



**Evaluación funcional - estructural del pavimento del anillo de circunvalación vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mediante métodos convencionales y tecnología de alto rendimiento ensayo Falling Weight Deflectometer (FWD) y propuesta de rehabilitación.**

Toledo Solano, Jorge Alberto

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Bonifaz García, Hugo Fabián, Msc.

11 de agosto de 2020

# URKUND

## Document Information

<b>Analyzed document</b>	3_TESIS_JORGE_TOLEDO_URKUND.pdf (D77583231)
<b>Submitted</b>	8/7/2020 6:18:00 PM
<b>Submitted by</b>	Bonifaz García Hugo Fabián
<b>Submitter email</b>	hfbonifaz@espe.edu.ec
<b>Similarity</b>	6%
<b>Analysis address</b>	hfbonifaz.espe@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624119/MATOS_BD.pdf">https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624119/MATOS_BD.pdf</a> ... Fetched: 7/25/2020 5:51:36 PM		<b>3</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/92102383-Universidad-internacional-del-ecuador-facultad-de-in-...">https://docplayer.es/92102383-Universidad-internacional-del-ecuador-facultad-de-in-...</a> Fetched: 7/19/2020 10:15:43 AM		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15841/VELASQUEZBEJARAN-...">https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15841/VELASQUEZBEJARAN-...</a> Fetched: 1/29/2020 9:54:53 PM		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16535/2019/freddyoca%C3%81a.p-...">https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16535/2019/freddyoca%C3%81a.p-...</a> Fetched: 5/31/2020 11:21:02 PM		<b>10</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16526/NovaMorenoJoseDa-...">https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16526/NovaMorenoJoseDa-...</a> Fetched: 7/11/2020 2:03:13 AM		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/5149/1/2014_alternativas_reha-...">https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/5149/1/2014_alternativas_reha-...</a> Fetched: 2/27/2020 4:57:42 PM		<b>8</b>
<b>W</b>	URL: <a href="ftp://ftp.ani.gov.co/Tercera%20Ola/Chinchiri%C3%A1%20Mariquita/Cuarto%20de%20datos%...">ftp://ftp.ani.gov.co/Tercera%20Ola/Chinchiri%C3%A1%20Mariquita/Cuarto%20de%20datos%...</a> Fetched: 5/12/2020 1:58:32 PM		<b>16</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf">https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf</a> Fetched: 7/25/2020 3:51:40 PM		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.ula.edu.ec/bitstream/123456789/10342/1/Maestr%C3%ADa%20V%20T-...">https://repositorio.ula.edu.ec/bitstream/123456789/10342/1/Maestr%C3%ADa%20V%20T-...</a> Fetched: 7/15/2020 8:03:21 PM		<b>7</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.slideshare.net/granromani/a-guia-de-diseo-de-aashito">https://www.slideshare.net/granromani/a-guia-de-diseo-de-aashito</a> Fetched: 8/7/2020 6:22:00 PM		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Ohm">https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Ohm</a> Fetched: 8/7/2020 6:22:00 PM		<b>1</b>

*Bonifaz*



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Evaluación funcional - estructural del pavimento del anillo de circunvalación vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE mediante métodos convencionales y tecnología de alto rendimiento ensayo Falling Weight Deflectometer (FWD) y propuesta de rehabilitación" fue realizado por el señor Capt. E. Toledo Solano, Jorge Alberto, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangoquí, 29 de julio del 2020

Ing. Bonifaz García, Hugo Fabián, MSc.

C.C.: 06011786452



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Capt. E. Toledo Solano, Jorge Alberto, con cédula de identidad N° 1104090699, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: Evaluación funcional - estructural del pavimento del anillo de circunvalación vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mediante métodos convencionales y tecnología de alto rendimiento ensayo Falling Weight Deflectometer (FWD) y propuesta de rehabilitación, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolqui, 29 de julio del 2020



firmado digitalmente por:  
JORGE ALBERTO  
TOLEDO SOLANO

---

Toledo Solano Jorge Alberto  
C.C.: 1104090699



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, Capt. E. Toledo Solano, Jorge Alberto, con cédula de ciudadanía N° 1104090699, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar el presente trabajo de titulación: **Evaluación funcional - estructural del pavimento del anillo de circunvalación vial de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, mediante métodos convencionales y tecnología de alto rendimiento ensayo Falling Weight Deflectometer (FWD) y propuesta de rehabilitación en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.**

Sangolqui, 29 de julio del 2020



Firmado digitalmente por:  
JORGE ALBERTO  
TOLEDO SOLANO

---

Toledo Solano Jorge Alberto  
C.C.: 1104090699

## Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación, evidenciando el esfuerzo y sacrificio para lograr culminar con éxitos esta carrera y lograr mejorar mi sapiencia en el transcurso de esta vida terrenal, en especial a mis padres María y Gustavo, inspiración y consejeros para cruzar semestre a semestre mis estudios, a mis hermanas Verónica y Jéssica que ven en su hermano un ejemplo a seguir, no les puedo fallar y este es el fruto del caminante que está haciendo camino al caminar, a mi compañera de vida, novia y esposa María Fernanda porque juntos nos hemos dado la mano para sobresalir en nuestra preparación académica, a mis sobrinos Cristhian, Alejandra y Sebastián que se convirtieron en el motor para realizar mi proyecto de titulación, sé que ellos ven en su tío una persona a quien seguir y superarlo, a todos ellos dedicarles el trabajo con el cual alcanzó el título de Ingeniería Civil.

## **Agradecimiento**

Empezar agradeciendo a la Virgen del Cisne, nuestra madre protectora de los lojanos, a quien encomiendo mis sacrificios; y a Dios pues ha derramado sus bendiciones sobre su hijo y le ha guiado por el camino del bien.

A mis abuelos: Neptalí que siempre confió en que su nieto se iba a superar y lograr ser una mejor persona y que ahora desde el cielo siempre me guía en cada paso a seguir, Catalina con sus bendiciones me permitieron lograr éxitos en la vida, Felipe que me ha dado sus consejos para lograr superarme en la vida, Elvia que me da la confianza de seguir adelante cada día.

A mis padres, porque cada palabra salida de su boca ha permitido que yo sea fuerte en la vida y que siempre llegue a conseguir mis objetivos, además por formar un hogar, donde el ejemplo del trabajo es el principio para lograr las cosas.

A mis hermanas, que me apoyado en momentos más difíciles y en todo momento.

Al Ing. Byron Morales, por ser el docente que me dirigió en este proyecto y siempre ayudo con sus conocimientos y experiencia.

Al Ing. Bonifaz Hugo por ser el tutor del presente proyecto y dar la confianza a su tesista en lograr culminar con éxitos sus estudios.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil que aportaron en que yo adquiriera conocimientos técnicos, de seguro que los aplicaré en el empleo de la profesión y estén seguros no los defraudare.

