

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

# Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947  
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



**Ciencias del**  
**Agro**  
**Ingeniería**  
**y Tecnología**

**Año 12 N° 32**

**Enero - Abril 2021**

**Tercera Época**

**Maracaibo-Venezuela**

## Condiciones de optimización del desgaste de neumáticos radiales para buses de transporte

John Eduardo Valle de la Cruz \*  
Rafael Gilberto Zhindon Almeida \*\*  
Jonathan Alexander Ruiz Carrillo \*\*\*

### RESUMEN

Para discriminar los efectos de factores controlables que inciden en la duración de los neumáticos radiales aplicados en buses de transporte, en función del ritmo de desgaste de la banda de rodamiento, se aplica un análisis no lineal de estimación con ecuaciones. Se verifica que un control de presión de inflado, índice de carga y velocidad pueden incrementar el tiempo de vida útil de las llantas. La población la conformaron neumáticos instalados en cooperativas de transporte terrestre de personas, que circulan en la Provincia El Oro de Ecuador. Se registraron 1463 datos de 61 marcas, con diferentes dimensiones tipo R17.5 y R22.5. El modelo establecido es factible, y los resultados pueden reflejar las condiciones de mejor uso o incremento de vida útil, lo que proporciona una base teórica para predecir el desgaste que experimentarán los neumáticos en diferentes tipos de aplicación y condiciones de manejo.

**PALABRAS CLAVE:** Neumáticos de transporte, ritmo de desgaste, índice de carga, índice de velocidad.

\*Máster Universitario en Energías Renovables. Doctorando en Estadística y Matemática Aplicada. Institución de adscripción: Universidad Nacional de Tumbes. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6045-7393>. E-mail: john\_electric@hotmail.com

\*\*Máster Universitario en Energías Renovables. Doctorando en Estadística y Matemática Aplicada. Institución de adscripción: Universidad Nacional de Tumbes. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3901-1829>. E-mail: rzhindon.itso@gmail.com

\*\*\* Doctor en Ingeniería Industrial – UNMSM. Máster en Docencia Universitaria e Investigación Educativa – UTMACH. Director de la Unidad de Investigación Desarrollo e Innovación Tecnológica del Instituto Superior Tecnológico El Oro - Machala – Ecuador. Institución de adscripción: Instituto Superior Tecnológico El Oro. ORCID: [orcid.org/0000-0002-9183-0004](https://orcid.org/0000-0002-9183-0004). E-mail: jrui@utmachala.edu.ec

Recibido: 29/10/2020

Aceptado: 09/12/2020

## Radial tire wear optimization conditions for transport buses

### ABSTRACT

To discriminate the effects of controllable factors that affect the duration of radial tires applied on transport buses, depending on the tread wear rate, a nonlinear analysis of estimation with equations is applied. It is verified that a control of inflation pressure, load index and speed can increase the lifetime of the tires. The population was made up of tires installed in land transport cooperatives of people, which circulate in the El Oro Province (Ecuador). 1463 data from 61 brands were registered, with different dimensions type R17.5 and R22.5. The established model is feasible, and the results may reflect the conditions of better use or increase of useful life, which provides a theoretical basis for predicting the wear that the tires will experience in different types of application and driving conditions.

KEY WORDS: Transport tires, wear rate, load index, speed index.

### Introducción

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. Sin embargo, la inexperiencia, impericia o falta de asesoría suele provocar que las personas responsables de una unidad de transporte no consideren estos elementos e instalen neumáticos en función del precio, profundidad de labrado o por emulación (Rodvalho and Tomi, 2017; Colfecar, 2014).

La correcta selección de un neumático optimizará o maximizará su tiempo de vida útil, siempre y cuando se lleve un control adecuado sobre variables como la presión de inflado y una rotación periódica, aparte de otras medidas de cuidado útiles, como el emparejamiento adecuado de llantas en dual y mantener en buenas condiciones mecánicas la unidad de transporte (Ejsmont et al., 2016; Hong et al., 2013).

