

Catálogo Para El Diseño De Pavimentos Flexibles En Vías De Bajos Volúmenes De Tráfico En La Provincia De Manabí

Catalog For The Design Of Flexible Pavements On Roads With Low Traffic Volumes In The Province Of Manabí

Autores

Erika Katherine Cuenca Borrero¹, Félix Michael Hernández López², Reynier Moll Martínez³

¹Ingeniera Civil. Maestría académica con trayectoria profesional en vialidad. Departamento de postgrado de la Universidad de Universidad Técnica de Manabí. Lodana – Vía a 24 de mayo – Camino nuevo, Manabí. Ecuador. Email.

ecuenca2183@utm.edu.ec

² Doctor en Ciencias Profesor Titular de La Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUJAE, Calle 114 # 11901 / Ciclovía y Rotonda CP 19390, La Habana Cuba, fmichaelhl@gmail.com

³ Doctor en Ciencias Profesor Titular de La Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría CUJAE, Calle 114 # 11901 / Ciclovía y Rotonda CP 19390, La Habana Cuba, reymoll@civil.cujae.edu.cu

RESUMEN

El presente artículo ofrece un instrumento de vital importancia para la ingeniería vial y profesionales involucrados en el diseño o revisión de pavimentos en vías de bajos volúmenes de tráfico de la provincia de Manabí. El trabajo presenta un catálogo de secciones de pavimentos predefinidas, desarrollado a partir de un enfoque empírico-mecanicista mediante el cual se determinan los espesores de capas necesarios del paquete estructural, teniendo en cuenta: el tráfico, la capacidad portante del suelo y la caracterización de los materiales. Para la obtención de las distintas variantes se empleó el software ALIZE – LCPC versión 1.5.0, el cual constituyó una herramienta que permitió obtener la respuesta de los distintos paquetes estructurales. En el trabajo se evaluaron varios factores de diseño tratando de recoger todas las alternativas posibles en la provincia; se varió la resistencia de la subrasante (CBR < 3%; de 4% a 6%; de 7% a 9% y 10%) y los niveles de tráfico de 0-150 (EEq x 1000); 150 -300 (EEq x 1000); 300-500 (EEq x 1000) y 500-700 (EEq x 1000). Como resultado práctico, quedó establecido un catálogo con soluciones estructurales para el diseño de proyectos de construcción o rehabilitación de vías de bajo volumen de tráfico en la región.

Palabras claves: Catálogo de pavimentos flexible, método empírico-mecanicista, bajo volumen de tráfico

ABSTRACT

This article offers a vitally important instrument for road engineering and professionals involved in the design or revision of pavements with low traffic volumes in the province of Manabí. The work presents a catalog of predefined pavement sections, developed from an empirical-mechanistic approach through which the necessary layer thicknesses of the structural package are determined, taking into account: traffic, bearing capacity of the soil and the characterization of the materials. To obtain the different variants, the ALIZE - LCPC version 1.2.0 software was used, which constituted a tool that allowed obtaining the response of the different structural packages. In the work several design factors were evaluated trying to collect all the possible alternatives in the province; the resistance of the subgrade was varied (CBR < 3%; from 4% to 6%; from 7% to 9% and 10%) and the traffic levels from 0-150 (EEq x 1000); 150 -300 (EEq x 1000); 300-500 (EEq x 1000) and 500-700 (EEq x 1000). As a practical result, a catalog was established with structural solutions for the design of construction projects or rehabilitation of low-volume traffic roads in the region.