A mis compañeros del arma de ingeniería, de la promoción 03 de la ESMIL que juntos en las buenas y malas apoyándonos para alcanzar el título: Ingeniero Civil.

A los funcionarios del MTOP, a la Ing. Glenda Sarango, Ing. Mariela Macías y al Ing. Augusto Medina, que autorizaron y permitieron el empleo del FWD.

Y a todos mis compañeros de aulas que apoyaron para realizar los trabajos, deberes, a mi compañera que apoyaba con las repeticiones de las palabras por un vocabulario en la materia de Vías I y II.

**iiii GRACIAS, MUCHAS GRACIAS A TODOS!!!!**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

U R K U N D.....	2
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Resumen.....	21
Abstract .....	22
Capítulo 1 Generalidades .....	23
Planteamiento del Problema.....	23
Antecedentes .....	24
Justificación.....	25
Objetivos.....	26
Objetivo General.....	26
Objetivos Específicos .....	26
Capítulo 2 Marco teórico.....	28
Gestión de Infraestructura vial .....	28
Pavimentos Flexibles .....	29
Capas del Pavimento flexible:.....	30
Duración de un Pavimento Flexible .....	31
Importancia del diseño estructural .....	31
Diseño de pavimentos método AASHTO 93 .....	31
Índice de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI):.....	32
Evaluación técnica de los pavimentos.....	35
Evaluación estructural del pavimento .....	35
Evaluación funcional del pavimento.....	36
Análisis de la evaluación del pavimento .....	38

	10
La inspección Visual .....	38
Fallas o Daños en el pavimento .....	39
Ensayo Cono de Penetración Dinámico (DCP).....	42
Deflectómetro de Impacto (FWD) .....	43
Beneficios del Deflectómetro de Impacto FWD (Falling Weight Deflectometer) .....	44
Diseño de refuerzos de pavimentos flexibles .....	44
Método ASSHTO y la información del Deflectómetro de impacto FWD .....	44
Deflexión .....	44
Fundamentos del deflectómetro de impacto.....	45
Métodos para determinar la resistencia de la subrasante.....	48
Con información del Deflectómetro de impacto con Método AASHTO 1993.....	48
Módulo resiliente de la subrasante.....	48
Número estructural efectivo del pavimento, $S_{Nef}$ .....	51
Esfuerzos, Deformaciones Y Deflexión Admisibles .....	52
Criterio (Shell) para precisar la deformación radial adm. de tracción .....	52
En la base de la capa asfáltica, $\epsilon_{radm}$ .....	52
Criterio (Shell) determinar deformación vertical admisible de compresión .....	53
Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante, $\sigma_{zzadm}$ .....	53
Deflexión vertical admisible en la superficie, $\Delta_{zadm}$ .....	54
Señalización vial.....	55
Señalización Horizontal .....	55
Señalización Vertical .....	58
Estudio de tráfico.....	62
Tráfico promedio diario anual (TPDA) .....	62
Disposición y tipo de tráfico .....	62

	11
Clasificación de las vías según TPDA .....	64
Cálculo y estimación de Tráfico Promedio Diario Anual "TPDA" .....	64
Diseño de mezcla asfáltica en caliente .....	65
Hormigón asfáltico mezcla en caliente .....	66
Principios y consideración para una mezcla asfáltica .....	68
Fórmula maestra de obra.....	68
Método Marshall para diseño de pavimentos.....	68
Nivel de Servicio (NS) .....	70
Capítulo 3 Metodología de estudio para el análisis del tramo vial .....	76
Área de estudio. ....	76
Análisis de Tráfico .....	77
Medidas del tráfico. ....	77
Composición del tráfico y vehículos tipo.....	79
Contabilización vehicular.....	80
Consideraciones generales.....	80
Procedimiento para el cálculo del TPDA .....	81
Ejes equivalentes y de carga del tráfico. ....	83
Cálculo de factor tipo vehículo. ....	84
Cálculo de factor Presión Neumático (P.N). ....	84
Cálculo de factor carril. ....	85
Cálculo de factor de crecimiento de tráfico. ....	85
Cálculo de tránsito futuro .....	85
Metodología para Evaluación del Pavimento .....	86
Evaluación Funcional del Pavimento .....	86
Metodología para la inspección visual de daños de pavimentos flexibles. ....	87

	12
Inspección visual, aplicación método VIZIR .....	87
Metodología de uso Tabla JATS-BM.....	87
Registro de campo .....	88
Ejemplo del empleo tabla JATS-BM.....	90
Metodología para determinación del estado del Pavimento.....	90
Metodología para determinar la Señalización.....	96
Evaluación estructural del Pavimento.....	96
Metodología para realizar penetrómetro dinámico de cono DCP.....	96
Metodología para realizar FWD.....	98
Análisis estructural deflectométrico criterio AASHTO 93 pavimentos flexibles. ....	121
Metodología para rehabilitación de pavimentos por evaluación funcional .....	123
Reparación de capa de rodadura.....	123
Métodos de reparación en base a los tipos de fallas más comunes.....	123
Agrietamientos .....	123
Deformaciones o distorsiones .....	128
Desintegraciones .....	131
Exudaciones Y Agregados Pulidos .....	132
Chequeo de refuerzo utilizando el método racional .....	133
DISEÑO DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO POR METODO AASHTO.....	138
Capítulo 4 Resultados y discusión .....	146
Resultados de tránsito y obtención de TPDA.....	146
Ejes equivalentes y de carga del tráfico. ....	151
Resultados de ensayos de núcleos .....	152
Evaluación funcional del pavimento .....	156
3.1 Evaluación estructural.....	161

Método convencional: Ensayo Cono de Penetración Dinámico (DCP) .....	161
Tecnología de alto rendimiento ensayo falling weight deflectometer.....	163
Evaluación de la señalización .....	167
Propuesta de rehabilitación .....	168
Resumen de información del deflectómetro de impacto .....	169
Chequeo de valores admisibles y de servicio.....	170
Cálculo de factor de daño en WINDEPAV .....	172
Planteamiento de propuesta de rehabilitación.....	176
Presupuesto de propuesta. ....	177
Capítulo 5 Conclusiones Y Recomendaciones .....	179
Conclusiones.....	179
Tráfico y ejes equivalentes.....	179
De la evaluación funcional del anillo vial. ....	179
Análisis de la estructural del pavimento.....	181
Ensayo Cono de Penetración Dinámico (DCP) .....	181
Ensayo FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER .....	181
Propuesta de rehabilitación, para la determinación del tipo de rehabilitación. ....	183
Recomendaciones .....	184
BIBLIOGRAFÍA.....	186
ANEXOS .....	188

