



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE PROTOTIPO DE PAVIMENTO MEDIANTE UN ANÁLISIS
COMPARATIVO DE VÍAS URBANAS EN ZONAS REGENERADAS DE
LA CIUDAD DE MACHALA

MACAS ZARUMA JIMMY RONALDO
INGENIERO CIVIL

MACHALA
2022



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE PROTOTIPO DE PAVIMENTO MEDIANTE UN
ANÁLISIS COMPARATIVO DE VÍAS URBANAS EN ZONAS
REGENERADAS DE LA CIUDAD DE MACHALA**

**MACAS ZARUMA JIMMY RONALDO
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

EXAMEN COMPLEXIVO

DISEÑO DE PROTOTIPO DE PAVIMENTO MEDIANTE UN ANÁLISIS
COMPARATIVO DE VÍAS URBANAS EN ZONAS REGENERADAS DE LA CIUDAD
DE MACHALA

MACAS ZARUMA JIMMY RONALDO
INGENIERO CIVIL

SANCHEZ MENDIETA CARLOS EUGENIO

MACHALA, 23 DE AGOSTO DE 2022

MACHALA
23 de agosto de 2022

DISEÑO DE PROTOTIPO DE PAVIMENTO MEDIANTE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE VÍAS URBANAS EN ZONAS REGENERADAS DE LA CIUDAD DE MACHALA

INFORME DE ORIGINALIDAD

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, MACAS ZARUMA JIMMY RONALDO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado DISEÑO DE PROTOTIPO DE PAVIMENTO MEDIANTE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE VÍAS URBANAS EN ZONAS REGENERADAS DE LA CIUDAD DE MACHALA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

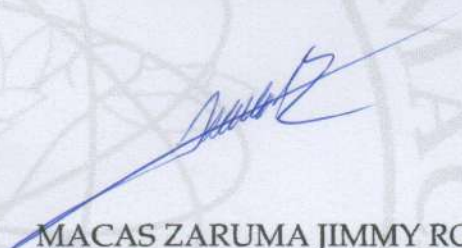
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 23 de agosto de 2022



MACAS ZARUMA JIMMY RONALDO
0705817542

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado primeramente a Dios, quien con su mano divina me permite tener una adecuada salud y me brinda la sabiduría necesaria para resolver los diferentes problemas a los que me he sometido durante mi carrera universitaria.

Se lo dedico a mi familia, en especial a mis padres Mercy del Rocío Zaruma Uzhca y Jimmy Oswaldo Macas Velicela, quienes desde mi niñez me apoyaron en todo momento y me enseñan a ser una mejor persona, guiándome por el camino correcto para ser un individuo que aporta a la sociedad.

A mis tíos profesionistas que me enseñaron lo que el esfuerzo y dedicación puede lograr, la actitud para seguir adelante y a no rendirme por ciertas dificultades que se presenten en mi vida a partir de ahora en adelante.

Jimmy Ronaldo Macas Zaruma

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud siempre empezará con Dios, su intervención me permitió seguir con una buena actitud hacia la vida y siempre fiel a sus creencias.

A mis padres, quienes supieron entender mis errores y me apoyaron en todo momento para lograr mis metas.

A mi familia, que permitieron con su buena vibra y actitud positiva brindarme apoyo para pasar algunos momentos difíciles.

A mis amigos, quienes con su presencia y amistad participaron en esta etapa maravillosa universitaria.

A la Universidad Técnica de Machala, que me permitió estudiar la carrera de Ingeniería Civil en la cual deposito todo mi esfuerzo.

A los docentes de la Universidad Técnica de Machala, quienes compartieron sus conocimientos con el afán de generar profesionales capaces y sociables con la comunidad manteniendo una relación ética y moral que produzca su crecimiento.

Jimmy Ronaldo Macas Zaruma

RESUMEN

La ciudad de Machala se caracteriza por disponer de vías en constante deterioro. Sin embargo, este problema no solo se localiza en una ciudad, prácticamente la población mundial sufre las consecuencias del daño en las carreteras que usan diariamente. El aumento del volumen de tránsito, el reordenamiento territorial para las zonas comerciales, así como de pésimas construcciones viales que priorizan la reducción de costos sin tomar en cuenta la vida útil de la obra son sólo algunos aspectos a tomar en cuenta al momento de diseñar un pavimento. Debido a la necesidad de satisfacer estas situaciones la creación de nuevas estructuras de pavimento se vuelve un tema de interés público. Por ello, el presente informe trata de solucionar esta problemática diseñando un prototipo de pavimento, para esto se utilizó como base un análisis exploratorio de varias vías urbanas de la ciudad de Machala y la búsqueda de modelos internacionales que sirvieran como método comparativo de características de un pavimento ideal. Una vez establecidos los modelos, tres en este caso, se escogió la estructura flexible con capa de rodadura asfáltica debido a su costo reducido, rápida aplicación in situ y su alto periodo de vida útil (20 años) sobrepasando los periodos locales promedio de 10 a 15 años. Su conformación estructural conlleva tres capas: una capa de rodadura de una mezcla asfáltica de alta rigidez de 5 cm de espesor, una base de material granular con ceniza volante de 15 cm y una sub-base de suelo estabilizada con cal de 23 cm.

PALABRAS CLAVE: Prototipo, Pavimento, Flexible, Rígido, Articulado.

ABSTRACT

The city of Machala is characterized for having roads in constant deterioration. However, this problem is not only localized in one city, practically the world's population suffers the consequences of damage to the roads they use daily. The increase in traffic volume, the territorial reordering for commercial zones, as well as terrible road constructions that prioritize cost reduction without taking into account the useful life of the work are just some of the aspects to take into account when designing a pavement. Due to the need to satisfy these situations, the creation of new pavement structures has become a matter of public interest. For this reason, this report tries to solve this problem by designing a pavement prototype. For this purpose, an exploratory analysis of several urban roads in the city of Machala and the search for international models that served as a comparative method of characteristics of an ideal pavement were used as a basis. Once the models were established, three in this case, the flexible structure with an asphalt wearing course was chosen due to its reduced cost, rapid application in situ and its high service life (20 years), exceeding the local average of 10 to 15 years. Its structural conformation consists of three layers: a wearing course of a 5 cm thick high-stiffness asphalt mix, a 15 cm thick base of granular material with fly ash, and a 23 cm thick sub-base of lime-stabilized soil.

