---|--------------------------------|----------------------|--|
| Modelo | Variables entradas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | Periodo (15 días) ^d | | Entrar |
| 2 | Presión registrada (psi) | | Por pasos (Criterios: Probabilidad-de-F-para-entrar \leq ,050, Probabilidad-de-F-para-eliminar \geq ,100). |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | |
| c. Los modelos sólo se basan en casos para los cuales Tipo de carretera = Pavimentado larga distancia | | | |
| d. Todas las variables solicitadas introducidas. | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 52. Resumen del modelo de estimación de la ecuación pavimentado

| Resumen del modelo ^{c,d,e} | | | | | | | |
|--|--|---|------------|---------------------|---------------------------------|--|---|
| Modelo | R | | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Estadístico de Durbin-Watson | |
| | Tipo de carretera = Pavimentado larga distancia (Seleccionado) | Tipo de carretera ~ Pavimentado larga distancia (Sin seleccionar) | | | | Tipo de carretera = Pavimentado larga distancia (Seleccionado) | Tipo de carretera ~ Pavimentado larga distancia (Sin seleccionar) |
| 1 | ,970 ^a | | 0,941 | 0,938 | 0,141522 | | |
| 2 | ,980 ^b | 0,884 | 0,960 | 0,957 | 0,117619 | 2,738 | 0,814 |
| a. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | | |
| b. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Presión registrada (psi) | | | | | | | |
| c. A menos que se indique lo contrario, las estadísticas se basan sólo en los casos para los cuales Tipo de carretera = Pavimentado larga distancia. | | | | | | | |
| d. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | | |
| e. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 53. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación pavimentado

| ANOVA ^{a,b,c} | | | | | | |
|--|-----------|-------------------|----|------------------|---------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regresión | 8,871 | 1 | 8,871 | 442,900 | ,000 ^d |
| | Residuo | 0,561 | 28 | 0,020 | | |
| | Total | 9,431 | 29 | | | |
| 2 | Regresión | 9,058 | 2 | 4,529 | 327,373 | ,000 ^e |
| | Residuo | 0,374 | 27 | 0,014 | | |
| | Total | 9,431 | 29 | | | |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | |
| c. Selección de casos sólo para los cuales Tipo de carretera = Pavimentado larga distancia | | | | | | |
| d. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |
| e. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Presión registrada (psi) | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 54. Variables excluidas en la estimación de la ecuación pavimentado

| Variables excluidas ^{a,b} | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------|--------|-------|---------------------|------------------------------|
| Modelo | | En beta | t | Sig. | Correlación parcial | Estadísticas de colinealidad |
| | | | | | | Tolerancia |
| 1 | Presión registrada (psi) | -,142 ^c | -3,679 | 0,001 | -0,578 | 0,981 |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | |
| c. Predictores en el modelo: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 55. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de ecuación pavimentado

| Estadísticas de residuos ^{a,b,c} | | | | | | | | | | |
|---|--|----------|----------|---------------------|----|---|---------|----------|---------------------|------|
| | Tipo de carretera = Pavimentado larga distancia (Seleccionado) | | | | | Tipo de carretera ≠ Pavimentado larga distancia (Sin seleccionar) | | | | |
| | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N |
| Valor pronosticado | 1,74158 | 2,51011 | 2,14242 | 0,249936 | 30 | 1,49289 | 2,55527 | 2,11112 | 0,282533 | 1872 |
| Residuo | -0,099183 | 0,108892 | 0,000000 | 0,050755 | 30 | -0,79253 | 0,41984 | -0,02037 | 0,163661 | 1872 |
| Valor pronosticado estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |
| Residuo estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | | | | | |
| c. Casos combinados | | | | | | | | | | |
| d. No se ha calculado para la regresión de mínimos cuadrados ponderados. | | | | | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 56. Coeficientes para la ecuación pavimentado

| Coeficientes ^{a,b,c} | | | | | | |
|--|--------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-------|
| Modelo | | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | | Sig. |
| | | B | Error estándar | Beta | t | |
| 1 | (Constante) | 2,532 | 0,022 | | 115,966 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,081 | 0,004 | -0,970 | -21,045 | 0,000 |
| 2 | (Constante) | 2,939 | 0,112 | | 26,228 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,083 | 0,003 | -0,990 | -25,588 | 0,000 |
| | Presión registrada (psi) | -0,004 | 0,001 | -0,142 | -3,679 | 0,001 |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | |
| c. Selección de casos sólo para los cuales Tipo de carretera = Pavimentado larga distancia | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 57. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación de regional

| Variables entradas/eliminadas ^{a,b,c} | | | |
|--|--------------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables entradas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | Periodo (15 días) ^d | | Entrar |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | |
| c. Los modelos sólo se basan en casos para los cuales Tipo de carretera = Regional | | | |
| d. Todas las variables solicitadas introducidas. | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 58. Resumen del modelo de estimación de la ecuación de regional

| Resumen del modelo ^{b,c,d} | | | | | | | |
|---|---|--|------------|---------------------|---------------------------------|---|--|
| Modelo | R | | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Estadístico de Durbin-Watson | |
| | Tipo de carretera = Regional (Seleccionado) | Tipo de carretera ~ = Regional (Sin seleccionar) | | | | Tipo de carretera = Regional (Seleccionado) | Tipo de carretera ~ = Regional (Sin seleccionar) |
| 1 | ,961 ^a | 0,935 | 0,924 | 0,924 | 0,228105 | 1,800 | 0,288 |
| a. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | | |
| b. A menos que se indique lo contrario, las estadísticas se basan sólo en los casos para los cuales Tipo de carretera = Regional. | | | | | | | |
| c. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | | |
| d. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 59. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación de regional

| ANOVA ^{a,b,c} | | | | | | |
|---|-----------|-------------------|-----|------------------|----------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regresión | 399,035 | 1 | 399,035 | 7669,021 | ,000 ^d |
| | Residuo | 32,988 | 634 | 0,052 | | |
| | Total | 432,024 | 635 | | | |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | |
| c. Selección de casos sólo para los cuales Tipo de carretera = Regional | | | | | | |
| d. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 60. Variables excluidas en la estimación de la ecuación de regional

| Variables excluidas ^{a,b} | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------|--------|-------|---------------------|--|
| Modelo | | En beta | t | Sig. | Correlación parcial | Estadísticas de colinealidad Tolerancia |
| 1 | Presión registrada (psi) | -,018 ^c | -1,658 | 0,098 | -0,066 | 1,000 |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | |
| c. Predictores en el modelo: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 61. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de la ecuación de regional

| Estadísticas de residuos ^{a,b,c} | | | | | | | | | | |
|---|---|----------|----------|---------------------|-----|---|----------|-----------|---------------------|------|
| | Tipo de carretera = Regional (Seleccionado) | | | | | Tipo de carretera != Regional (Sin seleccionar) | | | | |
| | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N |
| Valor pronosticado | 1,60060 | 2,63844 | 2,22633 | 0,332279 | 636 | 1,60060 | 2,63844 | 2,25165 | 0,309104 | 1266 |
| Residuo | -0,289910 | 0,280741 | 0,000498 | 0,096146 | 636 | -0,837402 | 0,178223 | -0,228041 | 0,115001 | 1266 |
| Valor pronosticado estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |
| Residuo estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal
b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos
c. Casos combinados
d. No se ha calculado para la regresión de mínimos cuadrados ponderados.

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 62. Coeficientes para la ecuación de regional

| Coeficientes ^{a,b,c} | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-------|
| Modelo | | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
| | | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 | (Constante) | 2,733 | 0,007 | | 393,501 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,094 | 0,001 | -0,961 | -87,573 | 0,000 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal
b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos
c. Selección de casos sólo para los cuales Tipo de carretera = Regional

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 63. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación de urbano

| Variables entradas/eliminadas ^{a,b,c} | | | |
|--|----------------------------------|----------------------|--|
| Modelo | Variables entradas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | Periodo (15 días) ^d | | Entrar |
| 2 | Carga promedio (Kg) ^d | | Entrar |
| 3 | Presión registrada (psi) | | Por pasos (Criterios: Probabilidad-de-F-para-entrar <= ,050, Probabilidad-de-F-para-eliminar >= ,100). |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal
b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos
c. Los modelos sólo se basan en casos para los cuales Tipo de carretera = Urbano
d. Todas las variables solicitadas introducidas.

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 64. Resumen del modelo de estimación de la ecuación de urbano

| Resumen del modelo ^{d,e,f} | | | | | | | |
|---|---|---|------------|---------------------|---------------------------------|---|---|
| Modelo | R | | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Estadístico de Durbin-Watson | |
| | Tipo de carretera = Urbano (Seleccionado) | Tipo de carretera ~= Urbano (Sin seleccionar) | | | | Tipo de carretera = Urbano (Seleccionado) | Tipo de carretera ~= Urbano (Sin seleccionar) |
| 1 | ,942 ^a | | 0,888 | 0,888 | 0,279241 | | |
| 2 | ,954 ^b | | 0,911 | 0,910 | 0,249374 | | |
| 3 | ,955 ^c | 0,947 | 0,912 | 0,911 | 0,248202 | 1,713 | 0,320 |
| a. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | | |
| b. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg) | | | | | | | |
| c. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg), Presión registrada (psi) | | | | | | | |
| d. A menos que se indique lo contrario, las estadísticas se basan sólo en los casos para los cuales Tipo de carretera = Urbano. | | | | | | | |
| e. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | | |
| f. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 65. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación de urbano

| ANOVA ^{a,b,c} | | | | | | |
|---|-----------|-------------------|------|------------------|----------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regresión | 683,986 | 1 | 683,986 | 8771,833 | ,000 ^d |
| | Residuo | 86,397 | 1108 | 0,078 | | |
| | Total | 770,383 | 1109 | | | |
| 2 | Regresión | 701,542 | 2 | 350,771 | 5640,566 | ,000 ^e |
| | Residuo | 68,841 | 1107 | 0,062 | | |
| | Total | 770,383 | 1109 | | | |
| 3 | Regresión | 702,248 | 3 | 234,083 | 3799,773 | ,000 ^f |
| | Residuo | 68,134 | 1106 | 0,062 | | |
| | Total | 770,383 | 1109 | | | |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | |
| c. Selección de casos sólo para los cuales Tipo de carretera = Urbano | | | | | | |
| d. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |
| e. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg) | | | | | | |
| f. Predictores: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg), Presión registrada (psi) | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 66. Variables excluidas en la estimación de la ecuación de urbano

| Variables excluidas ^{a,b} | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------|--------|-------|---------------------|------------------------------|
| Modelo | | En beta | t | Sig. | Correlación parcial | Estadísticas de colinealidad |
| | | | | | | Tolerancia |
| 1 | Carga promedio (Kg) | ,152 ^c | 16,802 | 0,000 | 0,451 | 0,991 |
| | Presión registrada (psi) | -,010 ^c | -1,003 | 0,316 | -0,030 | 0,998 |
| 2 | Presión registrada (psi) | -,031 ^d | -3,387 | 0,001 | -0,101 | 0,980 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal

b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos

c. Predictores en el modelo: (Constante), Periodo (15 días)

d. Predictores en el modelo: (Constante), Periodo (15 días), Carga promedio (Kg)

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 67. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de la ecuación de urbano

| Estadísticas de residuos ^{a,b,c} | | | | | | | | | | |
|---|---|----------|-----------|---------------------|------|---|----------|----------|---------------------|-----|
| | Tipo de carretera = Urbano (Seleccionado) | | | | | Tipo de carretera != Urbano (Sin seleccionar) | | | | |
| | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N |
| Valor pronosticado | 1,35144 | 2,43936 | 2,02587 | 0,307338 | 1110 | 1,35144 | 2,42974 | 1,98637 | 0,336492 | 792 |
| Residuo | -0,305627 | 0,413731 | -0,002300 | 0,098184 | 1110 | -0,247792 | 0,516248 | 0,200492 | 0,113079 | 792 |
| Valor pronosticado estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |
| Residuo estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal

b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos

c. Casos combinados

d. No se ha calculado para la regresión de mínimos cuadrados ponderados.