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación AASHTO $\Delta$ PSI .....	33
Tabla 2 Fallas y daños en los pavimentos flexibles .....	39
Tabla 3 Asociación de daños a los tipos de falla .....	41
Tabla 4 Coeficiente de Calage .....	52
Tabla 5 Criterio (Shell) determ. deform. vertical adm. por compresión de subrasante... 53	
Tabla 6 Clasificación funcional de las vías en función del TPDA .....	64
Tabla 7 Clasificación de pasante de agregados .....	66
Tabla 8 Clasificación de Tráfico por IMPD .....	67
Tabla 9 Tratamiento y Cantidades de material por m <sup>2</sup> de emulsión asfáltica .....	67
Tabla 10 Coordenadas de ubicación ESPE .....	77
Tabla 11 Tipos de Vehículos .....	79
Tabla 12 Nivel de gravedad de deterioro TIPO A .....	92
Tabla 13 Nivel de gravedad de deterioro Tipo B .....	92
Tabla 14 Rangos del Índice de deterioro superficial .....	94
Tabla 15 Ubicación de geófonos en el equipo fwd .....	103
Tabla 16 Valores en bruto de deflexiones del carril interno.....	105
Tabla 17 Valores en bruto de deflexiones del carril externo.....	106
Tabla 18 Valor deflexión corregidos (ASTM D4694-96 carga 40.00 Kn; T= 20 °C).....	108
Tabla 19 Cálculo para secciones homogéneas .....	112
Tabla 20 Verificación de secciones homogéneas geófono D (1), carril interno .....	114
Tabla 21 Secciones homog. diferencias acumuladas geófono D (1), carril interno .....	115
Tabla 22 Secciones homog. deflexión característica geófono D (1), carril interno .....	115
Tabla 23 Secciones homog. diferencias acumuladas geófono D (8), carril interno .....	116
Tabla 24 Secciones homog. deflexión característica geófono D (8), carril interno .....	117

Tabla 25	Espesores de estructura del pavimento.....	122
Tabla 26	Tabla I, Niveles recomendados de confiabilidad (R) .....	139
Tabla 27	Tabla II, Valores recomendados para la desviación estándar (So). .....	140
Tabla 28	Módulos de resiliencia de las secciones homogéneas.....	142
Tabla 29	Número estructural de las secciones homogéneas.....	143
Tabla 30	Conteo Vehicular .....	146
Tabla 31	Tabla de resultados de TPDA .....	149
Tabla 32	Resumen de cálculo TPDA .....	149
Tabla 33	Cálculo de tráfico futuro.....	150
Tabla 34	Resultados de cálculo EE y FEE .....	151
Tabla 35	Cálculo de presión de inflado por tipo vehículo .....	151
Tabla 36	Resultados de factores para cálculo de Ejes equivalentes. ....	152
Tabla 37	Normativa de ensayos para núcleos.....	152
Tabla 38	Resultados de humedad y densidad seca .....	154
Tabla 39	Resultados de CBR de 1" y 2".....	154
Tabla 40	Densidad seca y CBR de subrasante .....	156
Tabla 41	Índice deterioro superficial del carril interno del anillo vial UFA ESPE .....	158
Tabla 42	Índice de deterioro superficial del carril externo del anillo vial UFA ESPE ....	160
Tabla 43	Relaciones para valores obtenidos ensayo DCP. ....	162
Tabla 44	Resumen datos DCP puntos ensayados (materiales arenosos).....	162
Tabla 45	Espesores de estructura del pavimento, S <sub>N</sub> eff carril interno .....	164
Tabla 46	Cálculos: S <sub>N</sub> Req y S <sub>N</sub> eff con metodología AASHTO 93 del carril interno ...	164
Tabla 47	Cálculos: S <sub>N</sub> Req y S <sub>N</sub> eff metodología AASHTO 93 del carril externo .....	165
Tabla 48	Análisis de intervenciones en carril interno.....	165
Tabla 49	Análisis de intervenciones en carril externo.....	166

Tabla 50 Resumen de datos de carril interno .....	169
Tabla 51 Resumen de datos de carril externo .....	169
Tabla 52 Valores de adm. y de servicio secc. homog. a intervenir en carril interno ....	170
Tabla 53 Valores de adm. y de servicio secc. homog. a intervenir en carril externo ...	171
Tabla 54 Factor de daño de secciones homogéneas .....	172
Tabla 55 Propuesta para secciones homogéneas a ser intervenidas.....	175
Tabla 56 Resultados de secciones homogéneas de deflexiones y Mr de subrasante .	182
Tabla 57 Resultados de secciones homogéneas de Sneff y Snreq .....	182

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección Transversal de pavimento flexible .....	30
Figura 2. Método de diseño AASHTO.....	32
Figura 3. Ensayo DCP.....	42
Figura 4. Esquema de un cuenco de deflexión.....	45
Figura 5. Deflectómetro de impacto. ....	46
Figura 6. Esquema de funcionamiento del deflectómetro de impacto. ....	47
Figura 7: Línea de separación de carriles.....	56
Figura 8: Líneas de borde.....	56
Figura 9: Líneas de continuidad .....	57
Figura 10: Líneas de borde de calzada.....	57
Figura 11: Flechas .....	58
Figura 12: Máxima velocidad.....	58
Figura 13: Altura normativa de señalética vertical .....	59
Figura 14: Señal No rebasar .....	60
Figura 15: Señal límite máximo de velocidad .....	60
Figura 16: Señal límite máximo de velocidad con luces LED.....	61
Figura 17: Señal reduzca la velocidad .....	61
Figura 18: Señal Máxima altura.....	61
Figura 19: Señal bandas transversales.....	62
Figura 20: Tabla nacional de pesos y dimensiones.....	63
Figura 21: Criterio de Niveles de Servicio.....	70
Figura 22: Criterios de NS para Secciones Básicas de Autopistas.....	71
Figura 23: Nivel de Servicio "A" .....	72
Figura 24: Nivel de servicio "B" .....	72