Keywords: Flexible pavement catalogue, empirical-mechanistic method, low traffic volume

Nota Editorial: Recibido: Marzo 2023 Aceptado: Mayo 2023

1. INTRODUCCIÓN

El foco de las inversiones en infraestructura vial de cualquier región se concentra generalmente en las denominadas vías de alto tráfico. Sin embargo, también se debe dar importancia a las Vías o Caminos de Bajo Volumen de Tráfico (CBVT), dada su importancia económica y social. Estos, a través de la movilidad de las personas y los bienes que brindan, son los encargados de permitir el acceso a las necesidades básicas, asegurando la alimentación, la educación y la salud de la población rural. También son responsables de gran parte del transporte de materias primas, lo que hace evidente su importancia para los territorios que atienden estas vías [1, 2]. Lo planteado anteriormente queda evidenciado en un estudio realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), donde plantea que en países desarrollados las Vías o Caminos de Bajo Volumen de Tráfico representan de un 60 a un 70% de su red vial. Este porcentaje es aún mayor en países de poco desarrollo donde pueden alcanzar hasta un 95% [3].

Es importante tener en cuenta que el transporte eficiente juega un papel crucial en el desarrollo socioeconómico rural y la reducción de la pobreza. La situación típica en la mayoría de América Latina es que una gran parte de la población rural tiene una economía basada en la agricultura. En estas situaciones es imperativo brindar a las comunidades un acceso seguro y sostenible a los servicios básicos. Estos países generalmente tienen una red de caminos rurales sin pavimentar, lo que dificulta la implementación de soluciones de pavimentación con materiales de construcción convencionales, ya que a menudo son escasos o solo están disponibles a un costo elevado. Por lo tanto, es cada vez más importante fomentar el desarrollo de redes de caminos rurales de una manera asequible y sostenible, utilizando de manera eficiente los recursos locales para proporcionar infraestructura de transporte de bajo costo.

Desde esta perspectiva, se justifica la presente investigación en Ecuador, y especialmente en la provincia de Manabí, al estar presente la necesidad de incrementar los estudios sobre las CBVT, siendo un aspecto que atenta contra el desarrollo de proyectos en la región. El costo de proporcionar una infraestructura vial rural basada en estándares y métodos de diseño tradicionales puede ser prohibitivo. Esto se debe a que estos enfoques están ligados a elevados niveles de tráfico que exige espesores y calidades de materiales que no corresponden con el entorno vial local [4]. Como resultado, por lo general son demasiado costosos para su aplicación en la red de caminos rurales. Esto conlleva a desarrollar nuevos manuales de diseño para CBVT que se adapten a las necesidades del país y tengan en cuenta los muchos avances en la tecnología que se han producido en los últimos tiempos en la región e internacionalmente.

En el presente artículo se realiza un estudio teniendo en cuenta los factores de diseño de la provincia de Manabí para concebir un procedimiento de diseño basado en un catálogo estructural para el dimensionamiento de pavimentos flexibles y semirrígidos. Inicialmente se partirá de un estudio de todos los factores que inciden en el diseño de la estructura tomando como referencia lo planteado en los reportes y normas internacionales para este tipo de vías, en este aspecto se dejarán claras las variables típicas de la región. Posteriormente, se emplea un método mecanicista para evaluar la respuesta estructural de las diferentes alternativas a analizar tomando como referencia para la toma de decisiones el modelo de comportamiento ICAFIR [5]. Finalmente, se presentan todas las variantes en forma de catálogo permitiendo darle al estudio un valor práctico considerable.

1. 1. Análisis De Los Factores De Diseño

El diseño estructural de un pavimento es básicamente diferente al de otras estructuras, como puentes o edificios, ya que el mismo descansa sobre el cimiento en toda su dimensión, atravesando variados emplazamientos que representan diversidad en densidad, resistencia y humedad de los suelos; además de encontrarse sometido a diversas configuraciones de cargas y condiciones medioambientales; por lo cual estas variables deben ser caracterizadas de tal manera, que sean representativas de las condiciones del tramo de vía para lograr un diseño racional. Los factores de diseño pueden ser divididos en varias categorías según características geométricas, tránsito, materiales del sistema y medioambiente [6].

