



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN VIALIDAD

**METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES DE VÍAS URBANAS, ESTUDIO DE CASO CIUDAD DE PASAJE
AÑO 2020**

WILLIAM PATRICIO LUCERO CAIMINAGUA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD**

**TUTOR: ING. CHRISTIAN MARCELO MOYANO TOBAR MGS.
COTUTOR: ING. JESÚS ENRIQUE ESPINOZA CORREA MGS.**

MACHALA

2021

DEDICATORIA

A mis padres que me han dado la existencia; y en ella la capacidad por superarme y desear lo mejor en cada paso por este camino difícil y arduo de la vida, porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que ahora soy.

A mi esposa e hija por brindarme apoyo incondicional en todo momento al realizar mis estudios y alentarme en seguir creciendo profesionalmente.

A mis maestros y amigos; que en el andar por la vida nos hemos ido encontrando; porque cada uno de ustedes ha motivado mis sueños y esperanzas en consolidar un mundo más humano y justo

AGRADECIMIENTOS

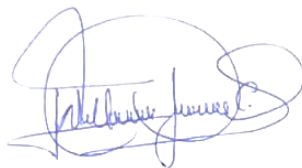
A la Universidad Técnica de Machala, por haberme aceptado ser parte de ella y haber abierto las puertas de su claustro científico y estudiar en este excelente programa de maestría; a sus docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir día a día en la búsqueda de nuevos horizontes.

También quiero agradecer a la Secretaria de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación por haberme seleccionado dentro del Proceso de Evaluación y calificación para el “PROGRAMA DE BECAS NACIONALES DE POSGRADO 2019”, el cual fui beneficiario.

Finalmente, quiero agradecer a mi esposa por su apoyo incondicional, mi amada hija que he ocupado parte de su tiempo en mi preparación, a mis hermanos por sus consejos y recomendaciones, y un agradecimiento especial a mis padres, porque siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y aliento para superarme cada día más.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, William Patricio Lucero Caiminagua, con C.I. 0705729374 declaro que el trabajo de “METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE VÍAS URBANAS, ESTUDIO DE CASO CIUDAD DE PASAJE AÑO 2020”, en opción al título de Magister en INGENIERÍA CIVIL MENSIÓN VIALIDAD, es original y auténtico; cuyo contenido: conceptos, definiciones, datos empíricos, criterios, comentarios y resultados son de mi exclusiva responsabilidad.



WILLIAM PATRICIO LUCERO CAIMINAGUA
C.I. 0705729374

Machala, 2021/06/25

REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN

TRABAJO MAESTRIA UTMACH 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

3 %	3 %	1 %	0 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.usil.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
2	nanopdf.com Fuente de Internet	< 1 %
3	tesisuniversitario.blogspot.com Fuente de Internet	< 1 %
4	www.cemexmexico.com Fuente de Internet	< 1 %
5	html.programacion.net Fuente de Internet	< 1 %
6	repositorio.uax.es Fuente de Internet	< 1 %
7	alewitch1191.wordpress.com Fuente de Internet	< 1 %
8	Submitted to Universidad Rafael Landívar Trabajo del estudiante	< 1 %
9	revistas.usb.edu.co Fuente de Internet	< 1 %

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, Christian Marcelo Moyano Tobar, con C.I. 0103245676, tutor del trabajo de titulación “METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE VÍAS URBANAS ESTUDIO DE CASO CIUDAD DE PASAJE AÑO 2020”, en opción al título de Magister en INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN VIALIDAD , ha sido revisado, enmarcado en los procedimientos científicos, técnicos, metodológicos y administrativos establecidos por el Centro de Posgrado de la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), razón por la cual soy fe de los méritos suficientes para que sea presentado a evaluación.



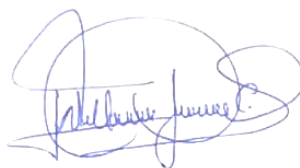
Ing. Christian Marcelo Moyano Tobar Mgs.
C.I. 0103245676

Machala, 2021/06/25

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, William Patricio Lucero Caiminagua, con C.I. 0705729374, autor del trabajo de titulación “METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE VÍAS URBANAS ESTUDIO DE CASO CIUDAD DE PASAJE AÑO 2020”, en opción al título de Magister en INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN VIALIDAD, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia *Creative Commons Attribution-NoCommercial – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0)*; la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
 - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como Autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.



WILLIAM PATRICIO LUCERO CAIMINAGUA

C.I. 0705729374

Machala, 2021/06/25

RESUMEN

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del Cantón Pasaje, registra 56,64 kilómetros de vías urbanas de pavimento flexible, en los cuales no se han realizado evaluaciones que permita conocer el estado superficial y estructural del pavimento. El clima húmedo y el tráfico, son factores clave para inducir y acelerar el deterioro del pavimento flexible (González-Fernandez et al., 2019), en la vía de estudio se presentan precipitaciones que varían de 500 a 1500 mm/año, siendo los meses de mayor incidencia enero a abril, por lo tanto, es importante implementar una metodología de evaluación que permita conocer el estado del pavimento. El objetivo general de esta investigación es establecer una metodología de evaluación superficial y estructural de fácil entendimiento para la determinación de la condición actual del pavimento flexible, al efecto, se utilizará el Método del Índice de Condición de Pavimento (PCI), procedimiento de inspección visual que sirve para evaluar los deterioros a nivel superficial, identificándolos y clasificando en función de cantidad y su severidad, y, para la evaluación estructural, se utiliza el Deflectómetro de Impacto (FWD), equipo de última tecnología que permite conocer las deformaciones del pavimento producidas por una carga que simula la acción del tráfico, para mediante correlaciones caracterizar la condición estructural pavimento-subrasante. Finalmente, como resultado se propone una metodología que guie los criterios y pasos a considerar en la evaluación superficial y estructural de pavimentos flexibles de vías urbanas.

Palabras claves: Deterioro de pavimentos, Índice de Condición del pavimento, evaluación de pavimento, fisuras, vías urbanas, pavimento flexible, deterioro de pavimentos flexibles

ABSTRACT

According to the Territorial Development and Organization Plan (PDOT) of the Decentralized Autonomous Government (GAD) of the Pasaje Canton, it registers 56.64 kilometers of urban roads with flexible pavement, in which no evaluations have been carried out that allow knowing the surface and structural state from the pavement. The humid climate and traffic are key factors to induce and accelerate the deterioration of the flexible pavement (González-Fernandez et al., 2019), in the study route there are precipitations that vary from 500 to 1500 mm / year, being the months of highest incidence January to April, therefore, it is important to implement an evaluation methodology that allows knowing the state of the pavement. The general objective of this research is to establish an easily understood surface and structural evaluation methodology to determine the current condition of the flexible pavement, for this purpose, the Pavement Condition Index Method (PCI) will be used, a visual inspection procedure which is used to evaluate surface level deterioration, identifying and classifying them according to quantity and severity, and, for structural evaluation, the Impact Deflectometer (FWD) is used, state-of-the-art equipment that allows to know the deformations of the pavement produced by a load that simulates the action of traffic, to characterize the structural condition of the pavement-subgrade through correlations. Finally, as a result, a methodology is proposed to guide the criteria and steps to be considered in the superficial and structural evaluation of flexible pavements of urban roads.

Keywords: Pavement deterioration, Pavement Condition Index, pavement evaluation, cracks, urban roads, flexible pavement, flexible pavement deterioration

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	4
REPORTE DE SIMILITUD TURNITIN.....	5
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	6
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	7
RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
LISTADO DE FIGURAS.....	13
LISTADO DE TABLAS.....	14
1. CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	18
1.1 ANTECEDENTE HISTÓRICO	18
1.1.1 HISTORIA DE LAS CARRETERAS.....	18
1.1.2 HISTORIA DE LOS PAVIMENTOS	18
1.1.3 EVOLUCIÓN DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS	19
1.2 ANTECEDENTES CONCEPTUALES.....	20
1.2.1 DEFINICIÓN DE CARRETERAS	20
1.2.2 CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS	20
1.2.3 DEFINICIÓN DE VÍAS URBANAS.....	22
1.2.4 PAVIMENTOS	22
1.2.5 DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS.....	23
1.2.6 NÚMERO ESTRUCTURAL EXISTENTE DEL PAVIMENTO SNEFF.....	25
1.2.7 DEFLEXIÓN EN PAVIMENTO	25

1.3 ANTECEDENTES REFERENCIALES	28
1.3.1 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS.....	28
1.3.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS.....	30
1.4 ANTECEDENTES CONTEXTUALES.....	33
1.4.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO	33
1.4.2 UBICACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	34
1.4.3 UBICACIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO	34
2. CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
2.1 MÉTODOS.....	38
2.2 TIPO DE ESTUDIO.....	38
2.3 PARADIGMA	38
2.4 ENFOQUE.....	38
2.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	38
2.5.1 POBLACIÓN	39
2.5.2 MUESTRA.....	39
2.6 MÉTODO TEÓRICO CON LOS MATERIALES UTILIZADOS	40
2.7 MÉTODO EMPÍRICO CON LOS MATERIALES UTILIZADO	40
2.8 TÉCNICAS ESTADÍSTICAS UTILIZADAS	40
3. CAPITULO III: PROPUESTA	41
3.1 DATOS INFORMATIVOS.....	41
3.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	41
3.3 JUSTIFICACIÓN	41
3.4 OBJETIVOS	42
3.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	42
3.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
3.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	42
3.6 FUNDAMENTACIÓN	42
3.6.1 ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI).....	42
3.6.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO USANDO DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD).....	42

3.7 METODOLOGÍA MODELO OPERATIVO	43
3.7.1 DATOS DE ENTRADA	43
3.7.2 PROCESAMIENTO.....	44
3.7.3 SALIDAS	52
3.8 ADMINISTRACIÓN DE LA PROPUESTA	52
4. CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	53
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
4.1.1 TRÁFICO.....	53
4.1.2 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES..	57
4.1.3 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES	59
4.2 DISCUSIÓN.....	72
5. CONCLUSIONES.....	73
6. RECOMENDACIONES.....	75
7. REFERENCIAS	76
8. ÍNDICE ANEXOS.....	81

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Pavimento tipo Telforf	19
Figura 2 Pavimento tipo Mc Adam.....	19
Figura 3 Clasificación de los pavimentos	23
Figura 4 Cuenco de deflexiones.....	25
Figura 5 Vista lateral del equipo Viga Benkelman.....	26
Figura 6 Deflectómetro de Impacto	27
Figura 7 Deflectómetro Dinámico Laser	27
Figura 8 Componentes del Deflectómetro de Impacto (FWD).....	31
Figura 9 Área de la deformación producida por la carga	32
Figura 10 Ubicación general del sitio de estudio.....	34
Figura 11 Ubicación específica de la vía a estudio.....	35
Figura 12 Inicio de la vía a estudio.....	35
Figura 13 Punto medio de la vía a estudio.....	36
Figura 14 Final de la vía a estudio	36
Figura 15 Metodología de evaluación estructural y superficial del pavimento ..	43
Figura 16 Categorización de vehículos.....	53
Figura 17 Variación estacional horaria	54
Figura 18 Variación estacional diaria	54
Figura 19 Incidencia del tráfico por tipo de vehículo.....	55
Figura 20 Resultados del PCI por unidad de muestra.....	58
Figura 21 Distribución de porcentajes en función de la calificación del PCI.....	58
Figura 22 Ensayo con equipo Deflectómetro de Impacto.....	59
Figura 23 Cuenco de deflexión en la estructura del pavimento.....	60
Figura 24 Comparación de deflexiones de campo y corregidas	64
Figura 25 Distribución del porcentaje (%) de CBR en la vía a estudio.....	65
Figura 26 Resultados de deflexiones en la Avenida Jubones	67
Figura 27 Cálculo de Número Estructural requerido (SNreq) método AASTHO 1993.....	69
Figura 28 Resultados de Número Estructural (SN) efectivo Método AASTHO y YONAPAVE.....	71
Figura 29 Correlación de resultados método AASTHO vs YONAPAVE	72

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de deterioro en el Pavimento Flexible	24
Tabla 2 Valores del PCI.....	28
Tabla 3 Coordenadas de ubicación de la vía a estudio	37.
Tabla 4 Categorización de vehículos	37
Tabla 5 Umbrales de valor puntual de la deflexión patrón (10-2mm) para un agotamiento estructural	56
Tabla 6 Tráfico promedio semanal	57
Tabla 7 Trafico promedio diario año 2021	
Tabla 8 Deflexiones corregidas por Carga	61
Tabla 9 Deflexiones corregidas por Temperatura.....	62
Tabla 10 Parámetros de análisis de las deflexiones	66
Tabla 11 Refuerzo estructural del pavimento	69

INTRODUCCIÓN

Escobar (2007), indica que en principios, para determinar el estado de un pavimento, se valían de perforaciones, y extracción de muestras para análisis de laboratorio de la vía en evaluación, a medida que pasó el tiempo, surgieron modelos no destructivos de evaluación superficial como el Índice de Condición de Pavimentos PCI (desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos en los años 70), y para evaluación estructural, los métodos desarrollados por Burmister, Boussineq (1885) y Hogg (1944), etc.

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es la metodología más completa para la evaluación y calificación de pavimentos (Shahin,1978), además la evaluación estructural identifica las variables como: fallas presentes en el pavimento, deflexiones superficiales, radio de curvatura del cuenco deflexiones del pavimento, tipos de materiales que conforman la estructura de pavimento, espesores de cada una, su condición (Corros, 2019) etc.

Minhoto (2005) afirma que cada acción que se produce en el pavimento genera una alteración sobre las propiedades de los materiales que constituye el pavimento, en los asfaltos, el envejecimiento se produce por oxidación del asfalto, la cual induce su deterioro y agrietamientos a lo largo del tiempo

La evaluación estructural se puede realizar mediante pruebas no destructivas, es decir que se basan en la interpretación del cuenco de deflexiones generadas por acciones de carga o impacto, una vez obtenidas las deformaciones a través de nomogramas, cálculos y correlaciones se puede determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que compone el modelo estructural del pavimento (Higuera-Sandoval, 2010).

El deterioro de los pavimentos flexibles, es un problema que enfrenta la ciudad de Pasaje, afectando así la movilidad, reduce los tiempos de viajes, y afectan la economía de los usuarios, pues una vía en mal estado produce averías prematuras en los componentes de un automóvil.

Existe muchos problemas ligados al deterioro del pavimento, incluso la seguridad vial es afectada al tener las vías en deterioro o mal estado, afecta la calidad de vida en transporte de habitantes y de los usuarios en general, por lo tanto, socialmente, se justifica tener una herramienta que permita estudiar el estado de los pavimentos, para poder plantear las intervenciones necesarias para su conservación.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial (PDOT) del Municipio de Pasaje, un 8.5 % de la red vial del cantón, correspondes a las vías urbanas, que se traduce en 56.64 km de vías asfaltadas, sin embargo, hasta la actualidad, no hay control y seguimiento del estado del pavimento flexible, las autoridades una vez realizado el asfaltado, no implementan un sistema de seguimiento y evaluación para identificar y mitigar el deterioro en los pavimentos flexibles.

De cara a lo anterior, ante el problema del deterioro en el pavimento flexible, la metodología de evaluación superficial y estructural de pavimentos flexibles, aportará como herramienta de toma de decisiones, ya que permite conocer el estado del pavimento superficial y estructural del pavimento flexible para tomar las medidas correctivas necesarias, y garantizar la conservación hasta el término de su vida útil.

Objetivos

Los objetivos planteados en el presente documento son los siguientes:

Objetivo General

Establecer una metodología de evaluación superficial y estructural de fácil entendimiento para la determinación de la condición actual del pavimento flexible.

Objetivo Específico

- Describir los criterios de evaluación superficial y estructural de pavimentos flexibles.
- Aplicar los criterios de evaluación superficial y estructural de pavimentos a la vía a estudio para la identificación del estado de acuerdo a las solicitudes de tráfico actuales.
- Realizar la evaluación superficial y estructural de pavimentos flexibles en vías urbanas de la ciudad de Pasaje para la identificación del nivel de deterioro y la vida residual que presenta en estado actual y proyectado.

1. CAPITULO I: Marco Teórico

1.1 Antecedente Histórico

1.1.1 *Historia de las Carreteras*

Desde épocas remotas, el estilo de vida nómada de los grupos humanos primitivos se desplazaban de un lugar a otro a través de senderos en busca de alimento y recursos para sobrevivir, que a medida que pasó el tiempo se fueron convirtiendo en carreteras (Galindo, 1996).

La carretera real Persa fue una de las primeras que fueron construidas en el periodo de 3500 a 300 años a de J.C., coexistiendo así con las carreteras imperiales, y romanas, esta comunicaban los palacios y templos (Blanco, 1987).

La construcción de carreteras, según Blanco (Blanco, 1987) en términos técnicos fueron elaborados por los romanos, que las llamaron “calzada”, porque utilizaba en su construcción caliza, para aumentar la resistencia del suelo y mejorar las condiciones de la carretera. Además, las carreteras de los romanos tenían una singular característica, que asombra a la ingeniería moderna, es que son rectilíneo, usando un mínimo grado de curvatura en su recorrido, salvando así con estructuras como puentes, obstáculos como pantanos, lagos, y barrancos, hasta ese entonces, ya se conocían las técnicas de pilotaje con madera, que fueron muy utilizados en la construcción de estructuras y en zonas pantanosas

Desde hace tiempo, las carreteras se han convertido en pieza clave para el desarrollo y comunicación de un país (Guevara Rodríguez, 2009), por ende, desde tiempo atrás, hasta la actualidad, se continua con la construcción de carreteras reduciendo los tiempos de viajes y conectando a todos los países.

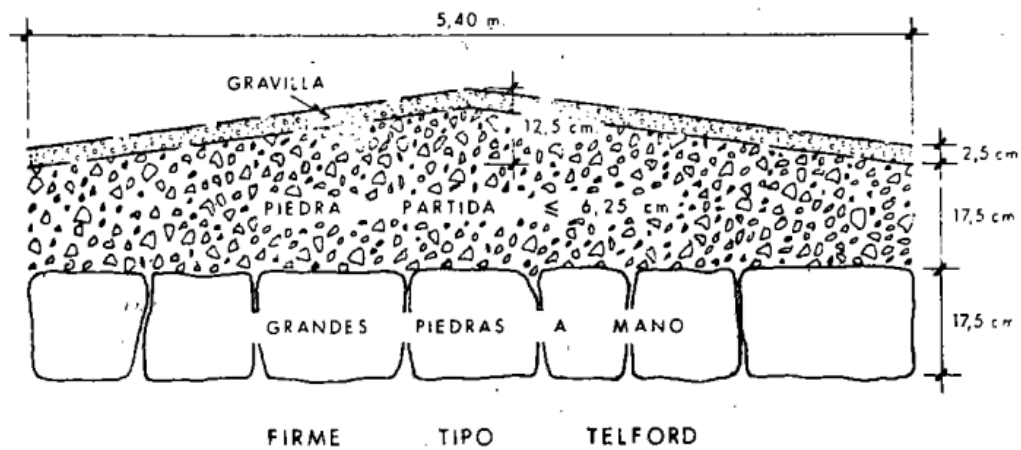
1.1.2 *Historia de los Pavimentos*

En Gran Bretaña, en los siglos XVIII y XIX, aparecen dos técnicos en las carreteras que son creadores de la construcción de firmes, y los define de la siguiente manera: “(...) es algo continuo con capacidad de adaptación elástica”, estos técnicos sustituyen los enlosados o adoquinados, introduciendo así firmes con un cimiento rígido formado por piedras, como se aprecia en la figura 1, mientras que Jhon Ludon McAdam (1756-1836) como se aprecia en la figura 2, propuso elevar el nivel de calzada sobre un material que

permita la evacuación de las aguas, es decir colocando una capa de piedras sobre las cual se colocaban material de menor tamaño hasta llegar con gravilla o escoria fina en la superficie (Blanco, 1987).

Figura 1

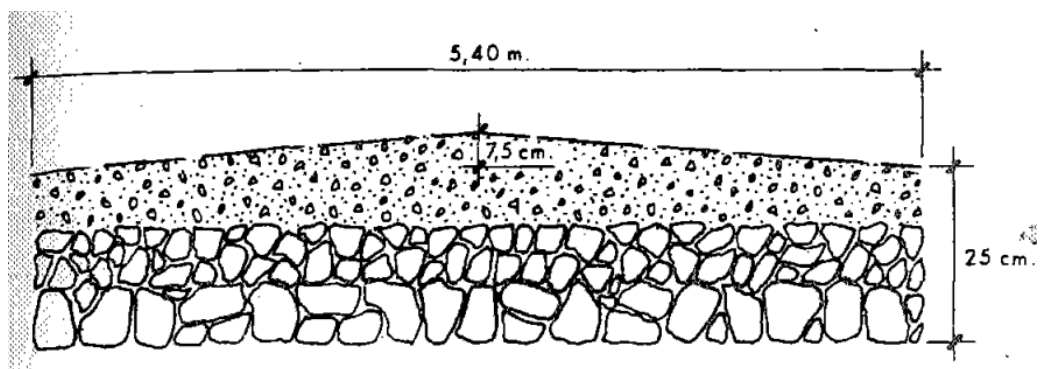
Pavimento tipo Telford



Nota: Adaptado de “Breve Historia de las Carreteras” (p.36) V. Blanco, 1987, Revista de Obras Públicas.

Figura 2

Pavimento tipo Mc Adam



Nota: Adaptado de “Breve Historia de las Carreteras” (p.37) V. Blanco, 1987, Revista de Obras Públicas.

1.1.3 Evolución de los Métodos de Evaluación Estructural de Pavimentos

Antes de tener el apogeo de la tecnología, el análisis y diseño de pavimentos se realizaba por métodos empíricos, sin considerar las propiedades de los materiales y otros factores como clima y temperatura a que está sometido permanentemente el pavimento, en ese contexto ha surgido la Metodología de retrocálculo, que según Andrade Neto et al (Andrade Neto et al., 2015), es la más adecuada para la evaluación estructural de los pavimentos, porque permite obtener los módulos de las capas que conforman el paquete estructural y la subrasante.

1.2 Antecedentes Conceptuales

1.2.1 Definición de Carreteras

Las carreteras son medios de comunicación que sirven para movilización de los vehículos, con adecuados niveles de seguridad vial y por ende, transportar las cargas a los diferentes destinos, toda esta sinergia que produce las carreteras genera un beneficio social, para los países en desarrollo, y permiten mejorar la calidad de vida de sus habitantes (Arroyave et al., 2006).