	18
Figura 25: Nivel de Servicio "C" .....	73
Figura 26: Nivel de Servicio "D" .....	74
Figura 27: Nivel de servicio "E" .....	74
Figura 28: Nivel de servicio "F" .....	75
Figura 29: Ubicación Anillo vial UFA ESPE .....	76
Figura 30: Relaciones entre la velocidad de diseño y la velocidad de circulación .....	78
Figura 31: Ecuaciones para cálculo de ejes equivalentes .....	84
Figura 32: Factores de distribución direccional .....	85
Figura 33: Identificación de daños .....	88
Figura 34: Medición de daño .....	89
Figura 35: Marcación en tabla JATS-BT .....	89
Figura 36: Ejemplo de registros en tabla JATS-BM.....	90
Figura 37: Tramos longitudinales de 300 m.....	90
Figura 38: Medición de carriles para subdivisión de tramos.....	91
Figura 39: Metodología para cálculo del Is. ....	95
Figura 40: Empleo del DCP.....	97
Figura 41: Equipo FWD sobre remolque.....	99
Figura 42: Sensores del FWD .....	99
Figura 43: Martillo de impacto del FWD .....	100
Figura 44: Toma de datos (programa RoSy DESIGN) .....	100
Figura 45: Programa RoSy DESIGN.....	100
Figura 46: Punto de inicio Abscisa 00+000.....	101
Figura 47: Sensores sobre el pavimento .....	101
Figura 48 Personal técnico del FWD.....	102
Figura 49: Vehículo con montaje del Equipo FWD .....	102

Figura 50: Geófonos del Equipo FWD .....	103
Figura 51: Mantenimiento del equipo FWD.....	104
Figura 52: Técnica de triada para toma de datos del equipo FWD .....	104
Figura 53: Ecuaciones de correlación para valores de deflexión .....	107
Figura 54: Diagrama de deflexiones geófono D (1) del carril interno .....	109
Figura 55: Histograma de deflexiones geófono D (1) del carril interno .....	109
Figura 56: Cuenco de Deflexión en abscisa 00+00 carril interno .....	110
Figura 57: Cuenco de Deflexión en abscisa 01+945 carril externo .....	110
Figura 58: Cuencos de Deflexiones en carril interno .....	111
Figura 59: Cuencos de Deflexiones en carril externo .....	111
Figura 60: Diagrama de secciones por deflexiones D(1) carril interno .....	113
Figura 61: Diagrama de secciones por deflexiones D (8), carril interno .....	116
Figura 62: Diagrama de deflexión en carril externo .....	117
Figura 63: Diagrama de secciones por deflexiones D (1), carril externo .....	118
Figura 64: Secciones homog. diferencias acumuladas geófono D (1), carril externo..	118
Figura 65: Secciones homog. deflexión característica geófono D (1), carril externo...	119
Figura 66: Diagrama de secciones por deflexiones D (8), carril externo .....	119
Figura 67: Secciones homog. diferencias acumuladas geófono D (8), carril externo..	120
Figura 68: Secciones homog. deflexión característica geófono D (8), carril externo...	120
Figura 69: Programa Ecuación AASHTO 93.....	121
Figura 70: Ecuaciones para esfuerzos, deformaciones y deflexiones admisibles .....	134
Figura 71: Datos de la estructura actual del anillo vial carril interno y externo .....	135
Figura 72: Programa WinDepav, ingreso de datos sección homog. 2 carril interno ....	136
Figura 73: Programa WinDepav, propiedades de los materiales de cada capa .....	137
Figura 74: Resultados del Programa WinDepav.....	137

Figura 75: Resultados exportados del Programa WinDepav al programa Excel. ....	138
Figura 76: Tabla I-I, Valores de ZR para diversos grados de confiabilidad. ....	140
Figura 77: Valores típicos de módulos de elasticidad de materiales para pavimentos	142
Figura 78: Cálculo del número estructural SN. ....	143
Figura 79: Categorización de la calidad de drenaje.....	144
Figura 80: Coeficientes de drenaje ( $m_i$ ) para bases y subbases granulares .....	144
Figura 81: Estadística de conteo vehicular semana 2 .....	147
Figura 82: Estadística de conteo vehicular semana 2 .....	147
Figura 83: Tipos de Vehículos sobre Anillo Vial .....	148
Figura 84: Porcentaje de Vehículos pesados y livianos .....	148
Figura 85: Curva Granulométrica .....	153
Figura 86: Curva de % CBR .....	154
Figura 87: Clasificación de subrasante .....	155
Figura 88: Curva de % CBR .....	155
Figura 89: Cálculo de Índice de deterioro Superficial. ....	157
Figura 90: Ubicación de puntos de ensayos DCP sobre el anillo vial. ....	161
Figura 91: Análisis estructural deflectométrico .....	163
Figura 92: Secciones de base granular grupo A.....	173
Figura 93: Estructura de pavimento inicial .....	173

## **Resumen**

A nivel mundial la inversión en vías para mantener el confort, seguridad y en óptimas condiciones es elevado, con el avance de la tecnología se trata de reducir, el costo, pero muchas veces existe despilfarro por no acudir a la investigación de lo que realmente pasa en las vías, por lo tanto la investigación realizada en el presente documento, tiene como objeto la evaluación funcional y estructural del anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, aplicando para la evaluación funcional el método VIZIR, con la aplicación de una tabla de registro de campo JATS-BM, que permite consolidar las fallas funcionales, y dar un aviso de las fallas estructurales, el resultado será la base de datos por tramos determinando el índice deterioro, con lo cual se tiene un estimado de los trabajos a realizarse. se realiza evaluación estructural aplicando el método convencional DCP, que permite determinar a través de correlaciones el CBR de la subrasante, para conseguir una mayor precisión se realiza la evaluación estructural con el deflectómetro de impacto (FWD), obteniendo los módulos de resiliencia de la subrasante, permitiendo homogenizar secciones que deberán ser intervenidas específicamente, permitiéndose alcanzar una propuesta ajustada a la realidad, y fijar un presupuesto optimo-beneficioso en la aplicación de un proyecto.

### **Palabras Claves:**

- **EVALUACIÓN FUNCIONAL**
- **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL**
- **VIZIR**
- **DCP**
- **FWD**

### **Abstract**

At the global level, investment in ways to maintain comfort, safety and in optimal conditions is high, with the advancement of technology it is about reducing the cost, but many times there is waste by not going to investigate what really happens on the roads, therefore, the research carried out in this document aims at the functional and structural evaluation of the road ring of the University of the Armed Forces Espe, applying the VIZIR method for functional evaluation, with the application of a table JATS-BM field registration, which allows consolidating functional failures, and giving notice of structural failures, the result will be the database by sections determining the deterioration rate, with which there is an estimate of the work to be performed . Structural evaluation is carried out by applying the conventional DCP method, which allows determining the subgrade CBR through correlations. In addition, to obtain greater precision, structural evaluation is performed with the impact deflectometer (FWD), obtaining the resilience modules of the subgrade, allowing to homogenize sections that must be specifically intervened, allowing to obtain a proposal adjusted to reality, and with the aim of setting an optimal and beneficial budget in the application of a project.