KEYWORDS: Prototype, Pavement, Flexible, Rigid, Articulated

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VI
1.1 Importancia del tema	1
1.2 Actualidad de la problemática	1
1.3 Formulación del problema científico	1
1.3.1 Contextualización	1
1.3.2 Análisis Crítico	1
1.3.3 Pregunta científica	2
1.4 Delimitación del objeto de estudio	2
1.5 Justificación	3
1.6 Objetivos	3
1.6.1 Objetivo General	3
1.6.2 Objetivos Específicos	3
2. DESARROLLO	3
2.1 Marco Teórico	3
2.1.1 Antecedentes conceptuales y referenciales	3
2.1.2 Antecedentes contextuales	5
2.2 Materiales y métodos	7
2.2.1 Materiales utilizados	7
2.2.2 Metodología	7
2.2.3 Metodología para determinar el estado de vías	8
2.2.4 Metodología para determinar modelos de pavimento	8
2.3 Análisis e interpretación de resultado	9
3. CONCLUSIONES	11
REFERENCIAS	12
ANEXOS	14

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Urbanización Santa Inés	2
Ilustración 2: Barrio San Francisco	2
Ilustración 3: Av. Luis Ángel León	2
Ilustración 4: Pavimento flexible, barrio San Francisco	14
Ilustración 5: Pavimento articulado, Santa Inés	14
Ilustración 6: Pavimento rígido, Av. Luis Ángel León	15
Ilustración 7: Vías Urbanización Santa Inés, 2007	15
Ilustración 8: Barrio San Francisco, 2021	16
Ilustración 9: Av. Luis Ángel León, 2019	16

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de valores de umbral de PPI	5
Tabla 2: Proporciones de materiales utilizados en mezclas asfálticas	6
Tabla 3: Estructura del pavimento articulado	13
Tabla 4: Características del bloque	19
Tabla 5: Estructura del pavimento flexible	19
Tabla 6: Estructura del pavimento rígido	20

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia del tema

El diseño de pavimentos responde a una necesidad de cumplir con las expectativas de comunicación entre países, provincias, ciudades, sectores y entre vecinos. Varios factores como durabilidad, confort y seguridad para vehículos y transeúntes son partícipes de un nivel de calidad que refleja un adecuado desarrollo de la infraestructura vial. Así, podemos inferir que el progreso de la sociedad se condiciona por el estado de sus caminos, por lo tanto, el desarrollo de nuevas opciones estructurales para la conformación de los pavimentos reduciendo recursos económicos mediante el uso de materiales adecuados, así como de planes constructivos mejorados que disminuirán el tiempo en obra, responde a ese requerimiento. Un hecho que refleja la realidad de su entorno. [1]

1.2 Actualidad de la problemática

La zona vial en Ecuador, sufre de los típicos problemas que aquejan a ciudades desordenadas en ámbitos de planificación y control. El aumento en la cantidad de vehículos, la construcción de nuevas zonas comerciales y el reordenamiento de sectores estratégicos para la población son puntos importantes que limitan el paso ágil para los usuarios, la capacidad de las carreteras para soportar el tráfico se pone en tela de juicio y que medianamente se subsana por las autoridades de turno en regeneraciones paulatinas, pero con la inquietud de la población en juego de si estas obras continuarán o quedarán en el olvido político. [1]

Según un estudio de la Municipalidad de la ciudad de Machala hay 252 km de vías asfalto, 117.02 km vías de lastre o tierra, 27.65 km de vías de hormigón y 0.73 km de vías de adoquín; representando 55.01%, 37.85%, 6.96% y 0.18% respectivamente del total de extensión vial. [2]

1.3 Formulación del problema científico

1.3.1 Contextualización

La necesidad de vías que cumplan con los parámetros de diseño están en constante evaluación por la población y su necesidad de transportarse; el deterioro debido al incremento del tráfico, las condiciones climáticas que cambian impredeciblemente o un pésimo control de calidad de los materiales utilizados para su construcción son circunstancias que en ciertas condiciones pasan desapercibidas. [3]

Las reparaciones prematuras pequeñas como grietas o grandes como baches y cortes a lo largo de su extensión son indicativos de un pésimo modelo estructural, por ello, se crean prototipos que recojan las condiciones requeridas utilizando diferentes tipos de rodaduras como asfalto, hormigón o bloques de adoquín que responden a la necesidad del terreno, tráfico, así como del tiempo de instalación. [4]

1.3.2 Análisis Crítico

Determinar las características de un pavimento ayudan a la optimización de recursos manteniendo sus niveles de servicialidad ajustados a la norma, el análisis de tipo exploratorio de vías permitirá evaluar en un contexto internacional el desempeño de estas y su reflejo constructivo para sociedades extranjeras.

1.3.3 Pregunta científica

¿Cuál es el prototipo de pavimento idóneo para las vías urbanas de la Ciudad de Machala?

1.4 Delimitación del objeto de estudio

Para el objeto de estudio se escogieron tres sectores del Cantón Machala, los cuales presentan individualmente tipos de pavimento diferentes siendo: La urbanización privada Santa Inés, ubicada en la Av. 25 de junio, km 27 junto a Ciudad Verde; la Av. Luis Ángel León ubicada entre la Av. Arízaga y Av. Rocafuerte; finalmente en el barrio San Francisco, ubicado en el sector Sur.

Debido al tipo de estudio presentado en este trabajo, se buscó opciones donde se pueda apreciar claramente ciertos tipos de pavimento existentes en la ciudad. Así tenemos: en la urbanización Santa Inés predomina el pavimento articulado, un conjunto residencial que está en operación desde 2014; sobre la Av. Luis Ángel León se produjo en el año 2019 una obra de regeneración vial con la aplicación de pavimento rígido; mientras que en el barrio San Francisco recientemente este año 2022 se inauguró una obra de regeneración vial con la aplicación de pavimento asfáltico.

Ilustración 1. Urbanización Santa Inés

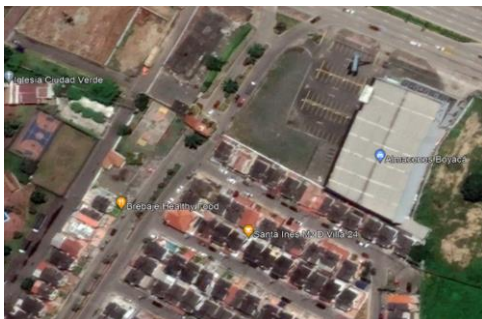


Ilustración 2. Barrio San Francisco



Ilustración 3. Av. Luis Ángel León



Fuente: Google Earth

1.5 Justificación

En el diseño de pavimentos, nos permitimos aseverar que sus inicios estuvieron marcados por la experiencia, el conocimiento empírico se mantuvo con una presencia importante hasta que surgieron los métodos más centralizados; a partir de 1929, se tomaba en cuenta realizar una prueba para determinar la resistencia del suelo; en 1943 se daban los primeros estudios para encontrar fallas por cortante límite; en 1961 se aplicaban métodos de regresión donde se considera el rendimiento del pavimento y aplicación en carreteras. [5]

