

Evaluación del Impacto de los Neumáticos Extra-Anchos en el Factor de Daño en el Pavimento Flexible en Paracas, 2025

Evaluation of the Impact of Extra-Wide Tires on the Damage Factor in Flexible Pavement in Paracas, 2025

Hausmann Weber Escobar Condor¹; Alvis Contreras Bravo²; Russell Nazario Ticse³

^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú, UTP, Perú, U19308642@utp.edu.pe, U19203861@utp.edu.pe, c27457@utp.edu.pe

Abstract– This research addresses the problems affecting land transport routes due to the use of extra-wide tires on heavy-duty vehicles, as they cause significant damage that considerably reduces the lifespan of flexible pavement. The objective of this investigation is to analyze the damage factor of extra-wide tires on flexible pavement and determine its impact on the design of Equivalent Axles on the Paracas-to-San Martín Highway. Experimental data on the deflection caused by the heavy load on this section will be analyzed, KEMPAVE software will be used to calculate the damage factor, and WinDEPAV 2.6 will be used to determine the thicknesses of the flexible pavement layers. The study concludes that the damage factor of T3S3 vehicles increased by 41% compared to that calculated using the MTC Standard. For 10-year designs, the dimensions of the pavement layers were increased as follows: Asphalt layer by 6%, the base by 17% and the total structure by 7%, while for a 20-year period, they were increased as follows: Asphalt layer by 8%, base by 17% and the total structure by 8%.

Keywords– Extra-wide tire; Flexible pavement; Pavement design; Damage factor.

Evaluación del Impacto de los Neumáticos Extra-Anchos en el Factor de Daño en el Pavimento Flexible en Paracas, 2025

Hausmann Weber Escobar Condor¹; Alvis Contreras Bravo²; Russell Nazario Ticse³

^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú, UTP, Perú, U19308642@utp.edu.pe, U19203861@utp.edu.pe, c27457@utp.edu.pe

Resumen– La investigación aborda la problemática que afecta a las vías de transporte terrestre debido al uso de neumáticos extra-ancho en vehículos de carga pesada, ya que generan un daño significativo que reduce considerablemente la vida útil del pavimento flexible. El objetivo de esta investigación es analizar el factor de daño de los neumáticos extra-ancho en pavimento flexible y determinar su impacto en la proyección de Ejes Equivalentes en la carretera Paracas punto San Martín. Se analizará datos experimentales de la deflexión que ocasiona la carga pesada en este tramo, el software KEMPAVE para el cálculo de factor de daño y el WinDEPAV 2.6 para determinar los espesores de las capas del pavimento flexible. El estudio concluye que el factor de daño de los vehículos T3S3 se incrementó en un 41% respecto del calculado con la Norma del MTC. Para diseños de 10 años se incrementó las dimensiones de las capas del pavimento de la siguiente manera: Carpeta asfáltica en 6%, la base en 17% y la estructura total en 7%, mientras que, para un periodo de 20 años, se incrementó de la siguiente manera: Carpeta asfáltica en 8%, base en 17% y la estructura total en 8%.

Palabras clave– Neumático extra-ancho; Pavimento flexible; Diseño de pavimento; Factor de daño.

I. INTRODUCCIÓN

Los daños ocasionados a las vías de transporte han cambiado con los años, si anteriormente el agua con sus efectos más directos era la causal de los más evidentes destrozos, hoy en día es la acción de las cargas repetidas con el área de contacto menor a la convencional que proporcionan los neumáticos de banda ancha de camiones con carga pesada, es la más notable causa de deterioro, debido a que estas se han incrementado, en magnitud como en cantidad de repeticiones, lo que conlleva a la posibilidad de presentar fallas por fatiga dando lugar al efecto de la deformación acumulada [1]. Por otro lado, el incremento de la actividad económica busca alternativas en los vehículos de carga que le generen menor costo de mantenimiento, reparación y ahorro en combustible, es por ello es que surgen los neumáticos extra anchos en reemplazo de los convencionales (doble rueda) en vehículos transportan grandes capacidades de carga [2].

II. ESTADO DEL ARTE

La infraestructura de transporte por carretera ha enfrentado cambios debido a la introducción de un nuevo sistema de configuración de neumáticos en camiones de carga pesada, el proceso tiene como finalidad cambiar el eje de rueda doble por el de banda ancha incrementando de esa manera la fatiga en la estructura del pavimento flexible y más aún cuando el área de contacto entre llanta y carpeta asfáltica es menor [3]. Los neumáticos Super Single o base ancha son cada vez más utilizados en el transporte terrestre de carga, a pesar de los daños que estos generan a la estructura de las carreteras, estos neumáticos reúnen ciertas características que proporcionan beneficio económico, mientras que, a las carreteras perjudica de manera considerable [4]. El uso de neumáticos de base ancha es cada vez más evidente en los vehículos de carga pesada, al poseer ciertos beneficios de sostenibilidad sobre impactos ambientales, pero a la vez es la infraestructura vial es la que experimenta esfuerzos y muchas veces termina por disminuir su rendimiento a corto mediano o largo plazo [5]. Los ejes con un solo neumático de base ancha son la causa principal del daño a las carreteras en comparación con los de eje de sistema dual o doble rueda, este daño es generado de entre 3.5 a 10 veces más de lo que el sistema de neumático de uso convencional causa a las vías de transporte terrestre [6]. Al estudiar la literatura del tema se considera como puntos de interés; 1er punto es disminuir el área de contacto entre neumático y el pavimento flexible, a medida que el área de contacto es reducida el esfuerzo de deformación incrementa hacia el pavimento flexible, para ello, se hizo el estudio de manera analítica con software 3D-Move Analysis como herramienta principal, realizando una comparación entre las dos configuraciones de ejes que en la actualidad usan los camiones de carga pesada, confirmando que el daño que genera el neumático de base ancha es de 59.3% más que el neumático dual [7]. Este software permite calcular el daño real considerando al área de contacto del neumático sobre el pavimento flexible. 2do punto es incremento de camiones con neumáticos de base ancha con el paso del tiempo, ante este escenario, se realizaron estudios para determinar la gravedad del daño que los neumáticos de base ancha generan en las carreteras, para lo cual, se desarrolló de una herramienta de predicción ITC-Wide, basada en una red neuronal artificial