#### **Keywords.-**

- **FUNCTIONAL EVALUATION**
- **STRUCTURAL EVALUATION**
- **VIZIR**
- **DCP**
- **FWD**

## **Capítulo 1**

### **Generalidades**

#### **Planteamiento del Problema**

Para garantizar una mejor armonía y un nivel de serviciabilidad de las vías del mundo, se han desarrollado diferentes tipos de investigaciones en diversos países, orientándose a la innovación de los materiales, prolongando la durabilidad y a su vez extender la vida útil de proyectos. Es decir, la implementación de tecnologías no abordado a los materiales de los corredores presentes, para mejorar su nivel de servicio. Se evidencia que el continuo desarrollo de la tecnología permite analizar y determinar en forma muy próxima a la realidad la estructura de las vías, así como correlacionar los métodos convencionales. A nivel nacional se cuenta con aproximadamente 10000 km de red vial estatal en condiciones apropiadas (Ministerio de transporte y obras públicas, 2017), en su mayor parte están conformadas por hormigón asfáltico, el cual se ha visto afectado por diversos factores como la calidad del terreno donde se desarrolló el proyecto, las condiciones climáticas y sus cambios bruscos, presentes en las diferentes regiones del país, teniendo un gradiente térmico que oscila entre los 4°C y 23°C en un mismo día, el aumento del flujo vehicular presente en los últimos años, acarreado que los pavimentos trabajen a una carga mayor a la diseñada.

Todos estos aspectos han provocado modos de fallo en la estructura del pavimento, generando patologías severas y estas a su vez incitando malestar, inseguridad y un alto grado de accidentes, por lo que se ve en la necesidad de realizar el mantenimiento correctivo y preventivo.

Por otra parte, el Cantón Rumiñahui el cual posee un considerable porcentaje de vías de hormigón asfáltico, las cuales también se ha visto afectado por condiciones externas a las consideradas en el diseño.

Se puede observar en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en su anillo de circulación vial, misma que presenta signos de deformaciones permanentes y baches en la carpeta asfáltica, como causa del aumento progresivo de la comunidad universitaria en los últimos años, produciendo un mayor tiempo de circulación interna. Además de las variaciones, existen por un flujo de tráfico constante y debiéndose de forma semejante, a que su perímetro es utilizado como parqueadero lo cual provoca una sobrecarga de esfuerzos en uno de sus carriles.

Estos factores tienden a deteriorar de manera progresiva las mezclas asfálticas, presentando una fatiga en la capa de rodadura y deformaciones cíclicas permanentes en la estructura del pavimento, reflejando patologías agresivas; y estos a su vez provocando daños en su cimentación; siendo estos aspectos los causantes de un mayor índice de insatisfacción, riesgo de accidentes, con mínimo confort en la vía.

Se evidencia que no se ha tomado en cuenta un mantenimiento preventivo en este anillo de circulación vial, que refleje un estudio para prevenir el deterioro del pavimento, que minimice la necesidad de más trabajos de los necesarios como limpieza de alcantarillados, riesgos de taponamiento etc.

Durante los procesos de mejoramiento, o reasfaltado del pavimento que se han realizado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se pueden observar varias intervenciones en el pavimento, donde se presentan diferentes patologías de fallo los cuales se reflejan en la superficie de rodadura evidenciando un deterioro progresivo y permanente.

### **Antecedentes**

El crecimiento poblacional en la Universidad por pedido y en cumplimiento a los organismos de educación Superior como lo es el CES, SENACYT; evidencia un incremento de vehículos de diferente tipo de eje, además la relación con la situación

poblacional del Cantón Rumiñahui, que en general solicitan y se autoriza el uso de instalaciones como es el Coliseo Miguel Iturralde, estadios y canchas de recreación, para eventos culturales, sociales y deportivos, masifica el parque automotor donde la única vía a usarse es la del anillo vial, provocado que los modos de falla sean agresivos, evidenciando el desgaste de los materiales, las grietas y otros deterioros superficiales, que en su primera etapa no son notables, y presumiblemente pueden ser la causa de serios defectos si no son reparados.

Jácome Mantilla, 2014 acota que la inversión de capital público de forma adecuada mediante un proceso oportuno de construcción y fiscalización genera una apropiada circulación vehicular con menor desgaste en el pavimento.

López Castillo, 2014 afirma que las vías tienen un pavimento está sometido a la acción continua del tráfico, la meteorología y el envejecimiento natural de los materiales, conlleva una disminución en los niveles de seguridad y confort del tráfico, que al sobrepasar ciertos valores hacen necesaria una operación de conservación.

### **Justificación**

El desarrollo en el área vial es de vital importancia para el crecimiento de un país, pero a su vez mantener las vías en óptimas condiciones y acondicionar las existentes tiene un costo muy elevado, porque el pavimento es diseñado para un periodo de vida útil, y para brindar un servicio determinado, viéndose este reducido en su capacidad por factores que lo deterioran con mayor rapidez.

El anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe se encuentra con diferentes tipos de fallas en la capa de rodadura como grietas de contracción o de bloque, piel de cocodrilo, mancha de pavimentos, baches, ahuellamiento entre otras, lo que disminuye el concepto fundamental de una vía y no brinda un confort, calidad de la transitabilidad apropiado disminuyendo el servicio a los diferentes usuarios.

Por este motivo es indispensable plantear una alternativa de análisis de rehabilitación y evaluación técnica para solucionar la transitabilidad y presupuesto óptimo de reconstrucción aplicando tecnología de alto rendimiento lo que permite correlacionar los resultados de métodos convencionales con la tecnología de alto rendimiento con el equipo FWD que contiene sensores de deflexión.

Son aproximadamente 2.05 km de vía con deterioro de la capa de rodadura, y además se evidencia la deformación de algunos tramos por lo que se requiere inmediatamente una evaluación en la estructura de la vía, para saber sobre las condiciones de los materiales de la estructura del pavimento, si cumple la condición para lograr establecer una alternativa de diseño que puede ser un recapeo, reposición o las consideraciones que se puede alcanzar.

Una evaluación estructural y funcional permitirá identificar la capacidad de deformación del pavimento además verificar la resistencia a la deformación concluyendo y recomendando una propuesta de rehabilitación que permita un costo-beneficio a la universidad y por ende al estado.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Desarrollar la evaluación funcional y estructural del anillo vial de la universidad mediante métodos convencionales y de alto rendimiento Falling Weight Deflectometer, para identificación de las condiciones de la estructura del pavimento y alternativa de una propuesta de rehabilitación vial.

### ***Objetivos Específicos***

- Realizar evaluación funcional de la capa de rodadura del anillo vial de la universidad, mediante el método de inspección visual para la cuantificación de áreas afectadas.

- Analizar la estructura de las capas que conforman el pavimento (Subrasante, Sub base, base), mediante métodos directos establecidos por AASHTO, para su cumplimiento con las especificaciones MOP-001.
- Plantear una propuesta de rehabilitación mediante la inspección de sensores remotos detallados por el Falling Wheight Deflectometer, para la determinación del tipo de rehabilitación.