Entonces, el diseño de pavimentos, es un proceso que conduce al desarrollo de una estructura vial donde se toma en cuenta su mantenimiento con el único fin de cumplir necesidades ambientales y de tráfico. Con el aumento de vehículos y transeúntes, la resistencia al colapso de los pavimentos debe ser mejorada en cada temporada; un pequeño ejemplo es el de los pavimentos de asfalto, antiguamente estos constaban de una única capa granular mientras que a lo largo del tiempo ya se constituyen de varias capas en la actualidad. La composición siempre se optimiza para cumplir con estándares económicos y de cargas, los modelos con nuevos materiales, así como de sus técnicas de fabricación reflejan una evolución. [6]

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Analizar vías urbanas de la ciudad de Machala mediante comparaciones exploratorias para el diseño de un prototipo de pavimento utilizando características cualitativas de modelos desarrollados.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar las características estructurales del pavimento mediante un análisis exploratorio y cualitativo de modelos internacionales.
- Determinar un prototipo de pavimento que cumpla con estándares de calidad y seguridad

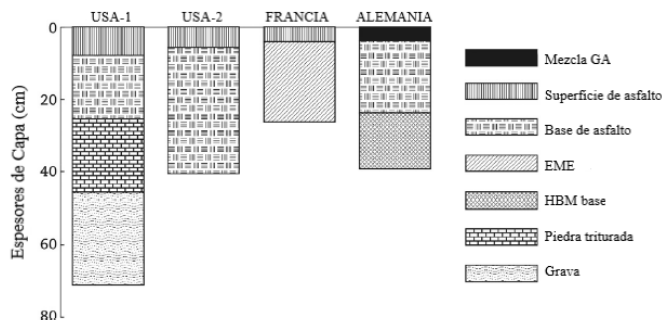
2. DESARROLLO

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Antecedentes conceptuales y referenciales

Una de las bases para el diseño de prototipos de pavimento es el de mejorar la capacidad del pavimento en carretera; es decir, pavimentos más resistentes. Según el conocimiento de especialistas, las bases estructurales de algunos pavimentos que se utilizan en USA y algunos países europeos tienen una vida útil de 40 años. Cuatro ejemplos de tal pavimento se muestran en la figura 1, donde se especifica variantes de espesor en capas de 26 a 71 cm; la mezcla GA es un hormigón asfáltico fundido, EME se refiere a mezclas de alta rigidez, HBM se refiere a mezclas ligadas hidráulicamente. [6]

Figura 1. Pavimentos de larga duración



Fuente: Review on evolution and evaluation of asphalt pavement structures and materials - ScienceDirect

Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles son sistemas multicapa bajo cargas generalmente compuestos por una subrasante, una capa de drenaje o sub-base, una capa base y una capa de rodadura. Las tensiones de la carga del tráfico se distribuyen al suelo desde la calzada. Para ejemplo, ver anexos: Ilustración 4

- El hormigón asfáltico es la capa superior y está diseñado para proporcionar una superficie antideslizante
- La base distribuye la carga de tráfico hacia la sub-base
- La capa de sub-base es una franja de material y grosor de diseño especificado que soporta la capa base y transmite las cargas de tráfico a la subrasante.

Se pueden usar agregados no ligados o capas tratadas químicamente para la capa base o sub-base. [5]

Pavimentos articulados

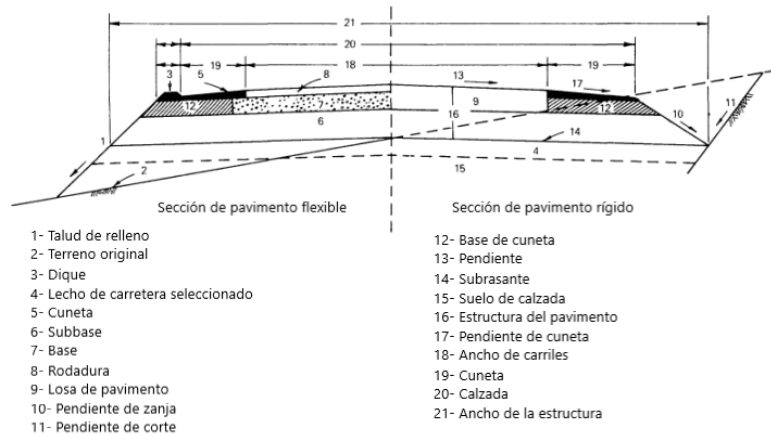
También conocidos como pavimentos modulares, son una solución razonable para hacer frente a las obras viales ya que su construcción ahorra tiempo. Una construcción rápida es muy significativa en el este y norte de Europa porque hay un periodo de construcción corto debido a las frías estaciones de otoño e invierno (menos de seis meses). Dado que los módulos (adoquines) se producen en una fábrica, se garantiza la alta consistencia en calidad y homogeneidad al momento de aplicarse in situ sobre una base preparada. Algo importante a tener en cuenta es que al momento de su implantación está cuenta con ciertas restricciones de confinamiento en los laterales de la vía (bordillos). [4] Para ejemplo, ver anexos: Ilustración 5

Pavimentos rígidos

Para conformar este tipo de pavimento se establece el tráfico de diseño, la capacidad portante del suelo de cimentación, concebir la estructura rígida del pavimento, establecer la capacidad de carga a nivel de la base y se determina espesores de capa. [7] La base estabilizada es un material cementado y rígido que distribuye la carga sobre un área grande y se reducen las tensiones en la subrasante, lo que proporciona un excelente soporte para la losa de concreto. El material base estabilizado es más fuerte, uniforme y más resistente al agua que una base granular. [8]

Para una mejor apreciación, en la siguiente figura 2, se describe una franja transversal de un pavimento típico flexible y rígido. También en el apartado de anexos se muestra un conjunto de estructuras de pavimento flexible más detallado. Para ejemplo, ver anexos: Ilustración 6

Figura 2. Corte transversal de pavimento tipo



Fuente: AASHTO, 1993 [9]

2.1.2 Antecedentes contextuales

Para Lituania, profesar la condición excelente de los pavimentos que usan en sus vías urbanas, se ha convertido en una faena importante para el Gobierno y su gestión; la apreciación de factores individuales para el diseño de pavimentos funciona como indicadores reguladores de rendimiento que incorporan estadísticas para la seguridad del tráfico y el uso de las personas en conducción.