que sirve para obtener información sobre aspectos perjudiciales en el pavimento, y el método de la matriz para el análisis de elementos finitos EF que consiste en el uso de variables que se utilizan para la modelación estructural de pavimentos flexibles [3]. Los resultados confirman que al implementar los sistemas de neumáticos de banda ancha a los ejes de los vehículos de carga pesada se genera un daño considerable asociado al agrietamiento por fatiga y una deformación permanente.

En el tema consultado Impacto estructural y ambiental que generan los neumáticos de base ancha, los resultados indican que los neumáticos de base ancha NG- WBT son más perjudiciales en comparación con el eje con llanta dual DTA en vehículos de transporte de carga pesada, para lo cual, evalúa dos factores que son: el área de contacto entre neumático y carpeta asfáltica y las enormes cargas y se evaluó utilizando el método computarizado de elementos finitos FEM y se realizó la evaluación de los materiales que componen una carpeta asfáltica [8]. El estudio revela que existe una relación inversa entre el área de contacto (neumático – asfalto flexible) y el daño generado en las carreteras, es decir, a mayor amplitud de área, menor es la capacidad de hundimiento vertical. En el artículo Evaluación estructural en los pavimentos tomando en cuenta la influencia de camiones de carga con llantas extra anchas, concluye que los ejes con un solo neumático de base ancha son la causa principal del daño a las carreteras en comparación generando un daño de entre 3.5 a 10 veces más de lo que el sistema de neumático de uso convencional causa a las vías de transporte terrestre [6]. Otra investigación consultada es: Análisis dinámico del pavimento bajo la interacción vehículo-neumático-pavimento, esta investigación utilizó un prototipo de camión completo, en el cual se evaluó el impacto entre el conjunto de neumáticos de base ancha y el de conformación de neumáticos dobles, En este proyecto menciona lo importante que cuidar y preservar el medio ambiente al hacer uso de neumáticos de base ancha, al mismo tiempo reconoce el impacto negativo que estos generan a las vías de transporte terrestre [5]. En el siguiente tema Neumáticos de Base Ancha y la Nueva Generación de Pavimentos Invertidos, Se propuso realizar una evaluación al pavimento invertido, para lo cual se generó un modelo 3D con elementos finitos considerando los efectos de grietas tanto para neumáticos de ejes de configuración dual y para ejes con neumático de base ancha, con el modelo se comprobó que el sistema de base ancha genera más tensión y deformación que el de sistema dual en pavimentos invertidos, pero menor a lo realizado en pavimento flexible convencional de gran espesor, porque su rigidez se ve afectada con relación a su profundidad [9]. De la misma manera, en el tema diseño de un pavimento reforzado para cargas Sobredimensionadas Aplicando Métodos Elásticos, siendo el objetivo proyectar una solución que contribuya al control de los daños ocasionados por el uso del tráfico anómalo (debido a la utilización de neumáticos de base ancha) que se posicionado en las carreteras, se utilizó ensayo de deflectometría para verificar la magnitud de daño de

la carpeta asfáltica a consecuencia de exceso de carga y alta presión de inflado, en ese sentido se concluyó que es necesario la información actualizada del (IMDA) de vehículos de transporte de alto tonelaje que utilizan neumáticos de banda ancha para determinar el diseño adecuado del pavimento flexible [10].

Asimismo, en el tema Impacto de los Neumáticos de Base Ancha en el Rendimiento del Pavimento [11], se propuso a investigar el uso de neumáticos WBT en Michigan (MI) cuantificar el efecto de diferentes porcentajes de cargas WBT sobre pavimentos flexibles y rígidos, Los hallazgos obtenidos a través del desarrollo de la investigación revelaron que el impacto del WBT en las estructuras de pavimento con 5-12" HMA o 6-13" JPCP se cuantificaron hasta un 25% de WBT [11]. Otro tema Se realiza un estudio anticipado a raíz del impacto en el pavimento flexible de una posible actualización en los pesos en cada eje y total de vehículos pesados en Chile. Este análisis incluye la evaluación de varios factores FEC relevantes para el diseño de carpetas asfálticas, considerando la restricción en el uso de ejes retráctiles y la integración de nuevas configuraciones como los bi-trenes. Se examinan los efectos de cambios en la presión de los neumáticos, el uso de ruedas de ancho extendido y la aplicación de suspensión neumática convencional [12].