En muchos estudios se ha comprobado que la presión de inflado tiene un efecto directo sobre la duración de un neumático, y esa presión está determinada por las dimensiones de la llanta y la carga que deben soportar. En nuestro estudio se controla este factor para enfocarnos en otros, tales como la clasificación de capas o (Ply Rating), carga promedio, velocidad media de recorrido, diseño de labrado, y su efecto sobre los

neumáticos, tomando registros en periodos de tiempo constantes (Taghavifar and Mardani, 2013; Richard et al., 2015)

Otros estudios han comprobado que el desgaste de las llantas es mayor al principio de su vida útil, es decir, cuando son nuevas, y conforme continúan en uso el ritmo de desgaste disminuye. Se han propuesto varias formas de estimar la degradación por fricción de las llantas, pero poco se precisa sobre sus factores condicionantes en una sola metodología de cálculo (Cabrera et al., 2004; Chen et al., 2018).

## 1. Presentación del estudio específico

El objetivo de la presente investigación es caracterizar una metodología de estimación del ritmo de desgaste de un neumático, para lo cual se toma como referente una base de datos de los buses de transporte que circulan en la provincia de El Oro; y se ha seleccionado esta provincia por ser una de las más diversas del Ecuador en condiciones climáticas y tipos de carreteras, por lo cual se pueden generalizar los resultados del estudio a nivel nacional (Noblecilla et al., 2016).

Por lo general, se pueden clasificar los tipos de ruta en asfaltadas de larga distancia, urbano o regional, mixto o asfalto-destapado y, terreno severo o de construcción. No obstante, nos centramos en buses de transporte de personas, así que para esta clase de vehículos los neumáticos para terreno severo se consideran mal aplicados; tampoco se consideran los neumáticos de uso especial como los para nieve, de aplicación agrícola o de tipo industrial, es decir, para maquinaria muy pesada (Wang et al., 2004; Sakhaeifar et al., 2018).

En definitiva, en este estudio se verifica la incidencia en el ritmo de desgaste de la presión de inflado, carga soportada y condiciones de operación de los neumáticos en su tiempo de vida útil, cuando se mantienen relativamente constantes las rutas de transporte, los neumáticos instalados y, llevando un control periódico de las presiones de inflado y velocidad promedio de circulación de los buses donde están instaladas las unidades muestreadas.

## 2. Métodos

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 analizan

indicadores como la presión de inflado promedio (medida en libras por pulgada cuadrada o psi, cada psi equivale a 6894.76 Pascales de presión), índice de presión, carga promedio soportada (medida en Kilogramos o Kg, también se puede medir en toneladas o Ton), índice de carga, velocidad promedio de recorrido (medida en Kilómetros por hora o Km/h), índice de velocidad, diseño de corona aplicado, tipo de carretera y, ritmo de desgaste de los neumáticos muestreados, medido en milímetros o mm (Taghavifar and Mardani, 2013).

La población la componen los neumáticos instalados en las cooperativas de transporte que circulan en Machala y la Provincia de El Oro, Ecuador. La muestra es representativa de la población total, logrando reunir 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 con diferentes dimensiones radiales R17.5 y R22.5.

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 y, se llevó un control periódico cada 15 días de las presiones de inflado y la velocidad promedio de circulación de los buses donde están instaladas las unidades muestreadas. Además, de no cambiar los neumáticos de las unidades, se recomendó únicamente rotarlos. 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 (Rodvalho and Tomi, 2017; Ejsmont et al., 2016).).

Las cooperativas de transporte consideradas fueron: Cooperativa 6 de Octubre, Cooperativa Ciudad de Machala, Multioro S.A. y Oroconti S.A. de recorrido urbano; Centinela del Sur, Cooperativa Azuay, Cooperativa El Guabo, Cooperativa Piñas Interprovincial y Cooperativa TAC de recorrido regional; Cooperativa de Transporte Interprovincial Pasaje, Cooperativa de Transporte Oro Express y Cooperativa de Transportes Victoria S.A. de recorrido en carreteras mixtas; y, CIFA, Cooperativa de Transporte Panamericana, Cooperativa de Transportes Loja Internacional, Cooperativa Ecuatoriano Pullman y Rutas Orenses de recorrido en carreteras pavimentadas de larga distancia. El instrumento de investigación incluía los elementos descritos en la Tabla 1, que contiene todos los indicadores requeridos para verificar el supuesto principal.