Tomando en consideración la parte estructural se enfocan significativamente en su estado, la capacidad de carga de su misma conformación y la capacidad de carga agregada del tráfico. Todas estas características mencionadas anteriormente se engloban en una lista de elementos de análisis denominados PPI (Indicadores de Rendimiento del Pavimento) que considera en la construcción de prototipos de pavimentos para mejorar su rendimiento, estos son: la rugosidad, profundidad de cuneta, agrietamiento, deflexión, condición del pavimento, módulo de superficie, índice de conducción entre los más importantes como señala la siguiente tabla. [10]

Tabla 1. Comparación de valores de umbral de PPI

PPI	Gilbert Y. Baladi et al., 2017	AASHTO 2004	Departamento de Transporte de Ohio	Dirección de carreteras lituano
IRI (Carreteras primarias)	2.7 m/km	3.16 m/km		4.5 m/km
Profundidad de la rodadura	12.7 mm	16.5 mm	19 mm (>50%)	20 mm
Agrietamiento de cocodrilo	20% área	35% área		>19 mm de ancho

Agrietamiento longitudinal	200 m/100 m de carril		>25 mm de ancho, 150 m/0.1 km	>19 mm de ancho
Agrietamiento transversal	67 m/100 m de carril	132.6 m/km de carril	<0.9 entre grietas, >50%	>19 mm de ancho
Agrietamiento de bloques			<0.9 m x 0.9 m, >50% (>6 por km)	
Baches			>25 mm de profundidad, >0.84 m ²	> espesor de capa
Deshilachado			Áspero o picado >50%	
Filtraciones			Superficie negra >30%	Superficie brillante, marcas de neumáticos
Parches			>0.84 m ² , >12 por km	>30% del parche defectuoso

Fuente: Comparison of Pavement Performance Models for Urban Road Management System

En el caso de Brasil, el principal material utilizado para pavimentar las vías en las grandes ciudades que componen este gigantesco país son las mezclas de asfalto y componentes agregados de petróleo. Como se muestra en la tabla 2, los diseños de estos pavimentos se enmarcan en parámetros climáticos; el principal problema que aqueja a las carreteras es la luz solar y por ende el calor generado en sus superficies, para ello se han generado prototipos que anexan en su estructuración un tipo de recubrimiento de alto albedo y bajo brillo; es decir, la aplicación de pigmento con baja reflectancia en el espectro visible (20%) y alta reflectancia en la región infrarroja (83%). Así como de aglutinantes y agregados que aportan a la consolidación de la estructura. [11]

Tabla 2. Proporciones de materiales utilizados en mezclas asfálticas utilizados para mitigar el calor en su superficie

Mezcla	Proporción del material, %		
	Aglutinante	Agregados	Pigmento
Mezcla asfáltica densa convencional	5.1	94.9	-
Mezcla asfáltica densa amarilla	7.3	88.7	4.0
Mezcla asfáltica densa verde	4.9	91.1	4.0
Mezcla asfáltica densa roja A	4.9	91.1	4.0
Mezcla asfáltica densa roja B	4.5	93.1	2.4
Mezcla asfáltica porosa convencional	4.3	95.7	-
Verde CPA	4.1	91.9	4.0

Mezcla asfáltica porosa verde	4.1	91.9	4.0
Mezcla asfáltica porosa roja A	3.7	93.9	2.4

Fuente: Urban pavements used in Brazil: Characterization of solar reflectance and temperature verification in the field

Las pruebas realizadas a estos modelos, mostraron que la temperatura superficial máxima que podrían alcanzar debido a la aplicación de los aditivos se adapta a un rango de 15° - 17° C, considerándose un logro de automatización en el diseño de mezclas asfálticas convencionales.

Una realidad sobre el diseño de pavimentos en nuestro país, para el ejemplo de estudio la Provincia de Tungurahua, las características geométricas y físicas de su suelo, determinado por la cadena montañosa en la que se ubica la región delimitan la estructuración de vías en las diferentes ciudades que forman parte del cantón, como Ambato, Pillaro, Patate, Quero, Pelileo, Tisaleo, Baños y Mocha. Para un proyecto que conlleva la construcción o regeneración de caminos se consideran los posibles problemas que pueden afectar con el tiempo a los componentes del pavimento. Como lo son:

- Ceniza debido a las erupciones del Volcán Tungurahua, que destruye la superficie de rodadura.
- Clima impredecible que imposibilita el correcto funcionamiento de los desfuegos de agua y crea filtraciones.
- La inconsciencia de la población en temas de vialidad, al conducir camiones, trailers, o carga pesada por zonas donde se restringe su paso, excediendo su capacidad de carga para el diseño establecido.

Por ello se han hecho gestiones y propuestas para crear diseños que permitan disminuir las afectaciones de pavimentos que su configuración ya ha quedado obsoleta comparándose a técnicas actuales. Se ha conseguido un modelo de estructura no transitoria, donde se considera un tránsito inicial para el diseño pero que ante un aumento del mismo, el pavimento pueda ser reforzado mediante una sobre capa sin mostrar significativamente un cambio visible. [12]

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Materiales utilizados

Para el presente trabajo se realizó una exploración visual de ciertas vías de la ciudad de Machala observando el estado de servicio en el que se encuentran desde su construcción y contrastándolos con mapas históricos generados por el software Google Earth Pro. Además de generar un prototipo de pavimento mediante una búsqueda cualitativa de modelos internacionales de pavimentos que cumplen desde su conformación con las normativas constructivas de diseño.

2.2.2 Metodología

Para la conformación de una idea clara del estado de vías en la ciudad de Machala. Se sectoriza el campo de estudio en tres zonas de la ciudad donde el tipo de pavimento que se utilizó para su construcción es diferente. Mediante una comparación de recursos fotográficos se determinará la incidencia de la obra y su estado desde su construcción hasta la actualidad, datos que servirán para contrastar con modelos de pavimentos internacionales donde se periodo de diseño

garantiza el mínimo de afectaciones en su estructura con el paso del tiempo, lo que permitirá precisar un prototipo de pavimento que cumpla con las necesidades del sector. [13]

2.2.3 Metodología para determinar el estado de vías

TRABAJO DE CAMPO

Se utilizó el software online Google Earth Pro, el cual permite explorar mediante datos cartográficos e imágenes conformando colecciones de mapas que quedan guardados en la historia transcurrida del entorno terráqueo mundial y local. [13] Para detalles fotográficos revisar el capítulo ANEXOS, ilustraciones: 7, 8 y 9

EXPLORACIÓN VISUAL:

Este proceso es muy importante ya que permitió conocer de primera mano el estado de las vías estudiadas permitiendo contrastarlas posteriormente con la información obtenida por el software Google Earth Pro en referencia al momento de su construcción. [13] Para detalles fotográficos revisar el capítulo ANEXOS, ilustraciones: 4, 5 y 6

2.2.4 Metodología para determinar modelos de pavimento

Para determinar qué tipo de pavimento se debería utilizar como prototipo se analizó varios modelos encontrados en artículos científicos diseñados en países donde la previsión de mejorar sus estructuras viales se ha convertido en una materia de estudio constante.