En cuanto a la mayoría de fuentes de investigación consultadas, el método utilizado fue cuantitativo de nivel descriptivo, dado que para llevar a cabo el análisis y la obtención de resultados es necesario contar con datos numéricos para ser utilizados con el método de Elementos finitos EF, así mismo, se utilizó diferentes tipos de software que al introducir datos reales tomados en campo facilitó el análisis y la evaluación de resultados, dentro de los datos reales utilizados tomados en campo se tomó en cuenta, el ancho de banda del neumático, la carga transmitida al pavimento flexible, la velocidad del vehículo pesado, el tráfico de camiones de carga con neumático de banda ancha, la presión interna del neumático y el espesor de la carpeta asfáltica [3][4][6][7][13]. Con respecto a los resultados obtenidos al utilizar los métodos antes descritos se verifica que en todos hay concordancia, es decir los autores confirman del daño a las carreteras en comparación con el eje dual es de 59.3% [7]. También, generan un daño de entre 3.5 a 10 veces más de lo que el sistema de neumático de uso convencional [6]. Así mismo, se menciona que el daño en el pavimento debido al uso de los neumáticos de base ancha es mucho mayor [5] [14] [15].

En síntesis, los estudios previos dan alusión a los factores que se ven afectados de manera negativa y positiva, en lo negativo los altos costos que generaría construir carreteras con los elementos y características que describe, en cuanto a lo positivo el uso de neumáticos super anchos contribuyen a la disminución de la contaminación ambiental, pero al implementar neumáticos anchos en las unidades se genera

grandes daños a la infraestructura vial ocasionando altos costos para una nación [16].

Finalmente, se puede notar que se debe de tener en cuenta el lugar de estudio, dado que este varía de acuerdo con la magnitud de tráfico y las características de configuración de neumáticos que estos poseen [17].

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

- Analizar el Factor de Daño de los Neumáticos Extra-Anchos en Pavimento Flexible y determinar su impacto en la Proyección de Ejes Equivalentes en la Carretera Paracas – Punto. San Martín, 2025

B. Objetivos específicos

- Determinar el factor de daño que genera los neumáticos extra anchos en pavimentos flexibles mediante el software KENPAVE.
- Estimar el impacto del factor de daño de los neumáticos extra anchos en la proyección de ESAL.
- Identificar la variación de las capas del pavimento flexible, diseñado con un ESAL afecto al factor de daño de neumáticos extra anchos con el uso del software WinDEPAV.

IV. METODOLOGÍA

La primera etapa de esta investigación se enfoca en calcular el factor de daño, mediante el empleo del software KENPAVE, en el cual se ingresarán los parámetros obtenidos de las fuentes en donde se realizó el censo de carga y se obtuvieron los datos como; Presión de inflado de los neumáticos de base ancha, y la carga por eje al cuál se encontraba sometida el vehículo. En la Segunda etapa se realizará la proyección de ejes equivalentes para ello se utilizará el Factor de daño de los neumáticos de base ancha previamente calculados. Por último, se llevará a cabo el cálculo de los espesores de la capa estructural del pavimento aplicando el ESAL calculado con neumáticos de base ancha y neumáticos con doble rueda, empleando los mismos parámetros de diseño. Para tal fin se hará uso del Software WinDepav.

Cálculo de ESAL

$$ESAL_i = IMD * FC * 365 * fi * fd * fc \quad (1)$$

Cálculo del ESAL total

$$ESAL = \sum_{i=1}^n ESAL_i \quad (2)$$

Donde:

- ESALi: Carga Equivalente de 18000lb, en un solo eje, para la categoría “i” de eje.
- IMD: Índice Medio Diario para cada tipo de vehículo
- FC: Factor Destructivo
- fi: Factor de Crecimiento
- fd: Factor de Distribución Direccional, se definirá por tramos homogéneos

- *Cálculo de factor de daño LEF.*

Existen diferentes fórmulas para obtener el Factor de Daño de los vehículos pesados, pero usaremos según la Guía ASHTO 93, y se utiliza la siguiente expresión:

$$\log \left[\frac{W_{tx}}{W_{18}} \right] = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(Lx + L2) + 4.33 \log L2 + \frac{Gt}{\beta x} + \frac{Gt}{\beta 18} \quad (3)$$

Donde:

$$Gt = \log \left(\frac{4.2 - Pt}{4.2 - 1.5} \right) \quad (4)$$

$$\beta x = 0.4 + \frac{0.081(Lx + L2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} * L2^{3.23}} \quad (5)$$

$$\beta 18 = 0.4 + \frac{0.081(18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}} \quad (6)$$

Para la recolección de datos se utilizaron los formatos de campo presentados como anexo de la Ficha Estándar Para La Formulación Y Evaluación De Proyectos De Inversión Den Carreteras Interurbanas V.2.0. Esta Ficha es aprobada con el decreto Supremo 284- 2018-EF, y es difundida mediante la Resolución Ministerial N°936-2023-MTC/01. Para el estudio se utilizó la Hoja A.5. Formato de conteo Vehicular y la Hoja A.8. Formato para Censo de Carga. Para el determinar el Factor de Daño, se realiza la simulación en software KENPAVE, el cual proporciona valores que permiten analizar las tensiones y deformaciones que se generan en las capas de la estructura del pavimento bajo las cargas que producen los neumáticos de base ancha. Para ello, se evalúan los esfuerzos de tensión en la parte baja de la carpeta asfáltica y las deformaciones en la superficie de la subrasante. Luego, mediante una hoja de cálculo, se procederá a determinar el factor de daño. Para la tasa de crecimiento del tráfico, se utilizó indicadores macroeconómicos y de crecimiento poblacional.