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 68. Coeficientes para la ecuación de urbano

| Coeficientes ^{a,b,c} | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|----------|-------|
| Modelo | | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | | Sig. |
| | | B | Error estándar | Beta | t | |
| 1 | (Constante) | 2,496 | 0,006 | | 407,665 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,094 | 0,001 | -0,942 | -93,658 | 0,000 |
| 2 | (Constante) | 1,643 | 0,051 | | 32,150 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,096 | 0,001 | -0,957 | -105,998 | 0,000 |
| | Carga promedio (Kg) | 0,000 | 0,000 | 0,152 | 16,802 | 0,000 |
| 3 | (Constante) | 1,720 | 0,056 | | 30,852 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,095 | 0,001 | -0,956 | -106,305 | 0,000 |
| | Carga promedio (Kg) | 0,000 | 0,000 | 0,156 | 17,180 | 0,000 |
| | Presión registrada | -0,001 | 0,000 | -0,031 | -3,387 | 0,001 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal

b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos

c. Selección de casos sólo para los cuales Tipo de carretera = Urbano

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 69. Variables de entrada y eliminadas para estimar la ecuación de mixto

| Variables entradas/eliminadas ^{a,b,c} | | | |
|---|--------------------------------|----------------------|--------|
| Modelo | Variables entradas | Variables eliminadas | Método |
| 1 | Periodo (15 días) ^d | | Entrar |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | |
| c. Los modelos sólo se basan en casos para los cuales Tipo de carretera = Mixto | | | |
| d. Todas las variables solicitadas introducidas. | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 70. Resumen del modelo de estimación de la ecuación de mixto

| Resumen del modelo ^{b,c,d} | | | | | | | |
|--|--|--|------------|---------------------|---------------------------------|--|--|
| Modelo | R | | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Estadístico de Durbin-Watson | |
| | Tipo de carretera = Mixto (Seleccionado) | Tipo de carretera ~= Mixto (Sin seleccionar) | | | | Tipo de carretera = Mixto (Seleccionado) | Tipo de carretera ~= Mixto (Sin seleccionar) |
| 1 | ,956 ^a | 0,891 | 0,915 | 0,914 | 0,227432 | 2,314 | 0,761 |
| a. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | | |
| b. A menos que se indique lo contrario, las estadísticas se basan sólo en los casos para los cuales Tipo de carretera = Mixto. | | | | | | | |
| c. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | | |
| d. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 71. Análisis de varianza desarrollado para estimar la ecuación de mixto

| ANOVA ^{a,b,c} | | | | | | |
|---|-----------|-------------------|-----|------------------|----------|-------------------|
| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| 1 | Regresión | 68,843 | 1 | 68,843 | 1330,939 | ,000 ^d |
| | Residuo | 6,414 | 124 | 0,052 | | |
| | Total | 75,257 | 125 | | | |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | |
| c. Selección de casos sólo para los cuales Tipo de carretera = Mixto | | | | | | |
| d. Predictores: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 72. Variables excluidas en la estimación de la ecuación de mixto

| Variables excluidas ^{a,b} | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------|--------|-------|---------------------|--|
| Modelo | | En beta | t | Sig. | Correlación parcial | Estadísticas de colinealidad Tolerancia |
| 1 | Presión registrada (psi) | -,003 ^c | -0,129 | 0,898 | -0,012 | 0,943 |
| a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal | | | | | | |
| b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos | | | | | | |
| c. Predictores en el modelo: (Constante), Periodo (15 días) | | | | | | |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 73. Estadísticas de los residuos en las estimaciones de la ecuación de mixto

| Estadísticas de residuos ^{a,b,c} | | | | | | | | | | |
|---|--|----------|-----------|---------------------|-----|---|----------|----------|---------------------|------|
| | Tipo de carretera = Mixto (Seleccionado) | | | | | Tipo de carretera = Mixto (Sin seleccionar) | | | | |
| | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N | Mínimo | Máximo | Media | Desviación estándar | N |
| Valor pronosticado | 1,47273 | 2,46441 | 1,99648 | 0,325291 | 126 | 1,47273 | 2,46441 | 2,09314 | 0,300499 | 1776 |
| Residuo | -0,340225 | 0,197180 | -0,000781 | 0,099732 | 126 | -0,680159 | 0,416998 | 0,005226 | 0,156405 | 1776 |
| Valor pronosticado estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |
| Residuo estándar ^d | | | | | 0 | | | | | 0 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal
b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos
c. Casos combinados
d. No se ha calculado para la regresión de mínimos cuadrados ponderados.

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Tabla 74. Coeficientes para la ecuación de mixto

| Coeficientes ^{a,b,c} | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-------|
| Modelo | | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
| | | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 | (Constante) | 2,555 | 0,018 | | 145,037 | 0,000 |
| | Periodo (15 días) | -0,090 | 0,002 | -0,956 | -36,482 | 0,000 |

a. Variable dependiente: Valor pronosticado de predictor lineal
b. Regresión de mínimos cuadrados ponderada - Ponderada por Registros obtenidos
c. Selección de casos sólo para los cuales Tipo de carretera = Mixto

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

Las ecuaciones para predicción del desgaste de la banda de rodaje de los neumáticos se esquematizan en la Tabla 75. Donde los valores de X1 son quincenales, de tiempo, X2 son los kilogramos promedio que soportará la llanta, en X3 se especifica la velocidad media a la que circulará el automotor y, X4 serán las libras por pulgada cuadrada (psi) con los que circulará la llanta.

Tabla 75. Constantes, coeficientes y variables de las ecuaciones para predicción del desgaste de la banda de rodamiento de neumáticos

| Modelo | Elemento | Periodo | Carga media | Velocidad media | Presión registrada |
|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------------|--------------------|
| | | (de 15 días) | (Kg) | (Km/h) | (psi) |
| | Constante | X1 | X2 | X3 | X4 |
| General | 1,273951 | -0,094479 | 0,000398 | 0,010506 | -0,000731 |
| Pavimentado | 2,939253 | -0,082894 | 0,000000 | 0,000000 | -0,003764 |
| Regional | 2,732791 | -0,094350 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 |
| Urbano | 1,720238 | -0,095403 | 0,000357 | 0,000000 | -0,000962 |
| Mixto | 2,554561 | -0,090152 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 |

Fuente: Resultados obtenidos con el software IBM SPSS

4.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

4.2.1. Variables de la hipótesis específica 1

Relativamente la duración de los neumáticos reencauchados en aplicación regional es mayor que en los nuevos; en contraposición estos tienen una vida útil mayor en aplicaciones de larga distancia. Pero en específico, de acuerdo con los resultados obtenidos y analizando los kilometrajes promedio por marca de neumático según el tipo de carretera en que se utilizan, y las fallas más comunes en llantas según su marca y aplicación, se tendría que, para las llantas nuevas, en carreteras pavimentadas de larga distancia las de mayor duración son las Michelin con una vida útil efectiva estimada de 70000 Km (siendo 68000 el promedio registrado), y cuando presentan fallas, el 51.2% de las veces son de fábrica, usualmente aplicable a reclamos por garantía de acuerdo con los registros obtenidos para este estudio.

En vías regionales los neumáticos que más duran son los Bridgestone con una media de 83000 Km (siendo 53000 el promedio registrado), y en caso de fallas, el 15.8% de las veces es por baja resistencia a los impactos. En tramos mixtos las llantas más durables serían las Jis Saph con un promedio de 84000 Km esperado (siendo 38000 el promedio registrado), y la falla más común que presentan suele ser formaciones de ampollas por calor (35.3% de las veces). Para los recorridos urbanos, las mejores opciones serían Barum y General Tire, con un estimado de 59000 y 45000 Km respectivamente (siendo 38000 el promedio registrado), y la falla que podrían presentar ambas marcas es la baja resistencia a la penetración en la banda de rodamiento, el 27.6 y 18.7% de las veces en cada caso.

Para los neumáticos reencauchados, en vías pavimentadas de larga distancia y en las de tipo regional la mayor durabilidad la evidencia Bandag con 56000 y 55000 Km en promedio respectivamente (siendo 53000 el promedio registrado), en caso de fallas presenta desprendimiento de banda el 30.0 y 45.8% de las veces para cada caso. En tramos mixtos, los neumáticos reencauchados de los buses de transporte llegan a durar 40000 Km con la marca Indelband (en este caso el promedio registrado no es superado), pudiéndose presentar problemas de desprendimiento de banda el 31.3 % de las veces que se presenta un desperfecto.

En trayectos urbanos los reencauches que tienen más duración son de la marca Bandag, con 55000 Km (siendo 38000 el promedio registrado), las ocasiones que evidencian fallas pueden ser de desgaste excesivo o por baja resistencia a la penetración el 27% de las ocasiones en ambos casos. Considerando la proporcionalidad inversa de la duración en kilometraje de los neumáticos con los datos obtenidos en el estudio, los promedios y los recomendados, las emisiones de carbono se reducirían en un 25.8% la cantidad actual, es decir, de 87 a 64.6 Ton/año.

Esto último se determina teniendo en cuenta que los neumáticos que transitan en carreteras pavimentadas de larga distancia son el 22.3% del total, las regionales 23.1%, los tramos mixtos 12.4% y, los urbanos 42.2%; además de que las carcassas de las llantas generan el 68.18% de la contaminación y las bandas de rodamiento el otro 31.82%; y, contrastando los promedios de duración o vida útil de las llantas con las estimadas al usar las marcas recomendadas. Esto resulta en una reducción del 30.8% las emisiones contaminantes de las carcassas y 15.08% de las bandas de rodamiento. También existe un beneficio económico que no es detallado en el presente estudio. En definitiva, dejarían de circular 22.44 Ton/año de emisiones de carbono, beneficiando muy considerablemente nuestro ecosistema.

4.2.2. Variables de la hipótesis específica 2

La medida de neumático que presenta el menor desgaste de banda de rodamiento en promedio es la 235/75R17.5, comúnmente aplicada en buses livianos que circulan en carreteras regionales y mixtas, con una masa media de 9 toneladas. Para estas aplicaciones, la mejor opción según nuestros resultados, puede ser la marca Double Coin modelo RT 500, con una media de desgaste quincenal de 1.743 mm, ply rating (clasificación de capa) 16 (H), índice de carga máxima singular 2725 Kg (143) y dual 2575 Kg (141), índice de velocidad máxima 110 Km/h (K). En unidades de transporte con masa similar (9 Ton) que circulen en carreteras pavimentadas de larga distancia, la opción puede ser la marca Daewoo, modelo DW317, media de desgaste cada dos semanas de 1.74 mm, ply rating 16, índice de carga simple 2575 Kg y dual 2500 Kg (140), índice de velocidad 100 Km/h (J), acorde a los requerimientos en este tipo de buses de transporte de pasajeros (Double Coin, 2016; Triangle, 2015).

En buses de mayor peso, para aplicación en carreteras asfaltadas de larga distancia la mejor opción, según nuestros resultados, es la marca Fullrun modelo TB 766 medida 275/80R22.5 con un ritmo de desgaste promedio de 1.73 mm, con clasificación de capa de 16, índice de carga máxima 3250 Kg (149) singular y 3000 Kg (146) dual, y un índice de velocidad máxima 130 Km/h (M). Relativamente la duración de los neumáticos para aplicación regional es mayor en la marca General Tire modelo S370 medida 275/80R22.5, con un ritmo de desgaste promedio de 1.879 mm cada quince días a lo largo de su vida útil, siendo mayor al principio y menor al final. El diseño de corona recomendado es para uso regional y urbano; la diferencia con la marca anterior es el índice de velocidad que es de 120 Km/h (L). Estos valores se apegan a los requerimientos de la mayoría de las unidades de transporte urbano y regional que circulan en la provincia de El Oro, donde estas unidades típico tienen una masa promedio de 15 Ton (Continental, 2016; Triangle, 2015).