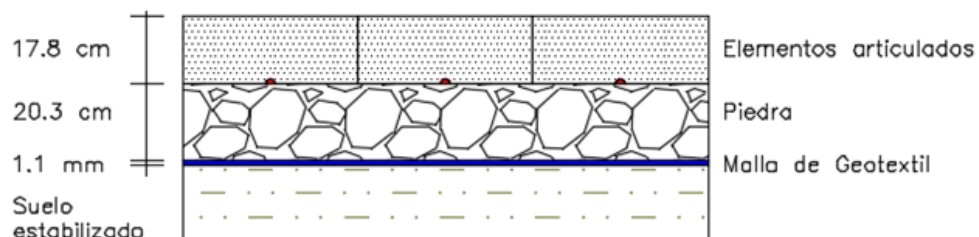
Se escogieron tres modelos de pavimento con diferentes características estructurales entre sí. Así tenemos:

Primer Modelo – Pavimento Articulado

Una estructura diseñada en la India utilizando condiciones de suelo como la erosión, anegamiento y el polvo (ver Figura 3). Además de considerar las condiciones climáticas que afectan en épocas de lluvia intensa a las construcciones viales ya existentes debido a la impermeabilidad del pavimento dispuesto. En este caso se utilizaron para la capa de rodadura bloques de 42 x 46.5 x 17.8 cm. [14]

Para más detalles estructurales revisar el capítulo ANEXOS, tabla 3.

Figura 3. Estructura de pavimento articulado



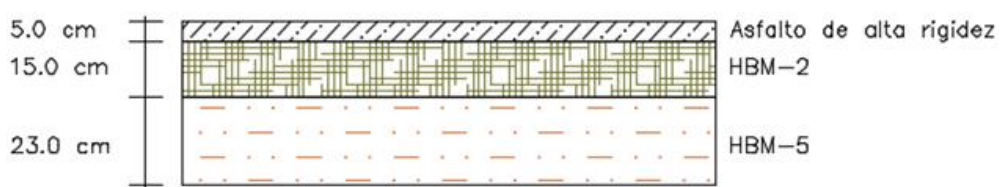
Fuente: Autor

Segundo Modelo – Pavimento Flexible

Una estructura diseñada en China donde la evolución de su estructura ha ido cambiando hasta la actualidad, donde sus investigaciones se centran en la obtención de pavimentos más duraderos ante mantenimientos de acuerdo a volúmenes de tránsito altos y bajos. (ver figura 4). Para la capa de rodadura asfáltica se utilizó asfalto más fuerte (de alta rigidez) y bases tratadas para soportar efectivamente las cargas. [6], [14]

Para más detalles estructurales revisar el capítulo ANEXOS, tabla 4.

Figura 4. Estructura de pavimento flexible



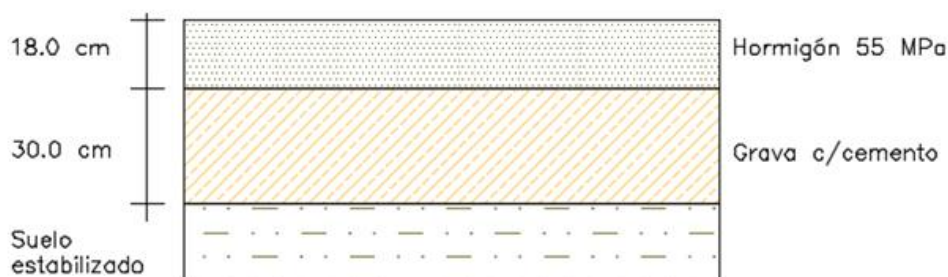
Fuente: Autor

Tercer modelo – Pavimento Rígido

Una estructura diseñada en Rumania, donde el volumen de tráfico aumenta vertiginosamente y su territorio montañoso lleno de valles y colinas ha supuesto un sistema vial preocupado por su rudeza territorial. La estructura de pavimento rígida (ver figura), ha logrado convencer a la población como parte de un régimen viable y duradero. Su capa de rodadura se compone de una estructura de hormigón rígido de 55 Mpa. [8]

Para más detalles estructurales revisar el capítulo ANEXOS, tabla 5.

Figura 5. Estructura de pavimento rígido



Fuente: Autor

2.3 Análisis e interpretación de resultado

De acuerdo a los datos obtenidos por la recopilación de información visual de las vías, se determina que la estructura vial con mayor desgaste es la ubicada en la urbanización Santa Inés, siendo esta la más antigua construida teniendo alrededor de 8 años desde su construcción, Su tiempo de vida útil se estima en 15 años. La Av. Luis Ángel León y las vías del barrio San Francisco, no presentan daños aparentes debido a su reciente inauguración por reconstrucción; según declaraciones del alcalde

de Machala Ing. Darío Macas, el período de vida útil de estas obras es de 25 años y 15 años respectivamente.

Para la representatividad vial en la ciudad de Machala, queda demostrado que el tipo de capa de rodadura que más se utiliza representando el 55.01% del total de extensión de vías es el asfalto.

En cuanto a los tipos de pavimento sugeridos como modelos para la obtención de un prototipo, se describieron varias características estructurales (Revisar capítulo ANEXOS, tablas: 3, 4 y 5) que permitieron recopilar bondades constructivas, así como algunos inconvenientes desde su disposición y/o instalación en obra para cada tipo de pavimento escogido que se detallan a continuación:

Pavimento articulado

BONDADES

Se compone de elementos prefabricados, constituyen una superficie mecánicamente homogénea, de fácil instalación y de reparación.

Logra disminuir la acción de rodamiento hasta en un 40% de la carga que se le ejerce sobre el elemento. Alta capacidad de absorción de impactos

Brinda mejor escurrimiento, ideal para ambientes donde la lluvia es constante o tiende a generar pequeñas inundaciones por su volumen alto.

PROBLEMAS

Aunque la instalación de los elementos prefabricados sea sencilla, si se debe tener un cuidado especial al momento de disponer de su armado para que no existan piezas sueltas en la capa de rodadura

Las piezas tienen que tener un control de calidad adecuado y especializado para el caso en cuestión que permita cumplir con el rendimiento requerido.

Este tipo de pavimento está capacitado para ambientes donde existan problemas de permeabilidad del suelo por lluvias o humedad.