Tabla 1. Ficha de control usada como instrumento de investigación

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						

## 2.1. Procedimiento de análisis

El presente estudio sigue un proceso cuantitativo; una vez definidos los indicadores a medir, para el análisis de resultados el diseño de investigación fue experimental, con un mínimo grado de control de las variables presión de inflado, carga soportada y condiciones de manejo, es decir, una pre-experimentación; 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), sub-opción Ecuaciones de estimación generalizadas (GEE). En el tratamiento agrupamos los datos, primero por número de registros obtenidos (que estadísticamente es recomendable que sean al 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.

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 (Chen et al., 2018; Montgomery et al., 2013). El valor pronosticado del predictor lineal nos permitirá identificar los menores valores de desgaste de acuerdo con los registros obtenidos.

A continuación, 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 serán 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.

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 (Montgomery et al., 2013).



### 3. Resultados

Los estadísticos descriptivos 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. 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. Para el modelo sólo se consideró este último grupo.

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 %. La marca de neumático más popular fue Barum con 21.8 % del total válido, con igual porcentaje para su modelo BF 12. La medida típica fue la 295/80R22.5 que representó el 74.4 % de registros. Más del 75 % de las presiones registradas se ubican por encima de los 95 psi. El índice de presión habitual fue de 120 psi (78.7 %). El 79.5 % de las llantas tiene un Ply Rating H o 16 capas equivalentes.

Los índices de carga en singular son 152 y en dual 148 con el 73.9 y el 65.2 % de frecuencia respectivamente.

La carga promedio se estima en 2500 Kilogramos (Kg) el 92.5 % de las veces, 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 %. La velocidad media sugerida para control fue inferior a 50 Km/h el 86.7 % de las veces. 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).

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.

La información descriptiva básica de los indicadores considerados se muestra en la Tabla 2. 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 2. Estadísticos descriptivos básicos de los indicadores considerados para el estudio

Variable tipo	Indicador	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Variable dependiente	Profundidad / Remanente (mm)	0,1	20	8,53	3,903
Covariable	Ply Rating	14	20	16,25	0,781
	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	0,566
Ponderación de escala	Medida del neumático	1	13	9,56	1,323

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 3. 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 3 se obtienen las medias de desgaste de la banda de rodaje de los neumáticos por marca, modelo y medida. Las menores de estas medias o ritmos de desgaste promedio corresponden a los tipos de neumáticos que se muestran en la Tabla 4, abarcando el total de datos sobre cada tipo de llanta. El ranking, de acuerdo con los resultados del presente artículo, 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.

Tabla 3. Estimaciones del ritmo de desgaste en función de las variables consideradas

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 <sup>a</sup>						
[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 <sup>a</sup>						
[CargaMedia=1500]	-,493	,1613	-,809	-,177	9,355	1	,002
[CargaMedia=2500]	0 <sup>a</sup>						
[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 <sup>a</sup>						
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.

Tabla 4. 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	295/80R22,5	H	152	148	M	Regional	1,7967	0,4086	2,2053
Double Coin	RR 660		J	152	149	L	Regional	1,8913	0,3946	2,2858
Advance	GL 665 A	315/80R22,5	G	154	150	K	Mixta	1,9718	0,2491	2,2209

El detalle de una parte de los cálculos antes mencionados se incluye en la Tabla 5 del presente documento. Las ecuaciones para predicción del desgaste de la banda de rodaje de los neumáticos se esquematizan en la Tabla 6. 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 los psi con los que circulará la llanta.

#### 4. Discusión

La medida de neumático que presenta el menor desgaste de banda de rodaje 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 (Triangle, 2015; Double Coin, 2016).