De la misma manera, según Urazán et al. (Urazán et al., 2017) “Las carreteras promueven el comercio y la industria al abrir oportunidades a nuevos mercados, pues se han de reducir los costos logísticos”.

1.2.2 Clasificación de Carreteras

El reglamento a la Ley de Infraestructura vial (de 06-jul. -2018 Estado: Vigente, 2018) clasifica las vías por su diseño, funcionalidad, Uso, Jurisdicción, Tráfico y Tipo de terreno, etc., como se detalla a continuación:

1.2.2.1 Por el Diseño

Autopistas- Son vías rápidas, debido a su precisión geométrica, los accesos son controlados para garantizar una velocidad constante.

Autovía. – Vías separadas las calzadas de circulación y de accesos controlados.

Vías Rápidas. - Constan de una calzada y de accesos controlados.

Carreteras. – Las características geométricas responde a las Normas Generales de Diseño emitidas por el organismo rector.

Caminos vecinales. – Vías para conectar áreas rurales, y que cumplen con las Normas generales de diseño.

Urbanas. – Son las vías que están dentro del área urbana de cada Cantón, incluida la zona de planificación.

1.2.2.2 Por su funcionalidad.

Nacionales. - Son todas las vías que están dentro del territorio nacional.

Locales. - Vías que conectan poblados con las vías secundarias.

Vías de servidumbre. – Vías que dan accesos a propiedades privadas.

1.2.2.3 Dominio

Públicos. - Vías de uso público, construidas para la utilización común.

Privados. - Son vías construidas dentro de propiedades privadas.

1.2.2.4 Uso

Carreteras. - Utilizadas por vehículos de tracción mecánica, humana o animal.

Ferrovía. - Utilizadas por trenes.

Ciclovía. – Espacios para circulación única de bicicletas.

Sendero. – Espacios utilizados para la movilidad peatonal.

Exclusivas. - Para uso del transporte público.

1.2.2.5 Jurisdicción y Competencia

Nacional. – Comprenden las carreteras dentro del territorio nacional.

Estatal. - Son las troncales nacionales.

Regional. – Son las que cuya competencia son de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Regionales.

Provincial. - Son las que comunican las cabeceras cantonales, parroquiales rurales, comunidades o recintos vecinales,

Cantonal urbana. – Son las vías cuya competencia están a cargo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

1.2.2.6 Jerarquía

Corredores Arteriales. - Aplican las carreteras de calzadas separadas o única, con accesos controlados.

Vías Colectoras. - Son las Clase I, II, III, IV, son las que reciben el tráfico de las arterias nacionales.

Caminos Vecinales. - Abarca la categoría de tráfico tipo IV y V, incluida las vías rurales.

1.2.2.7 Tráfico

Clase R-I o R-II.- Aplica para un tráfico diario anual (TPDA) proyectado de más de 8000 vehículos diarios.

Clase I.- Aplica para un TPDA de 3000 a 8000 vehículos.

Clase II.- Aplica para un TPDA de 1000 a 3000 vehículos.

Clase III.- Aplica para un TPDA 300 a 1000 vehículos.

Clase IV.- Aplica para un TPDA de 100 a 300 vehículos.

Clase V.- Aplica para un TPDA de menos de 100 vehículos

1.2.2.8 Tipo de Terreno

Llano. - Es cuando las pendientes longitudinales y transversales del terreno son mínimas.

Ondulado. - Cuando la pendiente de terreno se identifica, sin excederse, con las pendientes longitudinales que se pueden dar al trazado.

Montañoso. - Finalmente, es montañosos cuando el alto grado de la pendiente del terreno gobierna el trazado, y la pendiente transversal es menor o igual a 50%.

1.2.3 Definición de Vías Urbanas

Son aquellas que atraviesan el casco urbano de una ciudad, y que, de acuerdo a la planificación de cada ciudad, estén en zonas de expansión.

1.2.4 Pavimentos

Los pavimentos son elementos estructurales apoyados sobre un terreno y que permiten la circulación de vehículos en condiciones de seguridad y comodidad, están conformadas por capas de materiales seleccionados que en conjunto transmiten los esfuerzos y deformaciones al terreno adyacente o subrasante (Falla López, 2018), y su clasificación se muestra en la figura 3:

Figura 3

Clasificación de los pavimentos

Rígido <ul style="list-style-type: none">• Son aquellos que están compuestos de concreto.
Flexible <ul style="list-style-type: none">• Están formadas por mezclas asfálticas
Semi rígida o mixta <ul style="list-style-type: none">• Son las que combinan el rígido y flexible
Articulado <ul style="list-style-type: none">• Son aquellos que están conformados por elementos prefabricados.

1.2.5 Deterioro de los Pavimentos

Los pavimentos, desde el inicio de su operatividad están expuestos a acciones que inciden en su deterioro, siendo estas principales el agua y la acción del tráfico, que, a lo largo del tiempo de servicio, van aumentando su severidad. Estas fallas son características de cada tipo de pavimento, siendo estas las más comunes, los agrietamientos y las fisuras (Quispe & Barboza, 2019).

1.2.5.1 Fallas en Pavimentos Flexibles

Se han identificados patrones en la formación de fallas en los pavimentos, de ello han surgido diversos métodos para su identificación, análisis y proceso, que conlleva a conocer de manera general, el estado del pavimento (Pachay Parrales, 2017).

La metodología PAVER creado por la FAA (*Federal Aviation Administration*) es la más utilizada en la actualidad, identifica las fallas en los pavimentos mediante patrones establecidas y niveles de severidad, la cual mediante un proceso matemático permite calcular un índice llamado PCI, y con valores preestablecidos permite cualificar el estado superficial del pavimento, a continuación, en la tabla 1, se detalla las principales deterioros en los pavimentos flexibles:

Tabla 1

Tipos de deterioro en el Pavimento Flexible

Nombre del Deterioro	Descripción
Fisura en bloque	Son grietas interconectadas en forma de bloque.
Desgaste superficial o pulimiento del agregado	Causado principalmente por la acción del tráfico, es cuando la superficie de rodadura manifiesta aparición de agregados gruesos.
Ahuellamiento	En la depresión del pavimento de forma longitudinal, usualmente en sentido de circulación de los vehículos y en la línea de la huella.
Baches	Producidas por el desprendimiento de la capa de rodadura.
Grietas de reflexión	Son producidas en capas de mezcla asfáltica que están sobre losas de concreto, son causadas por el movimiento de la losa en la junta.
Grietas de borde	Producidas por inadecuada compactación de los bordes del pavimento, aparecen generalmente en los extremos
Piel de cocodrilo	Causada por fatiga y subrasante inadecuadas, son grietas interconectadas entre sí y se asemejan a la piel de un lagarto.

Corrugación	Ondulaciones en el pavimento que afectan la comodidad de circulación de los usuarios de la vía.
Exudación	Se produce cuando aparece una mancha en la superficie de pavimento producida por el rebrote de cemento asfáltico de una mezcla bien rica.
Pulimiento del agregado	Es el desprendimiento del agregado y pérdidas de rugosidad en la superficie
Desintegración	Es la pérdida de partículas de agregado en la superficie de rodadura.

Nota: Elaboración propia.

1.2.6 Número Estructural Existente del Pavimento SNeff

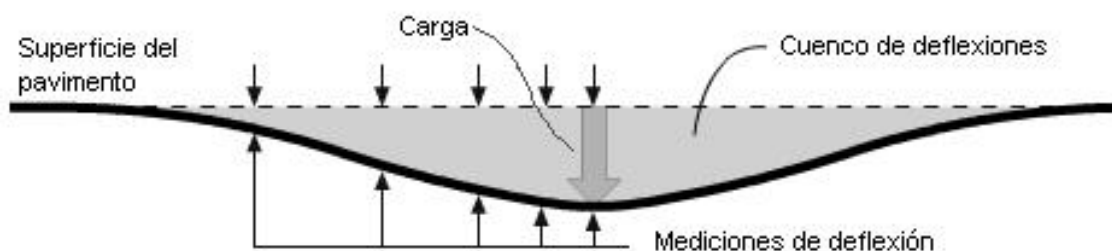
Es un indicador de resistencia del pavimento existente que permite conocer la capacidad de soporte del pavimento a las acciones de carga generadas por el tráfico en su vida útil (Abd El-Raof et al., 2020), se puede calcular mediante análisis inverso, ya sea con el Método AASTHO 93, o el método de YONAPAVE, etc.

1.2.7 Deflexión en Pavimento

Es el desplazamiento vertical que se produce en el pavimento bajo la acción de cargas externas o producidas por el tráfico vehicular (Figura 4), la deflexión esta correlacionada con la capacidad estructural del pavimento, de tal manera que si la deflexión es alta, la capacidad estructural del pavimento es baja, y viceversa (Higuera-Sandoval, 2010).

Figura 4

Cuenca de deflexiones



Nota: Adaptado de “Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de

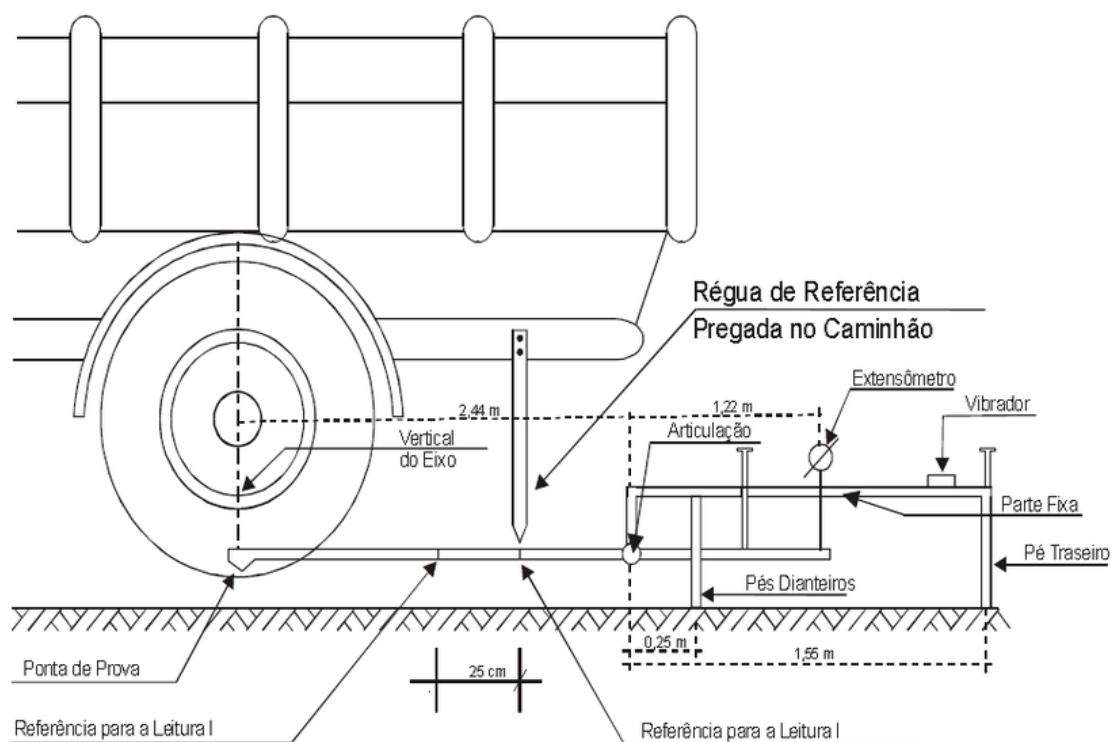
la viga Benkelman y el Deflectómetro de impacto (*Falling Weight Deflectometer, FWD*)” (p.37) K. Escobar, 2007, Tesis, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

En la actualidad, existen tres métodos típicos para la medición de deflexiones en evaluación de pavimentos (Liao et al., 2019):

a.- Viga Benkelman: este equipo (figura 5) mide las deflexiones bajo una carga estática, pero es poco utilizado por la complejidad de uso y bajo rendimiento.

Figura 5

Vista lateral del equipo Viga Benkelman



Nota: Adaptado de “Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la viga Benkelman y el Deflectómetro de impacto (*Falling Weight Deflectometer, FWD*)” (p.43) K. Escobar, 2007, Tesis, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

b.- Deflectómetro de Impacto FWD: realiza la medición de la deflexión en el pavimento producida por la caída dinámica de un peso que imita el paso de los vehículos (Pérez Salazar et al., 2004), este equipo (figura 6) es ampliamente usado por su alto rendimiento y última sofisticada tecnología para la recolección de datos.

Figura 6*Deflectómetro de Impacto*

Nota: Adaptado de Deflectómetro de Impacto, 2020 (<https://www.dynatest.com/deflectometro-de-impacto-fwd>)

c. Deflectómetro Dinámico Laser LDD. - este equipo permite la medición de deflexiones del vehículo en movimiento, aplicando cargas dinámicas continuas de las ruedas del vehículo y registrándolas a través de geófonos adaptados en el chasis del vehículo.

Figura 7*Deflectómetro Dinámico Laser*

Nota: Adaptado de "Manual del PCI", L. Vázquez, 2002, (pag. 25)

1.3 Antecedentes Referenciales

1.3.1 Metodología de Evaluación Superficial de Pavimentos

La metodología más completa en evaluación superficial de pavimentos es determinando el Índice de Condición de Pavimento PCI (González-Fernandez et al., 2019) y (Aldazabal Barbaran, 2012), este índice varía desde 0 hasta 100, dependiendo del estado que se encuentra el Pavimento, del mismo modo, en función del valor numérico, se puede cualificar el estado de condición (Adly et al., 2019) como se muestra en la tabla 2:

Tabla 2
Valores del PCI

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

Nota: Manual del PCI

1.3.1.1 Cálculo de las Unidades de Evaluación

Este paso, sirve para determinar un número mínimo de unidades de muestra para poder evaluar la condición superficial, ya que al tratarse de carreteras, estas son muy extensas como para medir toda la superficie del pavimento, agotando tiempo y recursos, por lo tanto mediante la siguiente ecuación determinamos las unidades de muestreo mínimas representativas del pavimento (González-Fernandez et al., 2019):

$$n = \frac{Nx\sigma^2}{\frac{e^2}{4}(N-1) + \sigma^2} \quad \text{ecuación (1)}$$

n = unidades de muestreo mínimas

N = número total de unidades de muestreo en sección de pavimento.

e = error admisible ($e=5\%$)

σ = desviación estándar

1.3.1.2 Cálculo de Intervalo de Evaluación

Según Vásquez (Vásquez, 2002), las unidades de muestra a evaluar, deben estar distanciadas entre las consecutivas, por lo tanto se presenta la ecuación para determinar dicho intervalo:

$$i = \frac{N}{n} \text{ ecuación(2)}$$

Donde

i = intervalo de muestreo

N = número total de unidades de muestreo en sección de pavimento.

n = unidades de muestreo mínimas

1.3.1.3 Evaluación de la Condición Superficial de las Unidades de Muestreo

Este proceso puede realizarse manualmente o con equipos especializados, consiste en identificar el tipo de falla, cuantificar el área afectada, y registrar el nivel de severidad que presenta (González-Fernandez et al., 2019), el formato de levantamiento de información de campo se muestra en el Anexo 1 y 2.

1.3.1.4 Cálculo de Valores Deducidos

Se calcula por cada tipo de falla, en función de su severidad, para ello, se utiliza tablas preestablecidas que se muestran en el Anexo 3, con los siguientes pasos:

1. Calcular la cantidad total del área afectada.
2. Calcular la densidad que representa en la unidad de muestreo.
3. Mediante tablas preestablecidas para cada tipo de falla, se obtiene el valor deducido VD

4. Se calcula el máximo número de valores deducidos permitidos con la siguiente ecuación:

$$m_i = 1.0 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \text{ ecuación (3)}$$

Donde

m_i = Número máximo admisible de Valores admisibles.

HDV= mayor Valor Deducido individual para la unidad de muestreo

1.3.1.5 Cálculo del Valor Máximo Deducido Corregido (CDV) y el PCI para la Unidad De Muestreo.

Mediante las curvas de corrección de valores deducidos (Anexo 4), se puede obtener el Valor máximo Deducido y calcular el PCI con la siguiente ecuación:

$$PCI = 100 - CDV \text{ ecuación (5)}$$

1.3.2 Metodología de Evaluación Estructural de Pavimentos.

La evaluación estructural se ha convertido en pieza clave en la evaluación de pavimentos y para poder configurar un Sistema de Gestión del Pavimento (Shah et al., 2013), porque identifica la capacidad estructural del conjunto pavimento – subrasante a través de deflexiones obtenidas y medidas en campo con las cuales se puede analizar el estado actual y vida remanente del pavimento (Falla López, 2018).

1.3.2.1 Deflectómetro de Impacto (FWD).

Es un equipo que permite la medición de deflexiones producidas por carga dinámica (Ávila et al., 2015), como se muestra en la figura 8, este equipo cuenta con: sistema de instrumentación, dispositivo generador de impacto, placa de carga, transductor de deflexión, y celda de carga que en conjunto permite la simulación de las cargas de tráfico y registra mediante los sensores ubicados estratégicamente, las deflexiones producidas por el plato de carga (Pérez Salazar et al., 2004) y (Livneh, 2010).

Figura 8

Componentes del Deflectómetro de Impacto (FWD).



Nota: Adaptado de “Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del Deflectómetro de Impacto” (p.75) C. Higuera-Sandoval, 2010, Facultad de Ingeniería.

Según (Abd El-Raof et al., 2020), mediante la magnitud de las deflexiones, permiten conocer las propiedades de las capas de pavimento, en condiciones ambientales normalizadas, por lo general, los datos de cuenco de deflexiones son utilizados para realizar análisis inverso, para la obtención de los módulos de las capas de pavimento, la temperatura es un factor muy importante en análisis de deflexiones, toda vez que, afecta directamente en el resultado del módulo de la carpeta asfáltica por su propiedad viscoelástica, por lo tanto este debe ser normalizado a una temperatura constante de 20°C.

1.3.2.2 Modelos Matemáticos

Existen varios modelos matemáticos para la interpretación del cuenco de deflexiones en un pavimento, entre ellos tenemos:

AASTHO (1993)

RODHE (1994)

WSDOT (2005)

LUKANEN (1991).

YONAPAVE (2003)

DELMAT (2006)

KAVUSSI ET. AL (2017)

Para esta investigación, la interpretación de las deflexiones se realizó mediante el análisis inverso propuesta por la metodología AASTHO 93, además, se puede validar los resultados con la metodología de YONAPAVE, este último se considera como el más adecuado para la caracterización del sistema pavimento – subrasante (Ávila et al., 2015).

1.3.2.3 Modelos AASTHO 93

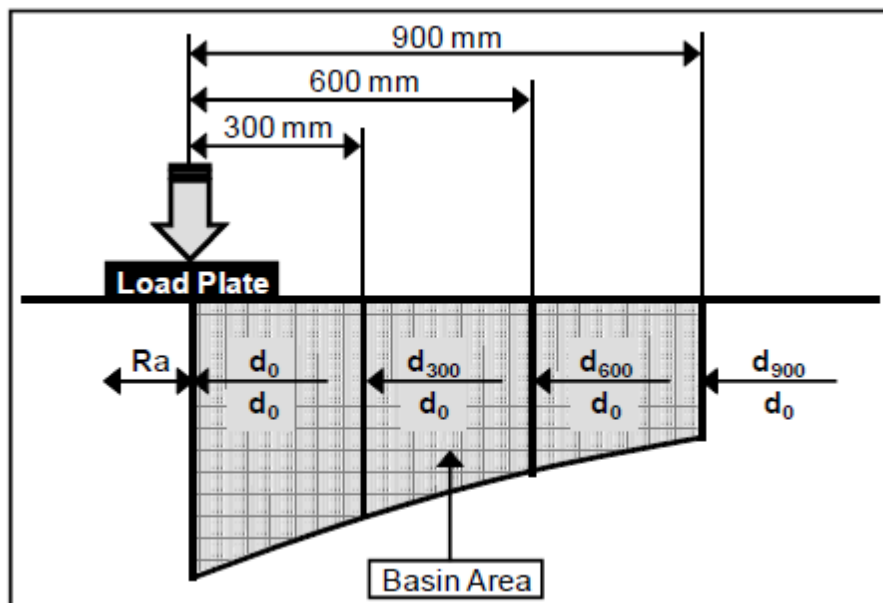
Este modelo permite calcular el Número Estructural efectivo (S_{Neff}), que se obtiene por la interpretación del cuenco de deflexión (Guzmán-Suárez & Higuera-Sandoval, 2016), y con el tráfico de diseño se puede obtener el número estructural requerido (S_{Nreq}) (Rodríguez et al., 2016; Thenoux & Villasante, 2003), con el cual se puede analizar el estado actual y vida remanente de la estructura del pavimento .

1.3.2.4 Método de YONAPAVE

Este método se basa en el modelo de Hogg para determinar el Módulo de la subrasante y Número Estructural efectivo S_{Neff} (Livneh, 2010), para soportar e agrietamiento por fatiga debido a las solicitaciones de tráfico actuantes, este método utiliza el área bajo las deflexiones producida por la carga y posterior se procede a calcular la longitud característica del cuenco de deflexiones como se evidencia en la figura 9.

Figura 9

Área de la deformación producida por la carga



Nota: Adaptado de “On the Reliability of Excluding Thickness in Forward-Calculating Pavement Parameters” (p.8) C. Livneh, 2010, Road materials and pavement design 11.

El modelo considera un sistema elástico lineal de dos capas, una losa delgada y una subrasante elástica que permite calcular el espesor de refuerzo estructural a partir de las deflexiones obtenidas con el Deflectómetro de Impacto, independientemente del espesor de la estructura de pavimento existente (Hoffman, 2008) & (Varela & Pacheco-Torres, 2019).

1.4 Antecedentes Contextuales

1.4.1 Localización del Estudio

El Cantón Pasaje está ubicada en la Provincia de El Oro, según el Instituto Nacional de estadísticas y Censos (INEC 2010), cuenta con una población de 72806 habitantes divididas en 52673 habitantes de la zona urbana y 20133 habitantes en la zona rural.

La principal actividad económica del cantón Pasaje es la agricultura (banano, cacao, cítricos, ciclo corto), con un 80% de cobertura.

El área de estudio posee clima caluroso – húmedo, temperatura que varían de 20° y 35°C, y con precipitaciones que oscilan entre los 500 y 1250 mm al año, característica típicas de climas tropicales (PDOP, 2021).