Y para uso en vías mixtas destaca la marca Advance modelo GL 665 A, medida 315/80R22.5, clasificación de capa 14 (G), índice de carga 3750 Kg (154) singular y 3350 Kg (150) dual, y un índice de velocidad 110 Km/h máximo. Nótese que los índices de velocidad podrían ser menores tanto para los usos regional como los mixtos, pues los buses que circulan por estas rutas no suelen desarrollar más de 90 Km/h, siendo el límite de velocidad habitual de 60 Km/h. Sin embargo, los resultados apuntan a una marca y modelo de neumático existente (Bridgestone, 2019; Continental, 2016; Double Coin, 2016; Triangle, 2015).

Para los modelos de regresión desarrollados con el software IBM SPSS, en la determinación de las constantes, coeficientes y variables presentes en las ecuaciones para predicción del desgaste de la banda de rodamiento presentadas en la Tabla 74, algunas variables son constantes o tienen correlaciones no significativas y se suprimen del análisis (la ecuación general está detallada en la Tabla 50). Los análisis de varianza permitieron determinar, con una significancia de 0.01, los modelos que mejor se ajustaban a las variables consideradas. En la Tabla 47 se detalla una de estas pruebas estadísticas, la que corresponde para la obtención de la ecuación general (D. Montgomery et al., 2012; Rubio Hurtado & Berlanga Silvestre, 2012).

En el caso de las ecuaciones para predecir el desgaste de las llantas aplicadas en carreteras pavimentadas de larga distancia, se consideran constantes los valores de carga y velocidad media, 2500 Kg y 60Km/h respectivamente. En uso regional y en mixto también se considera constante o no significativa la presión de inflado. Esto último no es inusual para el presente estudio, pues este factor fue controlado periódicamente. Y, para aplicaciones urbanas la variable velocidad media es la única considerada constante o no significativa (X. Chen et al., 2018; Svendenius, 2007).

Cuando se pronostique el desgaste promedio de la banda de rodaje que tendrá un neumático en función de la carga promedio, velocidad media y presión de inflado, hay que tener en cuenta que los diferentes tipos de carretera por la que circulan los neumáticos inciden en su consumo, pues el desgaste de la banda de rodaje de los neumáticos se produce por la fricción, la cual consume energía en forma de calor, degradando el caucho del que se componen las llantas. Un aumento de la velocidad de recorrido incrementa la capacidad de deformación del neumático por generación de calor, lo que resulta en más temperatura en la banda de rodadura y mayor ritmo de desgaste del neumático. Esta consideración lleva a suponer que las llantas se desgastan más en temporadas calurosas (X. Chen et al., 2018; Li et al., 2012).

4.3. Pruebas de hipótesis

4.3.1. Pruebas de las hipótesis específicas

Hipótesis específica 1.

Para comprobar que la estimación del tipo de neumático adecuado para cada aplicación permite reducir la cantidad de llantas desechadas y la contaminación producida por este elemento, los datos presentados en la Tabla 1 y los elementos de cálculo desarrollados en el apartado 4.1.1, sobre las variables de la hipótesis específica 1. Se pueden calcular las cantidades de neumáticos y de emisiones contaminantes (ambos medidos en toneladas) que pueden ser contrarrestadas aplicando los tipos de neumáticos recomendados, tanto nuevos como reencauchados. Estos números se redactan en la Tabla 76, donde las cantidades aproximadas están en toneladas métricas, excepto aquellas que representan porcentajes.

Tabla 76. Cantidades de emisiones contaminantes que pueden ser contrarrestadas aplicando los tipos de neumáticos recomendados

| Elementos | Porcentaje | Cantidad actual | Porcentaje estimado | Cantidad estimada | Reducción en porcentaje | Reducción en toneladas |
|-------------------------------|------------|-----------------|---------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|
| Toneladas de emisiones de CO2 | 100,00% | 87,00 | 74,20% | 64,56 | 25,80% | 22,44 |
| Llanta nueva | 68,18% | 59,32 | 69,20% | 41,05 | 30,80% | 18,27 |
| Reencauche | 31,82% | 27,68 | 84,92% | 23,51 | 15,08% | 4,17 |

Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes en que se reducirían las toneladas de emisiones contaminantes (25.8%), y neumáticos nuevos (30.8%) y reencauchados (15.08%) es representativa, y los beneficios son tanto medioambientales como económicos. Con lo cual, quedaría demostrada la hipótesis específica 1.

Hipótesis específica 2.

Para validar que la incorrecta presión de inflado, sobrecarga y malas condiciones de operación de los neumáticos reducen su tiempo de vida útil, podemos utilizar los resultados de los análisis de varianza presentados en las Tablas 47, 53, 59, 65 y 71, con el criterio de interpretación:

- Hipótesis nula: Las variables incluidas en el modelo no tienen relación entre sí. Significancia mayor a 0.01.
- Hipótesis alterna: Las variables incluidas en el modelo si tienen relación entre sí. Significancia igual o menor a 0.01.

En todos los casos la significación es menor a 0.01, entonces la hipótesis nula debe rechazarse. Luego, los coeficientes mostrados en las Tablas 50, 56, 62, 68 y 74, permiten corroborar la relación que tienen las variables que integran el modelo de ecuación con la variable dependiente, es decir, el ritmo de desgaste de las bandas de rodamiento de las llantas. En todas las tablas mencionadas la constante es positiva, el periodo tiene coeficiente negativo, relación inversamente proporcional, lo que significa que conforme pasa el tiempo de uso, el ritmo de desgaste es menor. Los neumáticos se gastan más cuando están nuevos, y tienen menor desgaste cuando ya han sido o están siendo usados.

Los coeficientes de la carga promedio son positivos, relación directamente proporcional, lo que indica que a mayor carga sobre el neumático se acelera el desgaste del neumático. Esto se debe al incremento en la tracción del neumático y la deformación que sufre en caso de sobrepeso. Los coeficientes de la velocidad media también son positivos, lo cual sugiere que mientras mayor sea la velocidad de desplazamiento de una unidad de transporte, esta sufrirá más desgaste en sus llantas por la fricción y el incremento de la temperatura en el neumático. En el caso de la presión de inflado, los coeficientes son negativos, relación inversa, a menor presión en los neumáticos mayor desgaste; esto se debe a la deformación del neumático cuando no tiene la presión indicada o recomendada por el fabricante.

Debido a lo anterior quedaría demostrado que la presión de inflado, sobrecarga y malas condiciones de operación (como el exceso de velocidad) de los neumáticos incrementar su desgaste, reduciendo su tiempo de vida útil, es decir, que se comprueba la hipótesis específica 2.

4.3.2. Prueba de la hipótesis general

Para demostrar que la implementación de un control de los factores que afectan la vida útil de los neumáticos de los buses de transporte contribuirá a reducir la cantidad de llantas desechadas y su consecuente emisión contaminante, partimos de que las dos hipótesis específicas planteadas para la presente tesis se han validado y, que al aplicar las ecuaciones de predicción del desgaste de un neumático, presentada en la Tabla 75, se puede verificar la interacción de los factores que afectan la vida útil de la llanta, por tanto, al controlar estos factores rinden más tiempo los neumáticos.

Por ejemplo, en llantas aplicadas en carreteras pavimentadas de larga distancia, si se controlan todos los factores, el ritmo de desgaste es mayor que para el resto de aplicaciones (de acuerdo con la constante), lo que puede obedecer al incremento en la temperatura del neumático porque la velocidad en las vías pavimentadas en largos trayectos es mayor. Mientras que, el menor desgaste se daría en aplicación urbana pues la velocidad media de recorrido es baja, además, suele llevarse un mejor control de las presiones de inflado.

V. CONCLUSIONES

Se ha logrado determinar los factores controlables que permiten reducir de forma significativa la generación de neumáticos desechados por los buses de transporte y su consecuente emisión contaminante. La velocidad de recorrido, la carga soportada y la presión de inflado tienen un efecto significativo en el desgaste de los neumáticos y son sus principales factores de impacto. El modelo establecido para estimar el ritmo de desgaste de los neumáticos es factible, y los resultados pueden reflejar las condiciones de mejor uso o incremento de su vida útil, lo que proporciona una base teórica para predecir el desgaste que experimentarán las llantas en diferentes tipos de aplicación y condiciones de manejo o funcionamiento.

Este objetivo se alcanza, en primera instancia, al lograr estimar las características que deben tener los neumáticos de los buses de transporte para reducir la cantidad de llantas desechadas y la contaminación que estas producen. En este sentido, se lograron identificar las principales marcas de neumáticos utilizados por los buses de transporte y las fallas más comunes que se producen en estos, determinando las marcas de mayor duración, tanto de llantas nuevas como de reencauchadas. Además, se estimó la cantidad de emisiones contaminantes de carbono que se podrían evitar, tomando como referencia los neumáticos que circulan en provincia de El Oro con tipos de carretera pavimentada de larga distancia, regional, mixta o tramos de asfalto-tierra y, urbano.

Al lograr mantener una carga promedio constante, con similares condiciones de manejo y en las mismas rutas de transporte, los resultados presentados son generalizables a nivel nacional. Usando los indicadores de tipo de carretera, fallas más comunes y kilometraje recorrido por los neumáticos, se pudo establecer el beneficio medioambiental en caso de usar las marcas de mayor duración determinadas, siendo estas las Michelin, Bridgestone, Jis Saph y Barum según su aplicación como neumáticos por tipo de carretera. En el caso de los servicios de reencauche se recomendaron Bandag para todas las aplicaciones excepto en tramos mixtos donde la mejor podría ser Indelband.

También se llegó a verificar el mayor kilometraje registrado de acuerdo con la marca y tipo de carretera y, complementar esta información analizando las fallas más

comunes por marca de neumático, logrando así determinar la cantidad de emisiones contaminantes que se pueden evitar con sólo usar las marcas con mayor vida útil efectiva. Los desperfectos que podrían presentar de forma típica serían los de baja resistencia a los impactos o a la penetración, ampollas producidas por el recalentamiento y, las fallas de fábrica en neumáticos nuevos; en reencauches podrían presentarse problemas de desgaste excesivo o de desprendimiento de banda. Sin embargo, la mayoría de estos problemas se pueden evitar con un adecuado control de los factores que afectan el desgaste de la llanta, como la presión de inflado recomendado por el fabricante, y mejorando las condiciones de manejo.

Por otra parte, el objetivo general planteado también se ha conseguido al haber podido discriminar aquellos factores controlables más representativos que afectan el tiempo de vida útil de los neumáticos aplicados en buses de transporte. Con los resultados obtenidos se ha logrado discriminar esos factores controlables que afectan la duración de las llantas aplicadas en buses de transporte de personas. Esto, en función del ritmo de desgaste de la banda de rodamiento, verificando que la incorrecta presión de inflado, la sobrecarga y malas condiciones de operación de los neumáticos reducen su tiempo de vida útil.

En unidades livianas de transporte, los neumáticos medida 235/75R17.5 demuestran un menor desgaste por kilómetro recorrido, destacando el modelo RT 500 para aplicación en carreteras regionales y mixtas. Para uso en vías pavimentadas de larga distancia presenta menor ritmo de desgaste el modelo de neumático DW 317. En buses de 18 toneladas que circulen en carreteras con tramos pavimentados y destapados, una buena alternativa sería el modelo GL 665 A, medida 315/80R22.5.

Los análisis de varianza y modelos de regresión de mínimos cuadrados ponderada permitieron estimar ecuaciones para determinar el ritmo de desgaste de una llanta en un tiempo determinado, con una presión de inflado, carga y velocidades medias de recorrido preestablecidas. En algunos casos varios de estos factores fueron no significativos según las condiciones de manejo. Un claro ejemplo de esto fue para buses de recorrido regional y mixto, pues las presiones de inflado, carga soportada y velocidad media son bastante regulares. Además, en el establecimiento de los modelos no se presentaron sesgos de datos.

A pesar de haber sido un factor controlado, la presión de inflado de los neumáticos influye en su funcionamiento; el desgaste de los neumáticos disminuye a medida que su rigidez aumenta, la deformación del neumático se limita y la generación de calor disminuye. Además de esto, el desgaste de los neumáticos es afectado de forma directa con el aumento de la carga que deben soportar. La sobrecarga en las unidades de transporte elevará el desgaste de las llantas, por lo que la condición de sobrecarga debería ser evitada.