2. 1. Tráfico

El primer paso para determinar el tráfico en el diseño de una estructura de pavimentos es la selección del período de diseño. Esta dependerá de varios factores e incertidumbres, relacionados con la importancia de la vía y la confiabilidad que se tenga sobre la información del tráfico y de los materiales. En el caso de la investigación dado que son vías con bajos volúmenes de tráfico puede preverse períodos más cortos, por lo que para el desarrollo del catálogo este será considerado de 10 años.

El análisis de vías con bajos volúmenes está caracterizada por una baja intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDP) durante el año inicial en el carril de diseño, es por eso que tomando como referencia las especificaciones técnicas de MOP-001-F-2022 [7] se establece que para la conformación del catálogo se tomará un tráfico liviano ($IMDP \leq 50$ vehículos). El tráfico liviano se separó en tres categorías teniendo en cuenta la cantidad de vehículos pesados que puede atraer la vía como resultado de su importancia funcional y socioeconómica.

- 1) Carreteras de la red vial rural o vecinal
- 2) Carreteras de la red vial regional
- 3) Carreteras de la red vial provincial

Los valores de IMDP en cada caso fueron obtenidos a partir de aforos realizados por le MOP en varias partes de la provincia. En la tabla 1 se muestran el resultado para las tres categorías mencionadas (T1, T2 y T3).

Tabla 1: Vehículos pesados en el año inicial

Clasificación del tráfico	Número diario de vehículos pesado en el año inicial de servicio en el carril de diseño
T1	1 - 10
T2	11 - 25
T3	26 - 50

Para la determinación del tráfico de proyecto en cada clasificación, al igual que los métodos tradicionales se definen el número de ejes esperados acumulados al final del periodo de diseño (10 años) para ello primeramente el IMDP se transformará a ejes equivalentes de 8.2 ton (18 Kips) a partir de multiplicar estos por los factores de equivalencia de cargas (LEF por sus siglas en inglés) y posteriormente determinar la media ponderada de los mismos tal como expresa la Norma AASTHO-93 [8]. Para la investigación se desarrollaron múltiples aforos en vías con las características descritas en cada clasificación dando como resultado un factor camión-eje aproximadamente de $TF=0.45$. Estos ejes de 8.2 ton son acumulados en un período de 10 años multiplicando estos por el crecimiento anual (GF) obtenido mediante la ecuación 1.

$$GF = \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \quad (1)$$

Donde n corresponde al período de diseño y r es la tasa de crecimiento anual de la región la cual se estima que de un 2.5%. Finalmente, el número de ejes equivalentes esperados en el carril de diseño se determina mediante la ecuación 2 y sus resultados se reflejan en la tabla 2 para cada categoría descrita.

$$\sum N = 365 \cdot IMDP \cdot TF \cdot GF \quad (2)$$

Tabla 2: Tráfico de proyecto

Clasificación del tráfico	Número de ejes equivalentes (8.2 ton) en el período de servicio en el carril de diseño
T1	$1.86 \cdot 10^3$ a $1.86 \cdot 10^4$
T2	$2.05 \cdot 10^4$ a $4.66 \cdot 10^4$
T3	$4.84 \cdot 10^4$ a $9.32 \cdot 10^4$

2. 2. Subrasante

El parámetro que mejor describe el comportamiento de la subrasante es el módulo resiliente (M_r), sin embargo, obtener este resultado en suelo resulta complicado y sobre todo costoso, por lo que en mucho de los casos este valor es correlacionado con otros parámetros de más fácil obtención. En el caso de la investigación se establece una relación con el CBR, el cual puede ser medido en el laboratorio o en el campo mediante el empleo del penetrómetro de cono (*DCP por sus siglas en inglés*). En el caso del diseño de pavimentos en vías de bajos niveles de tráfico por su condición de tráfico liviano se puede permitir valores de CBR mínimos de hasta un 3.0%. A partir de esto se elaboró una tabla que recoge varias posibilidades tomando en cuenta los índices de capacidad portante del suelo y sus correspondientes módulos de resiliencia. Se toma como referencia para la correlación de ambos parámetros la establecida por **Heukelom & Klomp** en 1964 [9], **ecuación 3**.