## Capítulo 2

### Marco teórico

#### Gestión de Infraestructura vial

De acuerdo a (ECURED, 2018), la gestión de infraestructura vial tiene dos objetivos fundamentales: asegurar que ésta se mantenga en buena condición y funcionamiento de forma continua; y optimizar el uso de los recursos públicos invertidos en su desarrollo y conservación, lo que no necesariamente significa gastar lo mínimo posible. En los últimos años se han presentado cambios significativos para entender y gestionar la infraestructura vial, basados en la filosofía de gestión de activos. Los principales fundamentos de este nuevo modelo de gestión son:

**Integral:** La infraestructura vial se compone de un conjunto de elementos, cada uno de los cuales cumple una función específica, que tienen como propósito asegurar un tránsito confortable y seguro de los usuarios (peatones y vehículos). Los pavimentos son considerados el elemento básico de la infraestructura vial, y por lo tanto el de mayor importancia; en torno a ellos se desarrollan los demás elementos complementarios: puentes, drenajes, señales y dispositivos de seguridad y aceras. La gestión de infraestructura vial debe contemplar todos estos elementos, asegurando que se encuentre en buena condición, y presten un servicio adecuado a los usuarios (ECURED, 2018).

**Estratégico:** La infraestructura vial es construida para servir de forma duradera a los usuarios, representa una importante inversión de recursos públicos, y su conservación requiere de un esfuerzo sostenido a lo largo de los años. Estas características hacen que su gestión se convierta en una actividad de carácter estratégico, que debe responder a una visión de largo plazo, orientada al logro de objetivos y metas, y la prestación de un servicio eficiente y de calidad para el transporte (ECURED, 2018).

**Sistemático:** Un sistema de gestión vial combina criterios y prácticas de carácter técnico, político, y administrativo; para administrar los recursos disponibles (humanos, técnicos, financieros) con eficiencia, y orientar la toma de decisiones hacia el logro de los objetivos institucionales, y la satisfacción de las necesidades y demandas de los usuarios. Los componentes principales de un sistema de gestión vial son: un diagnóstico y una base de datos actualizada sobre la condición y el funcionamiento de la infraestructura vial; la definición de los objetivos, metas y políticas institucionales; la definición de las estrategias y programas de conservación; los mecanismos de ejecución de obras; y los indicadores de evaluación de los resultados (ECURED, 2018).

**Eficiencia:** Este modelo de gestión propone hacer un uso eficiente de los limitados recursos públicos destinados a la infraestructura vial, haciendo énfasis en las actividades de conservación, por encima de la rehabilitación o la construcción nueva. Estas actividades, de bajo costo y fácil ejecución, permiten conservar la infraestructura en buena condición, y prolongar su vida útil; y con ello conservar el patrimonio vial acumulado por el país. En el caso de los pavimentos, la implementación de este esquema de conservación considera tres principios básicos: conocer la condición de los pavimentos a conservar; seleccionar y diseñar las intervenciones de conservación apropiadas; y ejecutarlas en el momento oportuno. (Infraestructura vial, 2015)

### **Pavimentos Flexibles**

La estructura de pavimento flexible formada por capas de diferente material, donde cada capa recibe las cargas transmitidas desde la superficie, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior. Por lo tanto, la capa más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. (UDEP, 2012)

Las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto, la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga de

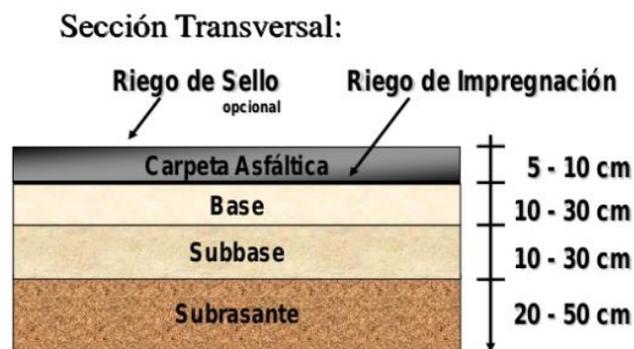
material (y la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en la parte inferior. (Canalconstruccion, 2016)

### Capas del Pavimento flexible:

La típica estructura de un pavimento flexible consta de las siguientes capas:

#### Figura 1.

*Sección Transversal de pavimento flexible*



*Nota.* Tomado del Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998

- **Capa superficial o de Rodadura:** es la capa superior y la capa que entra en contacto con el tráfico. Puede estar compuesta por uno o varias capas asfálticas.
- **Base:** Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa Superficial y, en general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).
- **Capa Sub-base:** Esta es la capa (o capas), que están bajo la capa de base. La Sub-base no siempre es necesaria.
- **Subrasante:** por lo general es el terreno que se encuentra natural donde se va a apoyar toda la estructura del pavimento, se considera que es de espesor infinito, por lo que no forma parte de la estructura en sí.

### **Duración de un Pavimento Flexible**

Cuanto mayor sea el módulo de resiliencia que se añada a la capacidad estructural de las capas de pavimento mayor resistencia se obtendrá. La carga se distribuye a lo largo de un área más amplia de la sub-base o suelo de apoyo.

El volumen de tráfico que está en continuo aumento en las carreteras y la creciente demanda de los pavimentos más fuertes, más duraderos y más seguros han llevado a la búsqueda de nuevos materiales para pavimentos, procedimientos de diseño y soluciones más rentables. Como resultado de estas investigaciones, hay constantemente innovaciones en los procedimientos de diseño y técnicas de construcción.

Una extensa red de carreteras y pistas de aterrizaje construidas con pavimentos de larga duración es esencial para el crecimiento y desarrollo de una economía, que depende en gran medida del transporte eficiente para el tráfico comercial y de personas, los pavimentos flexibles son el tipo más común de elección. Un número de factores que incluyen el clima y la carga de tráfico influyen en el rendimiento de pavimento flexible. (Patillo J. , 2000)