Tabla 5. Parte de la hoja de cálculo desarrollada para establecer tipos de neumático con menor desgaste

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	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	

Tabla 6. Constantes, coeficientes y variables de las ecuaciones para predicción del desgaste

Modelo	Elemento	Periodo (de 15 días)	Carga promedio (Kg)	Velocidad media (Km/h)	Presión registrada (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

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 (Triangle, 2015; Continental, 2016).

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 (Triangle, 2015; Bridgestone, 2019).

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 5, algunas

variables son constantes o tienen correlaciones no significativas y se suprimen del análisis (la ecuación general está detallada en la Tabla 7).

Tabla 7. Coeficientes de los diferentes modelos de regresión (Ecuación general)

Coeficientes <sup>a,b,c</sup>						
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

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 8 se detalla una de estas pruebas estadísticas, la que corresponde para la obtención de la ecuación general (Montgomery, et al., 2013; Rubio Hurtado and 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 (Chen et al., 2018; Svendenius, 2007).

Tabla 8. Análisis de varianza desarrollados para evaluar los modelos de regresión (Ecuación general)

ANOVA <sup>a,b,c</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1778,148	1	1778,148	8657,378	,000 <sup>d</sup>
	Residuo	390,243	1900	0,205		
	Total	2168,391	1901			
2	Regresión	1795,938	2	897,969	4578,412	,000 <sup>e</sup>
	Residuo	372,453	1899	0,196		
	Total	2168,391	1901			
3	Regresión	1982,607	3	660,869	6751,559	,000 <sup>f</sup>
	Residuo	185,784	1898	0,098		
	Total	2168,391	1901			
4	Regresión	1983,542	4	495,885	5088,987	,000 <sup>g</sup>
	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),						

Cuando se pronostique el desgaste promedio de la banda de rodamiento 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 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 (Chen et al., 2018; Li et al., 2012).

## Conclusiones

Con los resultados obtenidos se ha logrado discriminar los factores controlables más representativos que afectan la duración de las llantas aplicadas en buses de transporte de personas, en función del ritmo de desgaste de la banda de rodadura, 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 nos 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 regular. 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.

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.

## Referencias

- Bridgestone (2019). “Catálogo de Renovado.” Bandag, Mexico D.F., p. 28, 2019. URL: [https://www.bridgestonecomercial.com.mx/content/dam/bcs-latam-sites/bridgestone-commercial/PDFS/Cat%C3%Allogo%20Bandag%20Light\\_1.pdf](https://www.bridgestonecomercial.com.mx/content/dam/bcs-latam-sites/bridgestone-commercial/PDFS/Cat%C3%Allogo%20Bandag%20Light_1.pdf).
- Cabrera, J. A.; Ortiz, A.; Carabias, E. and Simon, A. (2004). “An Alternative Method to Determine the Magic Tyre Model Parameters Using Genetic Algorithms,” Veh. Syst. Dyn., 2004. ISSN: 0042-3114.
- Chen, X.; Xu, N. and Guo, K. (2018). “Tire wear estimation based on nonlinear lateral dynamic of multi-axle steering vehicle,” Int. J. Automot. Technol., vol. 19, no. 1, pp. 63–75, 2018. ISSN: 12299138.
- Colfecar (2014). “Reciclaje de llantas: Maximizar su vida útil y desecharlas correctamente,” Bogotá, 2014. URL: [https://nanopdf.com/download/enero-2015-informe-reciclaje-de-llantas\\_pdf](https://nanopdf.com/download/enero-2015-informe-reciclaje-de-llantas_pdf).
- Continental (2016). “Catálogo 2016.” Continental Tire México, Mexico D.F., p. 112, 2016. URL: <https://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/646948/1f4faeb76b29ff7f8a8a85e72a14dbb9/cat%C3%A1logo-camion-2016-data.pdf>.
- Double Coin (2016). “Libro de datos y referencias de neumáticos para camiones.” Monrovia, p. 32, 2016. URL: <https://www.doublecointires.com/wp-content/uploads/Double-Coin-TBR-Data-Book-Spanish.pdf>.
- Ejsmont, J. A.; Ronowski, G.; Świeczko-Żurek, B. and Sommer, S. (2016). “Road texture influence on tyre rolling resistance,” Road Mater. Pavement Des., pp. 1–18, Mar. 2016. ISSN: 1468-0629.
- Hong, S.; Erdogan, G.; Hedrick, K. and Borrelli, F. (2013). “Tyre - road friction coefficient estimation based on tyre sensors and lateral tyre deflection: modelling, simulations and experiments,” Veh. Syst. Dyn., vol. 51, no. 5, pp. 627–647, 2013. ISSN: 0042-3114.
- Kunnappillil Madhusudhanan, A.; Corno, M.; Arat, M. A. and Holweg, E. (2016). “Load sensing bearing based road-tyre friction estimation considering combined tyre slip,” Mechatronics, vol. 39, pp. 136–146, Nov. 2016. ISSN: 0957-4158.