Pavimento flexible

BONDADES

Al presentar una capa asfáltica de alto rendimiento, se permite que la misma sea de menor espesor con relación a las construcciones nacionales del mismo tipo, esto ayuda a reducir costos.

Su desarrollo en obra es relativamente rápido y eficiente, transmite las cargas hacia las capas más bajas de su estructura mientras que su capa de rodadura no sufre deformaciones permanentes.

Su periodo de vida útil de 20 años, supera al periodo de las estructuras locales en condiciones óptimas de entre 10 a 15 años

PROBLEMAS

La fabricación de su capa de rodadura presenta complicaciones dado a las especificaciones requeridas para su diseño. En Latinoamérica no es común su uso.

Su estructura está sujeta a mantenimiento periódico, debido principalmente al agua, las filtraciones en sus capas más bajas y su construcción en zonas lluviosas o húmedas pueden provocar agujeros o baches en su capa de rodadura, esto en situaciones extremas.

Pavimento rígido

BONDADES

Su período de vida en condiciones óptimas es de los más altos entre 20 a 40 años, esto demuestra su durabilidad.

El mantenimiento que necesita es mínimo siendo este muchas ocasiones problemas en sus juntas de unión

Su capacidad de soporte ante el tráfico es de las más altas

Absorben menos el calor lo que ayuda a menores desgastes en las llantas de vehículos

PROBLEMAS

Su construcción es relativamente más costosa debido al tipo de hormigón necesario.

El proceso de construcción es más complejo, debido a que se van fundiendo (colado in situ) por tramos de placas y se debe tener especial cuidado en la conformación de su sub-base.

Se generan tiempos de trabajo mayores.

3. CONCLUSIONES

- Debido a la caracterización de las cualidades estructurales de los modelos de pavimento se puede destacar algunos inconvenientes a tomar en cuenta que fueron determinantes para escoger un modelo óptimo de pavimento. Se describe: el modelo articulado, destaca en ambientes con alta humedad y/o lluvias intensas debido a su diseño con escorrentía de 4" en su base; el modelo asfáltico presenta dificultades en su fabricación ya que su conformación no es muy conocida en Latinoamérica y su uso se especializa en E.E.U.U., Europa y Asia, el modelo rígido está sujeto al costo que produce la conformación de hormigón hidráulico de 55 MPa y sobre todo al mayor tiempo en obra que representa su construcción comparado al de los dos modelos anteriores.
- El modelo para prototipo de pavimento escogido fue el de asfalto, conformándose en tres capas, siendo: capa de rodadura de asfalto de alta rigidez (EME2) de 5 cm de espesor, capa base de material granular con ceniza volante de 15 cm de espesor y una capa sub-base de suelo estabilizado con cal de 23 cm de espesor. Aunque su fabricación sea una limitante actualmente, sobre todo en el país, sus bondades estructurales como reducción del costo debido a menores espesores, desarrollo en obra eficiente y su alto periodo de vida útil respecto a la realidad nacional, lo hace un modelo ideal para la ciudad de Machala. Se garantiza que en un futuro se pueda desarrollar técnicas adecuadas para la elaboración del asfalto requerido.

REFERENCIAS

- [1] C. Tene, "Metodología para la evaluación de vías, considerando la regularidad superficial de pavimentos flexibles: estudio caso vía Santa Rosa - Bellavista - La Avanzada del cantón Santa Rosa, provincia de El Oro," MSc, Universidad Técnica de Machala, 2022.
- [2] G. A. D. M. de Machala, "Regeneración Urbana del Barrio Sauces I del Cantón Machala," *Compras Públicas*, Oct. 02, 2019.
<https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=dR-d62QMLOPDGU5M4FNMLwjiSMZAeKQZpRIe6zJ5d2w>, (accessed Aug. 02, 2022).
- [3] D. Llopis-Castelló, T. García-Segura, L. Montalbán-Domingo, A. Sanz-Benlloch, and E. Pellicer, "Influence of Pavement Structure, Traffic, and Weather on Urban Flexible Pavement Deterioration," *Sustainability*, vol. 12, no. 22. p. 9717, 2020. doi: 10.3390/su12229717.
- [4] A. Vaitkus, J. Gražulytė, R. Kleizienė, V. Vorobjovas, and O. Šernas, "Concrete Modular Pavements – Types, Issues And Challenges," *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, vol. 14, no. 1. pp. 80–103, 2019. doi: 10.7250/bjrbe.2019-14.434.
- [5] L. Torio-Kaimo, "FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN USING MECHANISTIC-EMPIRICAL PAVEMENT DESIGN GUIDE IN THE PHILIPPINES," *International Journal of GEOMATE*, vol. 17, no. 64. 2019. doi: 10.21660/2019.64.08570.
- [6] Liu, Peifeng, Li, You, and Zhao, "Review on evolution and evaluation of asphalt pavement structures and materials - ScienceDirect," *ScienceDirect*, vol. 7, no. 5, pp. 573–599, doi: 10.1016.
- [7] N. Su, F. Xiao, J. Wang, and S. Amirkhani, "Characterizations of base and subbase layers for Mechanistic-Empirical Pavement Design," *Construction and Building Materials*, vol. 152. pp. 731–745, 2017. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.060.
- [8] C. Pleșcan, E.-L. Pleșcan, M. D. Stanciu, M. Botiș, and D. Taus, "Sensitivity Analysis of Rigid Pavement Design Based on Semi-Empirical Methods: Romanian Case Study," *Symmetry*, vol. 13, no. 2. p. 168, 2021. doi: 10.3390/sym13020168.
- [9] American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*, 1993. AASHTO, 1993. [Online]. Available:
https://books.google.com/books/about/AASHTO_Guide_for_Design_of_Pavement_Stru.html?hl=&id=1HRB12tBQNMCMC
- [10] I. Kravcovas, A. Vaitkus, and R. Kleizienė, "Comparison of Pavement Performance Models for Urban Road Management System," *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, vol. 15, no. 3. pp. 111–129, 2020. doi: 10.7250/bjrbe.2020-15.487.
- [11] J. A. V. D. Carpio, J. A. V. Del Carpio, D. L. Marinoski, G. Trichês, R. Lamberts, and J. V. S. de Melo, "Urban pavements used in Brazil: Characterization of solar reflectance and temperature verification in the field," *Solar Energy*, vol. 134. pp. 72–81, 2016. doi: 10.1016/j.solener.2016.04.044.
- [12] J. S. López Valencia, "El diseño de pavimentos flexibles, su comportamiento estructural, e incidencia en el deterioro temprano de la red vial en la provincia de Tungurahua," MSc, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ..., 2016.
- [13] Torrijos, "Classification of types of pavements for urban roads from an Ortoimagen and object-orient analysis," *Revista Tecnica de la Facultad de Ingenieria*, [Online]. Available: <http://148.215.1.155:89/arribos/6057/51555/05.pdf>
- [14] Charhate and Deshpande, "Study and Analysis of Permeable Articulated Concrete Blocks Pavement: With Reference to Indian Context," *Int. J. Urban Reg. Res.*, doi:

