3

Estudio De Cargas Para Diseño De Pavimentos En Tramos De La Vía Colectora Paso Lateral-Portoviejo

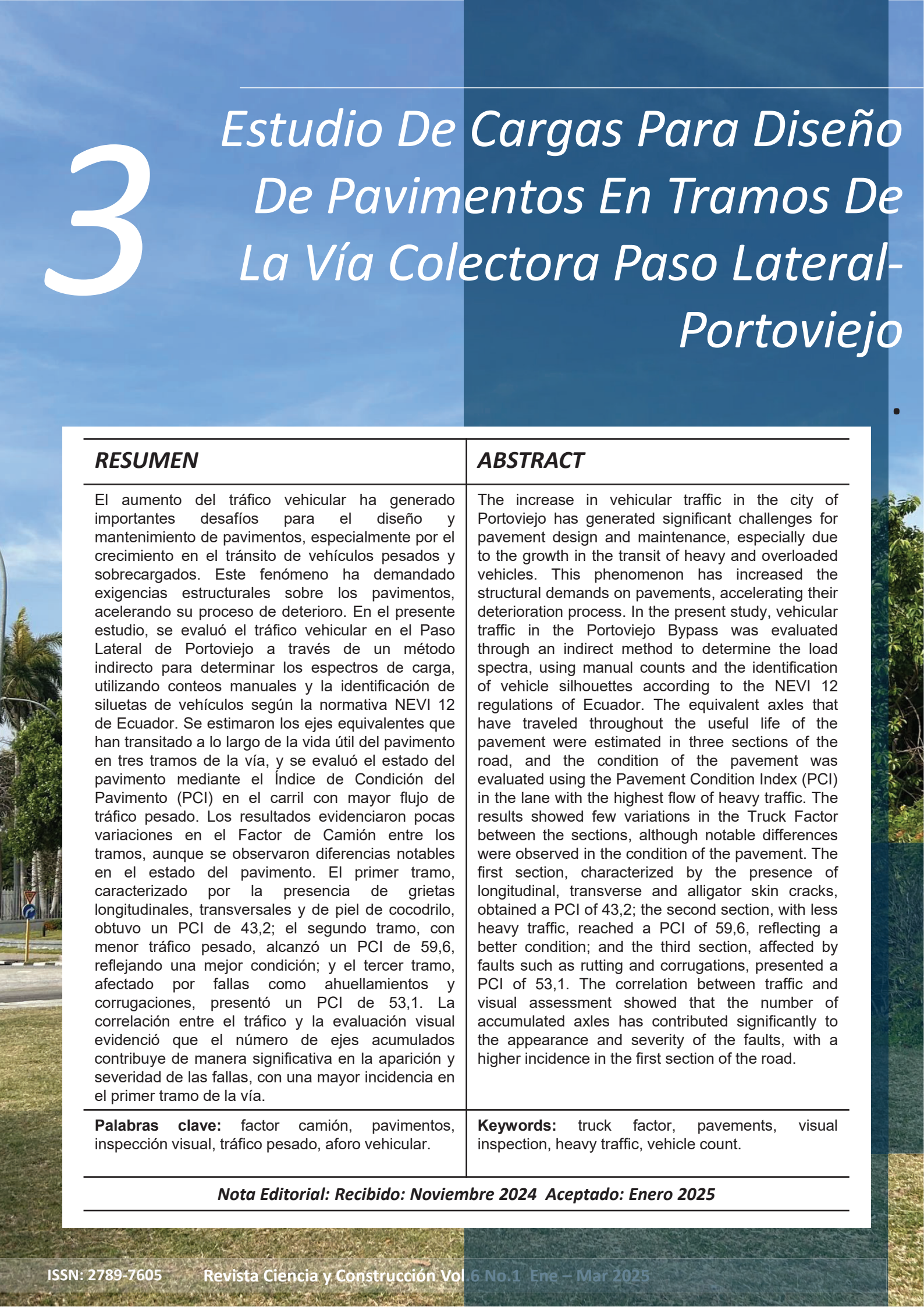
Loads Study For Pavement Design On Sections Of Collector Road Paso Lateral-Portoviejo

Autores

Juan Marcelo Arias Quijije
Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Portoviejo, Manabí, Ecuador
jarias0017@utm.edu.ec; https://orcid.org/0009-0007-6881-7358

José Adrián Navarrete Falcones
Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Portoviejo, Manabí, Ecuador
jnavarrete6429@utm.edu.ec; https://orcid.org/0009-0004-4330-5979

Eduardo Tejeda Piusseaut
3 Ingeniero Civil, Doctor en Ciencias Técnicas, Docente en Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Portoviejo, Manabí, Ecuador
eduardo.tejeda@utm.edu.ec; https://orcid.org/0000-0002-0589-9989



3 Estudio De Cargas Para Diseño De Pavimentos En Tramos De La Vía Colectora Paso Lateral-Portoviejo

RESUMEN

El aumento del tráfico vehicular ha generado importantes desafíos para el diseño y mantenimiento de pavimentos, especialmente por el crecimiento en el tránsito de vehículos pesados y sobrecargados. Este fenómeno ha demandado exigencias estructurales sobre los pavimentos, acelerando su proceso de deterioro. En el presente estudio, se evaluó el tráfico vehicular en el Paso Lateral de Portoviejo a través de un método indirecto para determinar los espectros de carga, utilizando conteos manuales y la identificación de siluetas de vehículos según la normativa NEVI 12 de Ecuador. Se estimaron los ejes equivalentes que han transitado a lo largo de la vida útil del pavimento en tres tramos de la vía, y se evaluó el estado del pavimento mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI) en el carril con mayor flujo de tráfico pesado. Los resultados evidenciaron pocas variaciones en el Factor de Camión entre los tramos, aunque se observaron diferencias notables en el estado del pavimento. El primer tramo, caracterizado por la presencia de grietas longitudinales, transversales y de piel de cocodrilo, obtuvo un PCI de 43,2; el segundo tramo, con menor tráfico pesado, alcanzó un PCI de 59,6, reflejando una mejor condición; y el tercer tramo, afectado por fallas como ahuellamientos y corrugaciones, presentó un PCI de 53,1. La correlación entre el tráfico y la evaluación visual evidenció que el número de ejes acumulados contribuye de manera significativa en la aparición y severidad de las fallas, con una mayor incidencia en el primer tramo de la vía.