Para el diseño de las capas del pavimento empleando el ESAL calculado con el factor de daño de los neumáticos extra anchos se hará mediante el uso del software WinDEPAV, el cual genera resultados basados en el método empírico de la

Guía AASHTO 93. Para ello se ingresará los datos de entrada que fueron los mismos empleados en el diseño original, con la finalidad de hacer un comparativo de los espesores de capas obtenidos.

A. Software KENPAVE

KENPAVE es un programa computacional desarrollada para el análisis y diseño de pavimentos flexibles y rígidos. Está basada en los principios de la teoría elástica de múltiples capas, lo que permite realizar cálculos detallados de tensiones, deformaciones y desplazamientos en estructuras de pavimento bajo la aplicación de cargas [25]. Este software combina dos módulos principales: KENLAYER para pavimentos flexibles y KENSLAB para pavimentos rígidos. Para el proceso de análisis de tensiones y deformaciones de los neumáticos de base ancha, se utilizará el software KENPAVE, debido a que se tomará en cuenta la carga y el radio de contacto por ser factores importantes para obtener el factor de daño que se genera en el pavimento flexible.

IV. RESULTADOS

A. Factor de Daño de los Neumáticos Extra-Anchos en Pavimento Flexible y determinar su impacto en la Proyección de Ejes Equivalentes en la Carretera Paracas – punto San Martín, 2025

Se calculó el factor de daño en el pavimento flexible causado por los camiones tipo T3S3 con ejes tándem y tridem equipados con super llantas, utilizando el software KENPAVE, obteniendo valores de 6.48 y 7.55, respectivamente. Además, se proyectaron los ejes equivalentes (ESAL) considerando, por un lado, neumáticos extra anchos y, por otro, neumáticos convencionales para períodos de 10 y 20 años, los resultados mostraron que los neumáticos extra anchos incrementan significativamente la proyección de ejes equivalentes. Finalmente, mediante el software WinDEPAV, se determinaron los espesores de las capas de la estructura asfáltica, evidenciándose espesores mayores en los cálculos basados en los ESAL de neumáticos extra anchos.

TABLA I
ANÁLISIS DEL FACTOR DE DAÑO, ELABORACIÓN PROPIA

TIPO	FACTOR DE DAÑO		
	CON SUPERLLANTA	SIN SUPERLLANTA	VAR
EJE TANDEM	6.447	2.019	219%
EJE TRIDEM	7.547	1.706	342%
VEHICULO T3S3 (Incl. Eje simple Tandem y tridem)	7.696	5.441	41%

El Factor de daño de los vehículos T3S3, con neumáticos de base ancha se incrementó en un 41% respecto del calculado con la Norma del MTC (aplicando la presión de inflado de loa neumáticos). Por otro lado, el Factor de daño calculados de los Ejes tándem y Tridem con neumáticos de base ancha se

incrementaron en 219% y 342% respectivamente, respecto al Factor de daño calculado con pesos normado por el MTC y neumáticos de doble rueda.

TABLA II
PROYECCIÓN DE EJES EQUIVALENTES, ELABORACIÓN PROPIA

PERIODO	ESAL		
	SUPERLLANTAS	DOBLE RUEDA	VARIACION
10 AÑOS	6.24E+06	4.50E+06	39%
20 AÑOS	1.50E+07	1.08E+07	39%

La Proyección de Ejes Equivalentes (ESAL) a 10 y 20 años, calculado con el Factor de daño de los vehículos T3S3 afecto a los neumáticos de base ancha, se incrementó en 39%, respecto del ESAL calculado con la norma MTC aplicando el Factor de corrección por presión de neumáticos sin considerar los neumáticos de base ancha.

TABLA III
ESPESORES DE PAVIMENTO A 10 AÑOS

ESPESORES DE PAVIMENTO (cm) 10 AÑOS			
CAPAS	SUPERLLANTAS	DOBLE RUEDA	VAR.
CARPETA	18	17	6%
BASE	35	30	17%
SUB-BASE	35	35	0%
TOTAL	88	82	7%

TABLA IV
ESPESORES DE PAVIMENTO A 20 AÑOS

ESPESORES DE PAVIMENTO (cm) 20 AÑOS			
CAPAS	SUPERLLANTAS	DOBLE RUEDA	VAR.
CARPETA	21.5	20	8%
BASE	35	30	17%
SUB-BASE	35	35	0%
TOTAL	91.5	85	8%

B. Cálculo del Factor de Daño mediante el uso de Software KENPAVE.

El cálculo del Factor de daño se desarrollará en dos etapas, la primera corresponde a calcular las tensiones y deformaciones de que producen los neumáticos de base ancha sobre un pavimento flexible, para ello se hará uso del software KENPAVE. Luego de obtener los valores de tensiones y deformaciones, se procederá a calcular el Factor de daño mediante una hoja de cálculo Excel empleando la fórmula de la cuarta potencia.