- 10.5281/zenodo.1317170.
- [15] W. Lin, S. Ryu, and Y.-H. Cho, "Performance of Permeable Block Pavements in Accelerated Pavement Test and Rainfall Simulation," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 30, no. 1. 2016. doi: 10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000686.
- [16] "Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide," *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance*. pp. 188–209, 2014. doi: 10.1201/b17043-14.
- [17] F. Gu, X. Luo, Y. Zhang, Y. Chen, R. Luo, and R. L. Lytton, "Prediction of geogrid-reinforced flexible pavement performance using artificial neural network approach," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 19, no. 5. pp. 1147–1163, 2018. doi: 10.1080/14680629.2017.1302357.
- [18] L. Betancourt, "Elaboración de un manual que sirva como guía para realizar señalización vertical vial en cruces de línea férrea," MSc, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2017.
- [19] C. Londoño Naranjo and J. A. Alvarez Pabón, "Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito." Bogotá: Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC), 2008.
- [20] M. A. Reddy, M. Amaranatha Reddy, K. Sudhakar Reddy, and B. B. Pandey, "Evaluation of rehabilitated urban recycled asphalt pavement," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 15, no. 2. pp. 434–445, 2014. doi: 10.1080/14680629.2013.876924.
- [21] Florida. Dept. of Transportation. Pavement Management Office, *Flexible Pavement Design Manual*. 2002. [Online]. Available: https://books.google.com/books/about/Flexible_Pavement_Design_Manual.html?hl=&id=oyrOFKsXTsQC
- [22] J. Sadeghi, E. Rajaei Najafabadi, and M. E. Kaboli, "Development of degradation model for urban asphalt pavement," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 18, no. 8. pp. 659–667, 2017. doi: 10.1080/10298436.2015.1095912.
- [23] R. Justo-Silva, F. Simões, and A. Ferreira, "Mechanical-Empirical Pavement Design Guide Applied to Portuguese Pavement Structures," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 11. p. 5656, 2022. doi: 10.3390/app12115656.
- [24] L. Žiliūtė and A. Laurinavičius, "Traffic load impact on the initiation and development of plastic deformations in road asphalt pavements," *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, vol. 8, no. 3. pp. 220–226, 2013. doi: 10.3846/bjrbe.2013.28.
- [25] P. Rajbongshi and A. Das, "Optimal Asphalt Pavement Design Considering Cost and Reliability," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 134, no. 6. pp. 255–261, 2008. doi: 10.1061/(asce)0733-947x(2008)134:6(255).
- [26] A. Kia, J. M. Delens, H. S. Wong, and C. R. Cheeseman, "Structural and hydrological design of permeable concrete pavements," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 15. p. e00564, 2021. doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00564.

ANEXOS

Ilustración 4. Pavimento flexible, barrio San Francisco



Fuente: Autor

Ilustración 5. Pavimento articulado, Santa Inés



Fuente: Autor

Ilustración 6: Pavimento rígido, Av. Luis Ángel León



Fuente: Autor

Ilustración 7: Vías Urbanización Santa Inés, 2007



Fuente: Autor

Ilustración 8: Barrio San Francisco, 2021



Fuente: Autor

Ilustración 9: Av. Luis Ángel León, 2019



Fuente: Autor

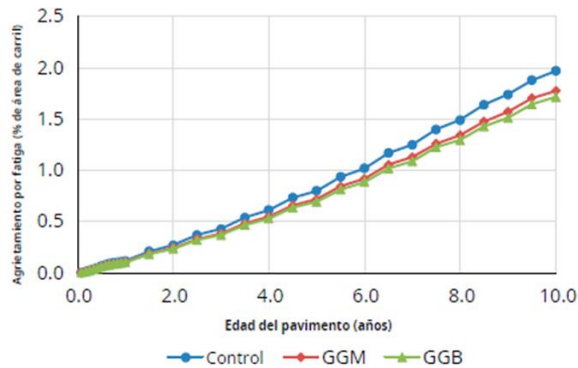
Figura 4. Características de estructuras de pavimento

Flexible pavement structures																
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Thickness (cm)	4	4	4	4	5	5	4	5	5	6	5	6	5	6	6	6
Stiffness Mod. (MPa)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Poisson's ratio	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Thickness (cm)	6	8	12	14	14	16	18	17	19	18	20	20	23	22	24	26
Stiffness Mod. (MPa)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Poisson's ratio	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Thickness (cm)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Stiffness Mod. (MPa)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Poisson's ratio	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
HMA thickness (cm)	10	12	16	18	19	21	22	22	24	24	25	26	28	28	30	32
Structural Number (SN)	2.36228	2.63000	3.16544	3.43316	3.60639	3.87411	3.96860	4.00797	4.27569	4.31506	4.40955	4.58278	4.81113	4.85050	5.11822	5.38594

Key: HMA – Hot Mix Asphalt.

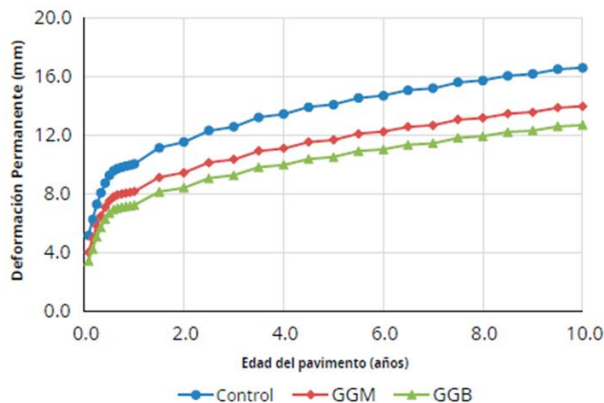
Fuente: Mechanical-Empirical Pavement Design Guide Applied to Portuguese Pavement Structures [23]