Palabras clave: factor camión, pavimentos, inspección visual, tráfico pesado, aforo vehicular.

ABSTRACT

The increase in vehicular traffic in the city of Portoviejo has generated significant challenges for pavement design and maintenance, especially due to the growth in the transit of heavy and overloaded vehicles. This phenomenon has increased the structural demands on pavements, accelerating their deterioration process. In the present study, vehicular traffic in the Portoviejo Bypass was evaluated through an indirect method to determine the load spectra, using manual counts and the identification of vehicle silhouettes according to the NEVI 12 regulations of Ecuador. The equivalent axles that have traveled throughout the useful life of the pavement were estimated in three sections of the road, and the condition of the pavement was evaluated using the Pavement Condition Index (PCI) in the lane with the highest flow of heavy traffic. The results showed few variations in the Truck Factor between the sections, although notable differences were observed in the condition of the pavement. The first section, characterized by the presence of longitudinal, transverse and alligator skin cracks, obtained a PCI of 43,2; the second section, with less heavy traffic, reached a PCI of 59,6, reflecting a better condition; and the third section, affected by faults such as rutting and corrugations, presented a PCI of 53,1. The correlation between traffic and visual assessment showed that the number of accumulated axles has contributed significantly to the appearance and severity of the faults, with a higher incidence in the first section of the road.

Keywords: truck factor, pavements, visual inspection, heavy traffic, vehicle count.

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2024 Aceptado: Enero 2025

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbanístico de la ciudad de Portoviejo y el incremento de la relación de vehículos por persona han generado un notable aumento en el flujo vehicular, especialmente en las vías principales de la ciudad. Esto subraya la importancia de evaluar y analizar el tráfico para la planificación y el diseño de infraestructuras viales adecuadas [1].

Las entradas principales y las intersecciones de la ciudad de Portoviejo, a pesar de contar con un diseño adecuado, requieren una rehabilitación vial, debido a la alta afluencia de vehículos pesados, para ello, es necesario llevar a cabo estudios exhaustivos que cumplan con los estándares establecidos en las normativas vigentes del Estado ecuatoriano. Sin embargo, la falta de básculas de pesaje impide contar con datos precisos sobre las cargas reales de los vehículos pesados que transitan por estas vías. La importancia de establecer y controlar el peso de los vehículos pesados se basa en el efecto que éste tiene sobre el deterioro de los pavimentos, considerando que la carga ejercida sobre la estructura de pavimentos es directamente relacionada con el peso y dimensiones de vehículos que transitan sobre éstos. El exceso de carga en los vehículos pesados conduce a un incremento de niveles de carga y exponiendo una mayor probabilidad de daños dentro de la estructura del pavimento [1].

Además, se ha observado que, aunque los vehículos ligeros no suelen ser considerados en los estudios de tráfico para el diseño del pavimento, sus cargas en ocasiones superan las magnitudes máximas permitidas. Esto incrementa el número de ejes equivalente que transitan por las vías, por consiguiente, también contribuye al daño acelerado del pavimento y a la reducción de su vida útil [1]. A estos factores se añaden problemas derivados de cálculos inadecuados basados en datos que no reflejan con precisión la realidad geográfica de Portoviejo, la aplicación de criterios de diseño inapropiados y un análisis insuficiente de las condiciones climatológicas y de la subrasante. Realizar un estudio exhaustivo del tráfico vehicular pesado que considere las características particulares del cantón, resulta fundamental para desarrollar un diseño de pavimento que responda de manera racional a las exigencias previstas durante su vida útil. El tráfico pesado puede evaluarse mediante un método de aforo manual que clasifica los camiones según su tipo y configuración de ejes, lo que permite calcular el Factor Camión y el Número de Ejes Equivalentes (ESALs) en el flujo vehicular [2].

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es un método basado en la inspección visual de los deterioros presentes en la superficie del pavimento, sea rígido o flexible, dada su funcionalidad lo convierte en una herramienta eficaz para identificar zonas críticas que requieren mantenimiento [3]. Este índice utiliza un sistema de calificación que permite evaluar el estado del pavimento de manera sencilla, aunque no proporciona información sobre la capacidad estructural ni sobre la regularidad superficial [4].

La combinación del PCI con el análisis del tráfico pesado en una vía, permite determinar si el deterioro del pavimento está significativamente influenciado por el tránsito de vehículos pesados, o si, por el contrario, se debe a factores asociados con la calidad de la construcción o los materiales utilizados.

El presente estudio tiene como objetivo correlacionar la evaluación actual del Índice de Condición del Pavimento (PCI) en la Vía Colectora 39A (Paso Lateral), ubicada en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, con los resultados del análisis del tráfico pesado, considerando el Número de Ejes Equivalentes (ESALs, por sus siglas en inglés) estimado a lo largo de los años transcurridos desde su construcción.

Se han delimitado tres tramos de diferentes longitudes a lo largo de la vía, en los cuales se ha realizado un aforo vehicular empleando el “Método Indirecto de Determinación de las Cargas de Tráfico” [5] para estimar el Número de Ejes Equivalentes (ESALs) acumulado desde su construcción, así como para caracterizar los factores asociados al tráfico pesado en el carril de diseño. En estos mismos tramos se ha medido el PCI actual, siguiendo el procedimiento normado [6]. Dado que la vía presenta una estructura de pavimento homogénea a lo largo de su extensión, se consideró que las diferencias observadas en el estado del pavimento se deben principalmente a las variaciones en las solicitaciones recibidas por los vehículos pesados desde su construcción.

Las condiciones actuales del pavimento en las zonas de estudio evidencian deterioros significativos relacionados con el tráfico, ya que estas vías funcionan como arterias principales que soportan una alta carga de vehículos pesados [2]. Este tipo de tráfico, sumado a la sobrecarga generada por vehículos que superan las capacidades de diseño afectan el comportamiento estructural del pavimento y acorta su vida útil.

2. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL ESTUDIO

El presente estudio de investigación es de tipo correlacional, mediante la estimación del Índice de Condición del Pavimento se evalúa el estado del pavimento del Paso Lateral de Portoviejo. Para ello, la investigación se estructuró de la siguiente manera:

a) Definición de los tramos de estudio: Se seleccionaron tres tramos en la vía, donde se han observado ciertas diferencias en el PCI en los tramos viales estudiados. Para la evaluación se empleó el “Método Indirecto para la Determinación de las Cargas de Tráfico”, clasificando los vehículos según su silueta y asignándoles tres niveles de carga: vacío, intermedio y lleno, de acuerdo con la percepción del evaluador.

b) Aforo vehicular y análisis de sus resultados, para determinar en cada tramo:

- El porcentaje de vehículos pesados por cada carril, identificando el carril de diseño.
- El porcentaje de vehículos pesados en la corriente vehicular.
- Cálculo del Factor Camión:

a) Estimación del número de ejes equivalentes que han transitado en el carril de diseño durante la hora de máximo volumen de tráfico pesado y a lo largo de los años desde la construcción de la vía, considerando una tasa de crecimiento del tráfico aplicable a dicho período.

b) Evaluación del estado del pavimento. Se empleó el Método del PCI para evaluar el estado integral del pavimento, identificando el estado de conservación y los tipos de deterioros con más frecuentes en cada tramo.

c) Correlación de resultados: Se correlacionaron los valores del PCI con los resultados del conteo de tráfico, para analizar la relación entre el deterioro del pavimento y las solicitaciones vehiculares recibidas.

2.1. Vía En Estudio

La vía en estudio corresponde a la Vía Colectora Manabí Guillem, conocida como “Paso Lateral”, ubicada en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí (ver Figura 1). Para este análisis, se dividió la vía en tres tramos, basándose en las recomendaciones de ingenieros especializados en vialidad. La delimitación de los tramos se realizó considerando los redondeles o rotondas que conectan con las principales avenidas hacia el centro de la ciudad, resultando en secciones con diferentes longitudes. Según el inventario preliminar, todos los tramos presentan el mismo tipo de pavimento flexible y sección transversal, diferenciándose únicamente por su longitud. En cada tramo se evaluó el estado del pavimento y los volúmenes de tráfico actuales, clasificados en vehículos ligeros y pesados, siendo estos últimos agrupados según su silueta.

Figura 1. Ubicación y Características de la Vía Estudiada

La vía en estudio tiene una longitud total de 7,65 km, incluyendo las distancias generadas en las rotondas, aunque estos segmentos fueron excluidos del análisis de este trabajo. La división en tramos se realizó considerando los puntos de inicio y fin definidos por las intersecciones con las principales avenidas de la ciudad, quedando distribuida de la siguiente manera: el primer tramo abarca desde el Monumento a la Agricultura Manabita (R1) hasta el Monumento a San Pedro y San Pablo (R2), con una longitud de 3,7 km; el segundo tramo se extiende desde el Monumento a San Pedro y San Pablo (R2) hasta el redondel de la Ciudadela Los Cerezos (R3), con 1,1 km de longitud; y el tercer tramo se desarrolla desde el redondel de la Ciudadela Los Cerezos (R3) hasta el Hemiciclo de las Banderas (R4), con 2,85 km de longitud. El ancho de la vía se mantiene constante en 3,65 metros por carril, salvo en las curvas, donde se incrementa a 3,75 metros mediante un sobreancho para mejorar la maniobrabilidad vehicular.

2.2. Aforo Vehicular

El conteo vehicular se realizó de forma manual durante 3 horas diarias en una semana por cada tramo, realizadas del 4 al 24 en el mes de febrero del 2024 en horarios de máxima afluencia de tráfico entre las 7:00 am a 10:00 am, 12:00 pm a 3:00 pm y 4:00 pm a 7:00 pm (horas pico), registrando la cantidad de vehículos ligeros y pesados que transitaron por cada carril de la sección transversal. Los vehículos pesados fueron clasificados según su silueta, y se registró adicionalmente su estado de carga. De acuerdo con el "Método Indirecto para la Determinación de Cargas de Tráfico", el estado de carga de los vehículos pesados se divide en tres niveles: vacío, lleno e intermedio, siendo este último utilizado cuando el observador no puede determinar con certeza el estado de carga.

Para estimar la carga de los vehículos pesados, se establecieron pesos máximos específicos para cada tipo de silueta, tomando como referencia los límites estipulados por la normativa ecuatoriana [7]. Además, se identificaron los tipos de ejes y los porcentajes de carga transmitidos por cada uno. Para completar la base de datos de cada categoría vehicular, se realizó un análisis exhaustivo de diversas marcas y modelos de camiones, utilizando información proporcionada por empresas distribuidoras y catálogos técnicos. Este análisis permitió determinar la carga de los vehículos en tres escenarios: vehículo vacío, vehículo con el 50% de su capacidad de carga y vehículo con carga completa. En la figura 2 se presenta el modelo desarrollado para el aforo vehicular, donde se ilustran las diferentes siluetas posibles de los vehículos pesados.

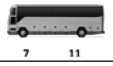
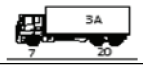
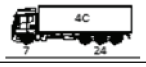
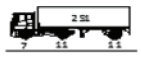
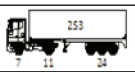
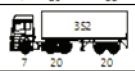
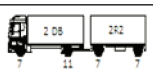
DATOS DE CONTEO DE TRÁFICO										
N°	TIPO DE VEHÍCULO	SILUETA	DESCRIPCIÓN	NUMERO DE VEHÍCULOS CARRIL						
				EXTERIOR			INTERIOR			
				VACIO	MEDIO	LLENO	VACIO	MEDIO	LLENO	
1	AUTOS		2 EJES PEQUEÑOS							
2	BUS		BUS DE 2 EJES							
3	BUS		BUS DE 3 EJES							
4	2D		CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑOS							
5	2DA		CAMIÓN DE 2 EJES MEDIANOS							
6	2DB		CAMIÓN DE 2 EJES GRANDES							
7	3A		CAMIÓN DE 3 EJES							
8	4C		CAMIÓN DE 4 EJES							
9	2S1		TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE							
10	2S2		TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJE							
11	2S3		TRACTO CAMIÓN DE 2 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJE							
12	3S1		TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 1 EJE							
13	3S2		TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 2 EJE							
14	3S3		TRACTO CAMIÓN DE 3 EJES Y SEMIREMOLQUE DE 3 EJE							
15	2R2		CAMIÓN REMOLCADOR DE 2 EJES Y REMOLQUE DE 2 EJES							

Figura 2. *Modelo elaborado para el aforo vehicular, incluyendo las diferentes siluetas de vehículos pesados*

Cada vehículo pesado registrado en la muestra fue clasificado como vacío, intermedio o lleno, según el estado de carga observado por el aforador, quien marcó la columna correspondiente en el formulario. Para el procesamiento de los datos, se aplica el siguiente criterio:

- Si el vehículo se clasifica como vacío, su peso total corresponde a la tara del vehículo.
- Si se clasifica como intermedio, se estima que su peso total es la suma de la tara más el 50% de su capacidad de carga.
- Si se clasifica como lleno, el peso total será la carga máxima permitida para ese tipo de vehículo.