### **Importancia del diseño estructural**

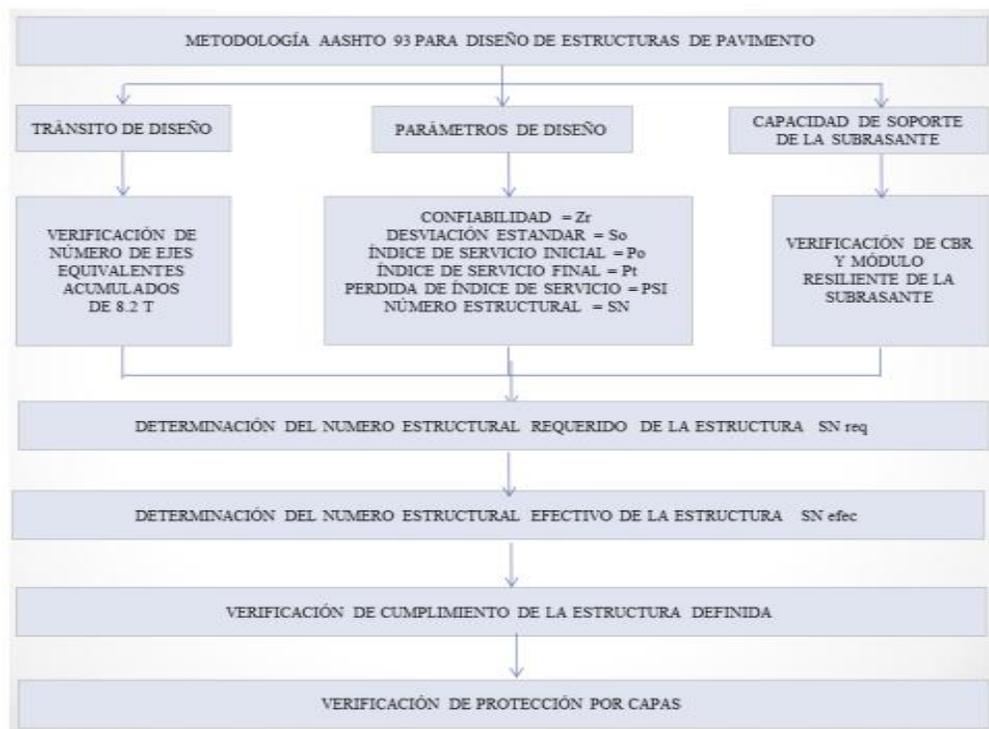
El usuario aprecia la calidad y condición de servicio de una carretera de acuerdo a su estado superficial, seguridad de tránsito y economía en su operación. Todos estos factores han sido resumidos en un índice llamado "índice de Servicio o de Serviciabilidad" (según la "pista de prueba" de la AASHTO). (UDEP, 2012)

### **Diseño de pavimentos método AASHTO 93**

Los parámetros de cálculo para el desarrollo del diseño se describen a continuación:

Figura 2.

Método de diseño AASHTO



Nota. Tomada del Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998  
**Índice de Serviabilidad ( $\Delta$ PSI):**

El ( $\Delta$ PSI) mide las irregularidades superficiales, deterioro, grietas, ahuellamiento, etc.; defectos que dependen en forma relevante de la estructura del pavimento. La variación del óptimo ( $\Delta$ PSI) hasta el valor más bajo tolerable por el usuario determina la vida útil del pavimento. Es así que una estructuración insuficiente acortará esta vida útil. Por otra parte, los diseños se proyectan para una duración de su estructura llamada horizonte o vida de diseño. Esta condición tampoco será cumplida en la realidad, si el diseño no representa en forma adecuada su entorno y parámetros solicitantes. (Patillo J. , 2000)

La Guía AASHTO establece que “La serviabilidad es la habilidad específica de una sección de pavimento para servir al tráfico”. Se deben elegir, la serviabilidad inicial

y final. La inicial es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, y la final está relacionada a la falla funcional del pavimento. (Cossi, 2012)

El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue:

1. Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.
2. El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.
3. La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.
4. Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
5. El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

El  $\Delta$ PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo a una escala de valores de 0 a 5. Claro está, si el usuario observa agrietamientos o deterioros sobre la superficie del camino aún sin apreciar deformaciones, la clasificación decrece.

**Tabla 1**

*Clasificación AASHTO  $\Delta$ PSI*

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (PS)	CALIFICACIÓN
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mara
1-0	Muy mala

*Nota.* tomado del Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998

El índice deservicio inicial  $P_o$  depende del diseño y de la calidad de la construcción. En los pavimentos flexibles estudiados por la AASHTO, el pavimento nuevo alcanzó un valor medio de  $P_o = 4,2$ .

El índice de servicio final  $P_t$  representa al índice más bajo capaz de ser tolerado por el pavimento, antes de que sea imprescindible su rehabilitación mediante un refuerzo o una reconstrucción. El valor asumido depende de la importancia de la carretera y del criterio del proyectista, se sugiere para carreteras de mayor tránsito un valor de  $P_t \geq 2,5$  y para carreteras de menor tránsito  $P_t = 2,0$ .

Esta situación quedará reflejada en una diferencia entre la vida útil y el tiempo de duración estimado en el proyecto. Al producirse un acortamiento de la vida útil, se habrá perdido a su vez los resultados obtenidos de los estudios de pre factibilidad y de priorización de la inversión que fueron determinados sobre la base de un diseño poco acertado. Analizada la importancia del diseño estructural desde otro punto de vista, se recuerda que el costo total de una carretera es (Patillo B. J., 1990):

$$CT = C_{constr} + C_{mant} + C_{oper} \pm Vr$$

Donde:

**Ct:** Costo Total

**Cconstr:** Costo de Construcción

**Cmant:** Costo de Conservación

**Coper:** Costo de Operación

**Vr:** Valor residual de la carretera después de la vida útil.

### **PÉRDIDA O DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD**

Los valores anteriormente descritos nos permiten determinar la disminución del índice de servicio, que representa una pérdida gradual de la calidad de servicio de la carretera, originada por el deterioro del pavimento. (Cossi, 2012)

Por tanto:

$$PSI = P_o - P_t$$

Donde:

- PSI=Índice de Servicio Presente
- $\Delta$ PSI=Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado
- $P_o$ =Índice de servicio inicial
- $P_t$ =Índice de servicio final

### **Evaluación técnica de los pavimentos**

La evaluación técnica del estado del pavimento, tanto desde el punto de vista del nivel de servicio que otorga al usuario, como de la capacidad de resistir las solicitaciones de cargas durante un periodo de su vida útil, es el paso fundamental para asignar las acciones de conservación más adecuadas que deben ser aplicadas en el pavimento a evaluar. El diagnóstico de las condiciones del pavimento comprende básicamente una evaluación del estado funcional del pavimento y una evaluación de las condiciones estructurales de este.

Se entiende por vida útil, el número acumulado de ejes equivalentes que soportará el pavimento en los años de vida de diseño. El número ejes equivalentes de diseño tiene además asociado un coeficiente de confiabilidad que puede ser desde un 50% hasta un 90%, según sea la importancia del camino.

### ***Evaluación estructural del pavimento***

La evaluación estructural es una técnica que proporciona un conocimiento detallado de la estructura de un pavimento. La metodología de auscultación ha variado con el tiempo en función de los continuos avances de la tecnología, buscando una evolución sistemática de los parámetros característicos del pavimento posibilitando un buen rendimiento operacional. (Higuera, 2015)

La evaluación estructural se la puede realizar dentro de tres aspectos:

- La exploración geotécnica
- Estudio deflectométrica
- La inspección visual

Para la presente investigación se realizará la inspección visual por dos métodos muy sencillos.