1.4.2 Ubicación General del Proyecto

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT,2021), la ciudad de Pasaje tiene los límites con los siguientes cantones:

Norte: El Guabo

Sur: Santa Rosa, Atahualpa y Chilla

Este: Zaruma y parte de la provincia del Azuay

Oeste: Machala

Coordenada de ubicación general en centroide del Cantón Pasaje

Sistema de referencia: WGS 84

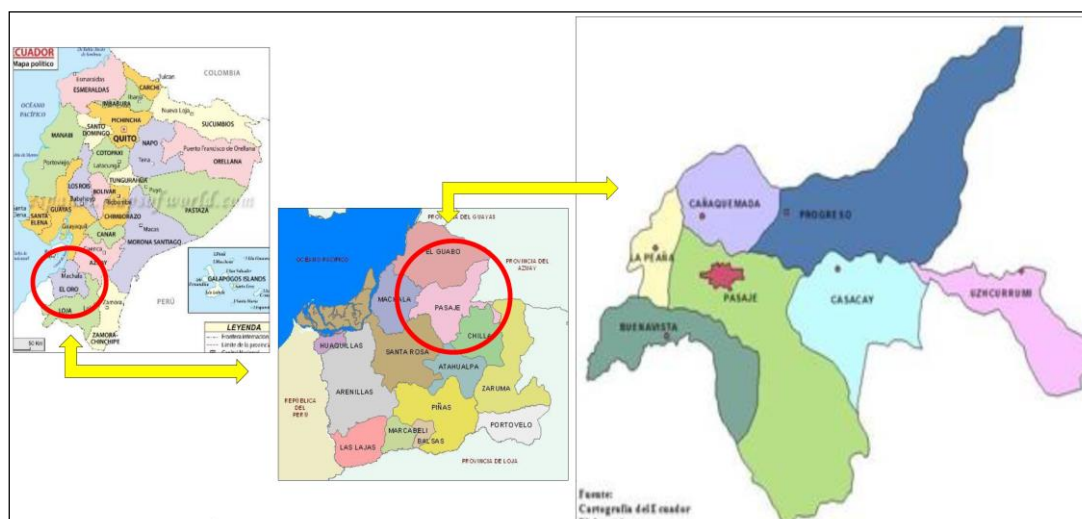
Zona: 17 Sur

Coordenada en Este (m): 632824.58 m E

Coordenada en Norte(m): 9631709.73 m S

Figura 10

Ubicación general del sitio de estudio



Nota: Adaptado de “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDOT GAD Cantonal de Pasaje”, 2019, (pág. 105).

1.4.3 Ubicación del Tramo de Estudio

Como se observa en la figura 11, la vía de estudio es tiene una longitud aproximada de 3.5 km, de pavimento flexible y un ancho promedio de 9 metros, es de dos carriles de circulación bidireccional y se clasifica por su diseño en una vía urbana, esta vía es de gran afluencia, toda vez que es una de las entradas y salidas de la ciudad de Pasaje

Figura 11

Ubicación específica de la vía a estudio



Nota: Adaptado a partir de *Google Earth*.

El inicio del proyecto está ubicado en el lado Este, como se observa en la figura 11 y 12, junto a redondel de ingreso de a la ciudad de Pasaje, continua la vía paralela a un canal de riego y finaliza el en la intersección vial avenida Jubones y calle Piedrahita como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Inicio de la vía a estudio



Nota: Adaptado a partir de *Google Earth*

Figura 13

Punto medio de la vía a estudio



Nota: Adaptado a partir de *Google Earth*

Figura 14

Final de la vía a estudio



Nota: Adaptado a partir de *Google Earth*

Tabla 3

Coordenadas de ubicación de la vía a estudio

Inicio		Fin	
Este (m)	Norte(m)	Este (m)	Norte(m)
636370.01 m E	9632164.21 m S	632964.12 m E	9632075.83 m S

Nota: Sistema de referencia: WGS 84 Zona: 17 Sur

2. CAPITULO II: Materiales y Métodos

2.1 Métodos

Según el tipo de inferencia se considera la investigación de tipo **Deductivo**, porque para la evaluación de pavimentos, se aplica normas preestablecidas como la internacional ASTM D6433-03, y la normativa Nacional NEVI-12.

2.2 Tipo de Estudio

La presente investigación es de tipo **Descriptivo**, porque se analiza un fenómeno ya estudiado, y se utilizará formulación para su análisis sin embargo, la importancia de esta investigación radica en implementarlo en el Cantón Pasaje, con las condiciones y materiales disponibles en el Ecuador, también es de tipo **explicativa**, porque se va a realizar un diagnóstico del fenómeno estudiado encontrando así sus propiedades, características, medidas, componentes, etc., **transversal** porque se realiza el levantamiento del fenómeno por única vez, y de tipo **aplicativa**, porque se implementará una metodología de aplicación del mismo.

2.3 Paradigma

Por su paradigma, se puede clasificar esta investigación como **positivista**, porque consta en gran parte de datos cuantitativos.

2.4 Enfoque

En el proceso de investigación, han surgido diferentes enfoques, que permiten estudiar un fenómeno las cuales son: cuantitativo, cualitativo y mixto (Sampieri, 2018).

La Metodología mixta permite complementar e integrar diferentes aspectos no tratados en el enfoque cuantitativo y cualitativo, de un fenómeno tratado (Mata et al., 2018),

El método de la investigación tiene un enfoque **mixto (Cuantitativa y Cualitativa)**, porque se tiene que realizar mediciones de campo y determinar valores que permitan dentro de márgenes preestablecidos conocer de manera cualitativa el estado del pavimento.

2.5 Población y Muestra

2.5.1 Población

La población es el total de objetos o individuos que presentan condiciones particulares con relación a un caso de estudio (Sampieri, 2018).

En esta investigación el objeto de estudio son las vías de pavimento flexible, la población de investigación es finita, porque se adopta el total de las vías de pavimento flexible de la zona urbana del Cantón Pasaje, con una longitud aproximada de 56.64 km (PDOT, 2021).

2.5.2 Muestra

El tipo de muestreo realizado es probabilístico simple, porque se adoptó una muestra que sea representativa de la población de estudio.

Cálculo del tamaño de la muestra para poblaciones finitas.

$$n = \frac{Nz^2pq}{(N - 1)E^2 + z^2pq} \quad \text{ecuación(10)}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra =?

N = Población = 56.640,00 m calles pavimentadas.

p= probabilidad de éxito, evento a favor = 1

q= probabilidad de fracaso, evento en contra = 1

E = Margen de error muestral = 5%

Z = Nivel de Confianza = 1.96

$$n = \frac{(56640.0)(1.96)^2(1)(1)}{(56640.0 - 1)(0.05)^2 + (1.96)^2(1)(1)}$$

El tamaño de la muestra es: $n = 1579.0$ m de vías a estudio

En relación a lo anterior, se adoptó como muestra la Avenida Jubones vía urbana de pavimento flexible con una longitud aproximada de L= 3.4km.

2.6 Método Teórico con los Materiales Utilizados

Se utiliza el método deductivo, la cual nos permite pasar de principios generales a encontrar un resultado particular, es decir parte de leyes, fundamentos teóricos y enunciados universales a conclusiones de hechos particulares (Castellanos, 2017), en esta investigación se tiene como base las leyes de los deterioros de pavimentos flexibles, que al analizar en las vías urbanas del Cantón Pasaje, permitió encontrar un resultado particular.

2.7 Método Empírico con los Materiales Utilizado

Para el desarrollo del presente documento se usó métodos de observación, usando libros, documentos técnicos, formatos preestablecidos, que hicieron parte del trabajo de oficina en esta investigación, posteriormente se trabajó con el método de la experimentación, a través de la realización de ensayos de laboratorio, mediciones de campo, conteos de tráfico.

2.8 Técnicas Estadísticas Utilizadas

Para el manejo de datos cuantitativos se utilizó la Estadística Descriptiva, porque en el proceso de evaluación de pavimento se estudió diferentes puntos de la carretera a estudio, permitiendo así, mediante la media, mediana, moda, desviación típica, varianza, coeficiente de variación, y línea de tendencia encontrar el comportamiento de las variables dentro del tramo vial.

3. CAPITULO III: Propuesta

3.1 Datos Informativos

La metodología para evaluación de pavimento flexibles en vías urbanas, sirve como instrumento de análisis a las diferentes instituciones públicas directamente interesadas, como por ejemplo los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's), las Prefecturas, Concesiones etc., siendo los beneficiarios directos la población o usuarios de la vía, toda vez que, al realizar una correcta evaluación permitirá a las autorizadas ejecutar la intervención adecuada y solucionar los problemas que contiene una vía en mal estado.

La evaluación de pavimento se llevó en ejecución en la zona urbana del Cantón Pasaje, en la Avenida Jubones, la cual tiene una longitud aproximada de 3.5 km, el tiempo que se tarda en realizar el trabajo de campo es de 7 días, con varios frentes de trabajo, toda vez que se necesita levantar información de conteo de tráfico clasificado, inspección visual del deterioro del pavimento, y la evaluación estructural con equipos de alto rendimiento como el Deflectómetro de Impacto (FWD).

3.2 Antecedentes De La Propuesta

Existen diversos métodos de evaluación de pavimentos, entre ellas: visual, calicatas, perforaciones, medidas de parámetros de estado como deflexiones, medición de IRI y fricción (González-Fernandez et al., 2019), que en general se puede clasificar en dos grandes grupos: destructivos y no destructivos.

Al utilizar métodos destructivos alteraría el equilibrio pavimento – subrasante, no obstante existen métodos y equipos de última tecnología que basados en deflexiones, permiten caracterizar el nivel de deterioro estructural que tiene el pavimento - subrasante (Ávila et al., 2015), este último, utiliza el equipo denominado Deflectómetro de Impacto (FDW) que permite mediante una placa y una carga 40 KN aproximadamente, generar las acciones que realiza un camión cargado de 18000 lb con eje dual.

3.3 Justificación

La metodología de evaluación de pavimento propuesta utiliza equipos de precisión y de alto rendimiento, que permitirá en corto tiempo evaluar la condición superficial y estructural del pavimento.

3.4 Objetivos

3.4.1 *Objetivo General*

- Elaborar una metodología de evaluación superficial y estructural de pavimentos flexibles

3.4.2 *Objetivos Específicos*

- Realizar el conteo clasificado de tráfico
- Realizar la evaluación superficial y estructural del pavimento flexible
- Estructurar la metodología que englobe los datos de entrada, procesamiento y salida de información de análisis.

3.5 Análisis de Factibilidad

La metodología propuesta es conveniente porque permite conocer de manera precisa el estado superficial y estructural del pavimento flexible, y utiliza equipos tecnológicos de alto rendimiento y disponibles en el mercado.

3.6 Fundamentación

3.6.1 *Índice de Condición del Pavimento (PCI)*

El Índice de Condición de pavimento (PCI), es un parámetro que permite conocer de manera global el comportamiento del pavimento, fue desarrollado por el Sistema de Gestión del estado de Ontario (OPAC), y hasta la actualidad es uno de los procedimientos de inspección visual de mayor aceptación a nivel mundial para auscultación de carreteras. (González-Fernandez et al., 2019)

3.6.2 *Evaluación Estructural del Pavimento usando Deflectómetro de Impacto (FWD)*

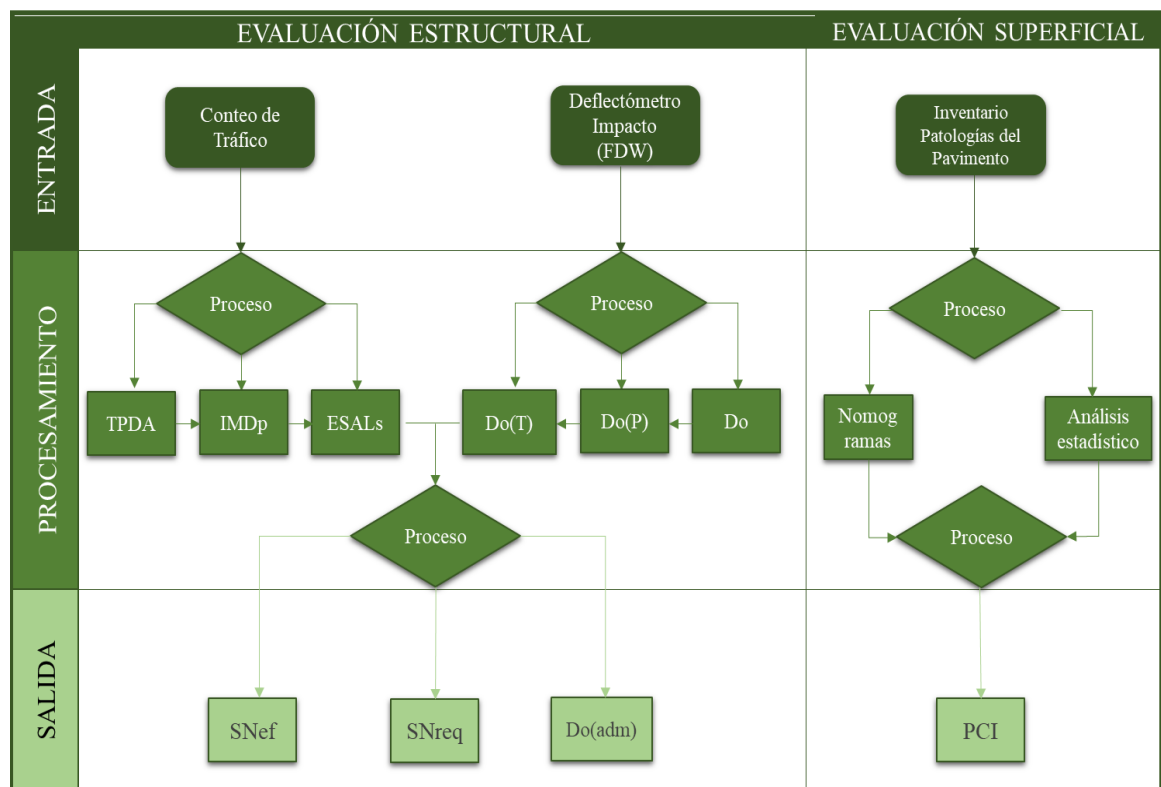
La evaluación estructural simula el comportamiento del pavimento ante las cargas de tráfico, en la actualidad, existen diferentes equipos que pueden simular de manera controlada la acción de las llantas de vehículo tipo, por lo tanto, se ha catalogado al Deflectómetro de Impacto (FWD) como el mejor equipo para determinar la magnitud y duración de la carga de tráfico actuante en el pavimento (Pérez Salazar et al., 2004).

3.7 Metodología Modelo Operativo

La metodología propuesta consta de tres etapas: datos de entradas, procesamiento de la información y salidas o resultados, que se muestra en la figura 15, que permiten al técnico de mantenimiento encargado y/o funcionario interesado en la materia, seguir un proceso para encontrar el estado en que se encuentra el pavimento flexible.

Figura 15

Metodología de evaluación estructural y superficial del pavimento



Nota: TPDA: tráfico promedio diario anual, IMDp: tráfico vehículo pesado, ESALs: número de ejes equivalentes, Do: deflexión de campo, Do(P): deflexión corregida por carga, Do (T): deflexión corregida por temperatura, SNef: Número estructural efectivo, SNreq: número estructural requerido, Do (adm): verificación de la deflexión corregida por carga y temperatura Do (T), con la deflexión admisible.

3.7.1 Datos de Entrada

Es la información de campo que se ha recopilado mediante diferentes métodos aceptados a nivel internacional, como conteos manuales y automáticos, el PCI para evaluación superficial, y el Deflectómetro de Impacto en la evaluación estructural del pavimento, los pasos a seguir para obtener la información de entrada son los siguientes:

3.7.1.1 Conteo de Tráfico

Para asegurar un margen de error muestral aceptable en la estimación de los volúmenes de tráfico actuantes, se realizó aforos durante 24 horas los 7 días de la semana, clasificándolo por tipo de vehículo y su distribución horaria, como se evidencia en el Anexo 5 y 6.

3.7.1.2 Inventario de Patologías o Deterioros en el Pavimento

El levantamiento de información se lo realizó a pie, implementando un plan de manejo de tránsito para seguridad personal, se identificó las unidades de muestra conforme la norma ASTM D6433 (Anexo 7) en tramo de carretera y se procedió identificar el tipo de falla y cuantificarlo en el formato de campo que se muestra en el Anexo 2.

3.7.1.3 Deflexiones en Pavimento

Se estableció una frecuencia de ensayos en el pavimento a una separación de 100 m por avance, variando del carril izquierdo y carril derecho en tres bolillos, de manera que se genere una malla y cubra toda la calzada en estudio, en cada abscisa de ensayo se midió la temperatura del pavimento mediante un termómetro de punta metálica, los resultados de campo se muestran en el Anexo 8.

3.7.2 *Procesamiento*

Con los datos de campo, se procede a realizar las debidas calibraciones de datos, ajustes y mediante fórmulas preestablecidas calcular y caracterizar la variable de estudio como se resumen a continuación:

3.7.2.1 Análisis y Procesamiento de Datos de Tráfico

Una vez realizado el conteo clasificado de tráfico, se procedió a realizar el procesamiento para obtener el tráfico promedio diario anual (TPDA), para ello, se debe utilizar los factores de expansión de variación estacional semanales, mensuales y anuales respectivos (MTOPI, 2003):

$$TPDA = (TO)(Fh)(Fd)(Fs)(Fm) \text{ ecuación (11)}$$

Donde:

TO: volumen de tráfico observado

Fh: permite llevar de volumen horario a tráfico medio diario, y es el resultado de la división del total del tráfico en el día del conteo automático al día de conteo manual entre el volumen de tráfico que corresponde al tiempo del conteo manual.

Fd: permite llevar el volumen de tráfico diario a promedio semanal.

Fs: permite llevar el volumen de tráfico semanal al promedio de tráfico mensual.

Fm: permite llevar el volumen de tráfico mensual al promedio diario anual.

3.7.2.2 Intensidad Media Diaria de Vehículos Pesados (IMDp)

El componente principal para calcular espesores de pavimentos es el volumen de tráfico de vehículo pesados (IMDp), resulta de sumar todas las categorías de tráfico que son de eje dual y que sea igual o mayor a dos (2) ejes de las categorías descritas en la tabla 4:

Tabla 4

Categorización de vehículos

CATEGORIA	TIPO DE TRÁFICO
MOTOS	Especiales
LIVIANOS	Livianos
BUSES	Pesado
CAMIÓN C2	Pesado
CAMIÓN C3	Pesado
CAMIÓN C4	Pesado
CAMIÓN C5	Pesado
CAMIÓN C6 o MÁS	Pesado

3.7.2.3 Ejes Equivalentes

Corresponde al número de repeticiones o pasadas que tiene un eje tipo de 18 kips, para un periodo de diseño determinado, se calcula con la siguiente expresión:

$$ESALs = (ADT)(TKS)(GF)(DD)(LD)(TF)(365) \quad \text{ecuación (12)}$$

Donde:

ADT: tránsito diario inicial

TKS: porcentaje de camiones pesados

GF: factor de crecimiento.

DD: factor de distribución por trocha para camiones.

TF: Factor de camiones (ESALs/camiones)

3.7.2.4 Procesamiento de las Deflexiones en el Pavimento

Deflexión corregida por carga. – Según la metodología AASHTO, para la aproximación de la carga, se emplea la siguiente formula:

$$D_{f(c)} = Factor_c * Df \quad \text{ecuación (13)}$$

Donde:

Df (c) : Deflexión corregida

Factor (c) : Factor obtenido de la división de la carga aplicada y la carga de rueda dual de 40KN.

Df: deflexión de campo.

Deflexión corregida por temperatura. - La temperatura afecta directamente el valor de la deflexión en el pavimento, cuando la temperatura es alta, el valor de la deflexión va a ser alta (Sanchez Sabogal & Murgueito Valencia, 2003), por lo tanto es importante convertir los valores de deflexión de campo a una temperatura de referencia 20°C , con la siguiente ecuación:

$$F_T = \frac{1}{1 + 8 e 10^{-4} h (T - 20)} \quad \text{ecuación (14)}$$

Donde:

h: espesores del pavimento asfáltico.

T: Temperatura de la capa asfáltica

Interpretación de las deflexiones obtenidas con equipo FWD. - La deflexión característica se puede calcular acorde al Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos del Perú (de Transporte y Comunicaciones, 2014), para tráfico mayores a 6000 vehículos/día, y una confiabilidad del 95% con la siguiente expresión:

$$D_c = D_m + 1.645 d_s \quad \text{ecuación (15)}$$

Donde:

D_c: deflexión característica

D_m: deflexión media

D_s: desviación estándar

Además, la expresión para calcular la deflexión admisible, que garantice un comportamiento satisfactorio a las solicitaciones de tráfico dispuesta para este tramo de vía se muestra en la siguiente expresión.

$$D_a = \left(\frac{1.15}{N} \right)^{0.25} \quad \text{ecuación (16)}$$

Donde:

N: número de repeticiones de ejes de 18 kips equivalentes (millones)

Del mismo modo, mediante la guía de rehabilitación de firmes (MOP, 2004), analizamos la uniformidad de la deflexión característica y la comparamos con la deflexión admisible de la tabla 6.

$$d_k = m + 2S \quad \text{ecuación (17)}$$

Donde:

dk: deflexión característica

m: deflexión media sin corregir humedad y temperatura

s: desviación estándar

Tabla 5

Umbrales de valor puntual de la deflexión patrón (10-2 mm) para un agotamiento estructural

CATEGORIA DE TRÁFICO PESADO				
T00 y T0	T1	T2	T3	T4
50	75	100	125	150 (*) 200(**)

Nota: adaptado de: MOP (2004), (*) Firmes con espesor de pavimento bituminoso $\geq 5\text{cm}$, (**) Firmes con espesor de pavimento bituminoso $< 5\text{cm}$.

Ávila et al (2015), describe la formulación para calcular el Módulo resiliente de la sub rasante, numero estructural efectivo y requerido, como se detalla a continuación:

Módulo resiliente de la subrasante por retrocálculo

$$Mrr = \frac{0.24P}{d_r r} \text{ ecuación (18)}$$

Donde:

Mrr: módulo resiliente subrasante

P: carga aplicada normalizada

dr: deflexión medida a una distancia r del centro de carga.

r: distancia entre el centro de la carga y el punto de deflexión más distante.

$$Mr = C \frac{0.24P}{d_r r} \text{ ecuación (19)}$$

Mr: modulo corregido por factor de ajuste.

C: factor de ajuste para normalizarlos a datos de laboratorio.