1) Cálculo de Tensiones y Deformaciones mediante el software KENPAVE

1.1. Resultados obtenidos de Esfuerzos de Tensión y compresión

De los 21 vehículos censados con neumáticos de base ancha, se evaluaron 15 vehículos con eje tándem y 19 vehículos con eje tridem. También se evaluaron un eje estándar tándem y un eje estándar tridem, utilizando los pesos del Manual MTC y las mismas condiciones de entrada en el software KENPAVE, con el fin de emplearlos en el cálculo de factor de daño.

TABLA V
RESULTADOS DE ESFUERZOS DE TENSIÓN Y COMPRESIÓN – KENPAVE,
RESULTADOS DE KENPAVE

TIPO DE NEUMÁTICO	ESFUERZOS CALCULADOS PESOS REALES			
	EJE TANDEM		EJE TRIDEM	
	TENSION	COMPRESION	TENSION	COMPRESION
BASE ANCHA	-4.30E-04	356E-04	-4.31E-04	3.59E-04
EJE ESTANDAR	-3.18E-04	3.05E-04	-3.07E-04	2.87E-04

1.2. Validación de resultados

A fin de evaluar los resultados se procedió a aplicar estadística mediante la Media, Desviación Estándar, Coeficiente De Variación y Diagrama de Caja y Bigotes

TABLA VI
VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	EJE TÁNDEM			EJE TRIDEM	
	Tensión	Compresión		Tensión	Compresión
Promedio	4.30E-04	3.56E-04	Promedio	4.31E-04	3.59E-04
Des. estándar	0.000058	0.000109	Des. estándar	0.000053	0.000096
Coef. De variación	13.45%	30.74%	Coef. De variación	12.37%	26.67%

Los resultados en el eje Tándem y Tridem muestran que los daños a tensión encontrados presentan una variabilidad menor y son más consistentes, el 13.45% y 12.37%. Esto significa que las diferencias entre los valores individuales y el promedio no son extremadamente grandes, reflejando una dispersión razonable en el conjunto de datos.

1.3 Cálculo del Factor de Daño

Haciendo uso de la ecuación (3), se procedió a calcular el Factor de daño, para ello, utilizamos los esfuerzos de tensión y compresión calculados en el ítem anterior para cada vehículo analizado con Eje Tándem y Tridem.

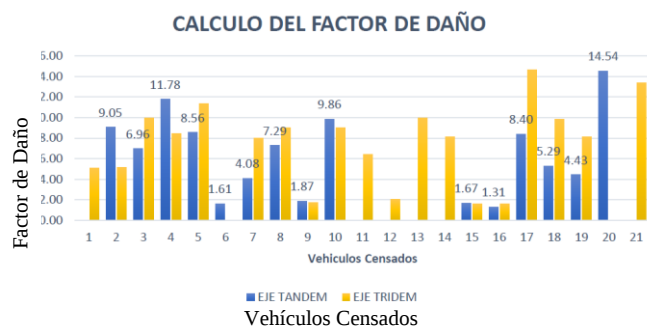


Fig. 1 Resultados del Factor de Daño

Como se muestra, el factor de daño promedio para un eje tándem es de 6.48, mientras que para un eje tridem es de 7.55. Estos valores son significativamente superiores a los factores de daño establecidos por el MTC, que son de 2.019 para ejes tándem y 1.706 para ejes tridem, considerando los pesos normalizados a una presión de 80 Psi.

C. Estimar el impacto del factor de daño de los neumáticos extra anchos en la proyección de ejes equivalentes (ESAL).

1. Cálculo del ESAL

La proyección de Ejes Equivalentes (ESAL) se ha calculado empleando la formula corta del MTC ajustado a la presión de neumáticos, con ellos se obtuvo un FD promedio de los vehículos T3S3 en dos escenarios. Primero, con un FD de los neumáticos de base ancha calculados en los vehículos analizados, Segundo, con un FD considerando el neumático extra ancho como uno de doble rueda (actualmente es lo que se hace).

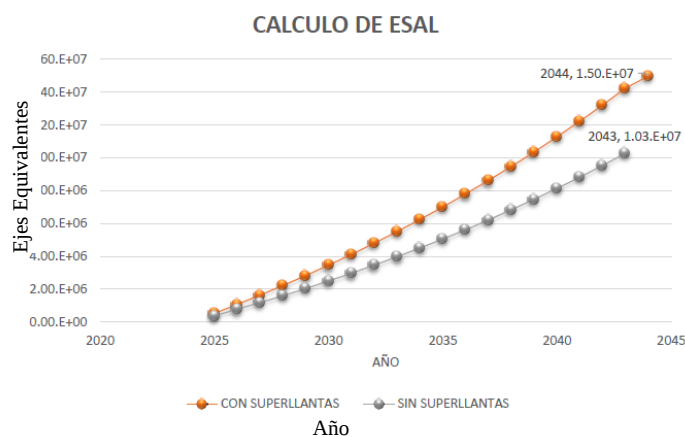


Fig. 2 Proyección de ESAL

Los resultados demuestran que la proyección de Ejes equivalentes calculados con el Factor de Daño de Neumáticos de base anchas en comparación de ejes normales se

incrementa en 39%. Ello afecta al diseño del pavimento, como se verá más adelante.

D. Identificar la variación de la estructura del pavimento flexible, diseñado con un ESAL afecto al factor de daño de neumáticos extra anchos con el uso del software WinDEPAV.