$$M_r = 10 \cdot \text{CBR} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

Tabla 3: Rangos de diseño para la capacidad de soporte de la subrasante

Profundidad del nivel freático (m)	Clasificación de subrasantes afectadas por la cercanía del manto freático				
	Arena NP	Arcilla IP=10	Arenosa IP=20	IP=30	IP=40
0.5	S3	S3	S2	S2	S1
1.0	S4	S3	S3	S2	S1
2.0	S4	S4	S3	S3	S2
3.0 o más	S4	S5	S3	S3	S2

2.3. Materiales De Las Capas

El catálogo propone diversas alternativas donde en sus capas se combinan materiales no aglomerados y aglomerados. Al igual que la subrasante pueden ser caracterizados tanto por el CBR como por el módulo resiliente. Los suelos empleados en las alternativas estructurales se tomaron teniendo en cuenta análisis de los valores característicos de resistencia disponibles en las canteras de la provincia Manabí. Para la base se empleó un material granular (Clase II), para la subbase un material granular (Clase III) y un material de mejoramiento. En el caso de los materiales aglomerados se emplean bases estabilizadas con cemento y una carpeta de hormigón asfáltico. Estos materiales se identifican en una tabla a partir de nomenclaturas que posteriormente serán empleadas en el catálogo.

Tabla 3: Caracterización los materiales

Material	Símbolo	Leyenda	CBR %	Módulo resiliente (MPa)
Tratamiento superficial		TS	--	--
Carpeta Asfáltica (40°-10MHz)		CA	--	1150
Base granular (Clase II)		BG	50	480
Subbase Granular (Clase III)		SBG	35	320
Material de mejoramiento		M	24	250
Base estabilizada con cemento		BC	--	2000

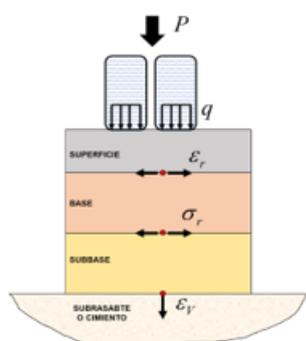
2.4. Condiciones Medioambientales

El período de diseño establecido para el cálculo de la resistencia de los suelos y la mezcla asfáltica es en invierno, comprendido entre los meses de **diciembre a mayo**, donde son mayores las precipitaciones y las temperaturas, al igual que las humedades de los suelos de la explanación y de las capas no aglomeradas del pavimento. La temperatura de las mezclas asfálticas para el diseño del pavimento es de 35°C, definida como un valor representativo de los máximos valores esperados en la provincia, para una probabilidad del 50 %.

3. ELABORACIÓN DEL CATÁLOGO

Para la elaboración del catálogo se emplea un enfoque empírico-mecanicista que parte de obtener la respuesta estructural de determinado paquete estructural mediante el uso de una herramienta computacional (*ALIZE-LCPC*) [10] basado en un sistema elástico multicapa de Burmister, posteriormente esta respuesta es contrastadas con un modelo de comportamiento empírico donde se determinan los valores admisibles de cada capa del paquete.