Módulo elástico del Pavimento Ep

Se conforma de la siguiente ecuación:

$$D_o = 1.5qa \left[\frac{1}{M_{rr} \sqrt{1 + \left(\frac{H_T}{a} \sqrt{\frac{E_p}{M_{rr}}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{H_T}{a} \right)^2}}}{E_p} \right] \quad \text{ecuación (20)}$$

Donde:

q: Carga aplicada

a: radio del plato de carga

M_{rr}: módulo resiliente subrasante

H_t: espesor total de la estructura de pavimento

E_p: módulo elástico del pavimento

Número Estructural efectivo (S_{Neff})

$$SN_{ef} = 0.0045 H_T \sqrt[3]{E_p} \quad \text{ecuación (21)}$$

Donde

H_t: altura total de la estructura del pavimento.

E_p: Módulo elástico de la estructura de pavimento.

Número Estructural requerido (S_{Nreq})

El método AASTHO (1993) permite calcular el S_{Nreq} mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \log W_{18} = Z_R S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \frac{(\Delta PSI)}{4.2 - 1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R \\ - 8.07 \quad \text{ecuación(22)} \end{aligned}$$

Donde:

W₁₈: Tráfico equivalente o ESAL's

Z_R: factor de desviación normal para un nivel de confiabilidad

S_o: Desviación estándar

Δ PSI : Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

MR : Módulo de resiliencia efectivo de la subrasante :

SN: Numero Estructural

Refuerzo estructural

Conforme Balarezo Zapata (Balarezo Zapata, 2017), para determinar el índice de capacidad estructural utiliza la siguiente expresión:

$$ICE\% = \frac{SN_{eff}}{SN_{req}} 100 \text{ resulta menor a } 100, \text{ Existe carencia estructural ecuación (23)}$$

Del mismo modo, Sanchez Sabogal & Murgueito Valencia (Sanchez Sabogal & Murgueito Valencia, 2003), plantea la ecuación (24) para calcular el espesor de refuerzo de carpeta asfáltica en pavimento con carencia estructural:

$$Dre = \frac{SN_{req} - SN_{eff}}{a} \text{ ecuación (24)}$$

Donde

Dre: Espesor de refuerzo en carpeta asfáltica

SNreq: Número estructural requerido al periodo de diseño del pavimento.

SNeff: Número Estructural efectivo al momento de realizar la evaluación de pavimento.

a: coeficiente estructural del pavimento

3.7.2.5 Validación de método AASHTO mediante YONAPAVE

Las ecuaciones para calcular el número estructural efectivo son:

$$AREA = 150 \left(1 + 5 \frac{d_{300}}{d_0} + 2 \frac{d_{600}}{d_0} + \frac{d_{900}}{d_0} \right) \text{ ecuación(25)}$$

Donde:

AREA: área del cuenco de deflexión con las distancias registradas en los geófonos.

d0, d300, d600, d900 : deflexiones registradas en el centro del plato de carga, a 30, 60 y 90 cm del plato de carga.

$$l_0 = a^{b(AREA)} \text{ ecuación (26)}$$

Donde:

l_0 : longitud característica del cuenco deflector (pulg)

a,b : coeficiente de ajuste de curva que obtiene conforme a los resultados de ÁREA bajo el cuenco de deflexión y la relación h/l_0 de la tabla 3:

$$Es = m \frac{p}{d_0} l_0^n \text{ ecuación (27)}$$

Es : módulo de elasticidad de la subrasante (Mpa)

p: presión ejercida por el equipo FWD en Kpa.

d_0 : deflexión en centro del plato de carga (micrones)

m y n: coeficientes de corrección de curva.

$$SN_{eff} = 0.0182 l_0 \sqrt[3]{Es} \text{ ecuación (28)}$$

SN_{eff}: Número Estructural (mm)

Es: módulo de elasticidad de la subrasante (Mpa)

l_0 : longitud característica del cuenco de deflexión.

Módulo resiliente y cálculo de la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante. -

Obtenida el módulo resiliente con la ecuación (19), según las Normas de INVIA, se puede obtener el CBR de la subrasante a través del Módulo obtenido por retrocálculo a través de deflexiones con equipo FWD, con la siguiente ecuación

$$MR \left(\frac{kg}{cm^2} \right) = 130(CBR)^{0.714} \text{ ecuación (24)}$$

Evaluación superficial de Pavimento. -

Determinación de las unidades de evaluación con la ecuación (1), y el intervalo de lectura con la ecuación (2), dividimos nuestro pavimento en unidades de evaluación, que serán estudiadas con prolijidad, identificando todos los deterioros típicos presentados en la tabla 1, y procedemos a tabular los datos en el formato establecido en el anexo (2), posteriormente con la ecuación 3, y 5, determinamos el Índice de Condición de pavimento (PCI) para cada unidad de muestra.

3.7.3 Salidas

Son los resultados de la evaluación superficial y estructural del pavimento flexible que se detallan en el capítulo de Análisis de Resultados

3.8 Administración de la Propuesta

Esta propuesta metodológica es aplicable a todas las vías de pavimento flexible del país, sean administradas por los Gobiernos Autónomos descentralizados, prefecturas y concesionarias viales, etc., y tiene como último fin, conocer de manera objetiva el estado superficial y estructural del pavimento flexible.

4. CAPITULO IV: Análisis y Discusión de los Resultados












4.1 Análisis de Resultados

4.1.1 Tráfico

Se determinó la clasificación de vehículos conforme las categorías descritas en la figura 16, para proceder al conteo de tráfico, los cuales permitió identificar el porcentaje de vehículos livianos y pesados que circulan en la carretera de estudio.

Figura 16

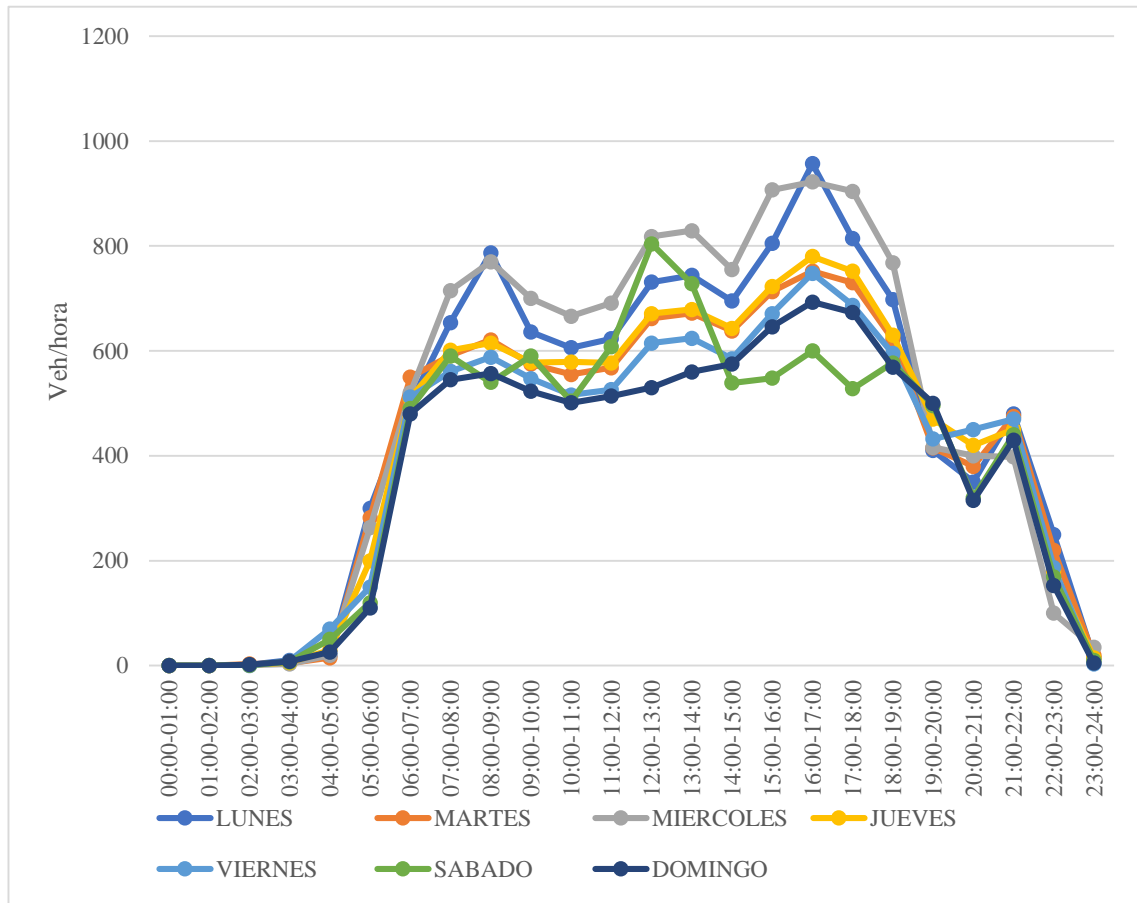
Categorización de vehículos

Categoría de vehículo	Tipo de vehículo	Gráfico
Motocicletas	2 ruedas	
Livianos	Automovil, 4x4, furgonetas, camionetas	
Buses	Buses 2 ejes	
	Buses 3 ejes	
Camiones	2 ejes pequeños	
	2 ejes medianos	
	3 ejes	
	4 ejes	
	5 ejes	
	6 ejes	
Resto de Vehículos		

Se realizó el aforo de tráfico 24 horas, durante los 7 días de la semana, en el centroide de la vía a estudio, dando como resultado la distribución temporal del aforo de tráfico existente.

Figura 17

Variación estacional horaria

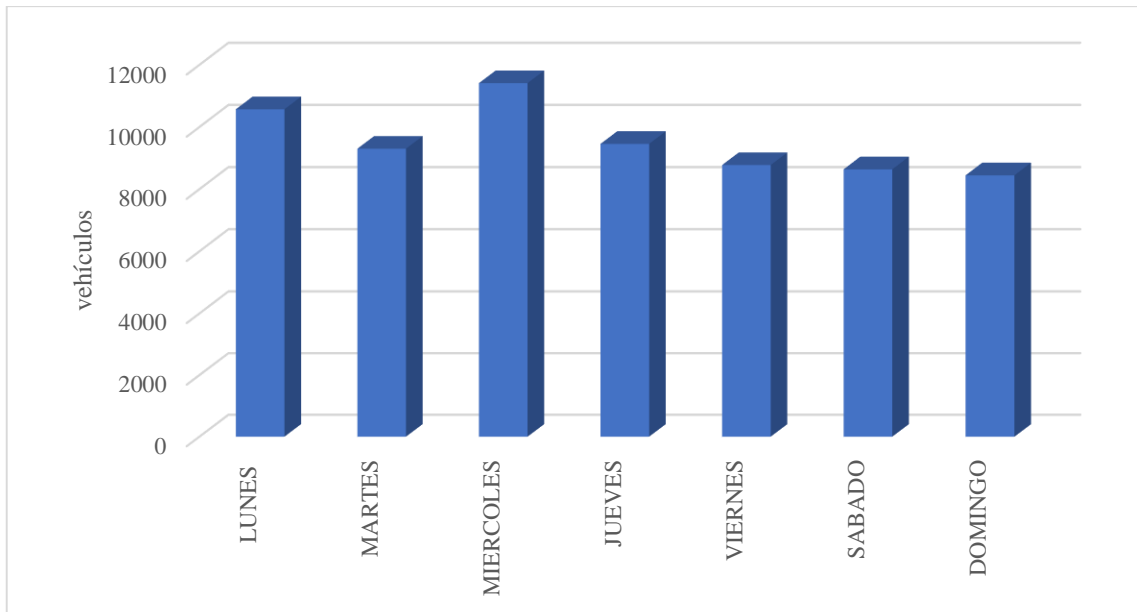


En la figura 17, se evidencia tres picos ampliamente marcados, que se encuentran en la mañana de 7:00 a 9:00 am, de 11:30 a 13:30, y en la tarde de 3:00 a 5:00, además, se evidencia, que los fines de semana, el volumen de tráfico presenta los valores más bajos, este comportamiento es típico en las zonas urbanas de la ciudad.

El comportamiento de volúmenes diarios en la semana se muestra en la figura 18:

Figura 18

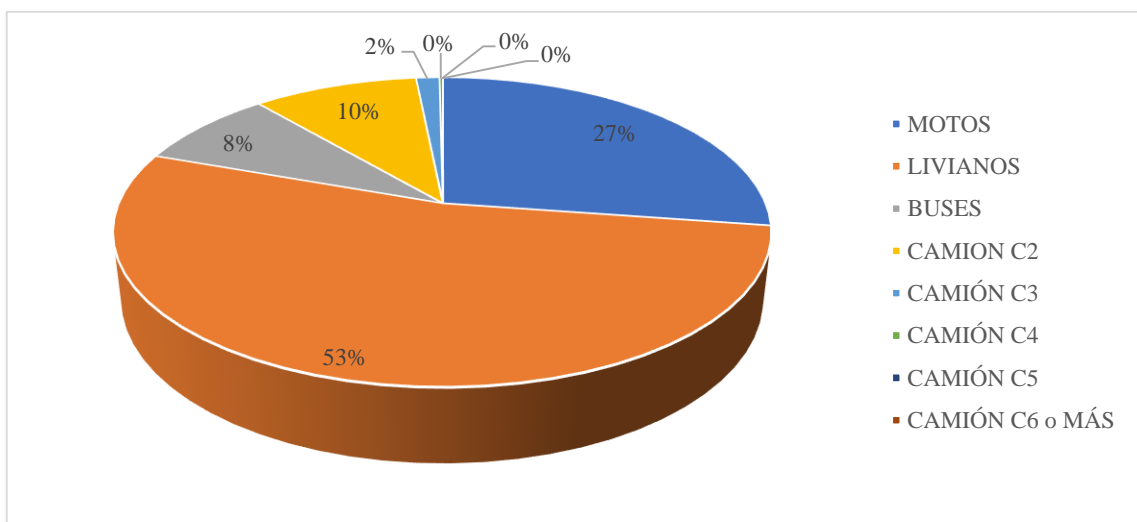
Variación estacional diaria



Con la clasificación del tráfico, se constató que el 80% de vehículo que circulan por la Avenida Jubones son de tipo Liviano y lo restante, se consideran como Pesado, específicamente la distribución es la siguiente: 27% motos, 53 % vehículos Livianos, 8% de buses, 10 % camiones de 2 ejes y 1 % camiones de 3 ejes, por lo tanto, se determinó, que el tráfico dominante en la vía de ingreso a la Ciudad de Pasaje es de tipo Liviano, tal como se muestra en la figura 19:

Figura 19

Incidencia del tráfico por tipo de vehículo



Tabulada esta información obtenemos el tráfico promedio diario semanal que se muestra en la tabla 6.

Tabla 6*Tráfico promedio semanal*

TOTAL AV. JUBONES									
Categoría/día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	TOTAL	TPD
MOTOS	2521	2185	3276	2340	1640	1278	1820	15060	2151
LIVIANOS	4715	3680	4971	3429	4182	4824	3501	29302	4186
BUSES	581	699	523	1046	655	413	655	4572	653
CAMIÓN C2	819	925	555	925	696	482	925	5327	761
CAMIÓN C3	93	185	111	69	72	154	72	756	108
CAMIÓN C4	21	24	9	19	18	0	18	109	16
CAMIÓN C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMIÓN C6 o MÁS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	8750	7698	9445	7828	7263	7151	6991	55126	7875

Nota: TPD: Tráfico promedio diario

Una vez obtenido el tráfico diario semanal, y en caso de ausencia de datos de tráfico en los 365 días del año, según Cal y Mayor et al (1996) se debe ajustar el tráfico medido con los factores de corrección horaria, diaria, semanal, y mensual, previstas en la ecuación (11) de tal manera que el comportamiento dinámico sea representativo, en la tabla 7 se evidencia los resultados del Tráfico Promedio Diario correspondiente al año 2021 obtenidas para la avenida Jubones:

Tabla 7*Trafico promedio Diario año 2021*

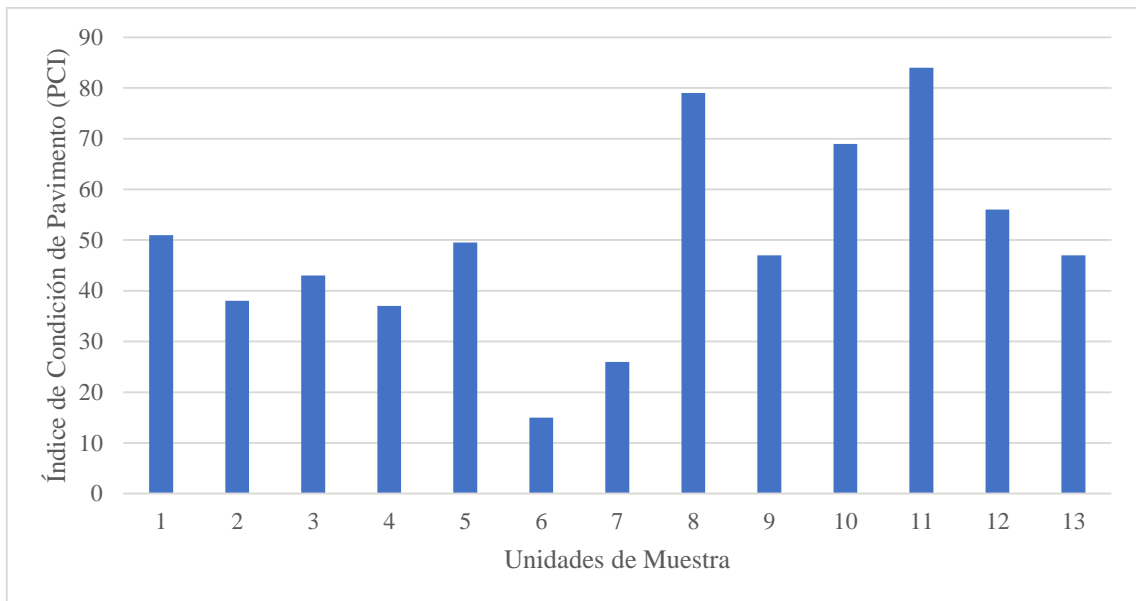
TOTAL AV. JUBONES									
Categoría/día	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	TOTAL	TPDA 2021
MOTOS	3046	2640	3958	2827	1982	1544	2199	18196	2599
LIVIANOS	5697	4446	6006	4143	5053	5829	4230	35404	5058
BUSES	702	845	632	1264	791	499	791	5524	789
CAMIÓN C2	990	1118	671	1118	841	582	1118	6438	920
CAMIÓN C3	112	224	134	83	87	186	87	913	130
CAMIÓN C4	25	29	11	23	22	0	22	132	19
CAMIÓN C5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAMIÓN C6 o MÁS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	10572	9302	11412	9458	8776	8640	8447	66607	9515

4.1.2 Evaluación de la Condición Superficial de los Pavimentos Flexibles

Para realizar la evaluación superficial, se ha realizado el seccionamiento del tramo de carretera en trece (13) unidades de muestra de una superficie de 315 m², cada una de ellas en una longitud de 35m en todo el ancho de la calzada de 9 m, cada unidad se analizó identificando los deterioros típicos del pavimento previstas en la tabla 1, como fisuras, piel de cocodrilo, ahuellamientos, etc., de la metodología PAVER, el resumen de resultados de levantamiento y procesamiento de la información de campo se muestra en la figura 20.

Figura 20

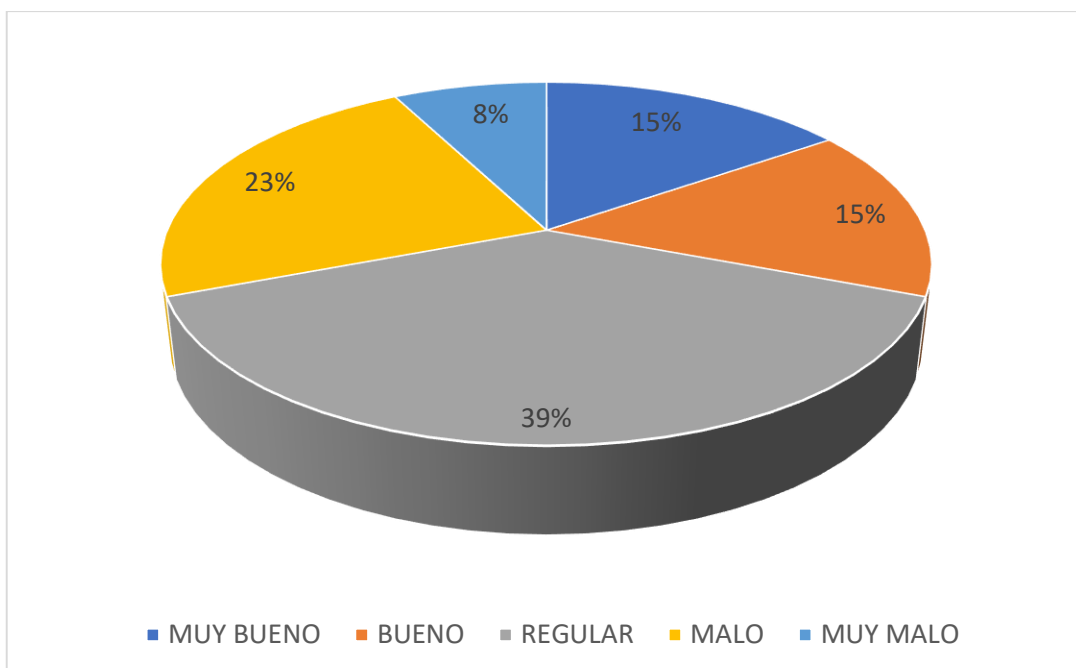
Resultados del PCI por unidad de muestra



En virtud de lo anterior, se evidencia que las unidades de muestra más críticas es la 6, y 7, con valores de PCI por debajo de 35, y los sitios de mayor PCI son las unidades de muestra 8, 10 y 11, de lo anterior, en la figura 21 se muestra los resultados en función de su calificación y porcentaje:

Figura 21

Distribución de porcentajes en función de la calificación del PCI



En la gráfica se evidencia que en el 39% de las unidades de muestra presenta un PCI calificado como REGULAR, 23 % MALO, 15% BUENO, 15 % MUY BUENO, 8% MUY MALO, dando como resultado para todo el tramo un PCI de 49, con este resultado el tramo de la avenida Jubones se encuentra en estado REGULAR en cuanto a los deterioros superficiales.