VI. RECOMENDACIONES

Al llevar un control periódico de la presión de inflado de un neumático, las condiciones mecánicas y de manejo de la unidad de transporte, podremos detectar a tiempo si se produce un desgaste irregular o excesivo de la banda de rodadura. En el presente documento se facilita una herramienta de cálculo mediante ecuaciones sencillas para estimar el desgaste normal que debería tener la llanta. Al reducir el consumo y descarte de neumáticos estamos reduciendo el impacto ambiental negativo que significa para el medioambiente la degradación de estos materiales.

Los diferentes fabricantes de neumáticos proveen tablas de presiones recomendadas para las distintas medidas de llantas, aunque éstas traen inscrita como referencia el índice de presión máxima de inflado, medida en psi. No obstante, cabe recalcar que una presión muy alta también ocasiona problemas al neumático, pues ve afectada su geometría, produciendo un desgaste irregular en la banda. El efecto suele ser más grave cuando se tiene mantiene las llantas con una presión inferior a la recomendada.

Es importante poder entender los diferentes índices que llevan grabados los neumáticos. Por ejemplo, estos tienen especificado un índice de carga, para que se respete este valor y no sea sobrepasado, lo que podría provocar una falla en la llanta, reduciendo su esperanza de vida. Asimismo, el índice de velocidad informa el límite que puede tolerar el neumático antes de fallar. Sin embargo, no es recomendable guiarse de este valor, pues circular al máximo de velocidad admitido provoca daños al

neumático por la generación del calor por fricción, afectando la estructura del caucho y provocando un desgaste prematuro.

El diseño de corona aplicado debe ser acorde al tipo de recorrido habitual que tiene el bus. No hay que guiarse por su profundidad, precio o estética, porque muchas de las fallas más comunes de las llantas están asociadas con una mala selección del modelo de llanta o su diseño de labrado. El kilometraje total de recorrido de los neumáticos será mayor si se usa el tipo de llanta adecuado para cada uso de acuerdo con sus características, pues su ritmo de desgaste será reducido.

Para contrarrestar la cantidad de llantas desechadas, la solución no es simplemente reencaucharla o relabrarla (regrabar los surcos de la banda), o buscar los neumáticos más costosos o con una buena profundidad de surco, sino mantener al neumático en las mejores condiciones de operación; la presión correcta, sin sobrecarga en la unidad de transporte, respetando los límites de velocidad, rotando las llantas periódicamente y teniendo al vehículo en buenas condiciones mecánicas.

Reducir las emisiones contaminantes que producen los neumáticos fuera de uso es responsabilidad de todos. Mientras existan las llantas de caucho tendremos que buscar métodos para sacarles el máximo provecho y que no terminen prematuramente en la basura. Buscar una alternativa a los neumáticos de caucho sigue siendo un reto para la tecnología actual. Pero podemos buscar minimizar el uso de caucho, reemplazándolo con materiales que sean más amigables con el medio ambiente.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abreu, C., Echeverría, M., Echeverría, C., Ortega, A., & García, H. (2018). Fabricación de cubiertas impermeabilizantes a partir de material reciclado. In J. F. Silva Gomes (Ed.), *Proceedings of the 1st Iberic Conference on Theoretical and Experimental Mechanics and Materials / 11th National Congress on Experimental Mechanics* (pp. 809–816). Porto, Portugal: INEGI/FEUP. <https://doi.org/ISBN:978-989-20-8771-9>
2. Aguilar, H. C. (2000). El Parque Industrial de Arequipa y su significancia local y regional. *Revista Geográfica*, 39 - 89.
3. Angarita Ortiz, Y., & Zorro Coronel, F. (2011). *Investigación para conocer la situación del mercado de reencauche de Automundial en la Regional Santanderes*. Bucaramanga: Universidad de la Sabana.

4. Adams, S., & Nsiah, C. (2019). Reducing carbon dioxide emissions; Does renewable energy matter? *Science of The Total Environment*, 693, 133288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.094>
5. Aguado Alonso, L. (2010). *Reciclado de neumáticos para la fabricación de láminas impermeabilizantes en la construcción*. E.U. de Arquitectura Técnica. Retrieved from <http://oa.upm.es/5497/>
6. Apolo, N., Chavez, M., Rueda, N., & Sarmiento, C. (2018). Estudio de factibilidad para la implementación de una planta reencauchadora de llantas en la región sur del Ecuador. *Revista Espacios*, 39(24), 24. Retrieved from <http://www.revistaespacios.com/a18v39n24/18392424.html>
7. Asociación de Academias de la Lengua Española. (2020). Real Academia Española. Retrieved from <https://dle.rae.es/contaminante?m=form>
8. B&J Rocket Sales AG. (2008). *Buffing Texture*. Obtenido de www.bj-rocket.com: http://www.bj-rocket.com/media/upload/file/BJ-School/2_4_%20BJ%20Buffing%20Setup%202008.pdf
9. Beliczky, L., & Fajen, J. (2000). Industria del Caucho. En I. Químicas, ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO (pág. 20). Mexico: Editorial.
10. Berrones, V. (09 de Septiembre de 2011). Diario El Universo. Obtenido de www.eluniverso.com: <http://www.eluniverso.com/2011/09/09/1/1356/arranca-campana-reencauche-llantas.html>
11. Binder, S., Macfarlane, G. S., Garrow, L. A., & Bierlaire, M. (2014). Associations among household characteristics, vehicle characteristics and emissions failures: An application of targeted marketing data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 59, 122–133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.11.005>
12. Biris, S. S., Ungureanu, N., Maican, E., Murad, E., & Vladut, V. (2011). Fem model to study the influence of tire pressure on agricultural tractor wheel deformations. *Engineering for Rural Development*, 26, 223–228. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/278029685_FEM_model_to_study_the_influence_of_tire_pressure_on_agricultural_tractor_wheel_deformations
13. Bridgestone. (2012). Catálogo de productos. Mexico D.F.: Bridgestone. Retrieved from www.bridgestone.com.mx
14. Bridgestone. (2019). Catálogo de Renovado. Mexico D.F.: Bandag. Retrieved from [https://www.bridgestonecomercial.com.mx/content/dam/bcs-latam-sites/bridgestone-commercial/PDFS/Catálogo Bandag Light_1.pdf](https://www.bridgestonecomercial.com.mx/content/dam/bcs-latam-sites/bridgestone-commercial/PDFS/Catálogo%20Bandag%20Light%201.pdf)
15. Brom, J. (2012). *Para comprender la historia*. México: Penguin Random House Grupo Editorial.
16. Brown, R. (2009). *50 Years of Polymer Testing*. Shawbury: Smithers Rapra.
17. Cámara de Comercio de Bogotá. (Septiembre de 2006). Guía para el manejo de llantas usadas. *Un sector transporte con operación más limpia*. Bogotá, Colombia: Editorial Kimpres Ltda.
18. Cano Serrano, E., Cerezo García, L., & Urbina Fraile, M. (2007). *Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso*. Madrid: Elecé Industria Gráfica.
19. Carballo, S. (2007). Planta de reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU). *Plan de Negocio*. Badajoz, Lobón, España: POLCAEX.
20. Castro, G. (2007). *Reutilización, Reciclado y Disposición Final de Neumáticos*. Buenos Aires: Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.
21. Castro, G. (2008). *Materiales y Compuestos para la Industria del Neumático*. Buenos Aires: Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.

22. Chang, X., Huang, H., Jiao, R., & Liu, J. (2020). Experimental investigation on the characteristics of tire wear particles under different non-vehicle operating parameters. *Tribology International*, *150*, 106354. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106354>
23. Chen, X., Xu, N., & Guo, K. (2018). Tire wear estimation based on nonlinear lateral dynamic of multi-axle steering vehicle. *International Journal of Automotive Technology*, *19*(1), 63–75. <https://doi.org/10.1007/s12239-018-0007-2>
24. Chen, Z., & Hamilton, T. (2020). What is driving corporate social and environmental responsibility in China? An evaluation of legacy effects, organizational characteristics, and transnational pressures. *Geoforum*, *110*, 116–124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.02.004>
25. Colfecar. (2014). *Reciclaje de llantas: Maximizar su vida útil y desecharlas correctamente*. *Colefecar Estudios Economicos*. Bogotá. Retrieved from https://nanopdf.com/download/enero-2015-informe-reciclaje-de-llantas_pdf
26. Continental. (2016). Catálogo 2016. Mexico D.F.: Continental Tire México. Retrieved from <https://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/646948/1f4faeb76b29ff7f8a8a85e72a14dbb9/catálogo-camión-2016-data.pdf>
27. Continental AG. (Enero de 2009). *Neumáticos para vehículos comerciales. Consejos para optimizar el rendimiento kilométrico*. Hannover, Alemania: Continental AG.
28. Crowther, B. (2003). *Handbook of Rubber Bonding*. *Rapra Review Reports*. Shawbury, Shrewsbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
29. Dabić-Ostojić, S., Miljuš, M., Bojović, N., Glišović, N., & Milenković, M. (2014). Applying a mathematical approach to improve the tire retreading process. *Resources, Conservation and Recycling*, *86*, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.02.007>
30. Dabic-Ostojic, S., Momcilo, M., Nebojsa, B., Natasa, G., & Milos, M. (2014). Applying a mathematic approach to improve the tire retreading process. *Resources, Conservation and Recycling*, 107-117.
31. Datta, R. N. (2002). *Rubber Curing Systems*. *Rapra Review Reports*. Shawbury, Shrewsbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
32. Deb Nath, S. K., Ahmed, S. R., Kim, S. –G., & Wong, C. H. (2011). Effect of Tire Material on the Prediction of Optimum Tire-Tread Sections. *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics*, *12*(6), 290–302. <https://doi.org/10.1080/15502287.2011.615789>
33. Departamento de Sociología de la Universidad Complutense de Madrid. (2013). Análisis de regresión lineal: El procedimiento Regresión lineal. *Guía Para El Análisis de Datos*, 67. Retrieved from http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/datos_multivariante.htm
34. Diario El Comercio. (22 de Septiembre de 2012). La Revolución del Reencauche. *Suplemento Comercial*, pág. 12.
35. Double Coin. (2016). Libro de datos y referencias de neumáticos para camiones. Monrovia. Retrieved from <https://www.doublecointires.com/wp-content/uploads/Double-Coin-TBR-Data-Book-Spanish.pdf>
36. E. Bruce Colby, G. S. (2014). *Estados Unidos Patente n° US8636044 B2*.
37. E. Bruce Colby, G. S. (2014). *Estados Unidos Patente n° US8651152 B2*.
38. E. Bruce Colby, G. S. (2014). *Estados Unidos Patente n° US8826952 B2*.
39. Ejsmont, J. A., Ronowski, G., Świczko-Żurek, B., & Sommer, S. (2016). Road