Para el cálculo de los ejes simples equivalentes es necesario conocer las cargas que bajan por cada tipo de eje, sea simple con ruedas simples, simples con ruedas duales, tándem o trídem. Por eso la carga total estimada en cada vehículo, según la condición de carga registrada, se distribuye en cada uno de los ejes de acuerdo a la configuración que tenga cada tipo de vehículo o silueta.

En la figura 3 se muestra un ejemplo con un camión rígido (3A) compuesto por dos ejes: un eje delantero simple con ruedas simples, de 7 toneladas y el trasero es un eje tándem de 20 toneladas. Este tipo de camión tiene una distribución de 25,9 % del peso por el eje delantero y 74,1% del peso total por el eje trasero. Considerando dicha distribución se pueden determinar los pesos de cada eje en las tres condiciones de carga consideradas Kilolibra-Fuerza (kipf).

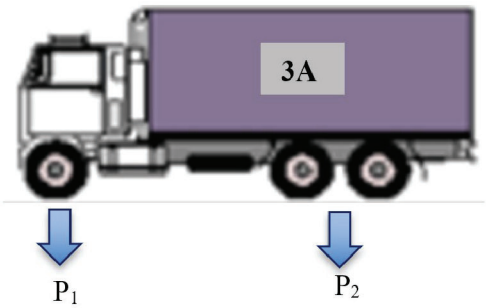


Figura 3. *Distribución de peso por eje en vehículo pesado (3A)*

Tabla 1. *Valores de peso según la capacidad del vehículo pesado 3A en kips*

Ejes del vehículo	Símbolo	Peso (toneladas)	Vacío *(kips)*	Intermedio *(kips)*	Lleno *(kips)*
Delantero	P_1	7	4,84	10,12	15,40
Trasero	P_2	20	13,84	28,82	44,00
Peso total	P_T	27	18,68	39,94	59,40

A partir del aforo de vehículos, se determinaron los siguientes aspectos en cada tramo:

- Número total de vehículos que circulan por la sección transversal, divididos en ligeros y pesados.
- Porcentaje de camiones en la corriente vehicular.
- Porcentaje de camiones por cada carril de la sección transversal y selección del carril de diseño, con el mayor porcentaje de camiones.
- Cálculo del Factor Camión.
- Estimación del número de ejes acumulados en cada tramo durante el periodo de tiempo transcurrido desde la construcción de la vía.

2.3. Número De Ejes Equivalentes (Esals)

Se calculó el número de ejes equivalentes (ESALs) que han transitado por dicho carril desde la construcción de la vía, como variable de referencia para evaluar el estado del pavimento en los tres tramos analizados. Dado que el conteo vehicular se centró en las horas de mayor tráfico, el cálculo de ESALs se focalizó en la hora de máxima carga, empleando esta métrica como base para comparar con los resultados de la inspe cción visual del pavimento.

El cálculo de ejes acumulados en la hora de mayor tráfico de vehículos pesados incorporó una tasa de crecimiento anual de camiones y autobuses, basada en los valores del MTOP para el período 2005-2025.

Según datos actualizados del MTOP, la tasa de crecimiento del tránsito en el país osciló entre 2,22% y 1,97% para los autobuses, y entre 2,18% y 1,94% para los camiones en dicho período. Con base en los porcentajes de autobuses y camiones obtenidos del conteo en cada tramo, así como en las tasas de la época, se calculó una tasa media ponderada de 2,07%.

Dado que el conteo vehicular se realizó durante tres horas en febrero, se empleó el Tráfico Promedio Horario Anual (TPHA) en lugar del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). Esto evita inexactitudes derivadas de aplicar factores de corrección para estimar el TPDA a partir de un conteo corto (menor a 24 horas). Sin embargo, se aplicaron factores de ajuste semanal y mensual para obtener el TPHA (Tráfico Promedio Horario Anual) en el carril de diseño de cada tramo.

Debido a la falta de referencias específicas sobre factores de corrección del TPDA en Manabí, el factor semanal se determinó como promedio de estudios realizados en otras localidades del país, con un valor promedio de 1,107 para el mes de febrero, cuando se realizaron los conteos. El factor mensual se estableció en función de un estudio de consumo de combustibles en Ecuador en 2019, con un valor de 0,907.

El cálculo de ejes equivalentes acumulados (Ecuación 1) se basa en el modelo de cálculo de ESALs propuesto por la AASHTO.

Donde:

ADT: Tráfico Diario Anual

TKS: Porcentaje de vehículos pesados

GF: Factor de crecimiento del tráfico

DD: Porcentaje de vehículos en cada sentido de circulación

LD: Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño

TF: Factor de camión

Para el cálculo del ESALs específico de la hora de máximo tráfico se empleó una expresión simplificada (Ecuación 2):

$$ESALs = AHT * GF * TF * 365 \quad (2)$$

Donde:

AHT: Tiempo Medio de Operación

Una vez definido el modelo de conteo, sus pesos totales y por tipo de ejes, se procede a obtener la carga de cálculo para cada vía a partir de un espectro de cargas por su tipo de eje y posteriormente convertir a números de ejes simples equivalentes de una rueda dual (ecuación 3). De igual manera, por el tipo de eje y la carga que éste mismo ejerce, se obtuvo el factor de equivalencia de carga (LEF, por sus siglas en inglés) [8].

El factor de equivalencia de carga (LEF) para cada tipo de eje de los vehículos se obtuvo a partir de los parámetros y datos calculados previamente. La suma de los LEFs multiplicada por su frecuencia da como resultado el factor ESAL para ese tipo de vehículo en específico" [9].

$$ESALs = \sum LEF * Frecuencia \quad (3)$$

La frecuencia observada por tipo de ejes, se multiplica por el factor de equivalencia correspondiente y dicho factor se calcula con la sumatoria de ejes simples equivalentes de todo el espectro, dividido para la frecuencia de tipo de camiones ($Frecuencia$) que intervienen en la muestra [5] como se muestra en la ecuación 4.

$$ESALs = AHT * GF * TF * 365 \quad (4)$$

2.4. Evaluación del estado del pavimento mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Para evaluar el estado del pavimento en cada tramo, se utilizó el Índice de Condición del Pavimento (PCI). Esta evaluación ofrece una visión general de la condición estructural del pavimento y se aplicó exclusivamente en el carril de diseño, permitiendo cuantificar su estado actual mediante la inspección visual de los deterioros presentes en la superficie.