4.1.3 Evaluación de la Condición Estructural de los Pavimentos Flexibles

4.1.3.1 Medición de las Deflexiones en Campo

Para determinar las deflexiones de campo, se utilizó el Deflectómetro de Impacto (FWD) de la figura 22, este equipo utiliza una fuerza que trabaja con una placa amortiguadora que permite ampliar la frecuencia de impacto, la carga aplicada es de 40KN, que se asemeja a una llanta de un eje equivalente dual típico de 8.2 Ton:

Figura 22

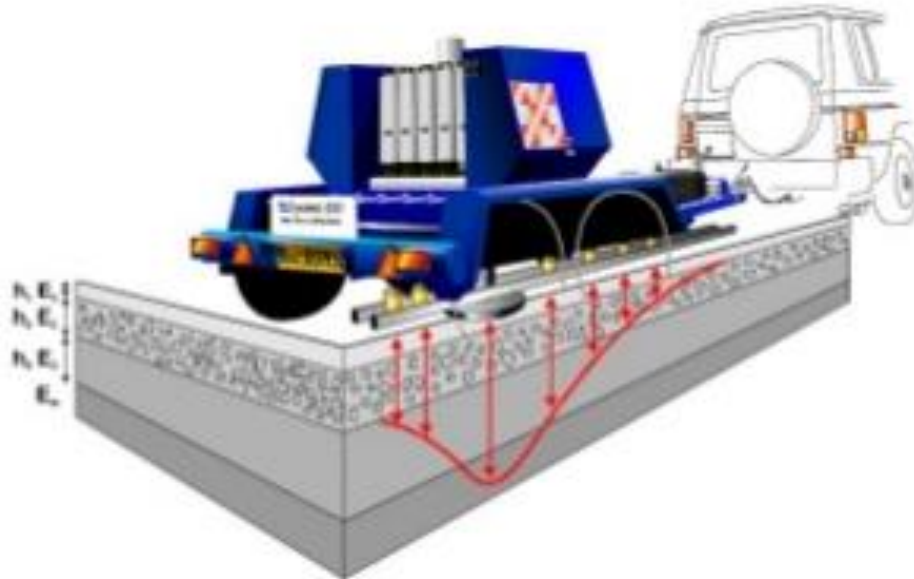
Ensayo con equipo Deflectómetro de Impacto (FWD)



El impacto que genera el equipo produce desplazamientos verticales en el pavimento, estos desplazamientos son registrados por geófonos que están ubicado a 0, 300mm, 600mm, 900mm, 1500mm, y 1800mm, respectivamente, estas deflexiones son registrados en el computador integrado en el equipo, que, mediante un monitor, dibuja automáticamente el cuenco deflector, como se muestra en la figura 23.

Figura 23

Cuenca de deflexión en la estructura del pavimento



Nota: Adaptado de “Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del Defleómetro de Impacto” (p.75) C. Higuera-Sandoval, 2010, Facultad de Ingeniería.

Existen diversas dimensiones del plato de carga, desde 300mm a 450mm, en este caso, se utilizó un plato de carga de 300mm que dicha superficie simula el área de contacto del neumático con el pavimento, y es capaz de distribuir uniformemente la carga sobre la superficie del pavimento.

En el anexo 8 se muestra las lecturas de campo tomadas en una separación de 100 m por cada carril, y de manera intercalada. La deflexión promedio es de 309 μm , con una máxima de 415 μm en la abscisa K1+400 y una deflexión mínima de 219 μm localizada en la abscisa K 3+000, la desviación estándar de todo el tramo de estudio es de 50 μm .

4.1.3.2 Corrección de Deflexiones por Carga.

Las deflexiones de campo, son corregidas por la carga estandarizada de 40KN, se utilizó la ecuación (13) y los resultados se muestra en la tabla 8.

Tabla 8*Deflexiones corregidas por Carga*

CARGA (KN)	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
40	279	188	102	58	40	31	26
40	302	211	119	74	52	39	32
40	304	205	110	64	42	32	25
40	278	184	102	62	42	31	26
40	285	198	112	66	47	37	29
40	242	158	86	50	35	27	22
40	350	245	153	103	77	60	47
40	280	189	101	56	37	29	24
40	378	260	155	103	76	59	46
40	291	193	97	51	34	25	22
40	333	234	144	96	73	59	48
40	298	202	107	60	44	35	31
40	334	245	155	103	74	57	46
40	355	254	122	73	54	43	37
40	410	303	192	125	90	69	57
40	307	213	120	72	52	42	34
40	362	222	115	69	53	42	36
40	324	223	134	86	63	48	39
40	274	187	109	71	53	42	37
40	351	243	147	97	70	54	44
40	277	194	113	73	54	42	36

40	409	276	159	102	75	57	46
40	302	212	127	83	62	49	40
40	337	239	149	98	73	58	48
40	263	186	110	69	50	40	35
40	371	250	130	76	56	47	41
40	267	180	96	54	40	32	30
40	299	176	81	46	35	30	26
40	259	168	96	63	48	38	31
40	220	145	79	45	32	27	24
40	236	159	91	59	45	37	33
40	214	146	85	58	46	38	32
40	239	171	108	74	55	45	39
40	313	212	121	77	59	47	40
40	268	205	139	102	78	62	52
	257	168	90	55	44	40	34

4.1.3.3 Corrección de deflexiones por Temperatura

Con la ecuación (14), normalizamos los valores a una temperatura de referencia cuyos resultados se muestran en la tabla 9 y el resumen en la figura 24.

Tabla 9

Deflexiones corregidas por Temperatura

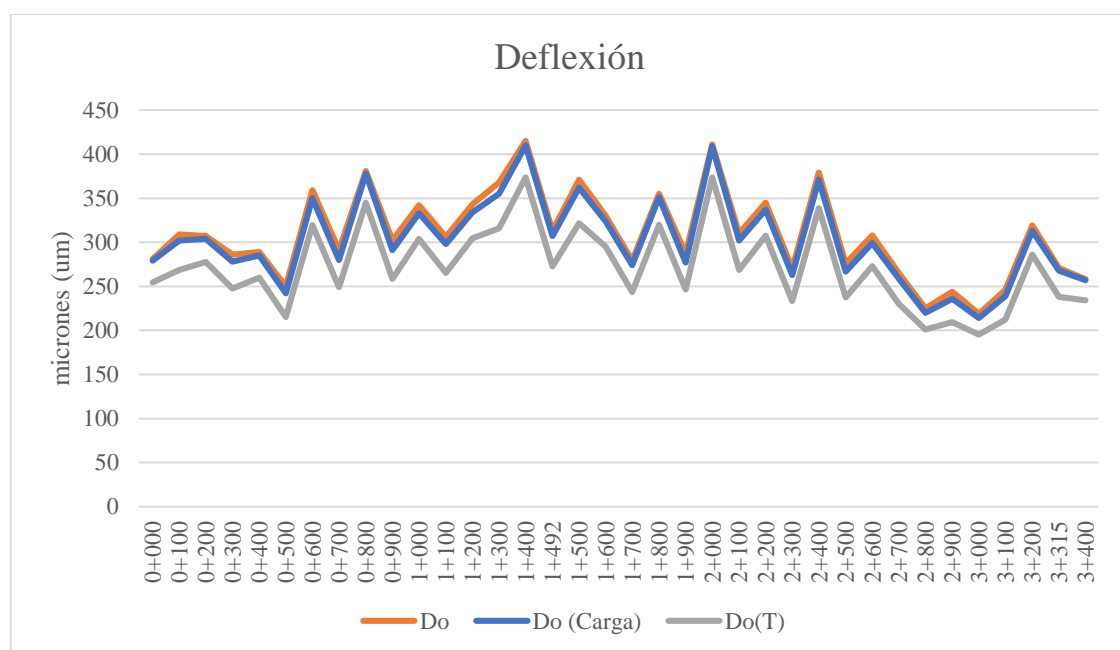
Temp. Normalizada	Factor de corrección	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
20	0.912	254	172	93	53	37	28	23

20	0.889	269	188	106	66	46	34	29
20	0.912	278	187	100	58	39	29	23
20	0.889	248	164	91	55	37	28	24
20	0.912	260	181	102	60	43	34	27
20	0.889	215	140	76	45	31	24	20
20	0.912	320	223	140	94	70	54	43
20	0.889	249	168	90	50	33	26	21
20	0.912	345	238	142	94	69	54	42
20	0.889	259	171	86	46	30	23	20
20	0.912	304	213	131	88	67	54	44
20	0.889	265	180	95	54	39	31	27
20	0.912	305	224	142	94	68	52	42
20	0.889	316	226	108	65	48	38	32
20	0.912	374	276	175	114	82	63	52
20	0.889	273	189	106	64	47	37	30
20	0.889	322	198	102	61	47	37	32
20	0.912	295	204	122	78	57	44	35
20	0.889	244	167	97	63	47	38	33
20	0.912	320	222	134	88	64	49	40
20	0.889	246	172	100	65	48	37	32
20	0.912	374	252	145	93	68	52	42
20	0.889	269	188	113	74	55	44	36
20	0.912	308	218	136	89	66	53	44

20	0.889	234	166	98	61	44	36	31
20	0.912	339	228	118	69	51	43	38
20	0.889	237	160	85	48	36	28	26
20	0.912	273	160	74	42	32	27	23
20	0.889	230	149	86	56	42	33	28
20	0.912	201	133	72	41	29	25	22
20	0.889	210	141	81	53	40	33	29
20	0.912	195	133	77	53	42	35	29
20	0.889	212	152	96	65	49	40	34
20	0.912	286	194	110	70	54	43	37
20	0.889	238	182	123	90	69	55	46
20	0.912	234	153	82	50	41	36	31

Figura 24

Comparación de deflexiones de campo y corregidas



Nota: Do: deflexión tomada de campo, Do (carga): deflexión corregida por carga, Do (T): deflexión corregida por temperatura.

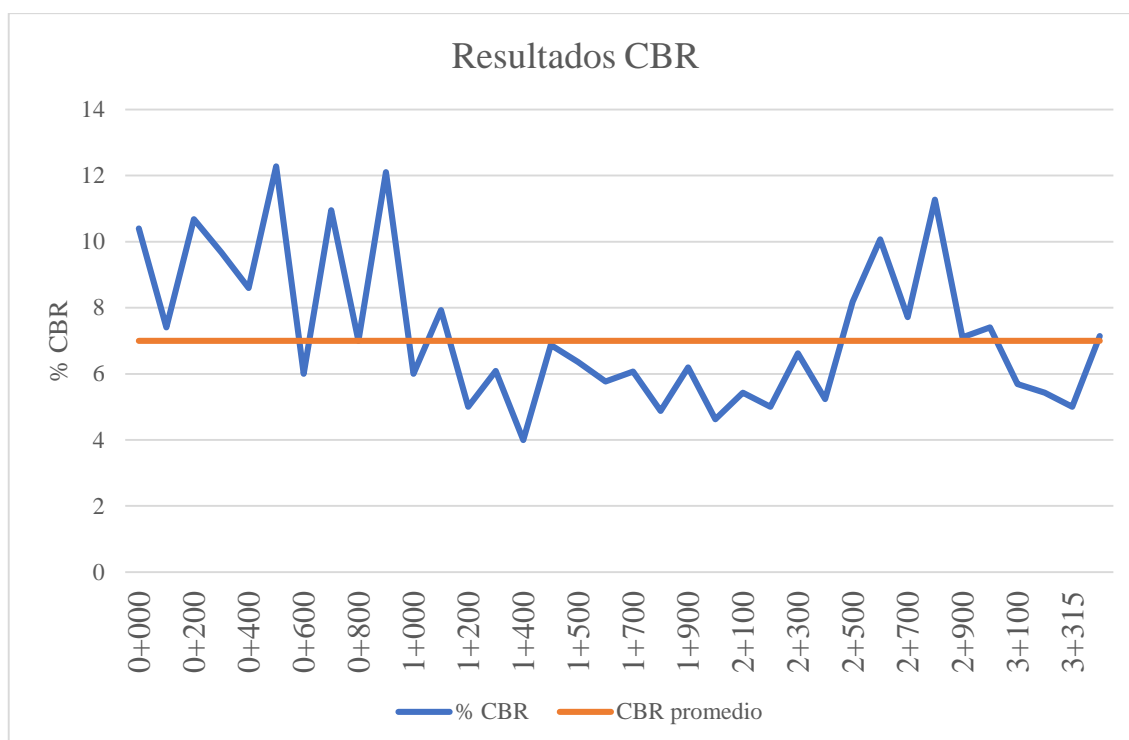
De la Figura 24, podemos observar la vía de estudio presenta deflexiones promedio de 309 micrones (um), con un valor máximo de 415 um en la abscisa K1+400, y una deflexión mínima de 219 um en la abscisa del K3+000, estos valores son congruentes con evaluación superficial de esa unidad de muestra, siendo categorizada como muy malo en el tramo del K1+400 y bueno en el tramo de abscisa K3+000. Además, se evidencia que las deflexiones de campo son mayores a las deflexiones corregidas, disminuyendo un promedio de 2.5% entre la inicial y la corregida por carga, este valor no es muy representativo, la razón es porque el equipo en su mayoría de impactos, imprime una carga cercana a los 40KN, por lo tanto, la corrección de carga no afecta considerablemente la deflexión, sin embargo, en la normalización de la deflexión por temperatura, tenemos una disminución aproximada del 12% con la inicial, esto es producido a que la temperatura ambiente del pavimento en el momento de ensayo se encontraba a un promedio de 32 °C, y considerando que el asfalto es un material viscoelástico que varía su módulo de elasticidad con la temperatura, por esta razón, la deflexión disminuye con la temperatura normalizada de 20°C.

4.1.3.4 Módulo Resiliente y Cálculo de la Capacidad de Soporte (CBR) de la Subrasante.

Para obtener el CBR de la subrasante, calculamos el módulo resiliente con la ecuación (18) y lo afectamos con el factor C recomendado por la metodología AASTHO 93 y detallada en la ecuación (19), los resultados se muestran en el anexo 9, y se resumen en la figura 25

Figura 25

Distribución del porcentaje (%) de CBR en la vía a estudio



Podemos observar la variabilidad del CBR en lo largo de las abscisas, siendo el promedio de CBR de 7%, que de acuerdo el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTD, 2016), lo clasifica como una subrasante de característica Regular, que no influye en problemas con la capacidad estructural.

4.1.3.5 Análisis de las Deflexiones Obtenidas con Equipo FWD.

Las deflexiones obtenidas de campo se normalizan por carga y temperatura con la ecuación (13) y (14), en la tabla 10 y figura 26 se muestra el análisis y resultados:

Tabla 10

Parámetros de análisis de las deflexiones

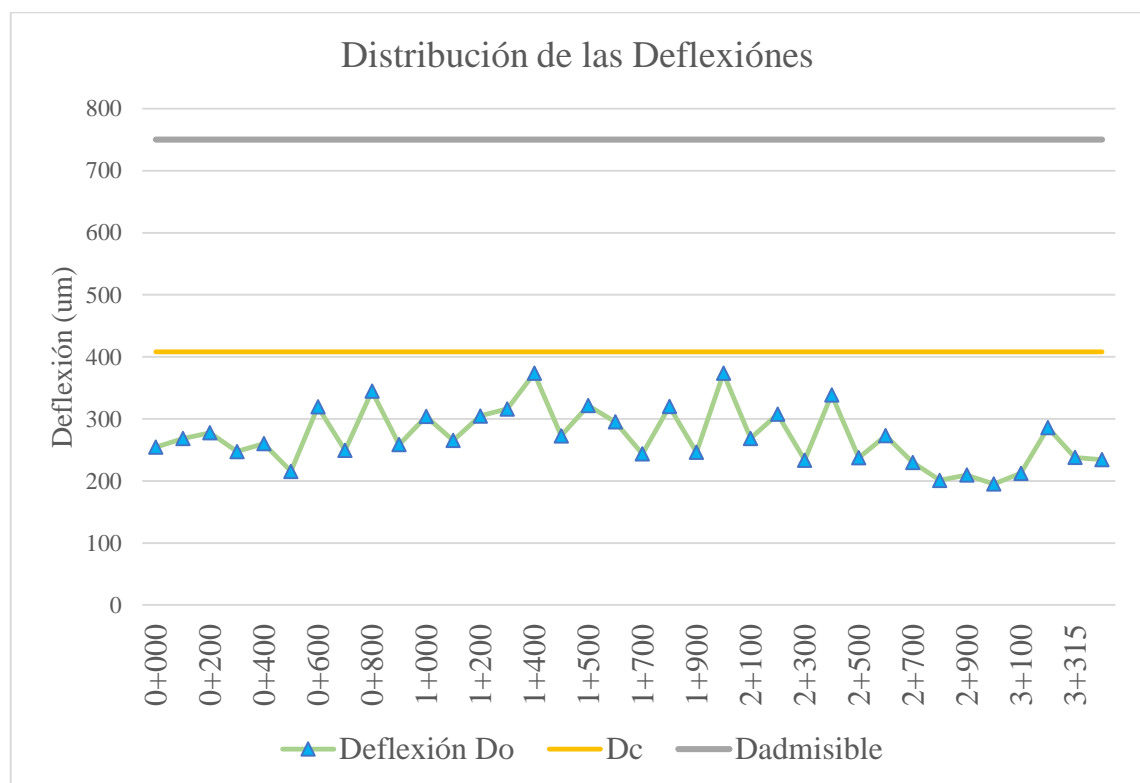
Descripción	Resultado	Observaciones
Deflexión Media (m):	309	promedio de las deflexiones en todas las abscisas
Desviación Estándar (s)	50	
Tramo muy Uniforme (s/m <0.2)	0.16	Cumple como tramo muy uniforme

Cálculo deflexión característica	408	Deflexión representativa del tramo
dk:		
Ch :	1.15	
Ct :	0.9124088	
Tráfico	T1	Tipo de Tráfico pesado que tiene el tramo de vía.
Dadm	750 um	En función del tráfico tipo T1

De la tabla anterior se resume los resultados por cada punto de ensayo en la figura 26.

Figura 26

Resultados de Deflexiones en la Avenida Jubones



Nota: Do: deflexión inicial, Dc: deflexión característica,

Donde se evidencia que el tramo de evaluación es muy uniforme, porque el cociente entre la desviación estándar (s) y la deflexión media (m) resulta $s/m < 0.2$, por tal razón, no hubo necesidad de realizar una tramificación, además, la deflexión

representativa del tramo(dk) es 408 micrones, este resultado es menor a la deflexión admisible para una carretera de tráfico T1, satisfaciendo estructuralmente las condiciones actuales de tráfico.

4.1.3.6 Retrocálculo del Número Estructural Efectivo SN_{ef} y Número Estructural Requerido

4.1.3.7 Determinación del Número Estructural Efectivo SN_{ef} .

Según Ávila et al. (2015), la variable más importante para estudiar un pavimento de la Metodología AASTHO es el Número Estructural efectivo (SN_{ef}), por la cual en comparación con el Número Estructural en el periodo de diseño de un pavimento, permite conocer el estado en que se encuentra el pavimento, y analizar la vida residual del mismo.

Siguiendo la metodología de diseño de pavimento AASTHO (1993), para el cálculo del Número Estructural se utilizó la ecuación (22) con los siguientes datos:

Donde:

W_{18} : Tráfico equivalente o ESAL's : 18 millones

ZR: factor de desviación normal para un nivel de confiabilidad R : -1.645

S_o : Desviación estándar :0.35

ΔPSI : Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado

MR : Módulo de resiliencia efectivo de la subrasante : 14500psi

SN: Número Estructural

Para el cálculo se utilizó un aplicativo denominado AASTHO 1993, la cual fue elaborado en lenguaje Visual Basic 6.0 y publicado por el Ing. Luis Vásquez, especialistas de vías de la universidad Nacional de Colombia año 2000.

Como resultado tenemos un Número Estructural requerido SN : 4.33 para un periodo de diseño mayor de 20 años, como se muestra en la figura 27:

Figura 27

Cálculo de Número Estructural requerido (SNreq) método AASTHO 1993

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)
 Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento:
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):
 95 % Zr=-1.645 So = 0.35

Serviciabilidad inicial y final:
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo resiliente de la subrasante:
 Mr 14500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)
 Coeficiente de transmisión de carga - (J)
 Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis:
 Calcular SN **W18 = 18471149**
 Calcular W18

Número Estructural:
SN = 4.33

Observaciones:

Calcular Salir

Nota: Elaboración propia a partir de aplicativo AASTHO 93

4.1.3.8 Evaluación de Carencia Estructural

Cuando el Número Estructural de diseño o requerido es mayor al efectivo obtenido a través de datos del cuenco de deflexión se considera que existe una carencia estructural (Kavussi, A., Abbasghorbani, M., Moghadas Nejad, F., & Bamdad Ziksari, A., 2017), es decir, dada la insuficiente capacidad estructural pavimento actual, para resistir a las solicitaciones de carga del periodo de diseño, como se muestra el anexo 10, por lo tanto necesita un refuerzo en carpeta asfáltica, la cual se determina con la ecuación (23), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 11

Refuerzo Estructural del pavimento

ABSCISA (PR)	Mr (kg/cm ²) DISEÑO	Ep (Kg/cm ²)	SN efectivo	SN diseño (Año 20 AÑOS)	Refuerzo (cm)	Refuerzo constructivo (cm)
0+000	692	7483	3.57	4.33	6	7
0+100	543	7477	3.95	4.33	3	7
0+200	705	6172	3.71	4.33	5	7
0+300	657	7610	3.97	4.33	3	7
0+400	604	7412	3.94	4.33	3	7
0+600	375	7141	3.89	4.33	4	7
0+700	718	7215	3.9	4.33	4	7
0+800	383	6209	3.71	4.33	5	7
0+900	771	6569	3.78	4.33	5	7
1+100	570	7442	3.94	4.33	3	7
1+200	376	7734	4	4.33	3	7
1+300	472	6281	3.73	4.33	5	7
1+400	311	6244	3.72	4.33	5	7
1+492	515	7542	3.96	4.33	3	7
1+500	487	5989	3.67	4.33	6	7
1+600	454	7194	3.9	4.33	4	7
1+800	403	6798	3.83	4.33	4	7
2+000	388	5402	3.55	4.33	7	7
2+200	366	7748	4	4.33	3	7
2+400	424	5991	3.67	4.33	6	7
2+600	676	6476	3.77	4.33	5	7
3+200	435	7787	4	4.33	3	7

En la vía a estudio resultó valores de S_{Neff} máximos de 4, medios de 3.9 y mínimos 3.57, que comparado con el S_{Nreq} se muestra que el pavimento actual necesita

un refuerzo estructural para soportar las solicitaciones de tráfico del periodo de diseño, además, calculado los refuerzos estructurales, estos varían entre 7, y 3 centímetros , siendo el promedio de 5 centímetros, sin embargo, en este estudio se ha tomado un espesor de refuerzo de 7cm, en toda su longitud, garantizando así la vida remanente al periodo de diseño de la Avenida Jubones.

4.1.3.9 Validación de Resultados

Se utilizó el método de YONAPAVE, que utiliza el modelo elástico de Hogg, para determinar la capacidad portante del pavimento, y también utiliza la forma del cuenco de deflexiones para obtener todos los parámetros del pavimento. Con la ecuación 28, se obtuvo el Numero Estructural Efectivo (SN_{eff}), después lo comparamos respecto al SN_{eff} calculado por el método AASTHO, y se obtuvo los resultados descritos en el Anexo 11.