- Li, Y.; Zuo, S.; Lei, L.; Yang, X. and Wu, X. (2012). "Analysis of impact factors of tire wear," *J. Vib. Control*, vol. 18, no. 6, pp. 833–840, 2012. ISSN: 1077-5463.
- Montgomery, D.; Peck, E.; Vining, G. and Khuri, A. (2013). *Introduction to Linear Regression Analysis*, Fifth Edit., vol. I, no. 2. International Statistical Review, 2013. ISBN: 978-0-470-54281-1.
- Noblecilla M.; Ortíz L.; Ruiz, J.; Encalada L., and Ordoñez, O. (2016). "Análisis del potencial turístico de las comunidades rurales. Caso de estudio: Comunidad Muyuyacu, El Oro-Ecuador," *RIAT*, vol. 12, pp. 48–59, 2016. ISSN: 0718-235X.
- Richard, S.; Champoux, Y.; Lépine, J. and Drouet, J. M. (2015). "Using an alternative forced-choice method to study shock perception at cyclists' hands: The effect of tyre pressure," in *Procedia Engineering*, 2015. ISSN: 1877-7058.
- Rodvalho E. da C. and Tomi, G. de (2017). "Reducing environmental impacts via improved tyre wear management," *J. Clean. Prod.*, vol. 141, pp. 1419–1427, Jan. 2017. ISSN: 0959-6526.
- Rubio Hurtado, M. J. and Berlanga Silvestre, V. (2012). "Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS . Caso práctico .," *Rev. d'Innovació i Recer. en Educ.*, vol. 5, no. 2, pp. 83–100, 2012. ISSN: 1886-1946.
- Sakhaeifar, M.; Banihashemrad, A.; Liao, G. and Waller, B. (2018). "Tyre–pavement interaction noise levels related to pavement surface characteristics," *Road Mater. Pavement Des.*, vol. 19, no. 5, pp. 1044–1056, 2018. ISSN: 21647402.
- Svendenius, J. (2007). *Tire Modeling and Friction Estimation*. Lund: Lund University, 2007. ISBN: 0280-5316.
- Taghavifar, H. and Mardani, A. (2013). "Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire," *J. Terramechanics*, vol. 50, no. 2, pp. 99–106, 2013. ISSN: 0022-4898.
- Triangle (2015). "Product Catalogue Commercial Tires." Triangle, p. 37, 2015. URL: <http://www.triangle.com.cn/productmanual/%E4%BA%A7%E5%93%81%E7%9B%AE%E5%BD%95-%E5%95%86%E7%94%A8%E8%BD%A6%E8%BD%AE%E8%83%8E.pdf>.
- Wang, J.; Alexander, L. and Rajamani, R. (2004). "Friction Estimation on Highway Vehicles Using Longitudinal Measurements," *J. Dyn. Syst. Meas. Control*, vol. 126, no. 2, pp. 265–275, 2004. ISSN: 0022-0434.