El método PCI establece un rango recomendado para el área de las unidades de medición, que debe estar entre 270 m² y 630 m², según [11]. En este estudio, se utilizó un área de 300 m². La longitud de la unidad de medición se calculó dividiendo el área seleccionada entre el ancho del carril, obteniendo una longitud de muestra de 82,19 m para todos los tramos evaluados.

El número total de muestras se determinó dividiendo el área total de la vía por el área de cada unidad de medición. Para garantizar la precisión de los resultados, se consideró una desviación estándar de 10 para pavimentos asfálticos y un error admisible del 5%. El número mínimo de unidades de medición necesarias se obtuvo aplicando estos valores como se tiene en la ecuación 5:

$$n = \frac{Ns^2}{\left(\left(\frac{e^2}{4}\right) * (N-1) + s^2\right)} \quad (5)$$

Donde:

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N = Número total de unidades de muestra en la sección del pavimento

s = Desviación estándar del PCI. Se asume una desviación estándar del PCI de 10 para pavimento asfáltico,

e =Error admisible (e=5%)

Cada tipo de deterioro se clasifica en tres niveles de severidad: Baja (L), Media (M) y Alta (H) [12]. En función de la severidad registrada, se asigna un valor deducido a cada tipo de deterioro, el cual se obtiene mediante gráficos específicos desarrollados por el método, considerando la densidad y el nivel de severidad del daño.

Se debe obtener el número máximo admisible de valores deducidos mediante la ecuación 6.

$$mi = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - HDVi) \quad (6)$$

Donde:

m_i = Número máximo de valores deducidos permitidos por cada unidad de muestra,

HDV_i *es el* Valor deducido individual para las unidades de muestreo.

Si en una muestra determinada se tienen menos valores deducidos que el máximo, se utiliza el valor deducido total, la cual es la sumatoria de valores deducidos [13].

La calificación del PCI se obtiene calculando el promedio ponderado de los PCI registrados en cada unidad de muestra. La figura 4 muestra la escala de calificaciones que se obtienen según el valor de PCI obtenido [10].

85 - 100	EXCELENTE
70 - 85	MUY BUENO
55 - 70	BUENO
40 - 55	REGULAR
25 - 40	MALO
10 - 25	MUY MALO
0 - 10	FALLADO

Figura 4. *Escala de calificación del estado del pavimento [4]*

3. AFORO VEHICULAR

A lo largo de la vía estudiada, se observó que la mayoría de los camiones pesados recorren su totalidad, lo que indica una distribución uniforme del tráfico pesado en los tres tramos evaluados. Las cargas ejercidas entre tramos mostraron similitudes significativas debido a la demanda vehicular.

La tabla 2 presenta los resultados del aforo realizado en los tres tramos definidos de la vía, detallando el Factor de Camión por tipo de vehículo en cada tramo y en las tres condiciones estructurales consideradas (SN = 3, SN = 4 y SN = 5). Los volúmenes de tráfico registrados indican diferencias mínimas entre los tramos. El aforo facilitó la selección del carril con mayor porcentaje de tráfico pesado, el cual fue objeto de la evaluación visual del pavimento, dado que es el más susceptible al deterioro bajo la influencia de vehículos pesados [7].

Tabla 2. *Resúmenes de ejes equivalentes y factor camión*

TRAMOS		SN3			SN4			SN5		
		VACIO	MEDIO	LLENO	VACIO	MEDIO	LLENO	VACIO	MEDIO	LLENO
TRAMO 1	TOTAL.VEH.PESADO	706	139	1748	706	139	1748	706	139	1748
	FACTOR CAMION (FC)	0,32	0,98	2,60	0,39	0,95	2,47	0,28	0,95	2,55
	ESALs	225,92	136,35	4540,93	275,34	132,14	4317,63	197,68	132,55	4465,78
	MEDIDA PESADA (FC)	1,89			1,82			1,85		
TRAMO 2	TOTAL.VEH.PESADO	700	269	1377	700	269	1377	700	269	1377
	FACTOR CAMION (FC)	0,29	1,16	2,67	0,22	1,07	2,65	0,26	1,75	2,56
	ESALs	203,00	312,04	3676,59	152,03	288,04	3649,05	182,00	470,75	3519,53
	MEDIDA PESADA (FC)	1,79			1,74			1,78		
TRAMO 3	TOTAL.VEH.PESADO	664	139	1718	664	139	1781	664	139	1781
	FACTOR CAMION (FC)	0,37	1,08	2,48	0,32	0,95	2,42	0,31	1,01	2,48
	ESALs	245,68	150,12	4260,64	212,84	132,14	4312,11	205,84	140,39	4416,88
	MEDIDA PESADA (FC)	1,85			1,80			1,84		

Los resultados del Factor de Camión para cada tramo evidencian diferencias mínimas en los cálculos. Para evaluar la influencia del espesor del pavimento en el Factor de Camión, se utilizaron valores variables del Número Estructural (SN), ya que no se dispone de información precisa sobre este aspecto. Los resultados indican que el valor del SN tiene poca influencia en el Factor de Camión, observándose únicamente una ligera disminución al considerar un SN = 4, en comparación con los valores de SN = 3 y SN = 5.

Los resultados del Factor Camión indican valores más altos en los tramos 1 y 3, especialmente en el tramo 1, aunque las diferencias no son considerables. Esta información permitirá realizar comparaciones detalladas con los resultados de la evaluación de deterioro en estos tramos, utilizando el Índice de Condición de Pavimento (PCI).

3.2. Carril De Diseño

Se realizó la comparativa entre frecuencias de vehículos que transitan en cada carril en puntos estratégicos ubicados a lo largo de toda la vía realizando el respectivo conteo en las horas más transitadas del día. Con los datos obtenidos del aforo manual se seleccionó el carril de diseño, que corresponde al carril por el cual transita el mayor porcentaje de vehículos pesados.