Para identificar la variación de los espesores del pavimento flexible se realizó mediante el software WinDEPAV, tomando en cuenta los periodos de tiempo de 10 y 20 años y los EAL que generan los neumáticos super anchos y los convencionales.

1. Determinación de espesores de estructura asfáltica proyectada a 10 años

El diseño de espesores de la estructura asfáltica, con una proyección a 10 años, se llevó a cabo utilizando dos valores de ESAL: 6.24E+06, que incluye en su cálculo los ejes equipados con superllantas, y 4.50E+06, que considera únicamente los vehículos con ejes de neumáticos convencionales.

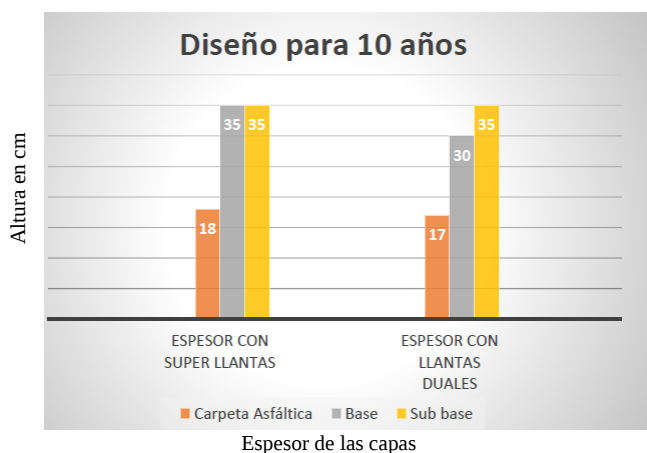


Fig. 3 Diseño de espesores para 10 años

Los resultados de las dos simulaciones realizadas para un período de diseño de 10 años muestran alturas totales de la estructura de 88 cm y 82 cm, respectivamente. La primera, de 88 cm, fue diseñada para soportar el tráfico pesado de camiones equipados con neumáticos súper anchos.

En este contexto, los espesores del pavimento para el período de diseño de 10 años se incrementaron de la siguiente manera: un 6% en la carpeta asfáltica, un 17% en la base, y un 7% en la estructura total.

2. Determinación de espesores de estructura asfáltica proyectada a 20 años

El diseño de espesores de la estructura asfáltica, con una proyección a 20 años, se llevó a cabo utilizando dos valores de ESAL: 1.50E+07, que incluye en su cálculo los ejes equipados

con superllantas, y 1.08E+07, que considera únicamente los vehículos con ejes de neumáticos convencionales.

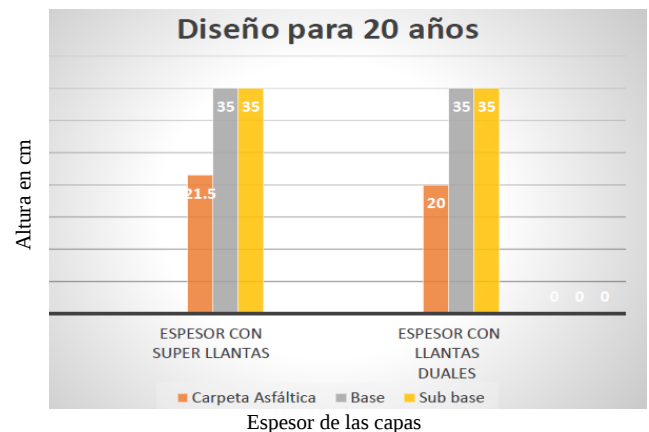


Fig. 4 Diseño de espesores para 20 años

Los resultados de las dos simulaciones realizadas para un período de diseño de 20 años muestran alturas totales de la estructura de 91.5 cm y 85 cm, respectivamente. La primera, de 91.5 cm, fue diseñada para soportar el tráfico pesado de camiones equipados con

IV. DISCUSIONES

Dado los resultados del (Objetivo Específico 1) O.E. 1, Analizado con el software WINDEPAV y procesado en una hoja de cálculo, se obtuvo un Factor de Daño que genera un vehículo con neumáticos extra anchos incremento del 41% con respecto al que se calcula utilizando una doble rueda. Por otro lado, A. M. Abu Abdo, empleando el software 3D move Analisis como herramienta principal, confirmó que el daño que genera el neumático de base ancha es de 59.3% más que el neumático dual [7]. Sin bien es cierto, las herramientas son diferentes, ambas evalúan el efecto que produce el área de contacto entre el neumático y el pavimento sometido a una carga y los resultados obtenidos no se encuentran muy alejados considerando que los estudios evaluados corresponden a realidades distintas.

Los resultados obtenidos de tensiones y deformaciones analizados con el Software KENOPAVE, demuestran que las fallas por tensión y deformación de los neumáticos extra anchos para un eje tándem es de 6.45 versus 2.02, ello quiere decir que representa más de 3 veces el daño que considera la normativa peruana. Por otro lado, el eje Tridem es de 7.547 versus 1.706, ello quiere decir que representa más de 4 veces el daño que considera la normativa peruana. Por otro lado, B. Coronado and M. Hermosa por su parte, concluye que los ejes con un solo neumático de base ancha son la causa principal del daño a las carreteras en comparación generando un daño de entre 3.5 a 10 veces más de lo que el sistema de neumático de uso convencional causa a las vías de transporte terrestre [6]. Dicha afirmación se acerca a lo encontrado en el presente estudio.