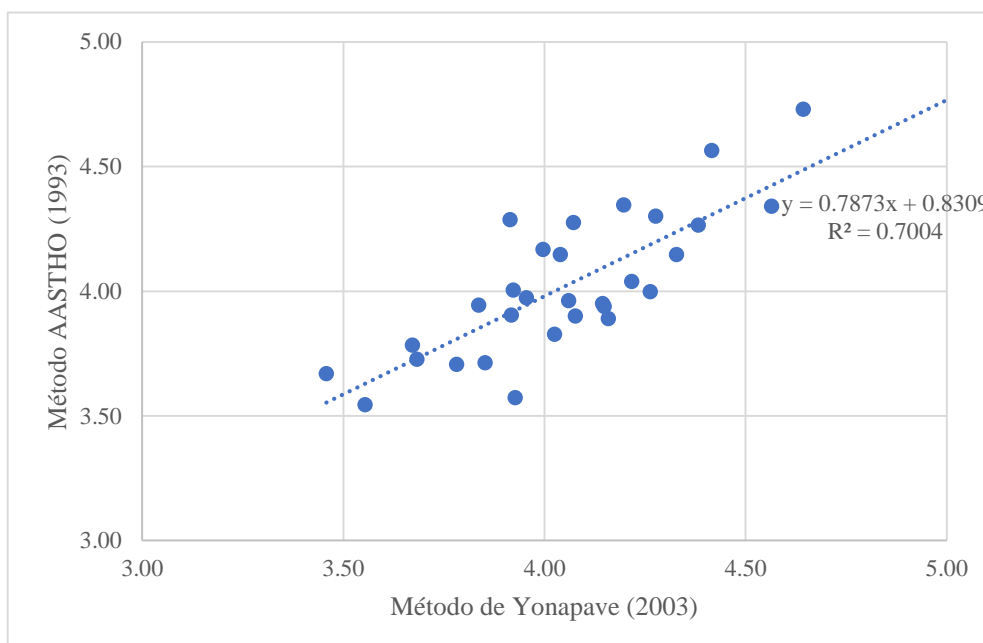
Figura 28

Resultados de Número Estructural (SN) efectivo Método AASTHO y YONAPAVE



Figura 29

Correlación de Resultados Método AASTHO vs YONAPAVE



En la figura 28, se muestra la comparación de resultados del Número Estructural Efectivo por ambos métodos, y su distribución por abscisas de la vía, donde se observa uniformidad en los tramos del km 0+200 - km 2+100 - km2+900 - k3+100, y leves variaciones en las abscisas del Km2+100 - Km 2+900, además, en la figura 29, se observa que los resultados de Numero Estructural Efectivo calculado por el Método ASSHTO en el eje de las ordenadas, y por el método de Yonapave en el eje de las abscisas, guarda una aceptable correlación lineal, toda vez que el coeficiente de correlación es superior a 0.7

4.2 Discusión

Realizada el inventario de patologías de los pavimentos flexibles, se pudo determinar el Índice de Condición de pavimento PCI, y considerando el estado superficial del pavimento se encuentra en condición REGULAR. De la misma manera, se realizó la evaluación estructural, resultando con deflexiones conservadores en relación al tipo de vía y al tráfico pesado que circula por la misma.

La metodología permite al interlocutor, tener una noción clara y concisa de todas las variables que se necesita en la evaluación de pavimentos flexibles, sin embargo, es importante mencionar que se debe monitorear de cerca los daños producidos por el envejecimiento del pavimento y así conservar la condición superficial del pavimento.

5. CONCLUSIONES

Se describió los criterios de evaluación superficial y estructural de pavimento, considerando como criterios de búsqueda, métodos que implementen equipos disponibles en el mercado, y mejores rendimientos, por lo tanto, considerando que el universo de estudio son las vías urbanas, se adoptó el método no destructivo, la cual utiliza el parámetro del PCI para identificar la condición superficial, y de la misma forma, dentro de la evaluación estructural, se utilizó el Deflectómetro de Impacto (FWD).

Se elaboró la metodología de evaluación superficial y estructural de pavimento en los cuales consta los siguientes datos:

DATOS DE ENTRADA:

a. Conteo de Tráfico: se realizó el conteo manual clasificado de tráfico en el centroide de la avenida Jubones, en la cual se constató un Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDs) incluida motos de 7575 vehículos, donde el 80% de vehículos son de tipo liviano, y el restante 20% son de tipo pesado, es importante señalar la alta incidencia de motos en esta avenida, siendo estos de más afluencia entre lunes a viernes, y representa un 27% de tráfico, el total de tráfico excluida las motos tenemos de 5724 veh.

b. Deflectómetro de Impacto (FDW): se realizó el ensayo con el equipo FWD, donde se obtuvo deflexiones en el centro de carga denominadas d0, y a distancias de 30cm, 60cm, 90cm, 120cm, 150cm, y 180cm, donde se encuentran ubicados los geófonos, que registran la deformación en micrones.

c. Evaluación superficial: se realizó la auscultación de deterioros en el pavimento usando la caracterización descrita en el método del PCI, identificando su cantidad y nivel de severidad, para ello se utilizó señalización y control de tráfico, para evaluar toda la superficie del pavimento, entre otros los deterioros más comunes identificados son el pulimento de agregados, la cual están casi distribuidos en toda la carretera, y las fisuras longitudinales y transversales.

PROCESAMIENTO

a. Tráfico: mediante el aforo manual realizado, se cuantificó el volumen total de vehículos por categorías, y mediante el método de los factores, se procedió a calcular el tráfico promedio diario anual (TPDA), dando un resultado de 9515 vehículos (incluida motos) y 6916 (excluyendo motos), además se determinó la Intensidad Media Diaria de vehículo pesados, que resultó de 1383 unidades, clasificándose como tráfico de categoría T1, variable importante para determinar la deflexión admisible en la evaluación estructural del pavimento.

b. Ensayo con Deflectómetro de Impacto FWD: mediante las deflexiones de campo, se realizó la corrección por carga y temperatura.

Del mismo modo, mediante el método de AASTHO 93, y YONAPAVE se calcula el Módulo Resiliente de la subrasante, el Número Estructural efectivo del pavimento (S_{Neff}), y el Número Estructural requerida de diseño (S_{Nreq}), permitiendo con estos dos valores determinar la carencia estructural que presenta el pavimento y proceder a calcular el refuerzo estructural requerido.

c. Evaluación superficial: Una vez cuantificada los deterioros del pavimento, se procede mediante Nomogramas a calcular el Valor Deducido y con la curva de corrección, se obtiene el valor máximo deducido de cada deterioro.

SALIDA

a. Evaluación Estructural de Pavimento: Para evaluar el estado estructural se comparó la deflexión característica con la deflexión máxima admisible para un tráfico de características T1, siendo esta menor que la admisible, por lo cual se concluyó que no tiene problemas estructurales.

Seguidamente, se realizó la evaluación de la vida útil considerando las solicitudes de tráfico futuro, para ello, se calculó mediante el método AASTHO 93 el Número Estructural efectivo (S_{Neff}), y también, el Numero Estructural requerido (S_{Nreq}) para que cumpla con el periodo de diseño del pavimento, encontrándose que existe una deficiencia estructural y por lo tanto para llegar al periodo de diseño se concluyó que necesita un refuerzo de una capa de 7 cm de carpeta de rodadura.

b. Evaluación superficial del pavimento: Con los Valores máximos deducidos corregidos se calculó un PCI de 49, en por lo cual se concluye que el pavimento a nivel superficial se encuentra en una condición Regular, por lo tanto, es necesario realizar una intervención a nivel superficial para prolongar la vida útil de la carpeta asfáltica.

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Es importante que las autoridades o instituciones públicas o privadas encargadas de la gestión y conservación de carreteras, aplique metodologías para evaluación de pavimentos, porque permite conocer de manera objetiva, la condición actual del pavimento y así recomendar la intervención más idónea.
- ✓ En el mercado existen diferentes herramientas y métodos de análisis de pavimentos flexibles, sin embargo, considerando que se utilizó como universo las vías urbanas, es recomendable usar métodos no destructivos y que sean de alto rendimiento.
- ✓ Replicar estos criterios de evaluación en todas las vías de pavimentos flexibles.
- ✓ Utilizar como guía esta metodología para realizar la evaluación de pavimentos flexibles en cualquier vía urbana que sea objeto de estudio.

7. REFERENCIAS

- Abd El-Raof, H. S., Abd El-Hakim, R. T., El-Badawy, S. M., & Afify, H. A. (2020). Structural number prediction for flexible pavements using the long term pavement performance data. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(7), 841-855.
- Adly, E., Widodo, W., Rahmawati, A., & Putra, J. N. N. R. S. A. (2019). Rehabilitation Planning for Flexible Pavement using Rebound Deflection Method and PCI Method on Triwidadi Road of Yogyakarta. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(9), 201-211.
- Aldazabal Barbaran, K. M. (2012). *Estudio Comparativo de las Metodologías del Relevamiento Superficial de Fallas de Pavimentos Asfálticos, Aplicación: Caso Chimbote*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Andrade Neto, C., López, I. M., & Rufino, J. (2015). Metodología de análisis de la condición del pavimento a partir del cuenco de deflexión. *Infraestructura vial*, 17(29), 24-32.
- Arroyave, M. del P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., Andrade, L. M., & Ramos, K. C. (2006). IMPACTOS DE LAS CARRETERAS SOBRE LA FAUNA SILVESTRE Y SUS PRINCIPALES MEDIDAS DE MANEJO. *Revista EIA*, 5, 45-57.
- Ávila, E., Albarracín, F., & Bojorque, J. (2015). Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. *Maskana*, 6(1), 149-167.
- Balarezo Zapata, J. I. (2017). *Evaluación estructural usando viga Benkelman aplicada a un pavimento*. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3135>
- Blanco, V. Z. (1987). Breve historia de las Carreteras. *ropdigital.ciccp.es*. http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1987/1987_enero_3254_04.pdf

- Cal, R., Mayor, R., & James Cárdenas, G. (1996). *Ingeniería de tránsito*. Cuspide.
- Castellanos, B. J. P. (2017). El uso de los métodos deductivo e inductivo para aumentar la eficiencia del procesamiento de adquisición de evidencias digitales. *CCQ. Critical care quarterly*, 18(46). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cc18-46.umdi>
- Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial Del Transporte Terrestre*. julio de 2018. D.M.Q. No. 278 (Ecuador)
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MTC. (2014). *Manual de Carreteras sección Suelos y Pavimentos*. Perú.
- Falla López, B. C. (2018). *Evaluación de la condición estructural y funcional en pavimentos articulados, mediante pruebas no destructivas en la carrera 76 entre las calles 170 y 175 de la ...* [Universidad Militar Nueva Granada]. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17760>
- Galindo, F. S. (1996). Las carreteras y su influencia en el desarrollo económico y en el bienestar social de un país. *Aula abierta*, 67, 161-180.
- González-Fernandez, H., Ruiz-Caballero, P., & Guerrero-Valverde, D. (2019). Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición del Pavimento (PCI). *Ciencia en su PC*, 1(1), 58-72.
- Guevara Rodríguez, L. A. (2009). *Modelo de mantenimiento vial que permita desarrollar planes de conservación en la capa de rodadura para vías interparroquiales de la provincia de Tungurahua* [Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ...]. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2198>
- Guzmán-Suárez, E. A., & Higuera-Sandoval, C. H. (2016). Comparación entre el módulo resiliente de la subrasante determinado en laboratorio y el retrocalculado, factor de ajuste C. *Ingenio Magno*, 7, 62-83.

- Higuera-Sandoval, C. H. (2010). Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto. *Facultad de Ingeniería, 19*(28), 73-92.
- Hoffman, M. S. (2008). *Extension of the YONAPAVE method for determining flexible pavements overlay thickness from falling-weight deflectometer deflections.* yonaltld.com. <http://yonaltld.com/pdf/TRB2009.pdf>
- Kavussi, A., Abbasghorbani, M., Moghadas Nejad, F., & Bamdad Ziksari, A. (2017). A new method to determine maintenance and repair activities at network-level pavement management using falling weight deflectometer. *Journal of Civil Engineering and Management, 23*(3), 338-346.
- Liao, J., Lin, H., Li, Q., & Zhang, D. (2019). A Correction Model for the Continuous Deflection Measurement of Pavements Under Dynamic Loads. *Ieee Access, 7*, 154770-154785.
- Livneh, M. (2010). On the Reliability of Excluding Thickness in Forward-Calculating Pavement Parameters. *Road Materials and Pavement Design, 11*, 171-195.
- Mata, R. M. H., Gamero, M. E. G., & Others. (2018). Determinación de dimensiones de análisis cualitativas a través de la metodología mixta en materia de violencia en jóvenes universitarios (as). *Reencuentro. Análisis de problemas universitarios, 30*(75), 257-274.
- MOP (Ed.). (2004). *Norma 6.3IC Rehabilitación de firmes.* Liteam.
- MTOP. (2003). *Normas de Diseño Geométrico de Carreteras.*
- Pachay Parrales, I. S. (2017). *EVALUACION DE LA CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE VIA DE ACCESO A LA PARROQUIA LA UNION (0+000-0+966) APLICANDO EL METODO PCI [JIPIJAPA-UNESUM].* <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/929>

- Pérez Salazar, A., Garnica Anguas, P., Gómez López, J. A., & Martínez Peña, G. E. (2004). Uso y calibración de deflectómetros de impacto en la evaluación estructural de pavimentos. *Publicación Técnica*, 252. <https://trid.trb.org/view/1100423>
- PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL CANTON PASAJE* (Versión 2014-2019). (s. f.). GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTÓN PASAJE. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000770001_actualizacion%20POT_17-03-2015_00-01-15.pdf
- Quispe, A. C., & Barboza, I. I. (2019). Deterioro prematuro de los pavimentos flexibles de la zona urbana de la ciudad de Chota. *Revista Ciencia Norandina Vol*, 2(2), 96.
- Rodríguez, M., Thenoux, G., & González, Á. (2016). Determinación probabilística del tiempo de servicio de Estructuras de Pavimentos. *Revista ingeniería de construcción*, 31(2), 83-90.
- Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México.
- Sanchez Sabogal, F., & Murgueito Valencia, A. (2003). GUIA METODOLOGICA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS DE CARRETERAS. *RUTAS*, 95. <https://trid.trb.org/view/954581>
- Shah, Y. U., Jain, S. S., Tiwari, D., & Jain, M. K. (2013). Development of overall pavement condition index for urban road network. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104(2), 332-341.
- Suárez, E. A. G. (2017). Factores para el ajuste de los módulos de retrocálculo de pavimentos flexibles. *Ciencia, Innovación y Tecnología*, 3, 73-89.

- Thenoux, G., & Villasante, R. (2003). Estudio Aplicación Guía Aastho 2000 para el diseño de rotondas en Chile. *Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción*, 403-412.
- Urazán, C., Escobar, D., & Moncada, C. (2017). Relación entre la red nacional de carreteras y el desarrollo económico nacional. Caso América Latina y el Caribe. *Revista Espacio*, 9. <http://es.revistaespacios.com/a17v38n61/a17v38n61p09.pdf>
- Varela, F., & Pacheco-Torres, R. (2019). Asset management innovation for rigid pavements. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 512(1), 012042.
- Vásquez, L. (2002). Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras. *Manizales, Colombia*.
- Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial del Transporte Terrestre del 2018.

8. ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico de levantamiento de deterioros en el pavimento.

Anexo 2. Formato de levantamiento de fallas en pavimento flexible.

Anexo 3. Curvas para Cálculo de Valor deducido según el deterioro.

Anexo 4. Total Valor Deducido.

Anexo 5. Conteo manual de tráfico calzada derecha.

Anexo 6. Ficha de campo para conteo de Tráfico.

Anexo 7. Cálculo de Unidades de muestra conforme la norma ASTM 6433.

Anexo 8. Deflexiones obtenidas por el Deflectómetro de Impacto.

Anexo 9. Módulo Resiliente y Capacidad de Soporte (CBR) de la subrasante.

ANEXO 1

Registro fotográfico de levantamiento de deterioros en el pavimento

Figura 1

Levantamiento deterioros en el pavimento



Figura 2

Control de tránsito en levantamiento deterioros en el pavimento



Figura 3

Deterioro tipo agrietamiento de en bloque



Figura 4

Deterioro tipo piel de cocodrilo



Figura 5

Agrietamiento en bloque y desprendimiento de agregados



Figura 6

Deterioro peladura por intemperismo



Figura 7

Peladura por intemperismo



Figura 8

Agrietamiento en bloque y desprendimiento de agregados



Figura 9

Grietas longitudinales y transversales



ANEXO 2

Formato de levantamiento de fallas en pavimento flexible



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
MAESTRIA DE INGENIERIA CIVIL MENCIÓN VIALIDAD
INDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO PCI



NOMBRE DE VÍA : Avenida Jubones				UNIDAD DE MUESTREO		
MAESTRANTE : William Lucero Caiminagua				ÁREA :		
FECHA :				NORMA	ASTM D6433-03	
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parcheo	16. Fisura parabólica o por deslizamiento	SEVERIDAD Alta H Media M Baja L		
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido	17. Hinchamiento			
3. Fisura en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches	18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados.			
4. Abultamiento y hundimiento	9. Desnivel carril - berma.	14. Ahuellamiento				
	10. Fisura longitudinal y transversal	15. Desplazamiento				
FALLA	Cantidad			TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
					TOTAL	0

No	Valor de ducido			Total	q	CDV

Máximo CDV :

PCI :

Estado :

ANEXO 3

Curvas para Cálculo de Valor deducido según el deterioro (Vásquez, 2002).