En el análisis de la frecuencia de vehículos pesados por carriles (Ver tabla 3), los resultados son los siguientes: en el Tramo 1, el 72,72% de los vehículos pesados transitan por el carril exterior, en el tramo 2, esta cifra es del 69,36%; en el carril exterior y de igual manera el tramo 3, el 66,72% del carril exterior, estos porcentajes reflejan la prevalencia de tráfico pesado en los carriles exteriores de cada tramo. Siendo el primer tramo donde existe mayor frecuencia de vehículos pesados.

Tabla 3. *Porcentaje de vehículos por carril y porcentaje de vehículos pesados por carril.*

TRAMOS	RESUMENES DE PORCENTAJES POR CARRIL DE DISEÑO-TRAMOS							
	Porcentajes Veh/sentido				Porcentajes Veh/sentido			
	1	2	3	4	1	2	3	4
TRAMO 1	46,27	57,73	51,29	48,71	72,72	27,28	32,69	67,31
TRAMO 2	54,67	45,33	52,39	47,61	69,36	30,64	53,32	46,68
TRAMO 3	46,03	53,97	51,29	49,05	66,72	33,28	50,71	49,29

Se determinó que el carril exterior a lo largo de toda la vía, corresponde con el de mayor número de vehículos pesados, por lo que se considera como el carril de diseño. Este análisis facilitó la identificación del carril donde se aplicará el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI) para evaluar el estado funcional del pavimento mediante la clasificación de los deterioros en cada tramo, proporcionando un diagnóstico detallado de su condición.

3.3. Número De Ejes Acumulados En El Carril De Diseño Desde La Construcción Del Paso Lateral

A partir de la información obtenida en el conteo vehicular realizado durante una semana, enfocándose en las tres horas de mayor tráfico, se identificó el carril con el mayor flujo de vehículos pesados, el cual puede considerarse como el carril de diseño para el pavimento.

Donde:

En este cálculo, AHT representa el número de camiones en la hora de mayor tráfico, eliminando la variable TKS de la fórmula. Las variables DD y LD se establecen en 1, dado que el conteo se realizó en el sentido y carril de mayor tráfico de camiones. La variable TF se calculó a partir del conteo de cargas específico en cada tramo analizado. El valor de ESALs obtenido representa el número de ejes equivalentes acumulados durante la hora de máximo tráfico para el carril de diseño. Los resultados de estos cálculos se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. *Factores de ajuste y tráfico promedio horario anual para cada tramo*

Variables de cálculo del TPHA	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
Tráfico actual promedio por hora (Veh/hora)	5706	3713	5178
Porcentaje de vehículos pesados (TKS)	11,70	14,80	11,90
Tráfico horario máximo de vehículos pesados (Veh/hora)	56	46	51
Tráfico horario máximo de vehículos pesados inicial (Veh/hora)	37	30	34
Factor semanal (FS)	1,107		
Factor mensual (FM)	0,907		
Factor de crecimiento del tráfico pesados (GF)	24,71	24,71	24,71
Factor de camión (TF)	1,85	1,783	1,833
Ejes equivalentes acumulados en una hora (ESALs)	6,16E+05	4,89E+05	5,64E+05

3.4. Evaluación Del Pavimento En La Vía Paso Lateral

Por ejemplo, en el tramo 1, el valor deducido para la falla “piel de cocodrilo” de 44,79 se obtuvo de la sumatoria de los valores deducidos de severidad baja, media y alta dividida entre el número de muestras. En este caso, la sumatoria total fue de 537,5, la cual se dividió entre 12, ya que se analizaron 12 muestras como se muestra en la tabla 5.

En el tramo 1 (12 muestras), la falla predominante es la “piel de cocodrilo”, con un valor deducido de 44,79 representando el 52,87% de todas las fallas en este tramo. Esto indica que más de la mitad del deterioro está relacionado con esta falla, evidenciando problemas de fatiga avanzada. Las fallas secundarias incluyen baches, con un valor deducido de 24,63 (29,06%), y fisuras, con un valor de 12,89 (15,22%), afectando la funcionalidad estructural de la vía.

En el tramo 2 (10 muestras), la “piel de cocodrilo” también es la falla más significativa, con un valor deducido de 25,95, (44,10%). Las fisuras siguen, con un valor deducido de 12 (20,39%), y los baches, con un valor de 10 (16,99%).

En el tramo 3 (12 muestras), la “piel de cocodrilo” es nuevamente predominante, con un valor deducido de 23,96, representando el 35,74% de las fallas. Sin embargo, este tramo exhibe una mayor diversidad de deterioros, incluyendo baches 15,58 (23,26%), corrugaciones 7,33 (10,94%), y fisuras 7,38 (11%), lo que sugiere deterioro vinculado a posibles problemas en la subrasante y una condición más compleja.

En la tabla de valores deducidos (Ver tabla 5), se identifican distintos tipos de fallas con sus respectivas severidades a lo largo de los tres tramos analizados. Se presentan resultados del análisis detallado para el valor deducido dependiendo su falla y su porcentaje, lo que permite destacar las fallas predominantes en cada tramo.

Tabla 5. *Porcentaje de Valor Deducido de falla estudiada*

VALOR DEDUCIDO PARA CADA TIPO DE FALLA															
FALLAS	TRAMO 1					TRAMO 2					TRAMO 3				
	L (LOW)	M (MEDIUM)	H (HIGH)	TOTAL VD	%	L (LOW)	M (MEDIUM)	H (HIGH)	TOTAL VD	%	L (LOW)	M (MEDIUM)	H (HIGH)	TOTAL VD	%
Piel de cocodrilo	0	537,5	0	53,75	52,87	0	259,5	0	25,95	44,10	13,5	274	0	28,75	35,74
Exudación	0	4,5	0	0,45	0,44	0	0	0	0	0,00	0	7	0	0,7	0,87
Abultamientos y hundimientos	0	0	0	0	0,00	0	0	35	3,5	5,95	0	38	0	3,8	4,72
Corrugación	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	88	0	8,8	10,94
Fisuras longitudinales y transversales	38,9	115,8	0	15,47	15,22	7,25	112,75	0	12	20,39	28	60,5	0	8,85	11,00
Parches y parches de corte utilitarios	0	22	0	2,2	2,16	13	40	0	5,3	9,01	0	32	0	3,2	3,98
Baches	80,5	174	41	29,55	29,06	14	54	32	10	16,99	0	26	0	2,6	3,23
Ahuellamientos	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	187	0	18,7	23,24
Desplazamientos	0	0	0	0	0,00	5	5	11	2,1	3,57	0	24,5	0	2,45	3,05
Desprendimientos de agregados	2,5	0	0	0,25	0,25	0	0	0	0	0,00	0	26	0	2,6	3,23
					100,00					100,00					100,00

Las fallas estructurales se evaluaron conforme al método PCI, determinando su densidad y clasificando su severidad en cada tramo. Las grietas longitudinales, transversales y la falla en “piel de cocodrilo” fueron las más comunes, indicando un nivel avanzado de fatiga del pavimento.