De los resultados del O. E. 2, se obtuvo un incremento del ESAL de 39% afecto a un Factor de daño de los vehículos con neumáticos extra anchos. Por otro lado, E. Palomino and A. Dionisio, concluyó en su artículo que es necesario la información actualizada del Índice Diario Medio Anual (IMDA) de vehículos de transporte de alto tonelaje que utilizan neumáticos de banda ancha para determinar el diseño adecuado del pavimento flexible [[10]. Esta afirmación refuerza el cálculo obtenido de ESAL y el incremento que ello representa pues a mayor proyección de ejes equivalentes, impacta directamente en la estructura del pavimento, en ese sentido, podemos corroborar la afinación que es necesario tener información actualizada de vehículos pesados identificando si utilizan neumáticos de base ancha para determinar un daño real que ello ocasiona sobre el pavimento.

De los resultados obtenido del O.E 3, se obtuvo una estructura de pavimento que fue incrementada en 8% en la carpeta asfáltica, un 17% en la base, y un 8% en la estructura total. Por otro lado, Z. You, L. Yin, J. E. Hiller, and D. Jin, determinaron que el impacto del WBT en las estructuras de pavimento con 5-12" HMA o 6-13" JPCP se cuantificaron hasta un 25% de WBT [11]. Los resultados obtenidos no se encuentran muy alejados, en embargo, hay que tener en cuenta que para el presente estudio solo se registraron 21 vehículos con neumáticos de base ancha de una muestra de 164 vehículos pesado, es decir el impacto de los vehículos de base ancha es del 12.8%, generando una variación de la estructura total del pavimento del 8%. Evidentemente, a mayor cantidad de vehículos pesados con neumáticos de base ancha, mayor el impacto y por ende, el diseño de pavimento debería variar en mayor proporción.

III. CONCLUSIONES

El Factor de daño de los vehículos T3S3, con neumáticos de base ancha se incrementó en un 41% respecto del calculado con la Norma del MTC (aplicando la presión de inflado de los neumáticos). La Proyección de Ejes Equivalentes (ESAL) a 10 y 20 años, calculado con el Factor de daño de los vehículos T3S3 afecto a los neumáticos de base ancha, se incrementó en 39%, respecto del ESAL calculado con la norma MTC aplicando el Factor de corrección por presión de neumáticos. Por último, los espesores del pavimento para un periodo de diseño de 10 años, se incrementó de la siguiente manera: Carpeta asfáltica en 6%, la base en 17%, y la estructura total en 7%, mientras que, para un periodo de 20 años, se incrementó de la siguiente manera: Carpeta asfáltica en 8%, base en 17% y la estructura total en 8%.

C.E.1. De los 21 vehículos censados con neumáticos de base ancha, se evaluaron 15 vehículos con eje tandem y 19 vehículos con eje tridem. También se evaluaron un eje estándar tandem y un eje estándar tridem, utilizando los pesos del Manual MTC y las mismas condiciones de entrada en el

software KENPAVE, con el fin de emplearlos en el cálculo de factor de daño. el factor de daño promedio para un eje tandem es de 6.48, mientras que para un eje tridem es de 7.55. Estos valores son significativamente superiores a los factores de daño establecidos por el MTC, que son de 2.019 para ejes tandem y 1.706 para ejes tridem, considerando los pesos normalizados a una presión de 80 Psi. Ello representa un incremento del 219% y 342% respectivamente.

C.E.2. La proyección de Ejes Equivalentes (ESAL) se ha calculado empleando la formula corta del MTC ajustado a la presión de neumáticos, con ellos se obtuvo un FD promedio de los vehículos T3S3 en dos escenarios. Primero, con un FD de los neumáticos de base ancha calculados en los vehículos analizados, Segundo, con un FD considerando el neumático extra ancho como uno de doble rueda (actualmente es lo que se hace). Se concluye que la proyección de ejes equivalentes (ESAL) de los neumáticos de base ancha tienen un impacto significativamente mayor en el EAL en comparación con los neumáticos convencionales, superando el 39% en los resultados obtenidos para ambos periodos de 10 y 20 años analizados. Esto resalta la importancia de considerar el tipo de neumático en la planificación y evaluación de la estructura del pavimento flexible.

C.E.3. El diseño de espesores de la estructura asfáltica, con una proyección a 10 años, se llevó a cabo utilizando dos valores de ESAL: $6.24E+06$, que incluye en su cálculo los ejes equipados con super llantas, y $4.50E+06$, que considera únicamente los vehículos con ejes de neumáticos convencionales, obteniendo las alturas totales de la estructura de 88 cm y 82 cm respectivamente, incrementando de la siguiente manera: un 6% en la carpeta asfáltica, un 17% en la base, y un 7% en la estructura total.

El diseño de espesores de la estructura asfáltica, con una proyección a 20 años, se llevó a cabo utilizando dos valores de ESAL: $1.50E+07$, que incluye en su cálculo los ejes equipados con superllantas, y $1.08E+07$, que considera únicamente los vehículos con ejes de neumáticos convencionales, obteniendo las alturas totales de la estructura de 91.5 cm y 85 cm, respectivamente, incrementando de la siguiente manera: un 8% en la carpeta asfáltica, un 17% en la base, y un 8% en la estructura total.