Figura 10

Piel de cocodrilo

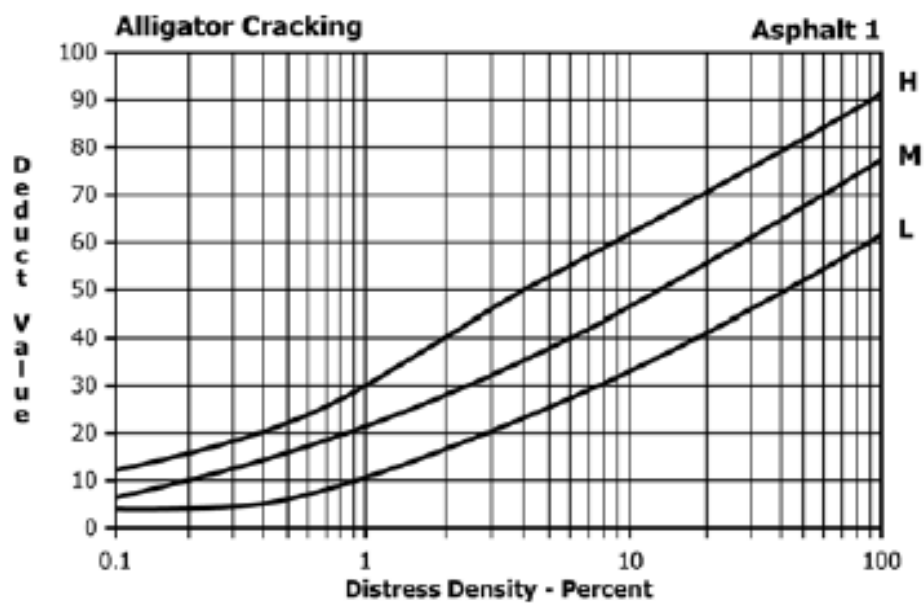


Figura 11

Exudación

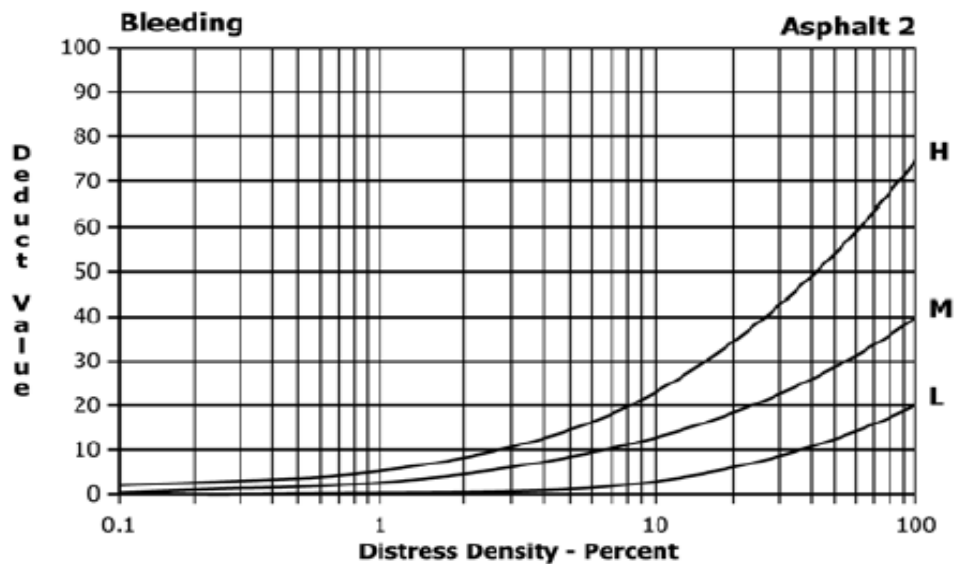


Figura 12

Agrietamiento en bloque

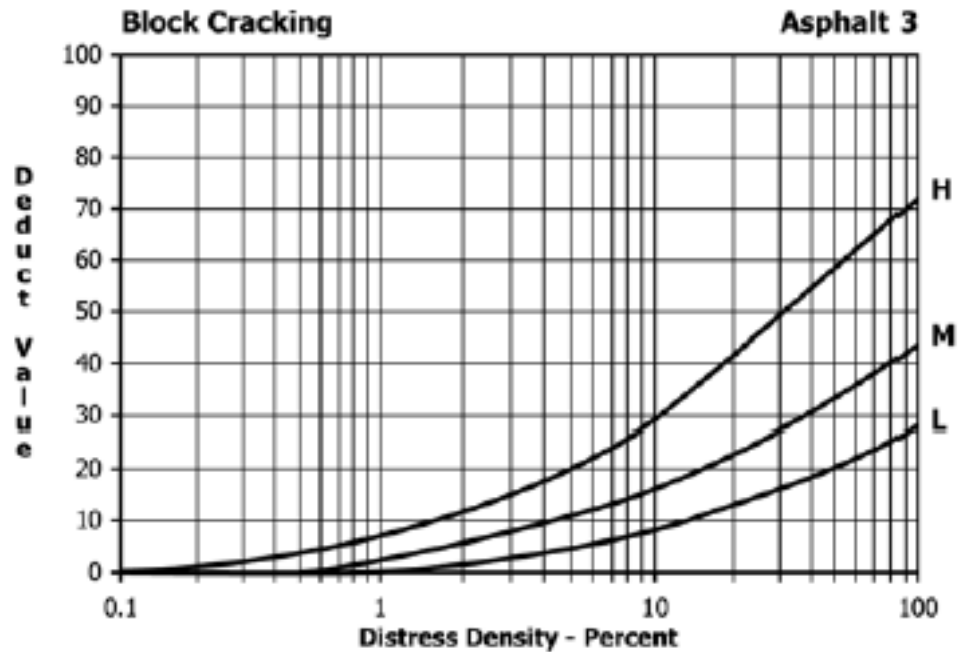


Figura 13

Abultamiento e hundimiento

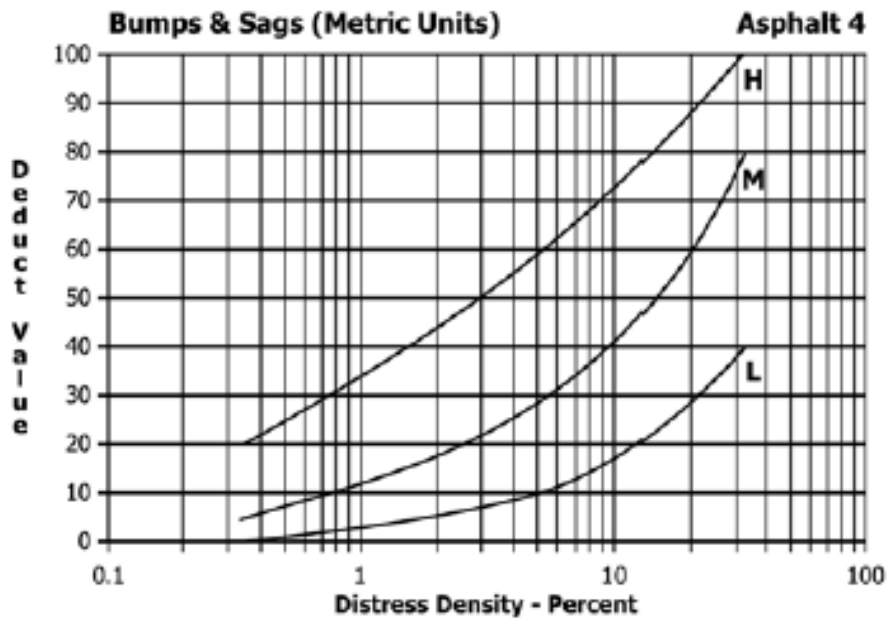


Figura 14

Corrugación

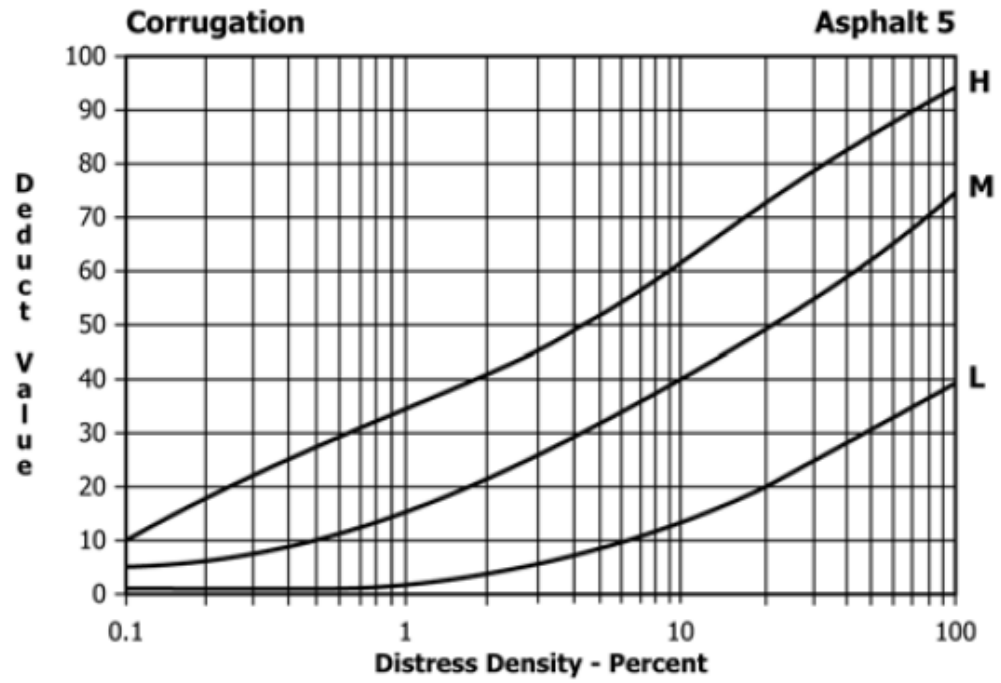


Figura 15

Depresiones

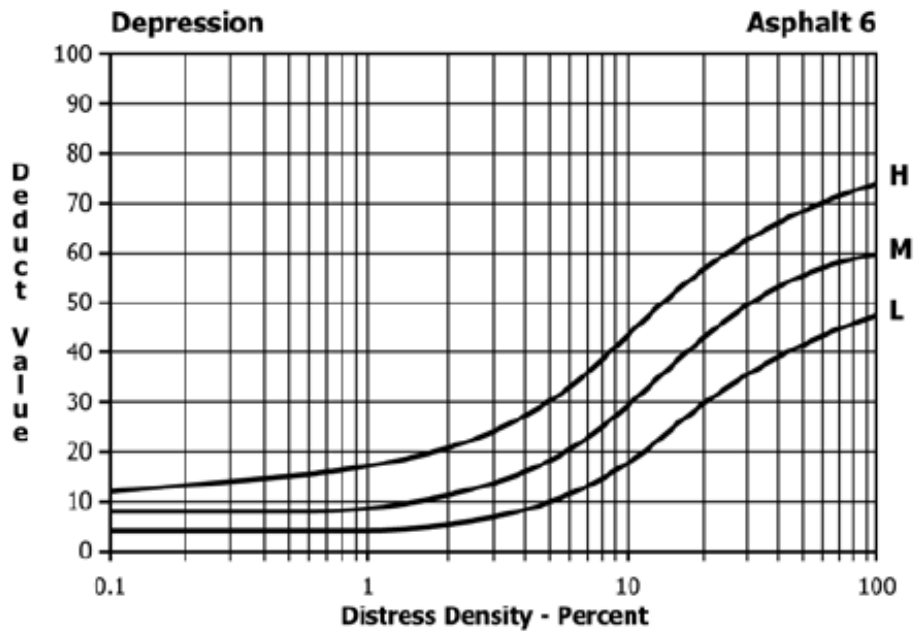


Figura 16

Grieta de borde

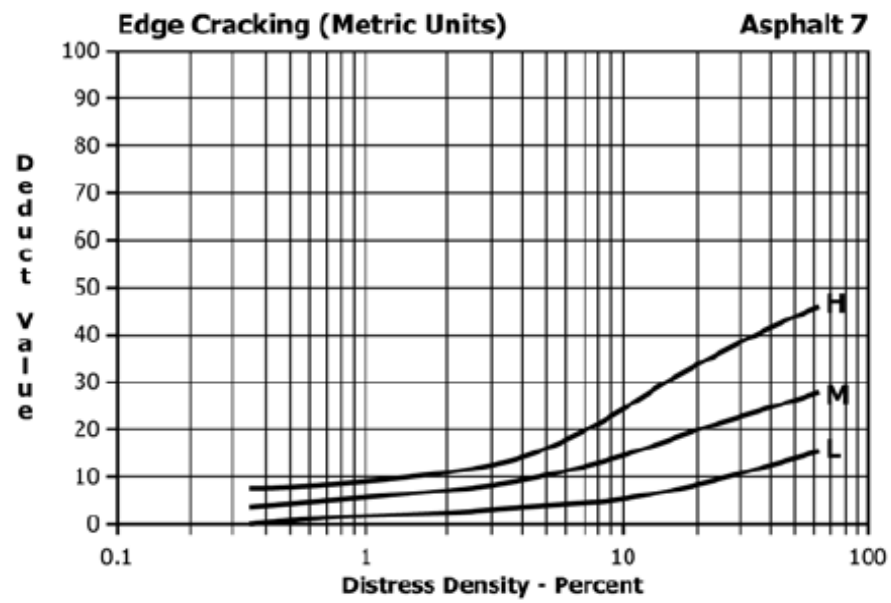


Figura 17

Grieta de reflexión de junta

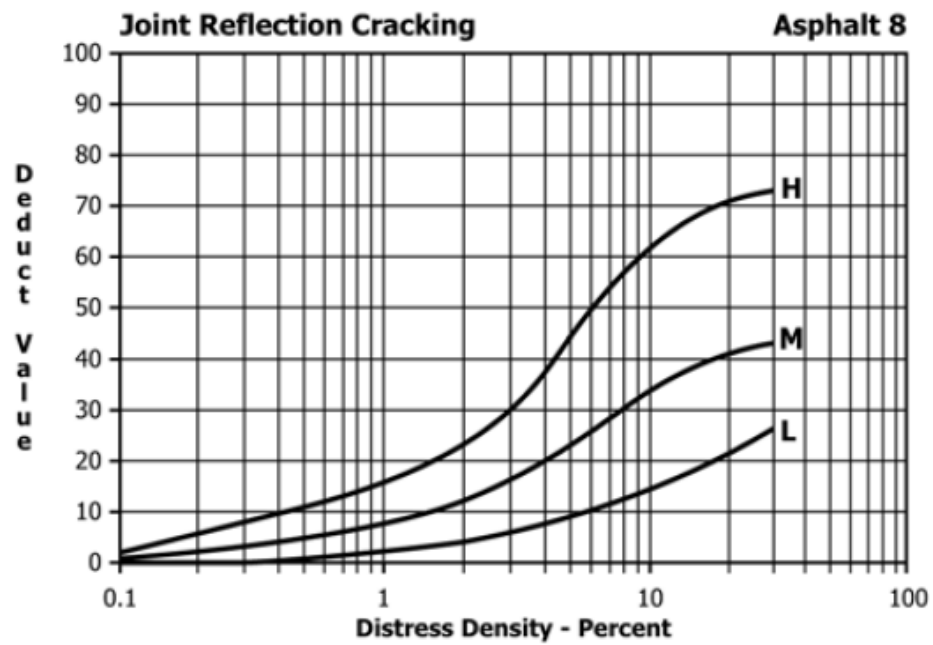


Figura 18

Desnivel carril/berma

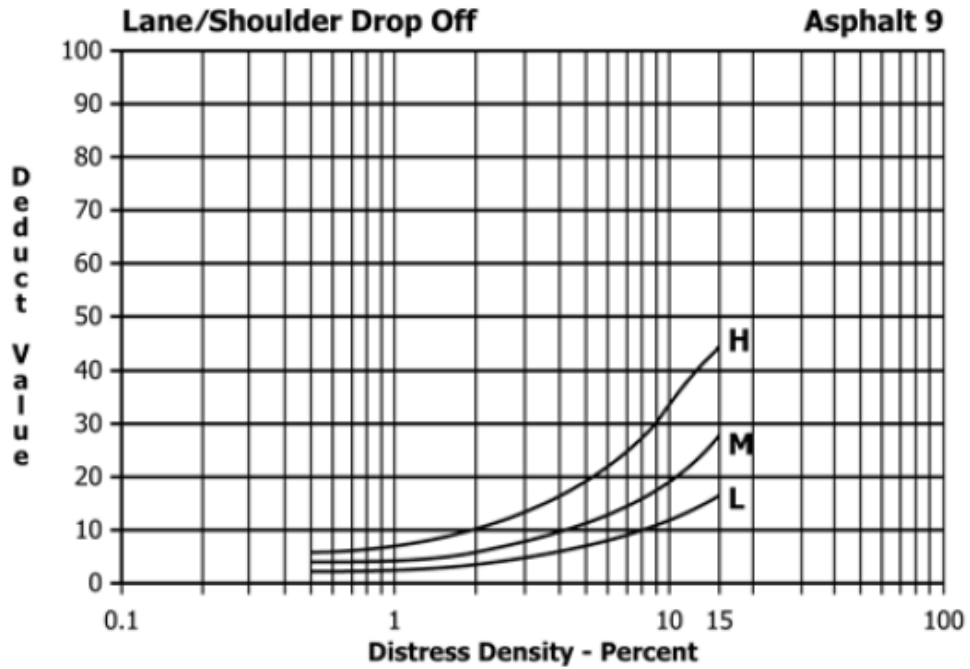


Figura 19

Grietas longitudinales y transversales

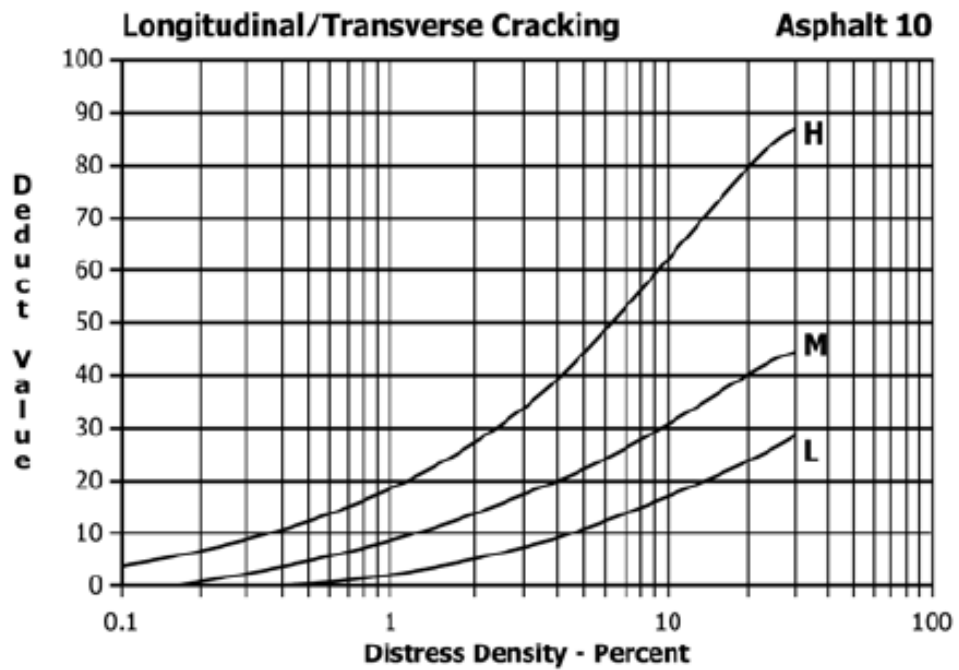


Figura 20

Cruce de línea férrea

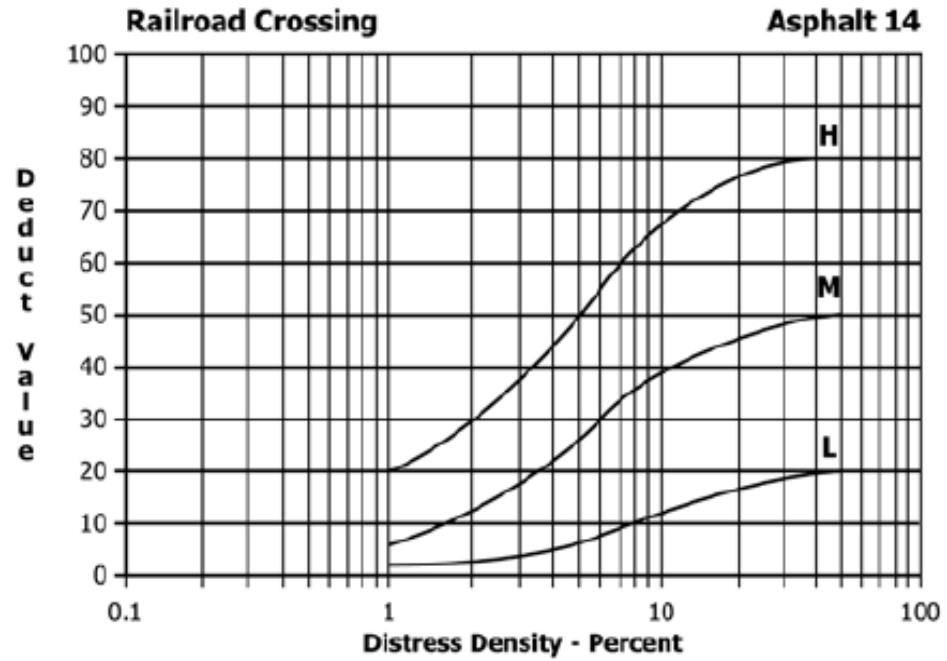


Figura 21

Ahuellamiento

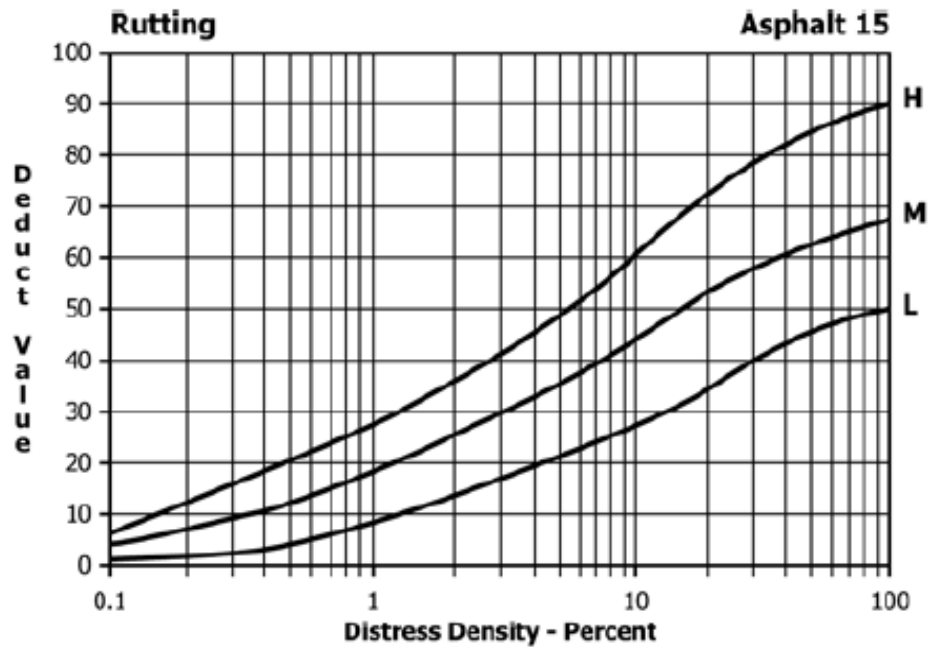


Figura 22

Desplazamiento

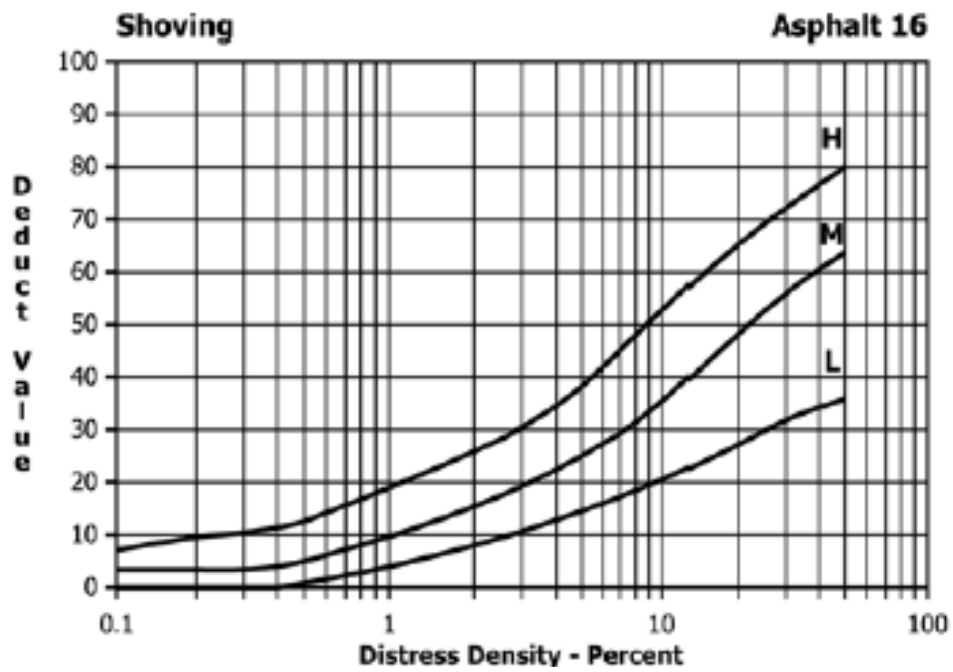


Figura 23

Grieta parabólica

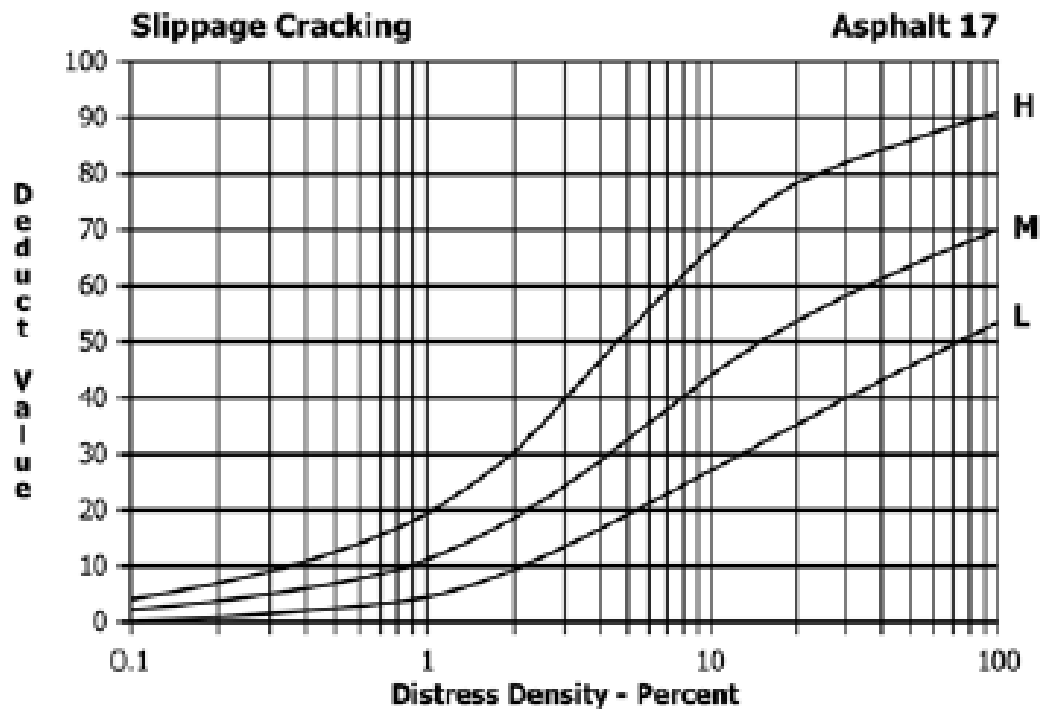


Figura 24

Hinchamiento

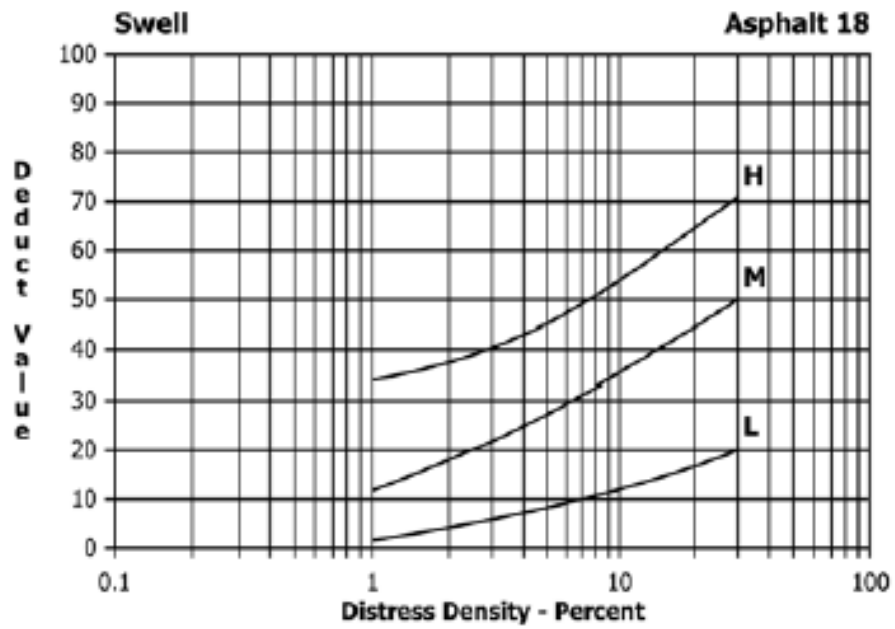


Figura 25

Desprendimiento de agregados

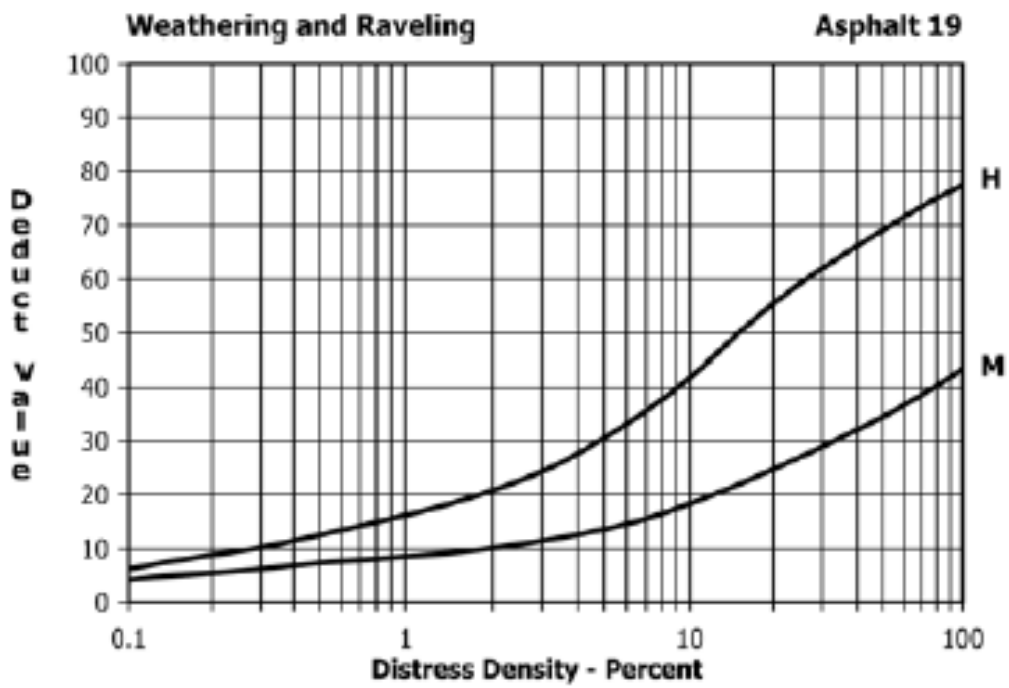
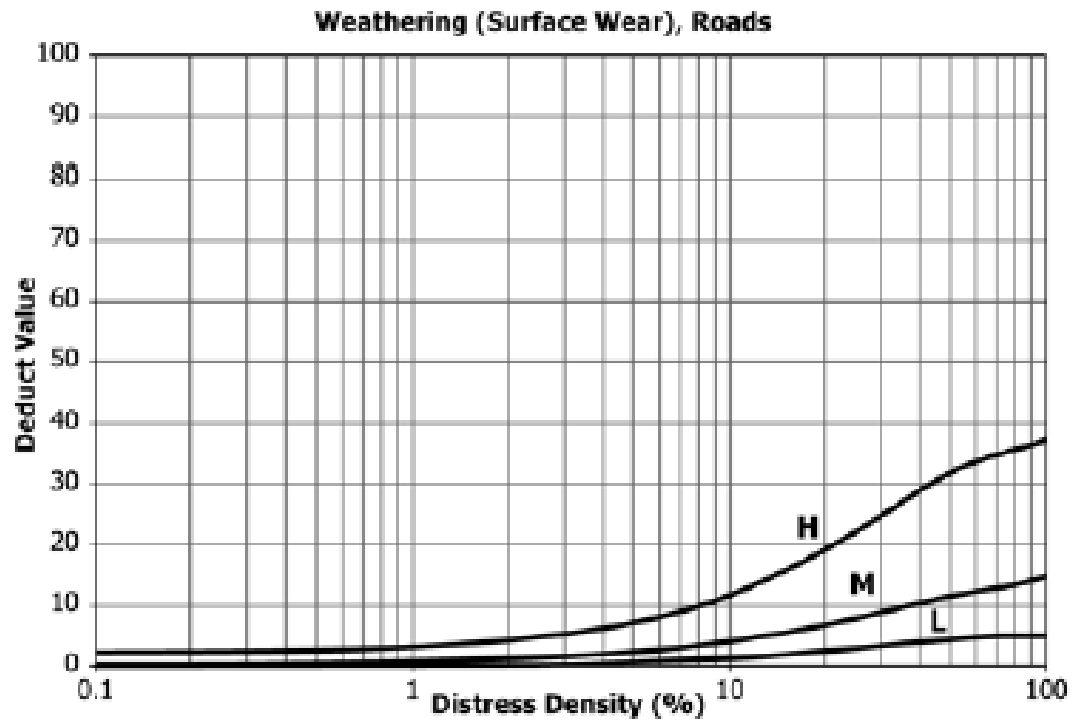


Figura 26

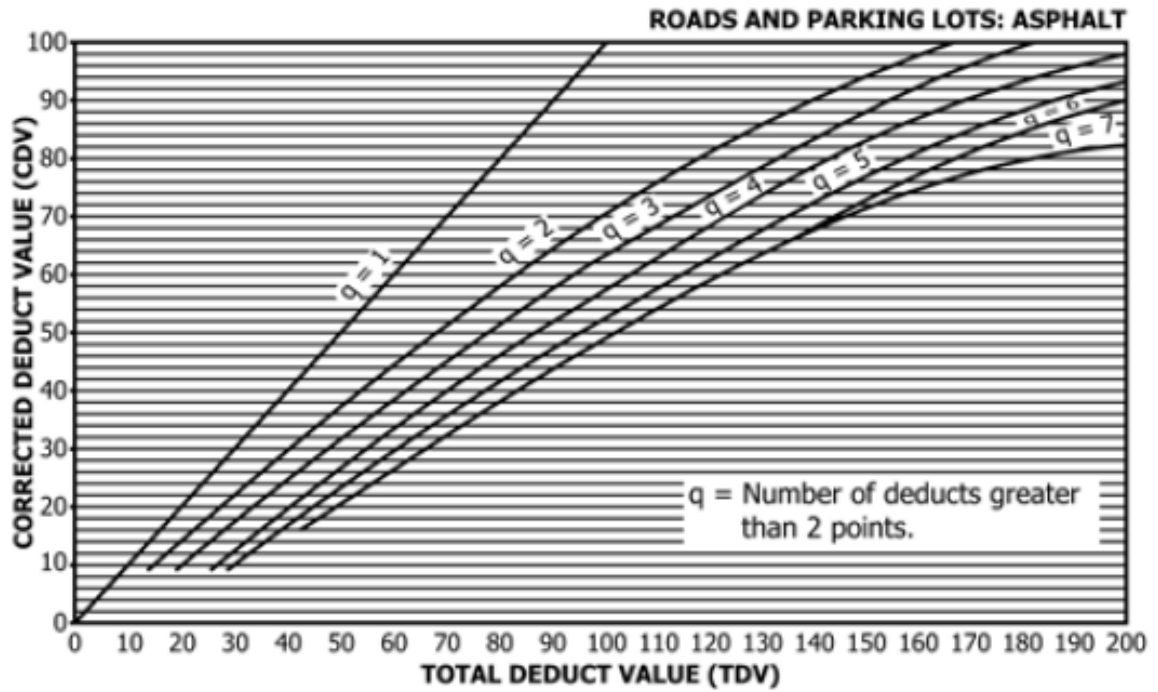
Desgaste superficial



ANEXO 4

Figura 27

Total Valor Deducido



ANEXO 5

Figura 28

Conteo manual de tráfico calzada derecha



Figura 29

Conteo clasificado de tráfico calzada izquierda



ANEXO 7.

Cálculo de Unidades de muestra conforme la norma ASTM 6433

Según la ASTM D6433, numeral 2.1.7, el área de muestra es: 225 ± 90 m²

Valor máximo: 315 m²
Valor mínimo: 135 m²

Tramo de vía: 0+000 - 3+400
Longitud: 3400 m
Ancho de calzada: 9.0 m
Longitud de muestra: 35 m
adoptamos: 35 m

→ 315 m² **OK**

Número de muestras
N: 97 u
Desviación estándar:
error marginal (e) 10.00% ASTM D6433 numeral 7.5.2 Pavimento asfáltico
e: 5%

Unidades de evaluación de la muestra

$$n = \frac{N \times s^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + s^2}$$

n = 14 unidades a evaluar

Selección de las unidades de muestreo

Conforme las normas ASTM D6433 numeral 7.5.3 el intervalo resulta de la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n}$$

por lo tanto, tenemos: i: 7, es decir, cada 6 unidades tengo que analizar un tramo de 35m

Tabla 1*Distribución de unidades de muestra para evaluación superficial del pavimento.*

Nro.	PK	Ancho de calzada	Área (m2)	Tramos de muestreo	Unidades a evaluar
1	0+000	9.00	315.00	1	1
2	0+035	9.00			
3	0+070	9.00	315.00	2	
4	0+105	9.00			
5	0+140	9.00	315.00	3	
6	0+175	9.00			
7	0+210	9.00	315.00	4	
8	0+245	9.00			
9	0+280	9.00	315.00	5	2
10	0+315	9.00			
11	0+350	9.00	315.00	6	
12	0+385	9.00			
13	0+420	9.00	315.00	7	
14	0+455	9.00			
15	0+490	9.00	315.00	8	
16	0+525	9.00			
17	0+560	9.00	315.00	9	3
18	0+595	9.00			
19	0+630	9.00	315.00	10	
20	0+665	9.00			
21	0+700	9.00	315.00	11	
22	0+735	9.00			
23	0+770	9.00	315.00	12	
24	0+805	9.00			
25	0+840	9.00	315.00	13	4
26	0+875	9.00			
27	0+910	9.00	315.00	14	
28	0+945	9.00			
29	0+980	9.00	315.00	15	
30	1+015	9.00			
31	1+050	9.00	315.00	16	
32	1+085	9.00			
33	1+120	9.00	315.00	17	5
34	1+155	9.00			
35	1+190	9.00	315.00	18	

36	1+225	9.00			
37	1+260	9.00			
38	1+295	9.00	315.00	19	
39	1+330	9.00			
40	1+365	9.00	315.00	20	
41	1+400	9.00			
42	1+435	9.00	315.00	21	6
43	1+470	9.00			
44	1+505	9.00	315.00	22	
45	1+540	9.00			
46	1+575	9.00	315.00	23	
47	1+610	9.00			
48	1+645	9.00	315.00	24	
49	1+680	9.00			
50	1+715	9.00	315.00	25	7
51	1+750	9.00			
52	1+785	9.00	315.00	26	
53	1+820	9.00			
54	1+855	9.00	315.00	27	
55	1+890	9.00			
56	1+925	9.00	315.00	28	
57	1+960	9.00			
58	1+995	9.00	315.00	29	8
59	2+030	9.00			
60	2+065	9.00	315.00	30	
61	2+100	9.00			
62	2+135	9.00	315.00	31	
63	2+170	9.00			
64	2+205	9.00	315.00	32	
65	2+240	9.00			
66	2+275	9.00	315.00	33	9
67	2+310	9.00			
68	2+345	9.00	315.00	34	
69	2+380	9.00			
70	2+415	9.00	315.00	35	
71	2+450	9.00			
72	2+485	9.00	315.00	36	
73	2+520	9.00			
74	2+555	9.00	315.00	37	10
75	2+590	9.00			
76	2+625	9.00	315.00	38	

77	2+660	9.00			
78	2+695	9.00	315.00	39	
79	2+730	9.00			
80	2+765	9.00	315.00	40	
81	2+800	9.00			
82	2+835	9.00	315.00	41	11
83	2+870	9.00			
84	2+905	9.00	315.00	42	
85	2+940	9.00			
86	2+975	9.00	315.00	43	
87	3+010	9.00			
88	3+045	9.00	315.00	44	
89	3+080	9.00			
90	3+115	9.00	315.00	45	12
91	3+150	9.00			
92	3+185	9.00	315.00	46	
93	3+220	9.00			
94	3+255	9.00	315.00	47	
95	3+290	9.00			
96	3+325	9.00	315.00	48	
97	3+360	9.00			
98	3+395	9.00	315.00	49	13

ANEXO 8

Tabla 2

Deflexiones obtenidas por el Deflectómetro de Impacto

ABSCISA (PR)	CARGA (KN)	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	T(°C)