El PCI del primer tramo arrojó un promedio de 43.2, clasificando el estado del pavimento como “muy pobre” (rango PCI: 40-55), debido a la cantidad y severidad de las fallas en cada unidad de muestreo (ver tabla 2). En el segundo tramo, el PCI alcanzó un valor de 59,6, lo que indica una mejora y clasifica el estado del pavimento como “pobre” (rango PCI: 55-70), atribuido a la falta de intersecciones importantes que disminuyen el tráfico pesado y el desgaste. En el tercer tramo, con características similares de tráfico y dimensiones, el PCI fue de 53,1, clasificándolo también como “muy pobre”. Este tramo presentó fallas adicionales, como ahuellamientos, corrugaciones y depresiones significativas, posiblemente causadas por problemas en la subrasante, lo que sugiere la necesidad de una evaluación más detallada para plantear soluciones adecuadas.

El PCI se calculó con la fórmula PCI = 100 - CDV, donde CDV es el valor deducido corregido que refleja el deterioro en las unidades de muestreo. Los resultados resaltan la necesidad de intervenciones correctivas en el pavimento para mejorar su condición estructural y funcional (ver figura 5).

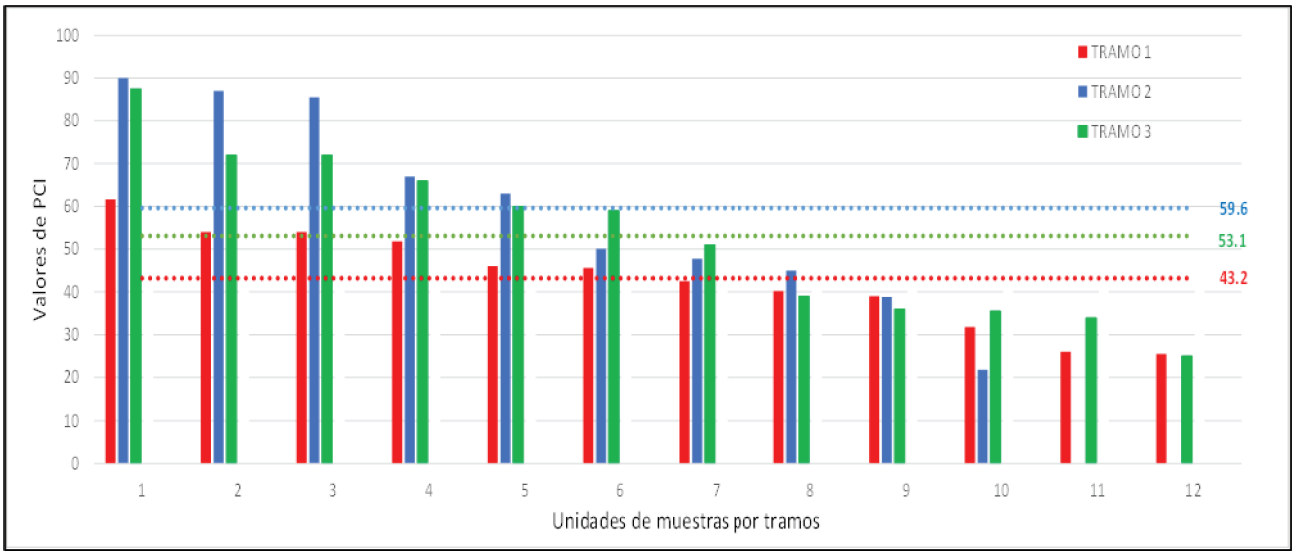


Figura 5. *PCI de unidades de muestra para cada tramo*

Aunque los volúmenes de tráfico entre los tramos presentan diferencias mínimas, el Factor de Camión es mayor en los tramos 1 y 3, con el tramo 1 registrando los valores más altos. Esto sugiere que el tráfico pesado puede ser la variable que más influye en el deterioro del pavimento en estos tramos.

El cálculo de ESALs, utilizando una tasa de crecimiento ponderada y basado en la hora de mayor tráfico, permitió una estimación objetiva de las cargas que ha soportado el pavimento en los últimos 20 años. El tramo 1 registra el mayor acumulado de ESALs, lo cual se asocia con un mayor deterioro y justifica su clasificación como “muy pobre” en términos de PCI.

En la figura 6 se muestra una correlación entre los tráficos acumulados (expresados como ESALs/10^4) con los valores observados del PCI en cada tramo. Estos resultados demuestran que los mayores valores de tráfico se corresponden con mayor cantidad de deteriores, por tanto, menores valores en el PCI.