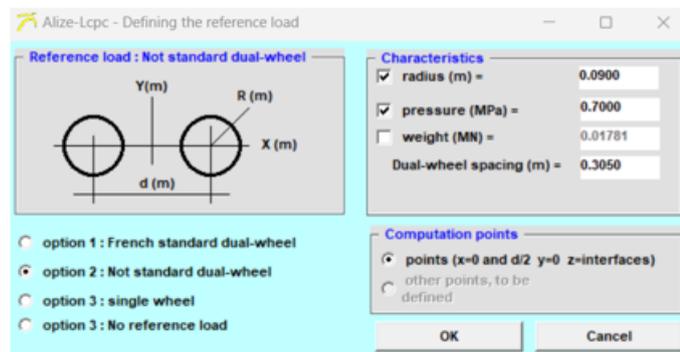
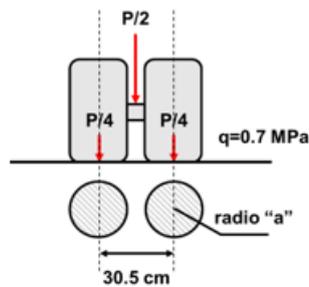
Para obtener la respuesta de la estructura se definen un conjunto de condiciones iniciales que serán comunes en todas las alternativas; carga, presión de inflado, radio circular equivalente y relación de interacción entre capas. Los materiales se variarán teniendo en cuenta las alternativas presentadas en la **tabla 4**. Se toma un modelo de referencia de la estructura en el cual se determinarán las variables de respuesta que posteriormente serán contrastadas con los modelos de comportamiento. A continuación, se muestra en la **figura 1** cuales son las variables a estudiar en cada alternativa.



- **Capas conformadas con mezclas bituminosas:** Máxima deformación radial en tracción (ϵ_r)
- **Capas tratadas con aglomerantes:** Máxima tensión tangencial de tracción (σ_r)
- Capas granulares y subrasantes: Máxima deformación vertical de compresión (ϵ_v)

Figura 1: Esquema representativo del modelo de respuesta

Como se conoce, el peso de los vehículos se transmite al pavimento según el número de ruedas, distribuyéndose en un área que depende fundamentalmente de la presión de contacto entre el neumático y el pavimento. En los métodos mecanicistas se representan las solicitaciones mediante el área y la presión de contacto [11, 12]. Esta área tiene forma circular y su radio depende de la relación que existe entre la carga que baja por la llanta y la presión de contacto de esta, **figura 2**. En el caso de la investigación se toma como carga el eje de referencia de 8.2 ton y una presión de inflado de 0.7 MPa.



Peso del eje (P) = 8200 kgf

Presión de inflado (q) = 7.0 kgf/cm²

$$\text{Área de contacto equivalente} \rightarrow A = \frac{(P/4)}{q} = \frac{2050 \text{ kgf}}{7 \text{ kgf/cm}^2} = 292.86 \text{ cm}^2$$

$$\text{Radio de contacto equivalente} \rightarrow a = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{292.86}{\pi}} = 9.66 \approx 9.0 \text{ cm}$$

Figura 2: Determinación del área circular equivalente

Se analizaron 6 variantes de estructuras donde se combinan superficies con carpeta asfáltica y tratamientos superficiales, así como materiales estabilizados en la capa de base (**Tabla 4**). Estas variantes se seleccionaron a partir de analizar y evaluar su funcionalidad, las calidades permitidas en la subrasante y los niveles de tráfico que se van a presentar.

Tabla 4: Variantes o paquetes estructurales analizados en el catálogo

P1	P2	P3
CA BG SBD	CA BG M	TS BG SBD
P4	P5	
TS BC SBD	TS BG M	

En el modelo de ALIZE es necesario establecer la relación de interacción entre las capas que componen la estructura ya que esta relación condiciona los resultados del modelo de respuesta. Estudios realizados por [13, 14] demuestran experimentalmente que cuando los niveles de adherencia son débiles en la interfaz entre las capas de asfalto y base, da como resultado una mayor deformación por tracción en la parte inferior de la capa base, lo que conduce a una disminución de la vida útil de la estructura del pavimento. En particular, la deformación por tracción en la parte inferior de la capa superficial puede aumentar aún más, provocando el agrietamiento por fatiga. No ocurre así en la interacción entre capas aglomeradas debido a la elevada rigidez que estas ofrecen permitiendo una mejor distribución de esfuerzos. Es por eso que en el trabajo se definió como vinculadas "bonded" a las interfaces de la carpeta asfáltica-base, base no aglomerada-subbase y subbase-subrasante. No vinculada "undond" a la interfase base aglomerada con cemento-subbase