0+000	40.26	280.70	189.50	102.55	58.00	40.50	30.80	25.85	30
0+100	40.93	309.05	215.90	122.25	75.40	53.00	39.70	32.95	33
0+200	40.40	307.35	207.20	110.60	64.50	42.65	31.90	25.35	30
0+300	41.10	286.10	189.45	105.20	63.25	42.80	32.35	27.20	33
0+400	40.53	288.80	200.85	113.70	67.05	47.60	37.35	29.60	30
0+500	41.24	249.80	162.95	88.45	51.80	35.65	28.00	22.95	33
0+600	41.00	358.95	250.65	157.20	105.60	79.15	61.20	47.75	30
0+700	41.60	291.45	196.40	104.90	58.15	38.45	29.85	24.90	33
0+800	40.33	380.95	262.50	156.70	103.55	76.50	59.45	46.75	30
0+900	41.52	301.90	200.15	100.45	53.45	35.40	26.45	23.20	33
1+000	41.03	341.75	239.95	147.65	98.80	75.10	60.55	49.40	30
1+100	41.00	305.95	206.95	109.75	61.90	44.60	35.65	31.40	33
1+200	41.07	342.90	251.55	159.65	105.45	76.25	58.80	47.60	30
1+300	41.45	368.40	263.60	126.25	75.45	55.60	44.30	37.85	33
1+400	40.57	415.45	307.00	194.80	127.00	91.50	70.10	57.55	30
1+492	40.75	312.60	216.75	122.00	73.80	53.30	42.65	34.75	33
1+500	41.03	371.15	228.25	117.90	70.35	54.30	42.90	36.70	33
1+700	40.76	279.10	190.90	111.20	71.90	53.55	43.00	37.95	33
1+900	41.49	287.35	201.00	117.10	76.10	55.80	43.70	37.40	33
2+000	40.12	410.60	276.95	159.40	102.50	74.85	57.50	46.15	30
2+100	40.99	309.65	217.00	130.40	84.95	63.35	50.30	41.15	33
2+200	40.93	344.95	244.05	152.30	99.90	74.25	59.15	48.85	30
2+300	41.07	269.70	191.30	113.30	70.60	51.20	41.05	35.70	33
2+500	41.32	275.80	186.25	98.95	55.85	41.30	32.65	30.65	33
2+600	41.10	307.60	180.60	83.05	47.05	35.85	30.85	26.45	30
2+700	40.97	265.00	171.95	98.65	64.15	48.75	38.55	32.00	33
2+800	40.89	225.35	148.65	81.15	46.30	32.95	27.50	24.40	30
2+900	41.42	244.10	164.70	94.45	61.55	47.05	38.35	33.95	33
3+000	40.93	218.95	149.05	86.65	59.10	46.95	39.00	32.95	30
3+100	41.21	246.10	176.15	111.70	75.80	57.10	46.40	39.75	33
3+200	40.64	318.50	215.55	122.95	78.05	59.65	48.05	41.10	30
3+315	40.53	271.30	207.80	140.70	103.10	79.00	62.50	52.50	33
3+400	40.19	257.95	168.55	90.15	55.35	44.65	40.10	33.80	30

ANEXO 9

Tabla 3

Módulo Resiliente y Capacidad de Soporte (CBR) de la subrasante

ABSCISA (PR)	Mrr (kg/cm2) NO DISEÑO	Factor C	Mr (kg/cm2) DISEÑO	CBR
0+000	2096	0.33	692	10
0+100	1645	0.33	543	7
0+200	2138	0.33	705	11
0+300	1992	0.33	657	10
0+400	1831	0.33	604	9
0+500	2361	0.33	779	12
0+600	1135	0.33	375	6
0+700	2176	0.33	718	11
0+800	1159	0.33	383	7
0+900	2336	0.33	771	12
1+000	1097	0.33	362	6
1+100	1726	0.33	570	8
1+200	1139	0.33	376	5
1+300	1432	0.33	472	6
1+400	942	0.33	311	4
1+492	1560	0.33	515	7
1+500	1477	0.33	487	6
1+600	1375	0.33	454	6
1+700	1428	0.33	471	6
1+800	1221	0.33	403	5
1+900	1449	0.33	478	6
2+000	1174	0.33	388	5
2+100	1317	0.33	435	5
2+200	1109	0.33	366	5
2+300	1518	0.33	501	7
2+400	1284	0.33	424	5
2+500	1768	0.33	583	8
2+600	2049	0.33	676	10
2+700	1694	0.33	559	8
2+800	2221	0.33	733	11
2+900	1596	0.33	527	7
3+000	1645	0.33	543	7
3+100	1363	0.33	450	6
3+200	1319	0.33	435	5
3+315	1032	0.33	341	5
3+400	1603	0.33	529	7

ANEXO 10

Tabla 3

Análisis de carencia estructural del tramo de vía.

ABSCISA (PR)	SN efectivo	SN diseño	ICE (%)
0+000	3.57	4.33	82.53
0+100	3.95	4.33	91.24
0+200	3.71	4.33	85.59
0+300	3.97	4.33	91.78
0+400	3.94	4.33	90.98
0+500	4.15	4.33	95.78
0+600	3.89	4.33	89.86
0+700	3.90	4.33	90.16
0+800	3.71	4.33	85.76
0+900	3.78	4.33	87.39
1+000	4.04	4.33	93.29
1+100	3.94	4.33	91.10
1+200	4.00	4.33	92.28
1+300	3.73	4.33	86.09
1+400	3.72	4.33	85.92
1+492	3.96	4.33	91.51
1+500	3.67	4.33	84.74
1+600	3.90	4.33	90.08
1+700	4.30	4.33	99.32
1+800	3.83	4.33	88.39
1+900	4.27	4.33	98.52
2+000	3.55	4.33	81.87
2+100	4.15	4.33	95.76
2+200	4.00	4.33	92.33
2+300	4.34	4.33	100.26
2+400	3.67	4.33	84.75
2+500	4.17	4.33	96.24
2+600	3.77	4.33	86.97
2+700	4.28	4.33	98.74
2+800	4.35	4.33	100.37
2+900	4.56	4.33	105.40
3+000	4.73	4.33	109.23
3+100	4.73	4.33	109.19
3+200	4.00	4.33	92.49
3+315	4.77	4.33	110.13
3+400	4.29	4.33	99.00

ANEXO 11

Tabla 4

Comparación del Número Estructural requerido por el método AASTHO y YONAPAVE

ABSCISA (KM)	SNeff Método AASTHO	SNeff Método Yonapave	Δ SNeff
0+000	3.57	3.93	0.35
0+100	3.95	4.14	0.19
0+200	3.71	3.78	0.07
0+300	3.97	3.95	0.02
0+400	3.94	4.15	0.21
0+500	4.15	4.04	0.11
0+600	3.89	4.16	0.27
0+700	3.90	3.92	0.01
0+800	3.71	3.85	0.14
0+900	3.78	3.67	0.11
1+000	4.04	4.22	0.18
1+100	3.94	3.84	0.11
1+200	4.00	4.54	0.55
1+300	3.73	3.68	0.05
1+400	3.72	4.24	0.52
1+492	3.96	4.06	0.10
1+600	3.90	4.08	0.18
1+700	4.30	4.28	0.02
1+800	3.83	4.02	0.20
2+000	3.55	3.55	0.01
2+100	4.15	4.33	0.18
2+200	4.00	4.26	0.26
2+300	4.34	4.56	0.22
2+400	3.67	3.46	0.21
2+500	4.17	4.00	0.17
2+600	3.77	3.07	0.69
2+700	4.28	4.07	0.20
2+800	4.35	4.20	0.15
2+900	4.56	4.42	0.15
3+000	4.73	4.64	0.09
3+100	4.73	5.04	0.31
3+200	4.00	3.92	0.08
3+315	4.77	5.61	0.85
3+400	4.29	3.91	0.37