- texture influence on tyre rolling resistance. *Road Materials and Pavement Design*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1160835>
40. El Universo. (2018, June 3). 2,4 millones de neumáticos se desechan cada año en Ecuador. *Ecología*, p. Vida. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/vida/2018/06/03/nota/6790121/24-millones-neumaticos-se-desechan-cada-ano-pais>
 41. Environmental Protection Agency. (Diciembre de 2010). Scrap Tire Handbook on Recycling Management. *Scrap Tires: Handbook on Recycling Applications and Management for the U.S.A. and México*. Washington, Estados Unidos de América: United States Environmental Protection Agency.
 42. Fæhn, T., & Holmøy, E. (2003). Trade liberalisation and effects on pollutive emissions to air and deposits of solid waste. A general equilibrium assessment for Norway. *Economic Modelling*, 20(4), 703–727. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0264-9993\(02\)00004-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0264-9993(02)00004-4)
 43. Fernanda, C. L., V., B. M., & Daniel, M. J. (2015). Transformación termoquímica de neumáticos usados en una sola etapa en atmósfera de CO₂ para la obtención de carbón activado y comparación con el obtenido en dos etapas. *Investigaciones Aplicadas*, 9(1), 57–69. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5230980.pdf>
 44. Francois Chamoy, C. (2004). *Francia Patente n° US6824633 B2*.
 45. Francois Chamoy, C. (2005). *Francia Patente n° US6916163 B2*.
 46. Gagol, M., Boczkaj, G., Haponiuk, J., & Formela, K. (2015). Investigation of volatile low molecular weight compounds formed during continuous reclaiming of ground tire rubber. *Polymer Degradation and Stability*, 119, 113–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.05.007>
 47. García Carvajal, S. (2011). Planta de Reencauche para el Ejército Nacional. *Universidad Militar Nueva Granada*, 8.
 48. Gavilanes Triviño, J. (2013). *Proyecto de Implementación de una Planta Reencauchadora de Neumáticos para Transporte Pesado*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32447>
 49. Generalitat De Catalunya, & Comisión Interdepartamental del Cambio Climático. (2011). *Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Oficina Catalana del Canvi Climàtic* (Vol. 1). Catalunya. Retrieved from <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>
 50. González, M. J., & Vélez Carrera, F. (2014). *Modelo Óptimo de Mantenimiento de Neumáticos en Flotas de Transporte: Caso Tedasa*. Universidad del Azuay. Retrieved from <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3442>
 51. Grigoratos, T., Gustafsson, M., Eriksson, O., & Martini, G. (2018). Experimental investigation of tread wear and particle emission from tyres with different treadwear marking. *Atmospheric Environment*, 182, 200–212. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.049>
 52. Grupo Banco Mundial. (2019). Intensidad de CO₂ (kg de uso de energía por kg de equivalente de petróleo). <https://doi.org/EN.ATM.CO2E.EG.ZS>
 53. Guerra Burbano, L. (2011). *Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa reencauchadora de llantas para buses y camiones en la ciudad de Quito*. Quito: Universidad Tecnológica Israel.
 54. Guo, Y., Chen, Z., Stuart, A., Li, X., & Zhang, Y. (2020). A systematic overview of transportation equity in terms of accessibility, traffic emissions, and safety

- outcomes: From conventional to emerging technologies. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 100091. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100091>
55. Gupta, T., Chaudhary, S., & Sharma, R. K. (2016). Mechanical and durability properties of waste rubber fiber concrete with and without silica fume. *Journal of Cleaner Production*, 112, 702–711. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.081>
 56. H.B. Plus Bandamatic. (2018). Tread designs. Mexico D.F.: HB Plus Bandamatic. Retrieved from www.hbplusbandamatic.com
 57. Han, R., Yu, B.-Y., Tang, B.-J., Liao, H., & Wei, Y.-M. (2017). Carbon emissions quotas in the Chinese road transport sector: A carbon trading perspective. *Energy Policy*, 106, 298–309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.071>
 58. Hanova, J., & Dowlatabadi, H. (2007). Strategic GHG reduction through the use of ground source heat pump technology. *Environmental Research Letters*, 2, 8. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/044001>
 59. Heras Barras, C. (2010). Estudio del comportamiento dinámico de la banda de rodadura de un neumático. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10016/10785>
 60. Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (M. Rocha Martínez, Ed.) (6th ed.). Mexico D.F.: Mc Graw Hill. Retrieved from https://www.academia.edu/24985940/Metodología_de_la_Investigación_-_Roberto_Sampieri_6ta_Ed
 61. Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw-Hill.
 62. Hidalgo Cárdenas, J., & Villacís Cabrera, C. (2012). *Implementación de una empresa privada de reencauche de llantas en la ciudad de Guayaquil, para el sector de transporte público y pesado*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
 63. Hong, S., Erdogan, G., Hedrick, K., & Borrelli, F. (2013). Tyre - road friction coefficient estimation based on tyre sensors and lateral tyre deflection: modelling, simulations and experiments. *Vehicle System Dynamics*, 51(5), 627–647. <https://doi.org/10.1080/00423114.2012.758859>
 64. Industrias Michelin S.A. de C.V. (2013). Guía Michelin X One. Querétaro: Industrias Michelin S.A. de C.V. Retrieved from https://michelinb2b.com.mx/my_documents/20131121161217.pdf
 65. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (Mayo de 2011). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2581:2011. *Neumáticos Reencauchados. Definiciones y Clasificación*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
 66. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2582:2011. *Neumáticos Reencauchados. Proceso de Reencauche. Requisitos*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
 67. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (Julio de 2012). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2616:2012. *Neumáticos Reencauchados. Métodos de Ensayo*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
 68. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (29 de Mayo de 2012). Proceso de Reencauche de Neumáticos. *Reglamento Técnico Ecuatoriano INEN 067:2012*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
 69. International Organization for Standardization (ISO). (2005). Norma Internacional ISO 9000:2005. *Sistemas de gestión de calidad - Fundamentos y vocabulario*. Ginebra, Suiza: ISO 2005.

70. International Organization for Standardization (ISO). (15 de Noviembre de 2008). Norma Internacional ISO 9001:2008. *Sistemas de gestión de calidad - Requisitos*. Ginebra, Suiza: ISO 2008.
71. International Trade Centre. (2018). List of supplying markets for a product imported by Ecuador. <https://doi.org/www.trademap.org>
72. Jean, M. Saint. (2008). Polluting emissions standards and clean technology trajectories under competitive selection and supply chain pressure. *Journal of Cleaner Production*, 16(1), S113–S123. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.10.009>
73. Jiang, Q., Yang, S., Tang, P., & Bao, L. (2020). Promoting the polluters? The competing objectives of energy efficiency, pollutant emissions, and economic performance in Chinese municipalities. *Energy Research & Social Science*, 61, 101365. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101365>
74. Kant, I. (2003). *Critica de la razón pura*. (Editorial del Cardo, Ed.), *Biblioteca Virtual*. Biblioteca Virtual Universal. Retrieved from <http://www.biblioteca.org.ar/libros/89799.pdf>
75. Kohjiya, S., Murakami, K., Iio, S., Tanahashi, T., & Ikeda, Y. (2001). In Situ Filling of Silica onto “Green” Natural Rubber by the Sol-Gel Process. *Rubber Chemistry and Technology* 74, 16-27.
76. Kunnappillil Madhusudhanan, A., Corno, M., Arat, M. A., & Holweg, E. (2016). Load sensing bearing based road-tyre friction estimation considering combined tyre slip. *Mechatronics*, 39, 136–146. <https://doi.org/10.1016/J.MECHATRONICS.2016.03.011>
77. Leibniz, G. W. (2007). *Obras filosóficas y científicas* (Vol. 14). (J. A. Nicolás, & M. Ramón Cubells, Edits.) Granada: Comares.
78. Li, Y., Zuo, S., Lei, L., Yang, X., & Wu, X. (2012). Analysis of impact factors of tire wear. *Journal of Vibration and Control*, 18(6), 833–840. <https://doi.org/10.1177/1077546311411756>
79. Lind, D., & Marchal, W. (2012). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. *Estadística aplicada a los negocios y la economía* (Vol. 15). <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
80. Línea Verde. (2020). Especiales ambientales. Retrieved from <http://www.lineaverdeceutatrace.com/lv/consejos-ambientales/contaminantes/Que-es-la-contaminacion-ambiental.asp>
81. Liu, Y. H., Li, T., Yang, Y. Y., Ji, X. W., & Wu, J. (2017). Estimation of tire-road friction coefficient based on combined APF-IEKF and iteration algorithm. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 88, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2016.07.024>
82. Llanes Cedeño, E. A., Rocha Hoyos, J. C., Peralta Zurita, D. B., & Leguísamo Milla, J. C. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9, 149–158. Retrieved from http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000200149&nrm=iso
83. Lončar, D., Paunković, J., Jovanović, V., & Krstić, V. (2019). Environmental and social responsibility of companies cross EU countries – Panel data analysis. *Science of The Total Environment*, 657, 287–296. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.482>

84. Londoño Gaviria, G. (2010). Manual de Producción más Limpia y Buenas Prácticas Ambientales. *Reencauche y aprovechamiento de llantas*. Medellín, Colombia: Impregón S.A.
85. Marathe, P. S., Westerhof, R. J. M., & Kersten, S. R. A. (2019). Fast pyrolysis of lignins with different molecular weight: Experiments and modelling. *Applied Energy*, 236, 1125–1137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.058>
86. Medina Moral, E. (2002). Modelos econométricos e información estadística. *Introducción a La Econometría e Informática*. España: DocPlayer. Retrieved from <https://docplayer.es/9062986-Introduccion-a-la-econometria-e-informatica-modelos-econometricos-e-informacion-estadistica.html>
87. MG/IND. (Noviembre de 2002). Manual Guía para la Definición e Implantación de un Sistema de Indicadores de Calidad. España: ES.
88. Michelin. (09 de Diciembre de 2014). *Website de Michelin Fuera de Carretera - América del Sur*. Obtenido de www.michelinearthmover.com/: http://www.michelinearthmover.com/esl_la/Bienvenido/Neumaticos/Por-que-elegir-MICHELIN/Lider-en-innovacion
89. Michelin, E., & Zingraff, R. (2005). Michelin Truck Tire. *Service Manual*. Estados Unidos: Michelin North America.
90. Ministerio de Industrias y Productividad. (2018). Registro de Empresas Reencauchadoras. Retrieved September 9, 2018, from <https://www.industrias.gob.ec/reusa-llanta/>
91. Ministerio de Industrias y Productividad. (10 de Diciembre de 2013). *Portal del Ministerio de Industrias y Productividad*. Recuperado el 05 de Marzo de 2014, de www.industrias.gob.ec: <http://www.industrias.gob.ec/np-68-el-ministerio-y-el-inen-inspeccionan-reencauchadoras-para-garantizar-calidad-y-seguridad-en-el-servicio-ofertado/>
92. Ministerio de Transporte y Obras Públicas Subsecretaria de Infraestructura del Transporte. (2015). *Informe de Viabilidad*. Santa Rosa. Retrieved from <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/175200000.1074.7152.pdf>
93. Ministerio del Ambiente. (2014). *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire, de los cantones Ambato, Riobamba, Santo Domingo de los Colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro*. Quito, Ecuador. Retrieved from <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>
94. Mogorrón, H. (2008). El neumático agrícola, ¿qué haríamos sin el? *Revista agropecuaria*, 242-244.
95. Mohan, R. R. (2018). Time series GHG emission estimates for residential, commercial, agriculture and fisheries sectors in India. *Atmospheric Environment*, 178, 73–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.029>
96. Mondal, S., & Mukherjee, K. (2012). Simulation of tyre retreading process - an Indian case study. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 13(4), 525. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2012.050161>
97. Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments*. (D. Montgomery, Ed.), Wiley (Ninth). United States: Wiley.
98. Montgomery, D. C. (2012). *Design and Analysis of Experiments*. Mexico: Limusa.
99. Montgomery, D., Peck, E., & Vining, G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. (D. Montgomery, Ed.), Wiley (Fifth). Wiley. Retrieved from