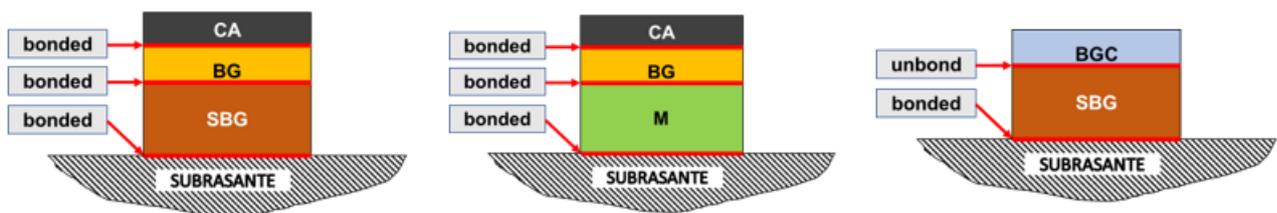


Figura 3: Condiciones de interacción entre las capas según la variante estructural

Para el criterio de dimensionamiento y selección de la estructura en cada caso se analizan dos elementos fundamentales. El primero, parte de la idea del principio de diseño por el método empírico-mecanicista y se basa en el cumplimiento de los valores admisibles durante la etapa de servicio, por lo que fue necesario chequear a partir de modelos de comportamiento las variables de respuesta que correspondan. Es decir, se hallará el número admisible de aplicaciones de carga (N), que tendrá que ser superior al tráfico equivalente esperado en el periodo de diseño del proyecto.

En el presente artículo fueron empleados los modelo de ICAFIR [5] ya que son los que mejor ajuste en los resultados ofrecen en cuanto a los materiales disponibles en la región de Manabí. Se analizarán básicamente tres leyes de comportamiento en dependencia del tipo de estructura que se presente, en la **tabla 5** se muestran las leyes de fallas empleadas y posteriormente se presentan que variables de respuestas se analizaron en cada caso estructural (ver **figura 1** y **tabla 6**).

Tabla 5: Modelo de comportamiento de ICAFIR

Variable	Modelo
Acumulación de deformaciones permanentes en la subrasante	$\varepsilon_v = 2.16 \cdot 10^{-2} \cdot N^{-0.28}$
Acumulación de deformaciones permanentes en mezclas bituminosas	$\varepsilon_r = 6.920 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0.27243}$
Acumulación de tensiones tangenciales en materiales tratados con cemento (Fatiga)	$\sigma_r \text{ (MPa)} = 0.72 \cdot (1 - 0.065 \cdot \log N)$

Tabla 6: Variables de respuestas admisible que se chequearon en función de tipo de estructura

Paquete estructural	Modelos de comportamiento chequeados		
	ε_r	σ_r	ε_v
CA + BG + SBG	X		X
CA + BC + M	X		X
TS + BG + SBG			X
TS+ BC + SBG		X	X
TS + BC + M		X	X

El segundo criterio de selección fue el de obtener en cada caso analizado el paquete estructural óptimo a partir de lograr los mínimos espesores cumpliendo con los criterios estructurales. Para lograr esto se tomaron los siguientes criterios:

- En estructuras con superficie de hormigón asfáltico y materiales no aglomerados en el resto de las capas, se combinaron varios espesores de superficie, base y subbase. (**P1** y **P3**)
- En estructuras con superficie de hormigón asfáltico y base tratada con cemento se fijó el mínimo valor requerido en la superficie y se variaron los espesores de base y subbase. (**P2** y **P5**)
- En estructuras con tratamiento superficial y material no aglomerado en el resto de las capas, se varió a los espesores de base y subbase. (**P4**)