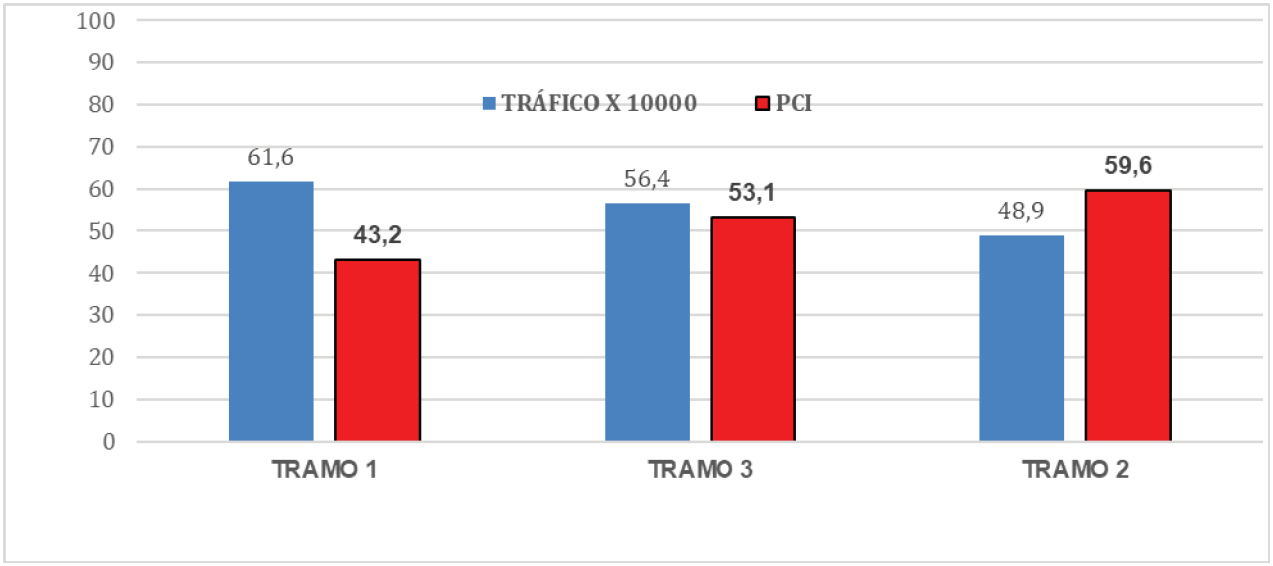


Figura 6. *Representación entre ESAL´s Acumulados y valores del PCI para cada tramo*

4. CONCLUSIONES

La evaluación de la Vía Colectora 39A “Paso Lateral” muestra un fuerte impacto del tráfico pesado en el deterioro del pavimento a lo largo de sus tres tramos, lo que evidencia la relación directa entre el tránsito de vehículos pesados y el desgaste estructural de la vía.

La “piel de cocodrilo” es el daño predominante y se observa en todos los tramos, evidenciando fatiga estructural avanzada del pavimento, particularmente en el tramo 1, donde la concentración de este daño es mayor. El tramo 3, por otro lado, presenta una mayor variedad de daños, posiblemente debido a una combinación de tráfico pesado y condiciones de la subrasante.

Las condiciones climáticas extremas, combinadas con las cargas vehiculares, influyen significativamente en el estado del pavimento. Durante la temporada de lluvias, la infiltración de agua en las capas del pavimento debilita su estructura, reduciendo su capacidad para soportar cargas pesadas y provocando fallas prematuras. Por otro lado, las altas temperaturas, frecuentes en la región, generan expansión térmica en los materiales del pavimento, ocasionando fisuras que facilitan aún más la entrada de agua. Este ciclo de expansión, contracción e infiltración acelera los procesos de deterioro, especialmente en pavimentos expuestos a tráfico constante.

Adicionalmente, las cargas vehiculares, particularmente de vehículos pesados, incrementan las tensiones internas en el pavimento. Durante el período de estudio, las ESALs acumuladas proyectadas para un período de 20 años reflejan un tráfico significativo, lo que, sumado a las sobrecargas frecuentes y las condiciones climáticas, contribuye a la aparición de defectos como grietas longitudinales, baches y deformaciones.

En este contexto, los tipos de deterioro observados en los tramos analizados pueden relacionarse con las posibles causas identificadas. Por ejemplo, las grietas longitudinales suelen asociarse a la expansión térmica causada por las altas temperaturas, mientras que los baches se originan por la infiltración de agua durante la temporada de lluvias. Las deformaciones plásticas, en cambio, se deben principalmente a la combinación de altas temperaturas y cargas vehiculares intensas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.M. Pagola, O. Giovanon y J. Ramondeda, “Análisis de los factores de deterioro de camión en la zona central de Argentina”, Rosario, 2020. URL: http://hdl.handle.net/2133/21363

2.P. Condarco, “Análisis y Procedimiento para un Estudio de cargas por eje”, La Ley, vol.20, pp. 50, 2016. URL: https://bit.ly/4hnR4zD

3.H. Gonzáles-Fernández, P. Ruiz-Caballero y D. Guerrero-Valverde, “Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI)”, Ciencia en su PC, vol.1, n°1, pp. 58-72, 2019. URL: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358738015

4.ASTM D 6433, “Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys”, ed. USA: ASTM International, 2007. DOI: https://doi.org/10.1520/d6433-23

5.Carreteras-Pavimentos Flexibles-Métodos de Cálculo, NC: 334/2004, 2004.

6.Giler y S. Bladimiro Flores-De Valgas, “Evaluación funcional del pavimento flexible en la red vial rural de Portoviejo, Ecuador”, Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun-ISSN: 2697-3456, vol.7, n°13, pp. 212-235, 2023. URL: https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/404

7.MTOP, “Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12”, ed. Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2012. URL: https://bit.ly/42jLFW5

8.M. Raheel, R. Khan, A. Khan, M. T. Khan, I. Ali, B. Alam, and B. Wali, “Impact of axle overload, asphalt pavement thickness and subgrade modulus on load equivalency factor using modified ESALs equation”, Cogent Engineering, vol.5, n°1, pp. 12, 2018. DOI: https://doi.org/10.1080/23311916.2018.1528044

9.S. S. Kim, J. J. Yang, S. A. Durham, I. K. Kim, and N. T. Yaghoubi, "Determination of Equivalent Single Axle Load (ESAL) Factor for Georgia Pavement Design," Report # FHWA-GA-21-1804, Georgia Dept. of Transportation, Office of Performance-Based Management and Research, 2021. URL: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/57399/dot_57399_DS1.pdf

10.B. Baque, “Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí”, Dominio de las Ciencias, vol.6, n°2, pp. 203-228, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i2.1163

11.C. Quinto, J. Mallqui, “Evaluación superficial del pavimento asfáltico apoyada por el método PCI en pistas de aterrizaje de aeropuertos”, Universidad Ciencia y Tecnología, vol.27, n°118, pp. 87-98, 2023. DOI: https://doi.org/10.47460/uct.v27i118.690

12.R. P. Hasibuan and M. S. Surbakti, "Study of Pavement Condition Index (PCI) relationship with International Roughness Index (IRI) on Flexible Pavement," MATEC Web of Conferences, vol. 258, p. 03019, 2019. DOI: https://doi.org/10.1051/matecconf/201925803019

13.R. Álava y F. Pico, “Modelo para la gestión de la conservación vial del Paso Lateral “Manabí Guillem” en la ciudad de Portoviejo-Manabí-Ecuador”, Ciencia y Construcción, vol.6, n°2, pp. 39-47. 2024. URL: https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/250