REFERENCES

- [1] C. Obando, "Influencia del agua en el desempeño de los pavimentos: lluvia acida," *Investigacion e Innovación en Ingenierias*, vol. 5, no. 2, pp. 190–206, Nov. 2017, doi: 10.17081/invinno.5.2.2761. <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/innovacioning/article/view/2761>
- [2] V. Fernández and J. Segovia, "Maestría en Opción de Titulación: Propuestas metodológicas y tecnológicas avanzadas," 2023. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26654>
- [3] I. L. Al-Qadi, J. A. Hernandez, A. Gamez, M. Ziyadi, O. E. Gungor, and S. Kang, "Impact of Wide-Base Tires on Pavements: A National Study," *Transp Res Rec*, vol. 2672, no. 40, pp. 186–196, 2018, doi:

- 10.1177/0361198118757969.
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0361198118757969>
- [4] R. R. Fedujwar and U. C. Sahoo, "Pavement responses under wide base tyres subjected to moving loads," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 549–559, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.ijtst.2022.05.006.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2046043022000508>
 - [5] J. Zhao and H. Wang, "Dynamic pavement response analysis under wide-base tyre considering vehicle-tyre-pavement interaction," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 23, no. 7, pp. 1650–1666, 2022, doi: 10.1080/14680629.2021.1910551.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14680629.2021.1910551>
 - [6] B. Coronado and M. Hermosa, "Evaluación estructural de pavimentos considerando la influencia de camiones con llantas de banda ancha," Repositorio Institucional Universidad Piloto de Colombia. Accessed: May 16, 2024. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10576>
 - [7] A. M. Abu Abdo, "Effects of dual versus super single truck tire on flexible pavement performance; a mechanistic approach," *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, no. 13, pp. 4136–4141, 2017.
https://www.researchgate.net/publication/318777607_Effects_of_dual_vs_rsus_super_single_truck_tire_on_flexible_pavement_performance_a_mechanistic_approach
 - [8] J. Hernandez, S. Kang, and I. L. Al-Qadi, "Structural and environmental impact of new generation wide-base tires in New Brunswick, Canada," *Road Materials and pavements desing*, 2020. doi: 10.1080/14680629.2019.1590219.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2019.1590219>
 - [9] R. S. Baghel, S. R. Kasu, and A. K. Chandrappa, "Effect of dual and new generation wide-base tire assembly on inverted pavements," *Journal of Road Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 124–136, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jreng.2022.04.001.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2097049822000166>
 - [10] E. Palomino and A. Dionisio, "Propuesta de diseño de un pavimento reforzado para cargas sobredimensionadas aplicando métodos elásticos a partir de resultados deflectométricos para el proyecto de conservación vial Vizcachane – tramo 1," Registro Nacional de trabajos de investigación.2022. <http://hdl.handle.net/10757/663457>
 - [11] Z. You, L. Yin, J. E. Hiller, and D. Jin, "Quantifying the Impact of Wide Base Tires on Pavement Performance in Michigan FINAL REPORT," 2022. www.michigan.gov/mdotresearch.
 - [12] I. Rodríguez, G. Thenoux, C. Araya, and M. Valdés, "Revisión bibliográfica y análisis previo del impacto en los pavimentos que tendría una actualización de pesos por eje y bruto de vehículos pesados permitidos en la red vial nacional," 20° Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte – Valparaíso, 2021. <https://sochitran.cl/wp-content/uploads/2021/10/2021-42b-Revision-bibliografica-vanalisis-previo-del-impacto-en-los-pavimentos-que-tendria-una-actualizacion-depesos-por...-Rodriguez-Thenoux-Araya-Valdes.pdf>
 - [13] H. Rondón and F. Reyes, *Pavimentos Materiales, Construcción y diseño*, Segunda edición. Bogotá, 2022. <https://www.ecoediciones.com/wp-content/uploads/2022/05/Pavimentos-materialesconstruccion-y-diseno-contenido.pdf>
 - [14] C. Pfeiff, I. Kroger, and L. Ferrín, "Análisis comparativo del desempeño de cementos asfálticos altamente modificados." 2019. [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/ANALISISCOMPARATIVODEL%20DESEMPEÑO%20DE%20CEMENTOS%20ASFALTICOS%20ALTAMENTE%20MODIFICADOS%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/ANALISISCOMPARATIVODEL%20DESEMPEÑO%20DE%20CEMENTOS%20ASFALTICOS%20ALTAMENTE%20MODIFICADOS%20(1).pdf)
 - [15] E. Dussán and F. Flautero, "Automatización de ensayos dinámicos del laboratorio de pavimentos en el equipo N.A.T. (NOTTINGHAM ASFALT TESTER)," Pontificia Universidad Javeriana. 2005. <http://hdl.handle.net/10554/7028>
 - [16] D. Martínez, "Impacto del control de pesos por eje de vehículos pesados sobre la estructura de los pavimentos," Universidad Ricardo Palma, 2015. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2404>
 - [17] Senior Manager Vehicle & GSE Maintenance de FedEx Express, *Neumáticos extra anchos*. 2020. <https://www.girolimpio.cl/wp-content/uploads/2022/07/Neumaticos-de-Base-Ancha-Caso-de-Estudio-FedEx.pdf>