En total se analizaron un total de 150 alternativas combinando en cada caso todos los factores de diseño mencionados al inicio. Los resultados se muestran en las tablas 7, 8 y 9, cada una correspondiente a un nivel de tráfico:

Tabla 7. Descripción de estructuras de pavimento para el tráfico T1

CBR de subrasante (%)	Espesores de las capas para cada paquete estructural (cm)				
	T1 (1.86×10^3 a 1.86×10^4)				
	P1	P2	P3	P4	P5
S1	CA 5.0 BG 10.0 SBG 25.0	CA 4.0 BG 10.0 M 25.0	TS 0.0 BG 12.0 SBG 30.0	TS 0.0 BC 14.0 SBG 35.0	TS 0.0 BG 13.0 M 25.0
S2			TS 0.0 BG 12.0 SBG 20.0	TS 0.0 BC 12.0 SBG 30.0	
S3	CA 5.0 BG 10.0 SBD 15.0	CA 5.0 BG 10.0 M 20.0	TS 0.0 BG 12.0 SBG 15.0	TS 0.0 BC 14.0 SBG 20.0	TS 0.0 BG 10.0 M 20.0
S4			TS 0.0 BG 12.0 SBG 15.0	TS 0.0 BC 12.0 SBG 25.0	

Tabla 8. Descripción de estructuras de pavimento para el tráfico T2

CBR de subrasante (%)	Espesores de las capas para cada paquete estructural (cm)				
	T2 (2.05×10^3 a 4.66×10^4)				
	P1	P2	P3	P4	P5
S1	CA 5.0 BG 10.0 SBD 30.0	CA 5.0 BG 10.0 M 35.0	TS 0.0 BG 12.0 SBD 35.0	TS 0.0 BC 15.0 SBD 30.0	TS 0.0 BG 10.0 M 35.0
S2			TS 0.0 BG 12.0 SBD 25.0	TS 0.0 BC 12.0 SBD 35.0	
S3	CA 5.0 BG 10.0 SBD 20.0	CA 5.0 BG 10.0 SBD 25.0	TS 0.0 BG 10.0 SBG 20.0	TS 0.0 BC 12.0 SBD 20.0	TS 0.0 BG 12.0 M 20.0
S4			TS 0.0 BG 10.0 SBG 20.0	TS 0.0 BC 12.0 SBD 25.0	

Tabla 9. Descripción de estructuras de pavimento para el tráfico T3

CBR de subrasante (%)	Espesores de las capas para cada paquete estructural (cm)				
	T3 (4.84x10 ³ a 9.32x10 ⁴)				
	P1	P2	P3	P4	P5
S1	CA 5.0 BG 10.0 SBD 30.0	CA 5.0 BG 10.0 M 35.0	TS 0.0 BG 13.0 SBD 35.0	TS 0.0 BC 15.0 SBD 35.0	TS 0.0 BG 13.0 M 35.0
S2			TS 0.0 BG 13.0 SBD 20.0	TS 0.0 BC 13.0 SBD 35.0	
S3	CA 2.0 BG 10.0 SBD 25.0	CA 5.0 BG 10.0 SBD 30.0	TS 0.0 BG 12.0 SBD 20.0	TS 0.0 BC 12.0 SBD 25.0	TS 0.0 BG 12.0 M 30.0
S4			TS 0.0 BG 12.0 SBD 20.0	TS 0.0 BC 12.0 SBD 30.0	

5. CONCLUSIONES

Las carreteras de bajo volumen (CBVT) se definen como aquellas con menos de 400 vehículos por día y aproximadamente 1 millón de ejes estándar acumulados durante su vida útil. Este tipo de carreteras constituyen una proporción significativa de la red vial mundial. Aunque el enfoque para el diseño de estas carreteras sigue los principios generales de buenas prácticas para cualquier diseño vial, difiere en varios aspectos de los enfoques tradicionales, que se utilizan para carreteras con tráfico relativamente alto y que consisten en una mayor proporción de vehículos pesados.