- <https://www.wiley.com/en-us/Introduction+to+Linear+Regression+Analysis%2C+5th+Edition-p-9780470542811>
100. Moresco, S., Giovanela, M., Carli, L. N., & Crespo, J. S. (2016). Development of passenger tire treads: reduction in zinc content and utilization of a bio-based lubricant. *Journal of Cleaner Production*, *117*, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.013>
 101. Moscoso Paredes, F. (2010). *Manual de Especificaciones Técnicas y Estándares de Trabajo para el Reencauche de Neumáticos*. Cuenca: Universidad del Azuay.
 102. Mott, R. L. (2015). *Mecánica de Fluidos*. (Pearson, Ed.) (Séptima). México: Prentice Hall.
 103. Myers, A. (2005). *Final Scientific Report: Improved Fuel Efficiency from Nanocomposite Tire Tread*. TDA Research, Inc. TDA Research, Inc. Obtenido de <http://www.osti.gov/scitech/biblio/875756-PqT6GF/>
 104. Nguyen, V. H., Zheng, D., Schmerwitz, F., & Wriggers, P. (2018). An advanced abrasion model for tire wear. *Wear*, *396–397*, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.11.009>
 105. Noblecilla G., M., Ortíz B., L., Ruiz C., J., Encalada L., I., & Ordoñez C., O. (2016). Análisis del potencial turístico de las comunidades rurales. Caso de estudio: Comunidad Muyuyacu, El Oro-Ecuador. *RIAT*, *12*(1), 48–59. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/322>
 106. Nuñez, P. M. (03 de Diciembre de 2012). Colombia vende llantas reencauchadas a EE. UU. *Portafolio*, pág. 1.
 107. Okoro, E. E., Sanni, S. E., Emetere, M. E., & Orodu, D. O. (2019). Process Scheme for the Production of Liquid Fuel from used tires via Fast Pyrolysis. *Procedia Manufacturing*, *35*, 847–853. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.031>
 108. OMPI. (08 de Diciembre de 2014). *Organización Mundial de la Propiedad Intelectual*. Obtenido de [www.wipo.int: http://www.wipo.int/classifications/nivilo/nice/esnnot.htm](http://www.wipo.int/classifications/nivilo/nice/esnnot.htm)
 109. Ortiz Berrezueta, L. A., Noblecilla Grunauer, M. S., Ruiz Carrillo, J. A., Ordoñez Contreras, O. S., & Crespo Garcia, M. K. (2017). Perception of local communities on the sociocultural impacts of rural tourism. Case of Bellavista, El Oro, Ecuador. *RIAT*, *13*(1), 15–27. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/riat.v13i1.369>
 110. Parise, R. (2015). Retrax tire retreading technology raises productivity and improves tire quality. *Rubber World*, *252*(4), 26–27. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84937890681&partnerID=tZOtx3y1>
 111. Park, I., Kim, H., & Lee, S. (2018). Characteristics of tire wear particles generated in a laboratory simulation of tire/road contact conditions. *Journal of Aerosol Science*, *124*, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.07.005>
 112. Pérez Tamayo, R. (2012). *¿ Existe el método científico? Historia y realidad*. Fondo de cultura económica.
 113. Ponce Garzón, P., & Villarreal Cabrera, J. (2012). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la comercialización de servicio de reencauche para llantas de vehículos pesados*. Universidad Internacional del Ecuador. Quito: Universidad Internacional del Ecuador.
 114. Previati, G., & Kaliske, M. (2012). Crack propagation in pneumatic tires:

- Continuum mechanics and fracture mechanics approaches. *International Journal of Fatigue*, 37, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2011.10.002>
115. Puiggrós, C. D. (2016). Cálculo del porcentaje de conservación y desgaste en neumáticos. *Revista Skopein*, (11). Retrieved from <https://skopein.org/ojs/index.php/1/article/view/78>
 116. Puliafito, S. E., Allende, D. G., Castesana, P. S., & Ruggeri, M. F. (2017). High-resolution atmospheric emission inventory of the argentine energy sector. Comparison with edgar global emission database. *Heliyon*, 3(12), e00489. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00489>
 117. Ramos, G., Alguacil, F. J., & López, F. a. (2011). The recycling of end-of-life tyres. Technological review. *Revista de Metalurgia*, 47(3), 273–284. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1052>
 118. Reding Bernal, A., Zamora Macorra, M., & López Alvarenga, J. C. (2011). ¿Cómo y cuándo realizar un análisis de regresión lineal simple? Aplicación e interpretación. *Dermatología Revista Mexicana*, 55(6), 395–402.
 119. Ren, F., Tian, Z., Liu, J., & Shen, Y. (2020). Analysis of CO2 emission reduction contribution and efficiency of China's solar photovoltaic industry: Based on Input-output perspective. *Energy*, 199, 117493. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117493>
 120. Renovallanta. (2017a). Catalogo Contitread 2017. Cuenca: Renovallanta. Retrieved from www.renovallanta.com
 121. Renovallanta. (2017b). Catalogo Indelband 2017. Cuenca: Renovallanta. Retrieved from www.renovallanta.com
 122. Renovallanta. (2011). *Construcción, Operación y Mantenimiento de la Planta de Reencauche de la Compañía Renovallanta S.A.* Guayaquil: Consulsua.
 123. Retread Manufacturers Association. (2014). *Portal de la RMA*. Obtenido de www.retreaders.org.uk/: <http://www.retreaders.org.uk/retreading/retread-made/>
 124. Reusa Llanta. (23 de Enero de 2013). *Ministerio de Industrias y Productividad*. Recuperado el 01 de Marzo de 2014, de www.industrias.gob.ec: <http://www.industrias.gob.ec/reusa-llanta/>
 125. Reusallanta. (20 de Enero de 2013). *Reusallanta. Proyecto de Desarrollo Productivo*. Recuperado el 28 de Febrero de 2014, de http://aplicaciones.mipro.gob.ec: <http://aplicaciones.mipro.gob.ec/reusallantaweb/decreto-ejecutivo.html>
 126. Robinson, H. L. (2004). *Polymers in Asphalt*. *Rapra Review Reports*. Shawbury, Shrewsbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
 127. Rodvalho, E. da C., & de Tomi, G. (2017). Reducing environmental impacts via improved tyre wear management. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1419–1427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.202>
 128. Rodvalho, E., Quaglio, O., Junior], W. S. [Felsch, Pascual, R., Tomi], G. [de, & Tenório], J. A. [Soares. (2020). Reducing GHG emissions through efficient tire consumption in open pit mines. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120185. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120185>
 129. Rodríguez, S. (12 de Septiembre de 2013). Procedimiento para certificar el proceso de reencauchado de neumáticos según NTE INEN 2582:2011. Quito, Pichincha, Ecuador: Intertek.
 130. Rubio Hurtado, M. J., & Berlanga Silvestre, V. (2012). Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS . Caso práctico. *Revista d'Innovació i Recerca En Educació*, 5(2), 83–100. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>

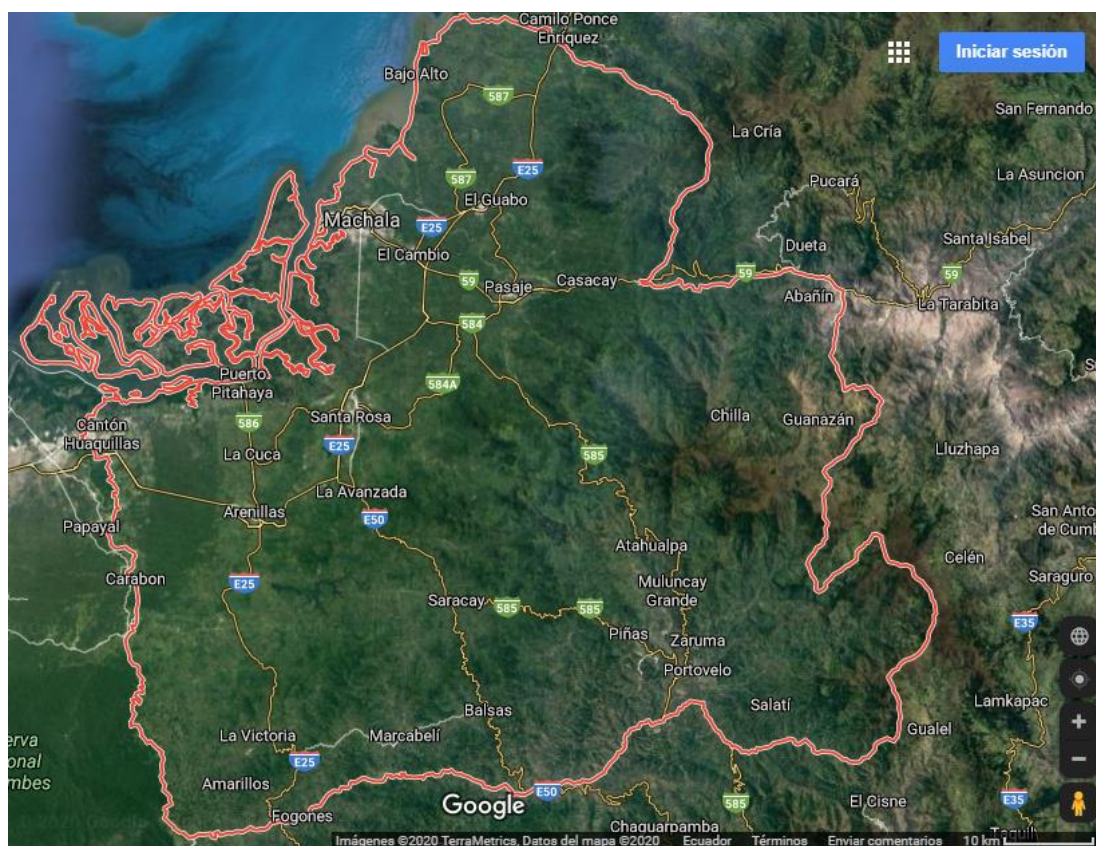
131. Ruzi. (2012). Catálogo de productos. Mexico D.F.: Vipal. Retrieved from vipal@vipal.com.br
132. Sakhaeifar, M., Banihashemrad, A., Liao, G., & Waller, B. (2018). Tyre–pavement interaction noise levels related to pavement surface characteristics. *Road Materials and Pavement Design*, 19(5), 1044–1056. <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1287770>
133. Samaraez Chemical Consulting, S. L. (05 de Mayo de 2008). *Reciclaje de Neumáticos Fuera de Uso. Trituración Mecánica*. Obtenido de www.samaraez.com/procesos: http://www.samaraez.com/archivos/KnowHow.Reciclaje_Neumaticos_E_I.pdf
134. Samaraez Chemical Consulting, S. L. (Mayo de 2009). *Reciclaje de Caucho. Trituración-Micronización*. Obtenido de www.samaraez.com/procesos: http://www.samaraez.com/archivos/KnowHow.Reciclaje_Caucho_E_I.pdf
135. Sánchez, M., & Guzmán, M. (2018). *Análisis de la eficiencia medioambiental del recauchutado de neumáticos*. Universidad Miguel Hernández.
136. Schelkmann, W. (1975). *Alemania Patente n° 3884740*.
137. Semarnat. (2012). Guía para el establecimiento de un centro de acopio de llantas de desecho. *Vivir Mejor*, 10.
138. Serrano, J. C., & Carranza Sánchez, Y. A. (2005). Analisis teórico de la combustión en quemadores de gas natural. *Scientia et Technica*, 3(29). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22517/23447214.6627>
139. Serway, R. A., & Vuille, C. (2012). *Fundamentos de física. Volumen 2* (Novena). Mexico D.F.: Cengage Learning. Retrieved from <http://latinoamerica.cengage.com>
140. Sina, N., Nasiri, S., & Karkhaneh, V. (2015). Effects of resistive loads and tire inflation pressure on tire power losses and CO2 emissions in real-world conditions. *Applied Energy*, 157, 974–983. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.010>
141. Sharma, A. (2013). Retreading of Tyres. *Internacional Journal of Engeneering and Advanced Technology*, 143-145.
142. Shulman, V. L. (2004). Tyre Recycling. *Rapra Review Reports*, 145. Shawbury, Shrewsbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
143. Shulman, V. L. (2011). Tyre Recycling. En *Waste* (págs. 297-320). Elsevier.
144. Simpson, R. B. (2002). Rubber Basics. *Rapra Review Reports*. Shawbury, Shrewsbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
145. Small Industries Service Institute. (2002). Tyre Retreading (By Cold Process). *Tyre Retreading*, 107-111.
146. Spagnolo, R. T., Volpato, C. E. S., Barbosa, J. A., Palma, M. A. Z., & Barros, M. M. de. (2012). Fuel consumption of a tractor in function of wear, of ballasting and tire inflation pressure. *Engenharia Agrícola*, 32(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000100014>
147. Stevenson, K., Stallwood, B., & Hart, A. G. (2008). Tire rubber recycling and bioremediation: A review. *Bioremediation Journal*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/10889860701866263>
148. Svendenius, J. (2007). *Tire Modeling and Friction Estimation*. (Lund Institute of Technology, Ed.), *Department of Automatic Control*. Lund: Lund University. <https://doi.org/10.1016/j.stam.2006.04.008>
149. Taghavifar, H., & Mardani, A. (2013). Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. *Journal of Terramechanics*, 50(2), 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2013.01.005>