Figura 5. Agrietamiento por fatiga



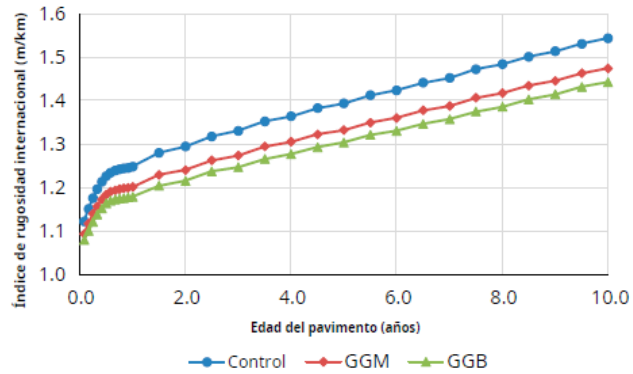
Fuente: Prediction of Geogrid-Reinforced Flexible Pavement Performance Using Artificial Neural Network Approach: Road Materials and Pavement Design. [17]

Figura 6. Deformación permanente



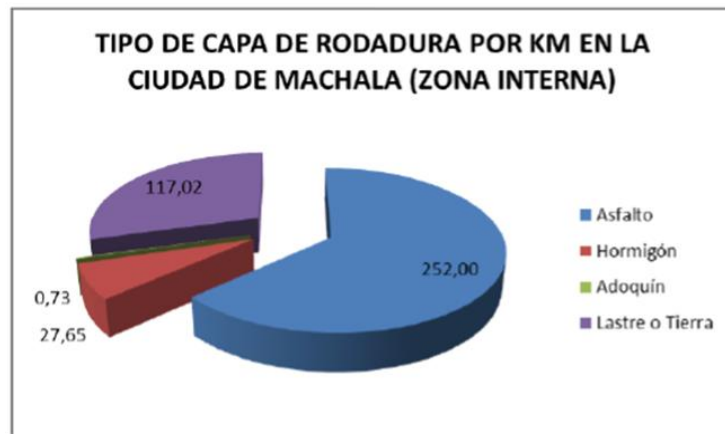
Fuente: Prediction of Geogrid-Reinforced Flexible Pavement Performance Using Artificial Neural Network Approach: Road Materials and Pavement Design. [17]

Figura 7. Índice de rugosidad internacional (IRI)



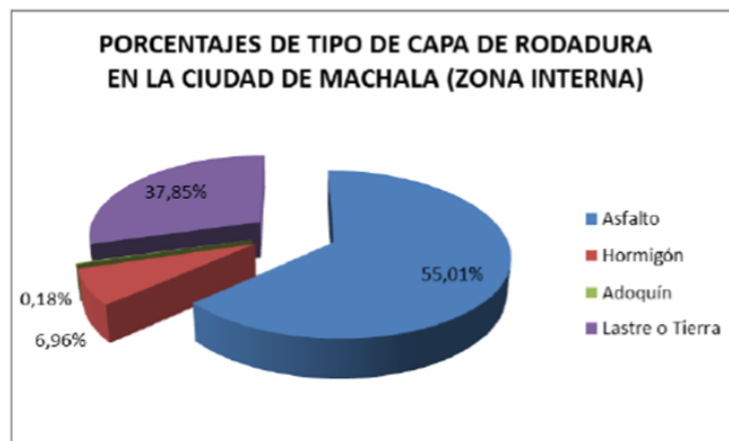
Fuente: Prediction of Geogrid-Reinforced Flexible Pavement Performance Using Artificial Neural Network Approach: Road Materials and Pavement Design. [17]

Figura 8. Tipo de capa de rodadura por km en la ciudad de Machala



Fuente: Regeneración Urbana del Barrio Saucés I del Cantón Machala

Figura 9. Porcentaje de tipo de capa de rodadura en la ciudad de Machala



Fuente: Regeneración Urbana del Barrio Saucés I del Cantón Machala

Pavimento articulado [Vida útil: 20 años]

Tabla 3: Estructura del pavimento articulado

Capa	Espesor	Tipo	Características
Rodadura	7" (17.8 cm)	Bloques (con aberturas de ½")	Unidos mediante juntas de cuerdas de poliéster o cables galvanizados dispuestos sobre lechos de áridos, adicionando un canal de 4" para la permeabilidad del agua lluvia.
Base	8" (20.3 cm)	Piedra	Elementos angulares sin finos de 8" (20cm)
Sub-base	1.1 mm + suelo natural	Malla de Geotextil y suelo	Reemplaza a una capa estándar por una membrana de 1.1 mm de espesor que se encarga de retener partículas. Esta malla se dispone sobre un suelo arcilloso limoso

Fuente: *Study and Analysis of Permeable Articulated Concrete Blocks Pavement*

Figura 2. Bloque



Fuente: *Study and Analysis of Permeable Articulated Concrete Blocks Pavement*. [14]

Tabla 4: Características del bloque

Dimensiones	Resistencia	CBR	Carga de penetración
[42 x 46.5 x 17.8] cm	Grado M25 (25 MPa)	3.5 % de 14 kPa	[1370, 2055] kg/cm ² [2.5 , 5.0] mm

Fuente: *Study and Analysis of Permeable Articulated Concrete Blocks Pavement*

Pavimento Flexible (Tipo C) [Vida útil: 20 años]

Tabla 5: Estructura del pavimento flexible

Capa	Espesor	Tipo	Características
Rodadura	5 cm	Asfalto	Mezcla asfáltica de alta rigidez (EME2) ($\geq 13\ 000$ Mpa) (6% de áridos, 8 – 10% de polvo mineral)
Base	15 cm	HBM-2	Material granular con ceniza volante (cal)
Sub-base	23 cm	HBM-5	Base de suelo estabilizada con cal

Fuente: *Review on evolution and evaluation of asphalt pavement structures and materials - ScienceDirect*

ESAL: 10^6 ejes de 80 kN

ABM (mezclas ligadas con asfalto)

HBM (mezclas ligadas hidráulicamente)

UBM (mezclas no ligadas) [6]

Pavimento Rígido (Tipo AS1B1) [Vida útil: 25 años]

Tabla 6: Estructura del pavimento rígido

Capa	Espesor	Tipo	Características
Rodadura	18 cm	Hormigón hidráulico	Resistencia de 55 Mpa, Placas de 4 m, Coeficiente de dilatación térmica de $13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (Agrietamiento $<1\%$, $1.4994 < \text{IRI} < 2.683 \text{ m/km}$)
Base	30 cm	Grava	Agregado bien graduado estabilizado con cemento
Sub-base	Suelo	Natural	Estabilizado con presión

Fuente: *Sensitivity Analysis of Rigid Pavement Design Based on Semi-Empirical Methods: Romanian Case Study*

ESAL: 20^6 de ejes de 80 kN

AS1B1

Código A: espesor

Código S: tipo de sub-base

Código 1: ancho de placa

Código B: resistencia

Código 1: coeficiente de dilatación térmica [8]