Un sistema CBVT bien planificado, ubicado, diseñado, construido y mantenido es esencial para el desarrollo de muchas comunidades, asegurando el flujo de bienes y servicios, sin poner en peligro los recursos naturales existentes. Los sistemas viales mal planificados pueden tener altos costos de mantenimiento, contribuir a una erosión excesiva y no satisfacer las necesidades de los usuarios. En este trabajo se realizó una revisión de los factores de diseño tratando de que estos se ajusten lo más posible a la región de Manabí con el fin de obtener estructuras económicas y confiables.

Los enfoques empírico-mecanicistas han demostrado ser eficaces el diseño de pavimentos y todo gracias al apoyo de los programas informáticos que permiten evaluar adecuadamente la respuesta de la estructura. Su principal fundamento está en proteger la cimentación de deformaciones permanentes variando el espesor de la capa base granular. Esto se hace limitando la deformación vertical en la parte superior de la cimentación.

Teniendo en cuenta los factores de diseño de la región de Manabí y los paquetes estructurales propuestos fue posible elaborar un catálogo de estructuras que permite obtener diseños racionales y seguros para este tipo de vías.

1. A. Faiz, "The Promise of Rural Roads: Review of the Role of Low-Volume Roads in Rural Connectivity, Poverty Reduction, Crisis Management, and Liveability," Transportation Research Board of the National Academies, vol. Circular No. E-C167, 2012.
2. L. d. C. D. Lopes, "Constituição, dimensionamento e conservação de pavimentos para baixos volumes de tráfego," Descrição de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2014. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10400.26/14096>
3. W. C. Sant'Ana, "Contribuição ao estudo de solo-emulsão em pavimentos de rodovias de baixo volume de tráfego para o Estado do Maranhão.," Tese de Doutorado, , Escola Politécnica de La Universidad São Paulo, Brasil, 2009. [Online]. Available: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-11082009-120234/pt-br.php>
4. Pavement Design for Low Volume Roads Manual, ANE, Malawi, 2020. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/low-volume-roads-manual-volume-1-pavement-design-malawi>
5. Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía, ICAFIR, España, 2007.
6. Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, D. G. d. C. y. Ferrocarriles, Lima, Perú, 2008. [Online]. Available: <https://docplayer.es/9311373-Manual-para-el-diseno-de-carreteras-pavimentadas-de-bajo-volumen-de-transito.html>
7. Especificaciones Generales para la construcción de Caminos y Puente, MOP-001-F-2002, Quito, Ecuador, 2002.
8. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.
9. W. Heukelom and A. Klomp, "Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction," in International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements University of Michigan, Ann Arbor, 1962, vol. 203, no. 1.
10. Alizé-LCPC, Software for pavement structures analysis and design. (2016). Saint-Maurice, France.
11. F. M. H. López, "Procedimiento para el diseño por fatiga de pavimentos de hormigón simple para carreteras en Cuba," Phd Thesis, Universidad Técnica de La Habana CUJAE, La Habana, Cuba, 2016.
12. R. M. Martínez, E. T. Piusseaut, and F. M. H. López, "Estimación del módulo de elasticidad equivalente en la superficie del conjunto de subbase y subrasante como cimiento para proyectos de reciclado en Cuba," Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, no. 215, pp. 74-81, 2017.
13. M. Diakhaté, A. Millien, C. Petit, A. Phelipot-Mardelé, and B. Pouteau, "Experimental investigation of tack coat fatigue performance: Towards an improved lifetime assessment of pavement structure interfaces," Construction and Building Materials, vol. 25, no. 2, pp. 1123-1133, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.064>.
14. N. Lan, V. D. Dao, M. L. Nguyen, and D. H. Pham, "Investigation of Bond Between Asphalt Layers in Flexible Pavement," in 8th RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements 2016: RILEM, pp. 519-525, doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-024-0867-6_73.