150. The Goodyear Tire & Rubber Company. (10 de Enero de 2008). Sistemas de Neumáticos Comerciales Goodyear. *Manual de Recauchutado y Reparación de Carcasas de Neumáticos para ECDII Y Tecnología Duraseal*. The Goodyear Tire & Rubber Company.
151. Tipanluisa, L. E., Remache, A. P., Ayabaca, C. R., & Reina, S. W. (2017). Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades. *Información Tecnológica*, 28, 3–12. Retrieved from https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642017000100002&nrm=iso
152. Torretta, V., Rada, E. C., Ragazzi, M., Trulli, E., Istrate, I. A., & Cioca, L. I. (2015). Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. A review. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 45, 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.018>
153. Tran, T. M., Siriwardana, M., Meng, S., & Nong, D. (2019). Impact of an emissions trading scheme on Australian households: A computable general equilibrium analysis. *Journal of Cleaner Production*, 221, 439–456. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.273>
154. Tratamiento de Neumáticos Usados SL. (2009). *Portal de TNU*. Obtenido de www.tnu.es: http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_09_memo_com.pdf
155. Triangle. (2015). Product Catalogue Commercial Tires. Triangle. Retrieved from <http://www.triangle.com.cn/productmanual/产品目录-商用车轮胎.pdf>
156. Uribe, D. (2008). *Historia de las civilizaciones*. Bogota, Colombia: Santillana Ediciones.
157. Velders, G. J. M., Maas, R. J. M., Geilenkirchen, G. P., Leeuw], F. A. A. M. [de, Ligterink, N. E., Ruysenaars, P., ... Wesseling, J. (2020). Effects of European emission reductions on air quality in the Netherlands and the associated health effects. *Atmospheric Environment*, 221, 117109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117109>
158. Viso, E. (31 de Julio de 2013). *Circula Seguro*. Obtenido de www.circulaseguro.com/: <http://www.circulaseguro.com/neumaticos-recauchutados-iii-como-se-recauchuta/>
159. Wang, J., Alexander, L., & Rajamani, R. (2004). Friction Estimation on Highway Vehicles Using Longitudinal Measurements. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 126(2), 265–275. <https://doi.org/10.1115/1.1766028>
160. Wasti, S. K. A., & Zaidi, S. W. (2020). An empirical investigation between CO2 emission, energy consumption, trade liberalization and economic growth: A case of Kuwait. *Journal of Building Engineering*, 28, 101104. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101104>
161. Wik, A., & Dave, G. (2009). Occurrence and effects of tire wear particles in the environment – A critical review and an initial risk assessment. *Environmental Pollution*, 157(1), 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.028>
162. Wood, P. R. (1996). Rubber Mixing. *Rapra Review Reports*. Shawbury, Shrewsbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
163. Wood, P. R. (2004). Mixing of Vulcanisable Rubbers and Thermoplastic Elastomers. *Rapra Review Reports*. Shawbury, Shrewsbury, United Kingdom: Rapra Technology Limited.
164. Yuni, J. A., & Urbano, C. A. (2006). *Técnicas para investigar: Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación (Segunda)*.

Córdoba: Editorial Brujas. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=XWIkBfrJ9SoC&printsec=frontcover&dq=yuri+y+urbano+poblacion+de+estudio&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiumOqfzLvpAhUCTt8KHahFAg0Q6AEIJAA#v=onepage&q=yuri+y+urbano+poblacion+de+estudio&f=false>

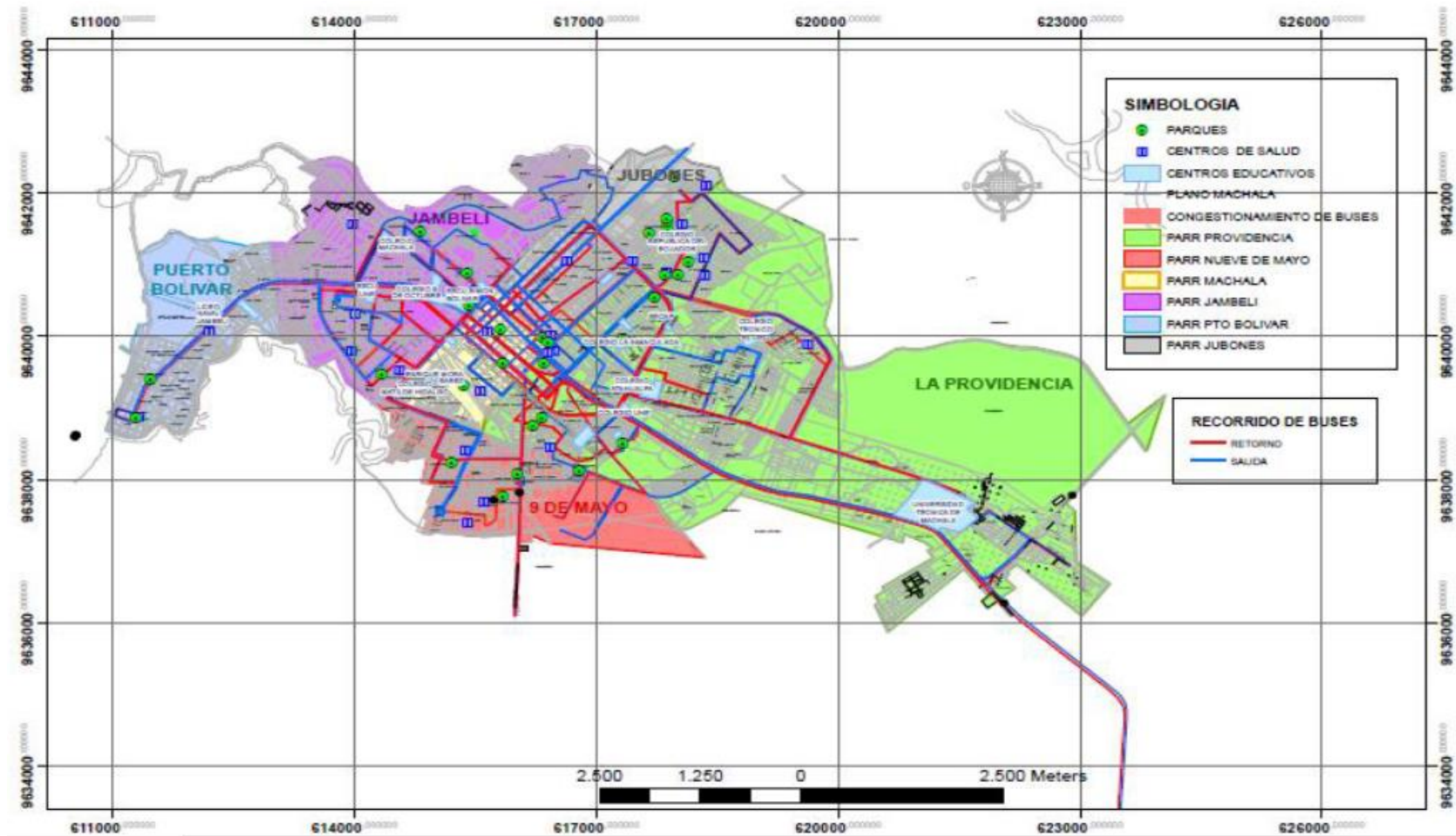
165. Zhu, S., Song, M., Lim, M. K., Wang, J., & Zhao, J. (2020). The development of energy blockchain and its implications for China's energy sector. *Resources Policy*, 66, 101595. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101595>

VIII. ANEXOS



Anexo 1. Mapa satelital de la provincia de El Oro, en Ecuador.

Fuente: Google Maps (<https://www.google.com/maps/place/El+Oro/@-3.4671765,-80.1845414,10z/data=!4m5!3m4!1s0x90330e5d3940b1e3:0xe901e305cf6b52f4!8m2!3d-3.2592413!4d-79.9583541>)



Anexo 2. Georreferenciación del transporte urbano de la ciudad de Machala.

Fuente: Empresa Pública Municipal de Movilidad Machala (<http://www.movilidadmachala.gob.ec/>)



Anexo 3. Diferentes carreteras tipo urbano (De arriba hacia abajo, ciudades: Machala; Pasaje; Santa Rosa)

Fuente: Google Maps (<https://www.google.com/maps/>)



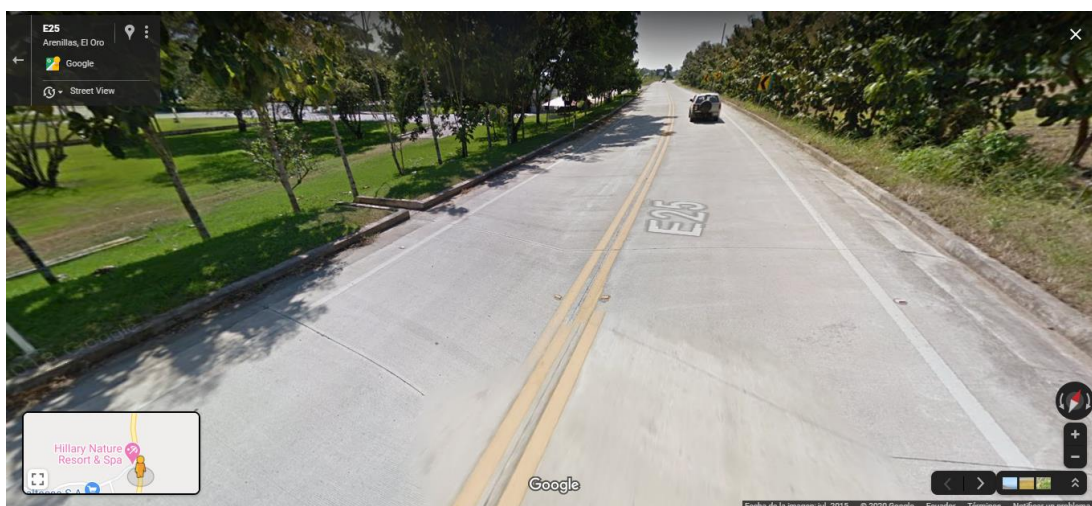
Anexo 4. Diferentes carreteras tipo regional (De arriba hacia abajo, tramos: Machala - Piñas; El Guabo - Pasaje; Santa Rosa - Balsas)

Fuente: Google Maps (<https://www.google.com/maps/>)



Anexo 5. Diferentes carreteras tipo mixto (De arriba hacia abajo, tramos: Santa Rosa – Bella María; Zaruma – Arcapamba; La Victoria - Buenavista)

Fuente: Google Maps (<https://www.google.com/maps/>)



Anexo 6. Diferentes carreteras tipo pavimentado larga distancia (De arriba hacia abajo, tramos: Machala - Guayaquil; Machala - Huaquillas; Machala - Loja)

Fuente: Google Maps (<https://www.google.com/maps/>)

| COOPERATIVA O COMPAÑÍA | NOMBRE RESPONSABLE DEL BUS | MARCA - BUS | MODELO - BUS | AÑO FABRICACIÓN | PLACA | KM DE CAMBIO DE ACEITE | FRECUENCIA CAMBIO DE ACEITE | TIPO DE CARRETERA | MARCA DE NEUMÁTICOS MÁS UTILIZADA (1) | FRECUENCIA CAMBIO NEUMÁTICOS NUEVOS | KILOMETRAJE RECORRIDO NEUMÁTICOS NUEVOS |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------|--------------|-----------------|----------|------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Jose Loayza | Mercedes Benz | 1721 | 2005 | OAL-0172 | 5000 | 15 | Regional | Bridgestone | 4,0 | 40000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | William Matamoros | Mercedes Benz | 1721 | 2005 | OAL-0088 | 5000 | 15 | Regional | Bridgestone | 6,0 | 60000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Fabian Salazar | Mercedes Benz | 1721 | 2007 | EAH-0969 | 5000 | 14 | Regional | Bridgestone | 3,5 | 37500 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Fausto Loayza | Hino | FG | 2010 | OAL-0313 | 8000 | 15 | Regional | Bridgestone | 4,0 | 64000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Hugo Tinoco | Mercedes Benz | 1721 | 2006 | OAL-0171 | 7000 | 18 | Regional | Bridgestone | 6,0 | 70000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Oswaldo Zambrano | Mercedes Benz | 300 | 2011 | OAM-0151 | 7000 | 15 | Regional | GoodYear | 9,0 | 126000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Angel Cabrera | Mercedes Benz | 300 | 2011 | OAL-0360 | 5000 | 15 | Regional | Bridgestone | 6,0 | 60000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Miguel Carrion | Hino | 300 | 2011 | OAM-0168 | 7000 | 15 | Regional | Bridgestone | 6,0 | 84000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Luis Toledo | Mercedes Benz | 1721 | 2006 | XAG-0190 | 5000 | 15 | Regional | GoodYear | 7,0 | 70000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Andres Tapia | Mercedes Benz | 300 | 2011 | OAM-0160 | 7000 | 15 | Regional | Yokohama | 6,0 | 84000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Carlos Cedillo | Hino | FG | 2010 | JAA-0254 | 5000 | 15 | Regional | Bridgestone | 5,0 | 50000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Alfonso Salazar | Mercedes Benz | 300 | 2011 | OAM-0157 | 5000 | 15 | Regional | Bridgestone | 5,0 | 50000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Jonny Cuenca | Mercedes Benz | 300 | 2011 | OAL-0307 | 5000 | 15 | Regional | GoodYear | 6,0 | 60000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Jonathan Veintimilla | Hino | FG | 2010 | OAA-3008 | 7000 | 15 | Regional | Yokohama | 5,5 | 77000 |
| Cooperativa Piñas Interprovincial | Jose Romero | Hino | FG | 2010 | OAA-3089 | 7000 | 15 | Regional | Yokohama | 6,0 | 84000 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Wilson Jesus Rueda Bravo | Jac | HFC 1073 | 2006 | XAI-0206 | 4000 | 14 | Urbano | Ja | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Manuel Wilfrido Cayamcela Que | Volkswagen | 17.210 OD | 2005 | PZU-0395 | 5000 | 18 | Urbano | Continental | 8,0 | 66667 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Rodrigo Piedra | Volkswagen | 9.150 | 2006 | PUG-0791 | 8000 | 28 | Urbano | General Tire | 14,0 | 120000 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Paul Cobos | Chevrolet | FTR | 2012 | TAR-0183 | 2000 | 7 | Urbano | Maxxis | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Gustavo Feijoo | Chevrolet | FTR | 2012 | PAO-0022 | 5000 | 18 | Urbano | Continental | 5,0 | 41667 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Segundo Bueno | Chevrolet | FTR | 1999 | TAL-0711 | 4000 | 14 | Urbano | Continental | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Kiever Guerrero | Volkswagen | 9.150 OD | 2012 | OAA-2145 | 5000 | 18 | Urbano | General Tire | 8,0 | 66667 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Luis Pulla | Hyundai | HD 72 | 2001 | OAK-0117 | 4000 | 14 | Urbano | Maxxis | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Luis Lituma | Hino | FD | 1999 | HAI-0483 | 7000 | 21 | Urbano | General Tire | 7,0 | 70000 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Jose Calle | Chevrolet | FTR | 2001 | PZT-0583 | 2000 | 7 | Urbano | Ja | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Maximo Jima | Hino | FD | 1998 | OAH-0059 | 6000 | 21 | Urbano | General Tire | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | David Rueda | Volkswagen | 9.150 OD | 2013 | OAA-1765 | 4000 | 14 | Urbano | Ja | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Jose Paucar | Hino | FD | 1999 | TAL-0660 | 2000 | 7 | Urbano | General Tire | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Hernan Calva | Chevrolet | FTR | 2004 | PZQ-0386 | 4000 | 14 | Urbano | Ja | 5,0 | 42857 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Miguel Romero | Chevrolet | FTR | 2004 | PAU-0080 | 2000 | 7 | Urbano | Ja | 6,0 | 51429 |
| Cooperativa 6 de Octubre | Jose Vega | Chevrolet | FTR | 2002 | PAO-0819 | 6000 | 21 | Urbano | Maxxis | 7,0 | 60000 |

Anexo 7. Extracto de la base de datos obtenida para verificar la hipótesis específica 1.

Fuente: Elaboración propia

| TIPO DE CARRETERA | Periodo | Registros | COOPERATIVA O COMPAÑÍA | PLACA | MARCA | MODELO | MEDIDA | PROFUNDIDAD | PRESIÓN | Índice de Presión | Ply Rating | IC Single | IC Dual | Carga promedio | Índice de vel |
|-------------------|---------|-----------|------------------------|----------|-------------|-----------|-------------|-------------|---------|-------------------|------------|-----------|---------|----------------|---------------|
| Regional | 1 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-3302 | Michelin | XZA 2+ | 295/80R22.5 | 10 | 100 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 6 | Cooperativa Azuay | AAA-1576 | Good Year | G 667 | 295/80R22.5 | 19.0 | 100 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-2226 | Good Year | G 665 | 295/80R22.5 | 11.0 | 116 | 120 | H | 148 | 145 | 2500 | I |
| Regional | 1 | 9 | Cooperativa Azuay | AAA-2135 | Kumho | KMA 01 | 295/80R22.5 | 11.0 | 102 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 1 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-1589 | Continental | CONTIGOL | 295/80R22.5 | 13.0 | 90 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 1 | Cooperativa Azuay | AAA-2516 | Bridgestone | R 155 | 295/80R22.5 | 18.0 | 120 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 1 | 2 | Cooperativa Azuay | AAA-1752 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 7.0 | 108 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 1 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-2784 | Kumho | KCA 11 | 295/80R22.5 | 10.0 | 104 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 1 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-2740 | Good Year | G 665 | 295/80R22.5 | 15.0 | 118 | 120 | H | 148 | 145 | 2500 | I |
| Regional | 1 | 1 | Cooperativa Azuay | AAA-1933 | Good Year | G 667 | 295/80R22.5 | 10.0 | 92 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 3 | Cooperativa Azuay | AAA-1131 | Good Year | G 665 | 295/80R22.5 | 15.0 | 108 | 120 | H | 148 | 145 | 2500 | I |
| Regional | 1 | 6 | Cooperativa Azuay | AAA-2169 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 9.0 | 106 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 1 | 1 | Cooperativa Azuay | AAA-4161 | Kumho | KCA 11 | 295/80R22.5 | 6.0 | 96 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 1 | 2 | Cooperativa Azuay | AAA-2897 | Roadwing | WS 788 | 295/80R22.5 | 14.0 | 108 | 130 | J | 152 | 149 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 3 | Cooperativa Azuay | AAA-2896 | Double Coin | RR 202 | 295/80R22.5 | 8.0 | 110 | 130 | J | 152 | 149 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 2 | Cooperativa Azuay | AAA-1159 | Bridgestone | R 155 | 295/80R22.5 | 7.0 | 100 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 1 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-4158 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 14.0 | 116 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 1 | 6 | Cooperativa Azuay | AAA-2170 | Double Coin | RR 202 | 295/80R22.5 | 14.0 | 90 | 130 | J | 152 | 149 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 1 | Cooperativa Azuay | AAA-3080 | Bridgestone | R 155 | 295/80R22.5 | 6.0 | 118 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 1 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-2836 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 8.0 | 114 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 2 | 2 | Cooperativa Azuay | AAA-1752 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 6.0 | 120 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 2 | 3 | Cooperativa Azuay | AAA-2896 | Double Coin | RR 202 | 295/80R22.5 | 6.5 | 90 | 130 | J | 152 | 149 | 2500 | M |
| Regional | 3 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-2740 | Good Year | G 665 | 295/80R22.5 | 14.0 | 112 | 120 | H | 148 | 145 | 2500 | I |
| Regional | 1 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-1681 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 16.0 | 108 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 2 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-3302 | Michelin | XZA 2+ | 295/80R22.5 | 9.5 | 112 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-2156 | Continental | HSR 2 | 295/80R22.5 | 11.0 | 114 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 1 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-1828 | Michelin | X MULTI T | 295/80R22.5 | 14.0 | 120 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | L |
| Regional | 1 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-2100 | Bridgestone | R 155 | 295/80R22.5 | 17.0 | 104 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 1 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-3144 | Bridgestone | R 297 | 295/80R22.5 | 12.0 | 110 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 4 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-4158 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 13.0 | 114 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 1 | 3 | Cooperativa Azuay | AAA-1566 | Maxxis | UM 958 | 295/80R22.5 | 12.0 | 106 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 1 | 1 | Cooperativa Azuay | AAA-4159 | Hankook | AU 03 | 295/80R22.5 | 13.0 | 98 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 1 | 1 | Cooperativa Azuay | AAA-6226 | Good Year | G 665 | 295/80R22.5 | 6.0 | 102 | 120 | H | 148 | 145 | 2500 | I |
| Regional | 1 | 3 | Cooperativa Azuay | AAA-2816 | Bridgestone | R 155 | 295/80R22.5 | 16.0 | 108 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 3 | 9 | Cooperativa Azuay | AAA-2135 | Kumho | KMA 01 | 295/80R22.5 | 9.5 | 90 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 1 | 1 | Cooperativa Azuay | AAA-1570 | Good Year | G 667 | 295/80R22.5 | 8.0 | 116 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 3 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-1681 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 13.0 | 120 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 5 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-2226 | Good Year | G 665 | 295/80R22.5 | 10.0 | 106 | 120 | H | 148 | 145 | 2500 | I |
| Regional | 1 | 2 | Cooperativa Azuay | AAA-3283 | Good Year | G 667 | 295/80R22.5 | 16.0 | 102 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 4 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-2740 | Good Year | G 665 | 295/80R22.5 | 12.5 | 106 | 120 | H | 148 | 145 | 2500 | I |
| Regional | 2 | 3 | Cooperativa Azuay | AAA-1131 | Good Year | G 665 | 295/80R22.5 | 13.0 | 104 | 120 | H | 148 | 145 | 2500 | I |
| Regional | 3 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-1589 | Continental | CONTIGOL | 295/80R22.5 | 12.0 | 92 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 4 | 3 | Cooperativa Azuay | AAA-2816 | Bridgestone | R 155 | 295/80R22.5 | 13.0 | 102 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 4 | 4 | Cooperativa Azuay | AAA-3302 | Michelin | XZA 2+ | 295/80R22.5 | 9.0 | 102 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 2 | 6 | Cooperativa Azuay | AAA-1576 | Good Year | G 667 | 295/80R22.5 | 16.0 | 110 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 3 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-3144 | Bridgestone | R 297 | 295/80R22.5 | 10.0 | 104 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |
| Regional | 2 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-2784 | Kumho | KCA 11 | 295/80R22.5 | 8.5 | 116 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | J |
| Regional | 4 | 5 | Cooperativa Azuay | AAA-2836 | Maxxis | UR 200 | 295/80R22.5 | 7.0 | 118 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 4 | 9 | Cooperativa Azuay | AAA-2135 | Kumho | KMA 01 | 295/80R22.5 | 7.5 | 106 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | K |
| Regional | 1 | 2 | Cooperativa Azuay | AAA-2428 | Bridgestone | M 730 | 295/80R22.5 | 16.0 | 112 | 120 | H | 152 | 148 | 2500 | M |

Anexo 8. Extracto de la base de datos obtenida para verificar la hipótesis específica 2.

Fuente: Elaboración propia



Anexo 9. Algunas de las unidades de transporte que participaron del estudio (De arriba hacia abajo: bus de recorrido urbano y, bus de recorrido regional)

Fuente: Información obtenida durante el estudio



Anexo 10. Algunas de las unidades de transporte que participaron del estudio (De arriba hacia abajo: bus de recorrido mixto y, bus de recorrido interprovincial)

Fuente: Información obtenida durante el estudio