### ***Evaluación funcional del pavimento***

La evaluación funcional del pavimento, donde su objeto es reconocer las deficiencias de la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos los factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario.

Entre este tipo de deficiencias se encuentran:

- Rugosidad
- Fallas superficiales
- Pérdida de fricción.

**a) Rugosidad:** son las irregularidades presentes que afectan la calidad de rodado de los vehículos es decir se presentan en la superficie del pavimento, y además afecta la calidad del servicio brindada al usuario. Uno de los principales esfuerzos para calificar y cuantificar esta calidad de servicio, fue desarrollado durante la prueba AASHTO. En ella se propusieron los siguientes términos para definir la calidad con que el pavimento sirve al usuario.

- 1) **PSR (Present Serviciability Rating):** El juicio subjetivo de un observador respecto a la capacidad actual del pavimento para servir al usuario.

- 2) **PSI (Present Serviciability Index):** Corresponde a una estimación del PSR basada en correlaciones con mediciones objetivas de rugosidad y otros defectos presentes en el pavimento tales como grietas, baches y ahuellamiento. El PSI fue correlacionado con los parámetros de deterioro del pavimento y de esta forma se originaron las fórmulas AASHTO de diseño estructural.

Otra medida de rugosidad corresponde al IRI (índice de Rugosidad Internacional) el cual fuera desarrollado en Brasil para el Banco Mundial como el parámetro de deterioro más importante del modelo HDM III.

**b) Fallas Superficiales:** Son los defectos medibles (sin necesidad de equipos especiales) que se manifiestan en la superficie del pavimento. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo, su detección oportuna es importante, ya que, permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro volviéndose importante efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas. Esto se realiza mediante una inspección visual empleando fichas diseñadas especialmente para este efecto. Estas fichas según la importancia del proyecto pueden ser elaboradas con diferentes grados de detalle.

**c) Pérdida de Fricción:** defecto que tiene su relación con la seguridad del usuario, particularmente en segmentos de alta velocidad, zonas de frenado (cruce de peatones, colegios, etc.) y curvas de radio pequeño o curvas de radio amplio con peraltes menores a 6%. La pérdida de fricción se produce como resultado de una disminución combinada o individual de la macrotextura como de la microtextura superficial del pavimento, lo cual llega a producir accidentes, especialmente cuando el pavimento se encuentra mojado.

Las soluciones típicas asociadas a la restauración de la funcionalidad de un pavimento son las acciones de conservación preventivas tales como (Gaete, 2012):

a) Asfalto:

- 1) Reparación de baches abiertos.
- 2) Sellado de grietas mayores a 3 mm. de abertura.
- 3) Tratamiento en base a capas sellantes:
  - Sellos de Lechada Asfáltica (Slurry Seal)
  - Sellos de Agregado
- 4) Frezado superficial y reemplazo del espesor frezado.
- 5) Recapeado funcional: Capa delgada de asfalto la cual no aporta capacidad estructural en forma significativa.

### ***Análisis de la evaluación del pavimento***

#### **La inspección Visual**

La inspección visual consiste en identificar las fallas de un pavimento y el análisis de sus causas y sus efectos.

Las fallas de pavimentos generalmente se dividen en tres grupos fundamentales:

- Fallas por insuficiencia estructural: estas fallas ocurren por dos razones las cuales pueden ser que se utilizó materiales con baja resistencia o materiales que cumplen las normas de calidad, pero cuyos espesores son insuficientes.
- Fallas por defectos constructivos: normalmente ocurre cuando a pesar de utilizar materiales resistentes y bien proporcionados, se ha producido errores constructivos que comprometen el funcionamiento de los dos factores.
- Fallas por fatiga: generalmente esto se desarrolla por el paso continuo de las cargas de tránsito, que tienden a desgastar el material haciéndolo perder

resistencia a pesar de cumplir con una correcta proporción y materiales de buena calidad.

### Fallas o Daños en el pavimento

Las fallas o daños de los pavimentos flexibles se clasifican en: deformaciones, fisuras, desprendimientos, baches. Como indica la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Fallas y daños en los pavimentos flexibles*

	Tipo	Definición	Símbolo	Foto
<b>Deformaciones</b>	Asentamiento Transversal	Son hundimientos en sentido perpendicular al eje de la vía	AT	
	Asentamiento Longitudinal	Son hundimientos que se presentan a lo largo de las huellas de vehículos debido a la canalización del tránsito	AL	
	Abultamientos	Son protuberancias sucesivas de la superficie del pavimento	BU	
	Desplazamiento de bordes	Son distorsiones y corrimientos localizados de la capa asfáltica en los bordes del pavimento	DB	
	Depresiones	Son hundimientos del pavimento, generalmente localizados en forma circular o semejante	H	
	Media Luna	Son hundimientos en los bordes de la banca. Les falta estabilidad en los taludes del terraplén	ML	

<b>Fisuras</b>	Longitudinales: (En las huellas FLH) (Fuera de las huellas FL)	Son fisuras sensiblemente paralelas al eje de la vía	FLH FL	
	Transversales: (En las huellas FTH) (Fuera de las huellas FT)	Son fisuras sensiblemente perpendiculares al eje del pavimento	FTH FT	
	Media Luna	Son fisuras que se presentan en forma parabólica en los extremos de la banca	FML	
	De Junta	Son fisuras longitudinales en la unión de dos franjas de capa de rodadura en el concreto asfáltico	FJ	
	Parabólicas	Son fisuras en forma de parábola, con su eje paralelo al eje de la calzada	FP	
	En Bloque	Son fisuras que forman amplios polígonos con ángulos más o menos rectos	FBL	
<b>Desprendimientos</b>	Piel de Cocodrilo	Son fisuras interconectadas formando pequeños polígonos en forma de malla	PC	
	Descascaramiento	Son pérdidas de fragmentos de la capa asfáltica sin afectar las siguientes capas del pavimento.	O	
	Ojo de Pescado	Son cavidades en forma redondeada con bordes bien marcados que resultan del desprendimiento de material de las capas superiores	OP	

<b>Bacheo</b>	Tapado	Son baches tapados en concreto asfáltico o tratamientos superficiales	B	
	Destapado	Son baches en la superficie de rodadura de la vía	DB	

*Nota.* Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos, Higuera 2015

Los daños antes mencionados producen efectos tanto estructurales como funcionales y se asocian según la siguiente tabla:

**Tabla 3**

*Asociación de daños a los tipos de falla*

	Daño Asociado	Tipo de Falla
<b>DAÑOS ESTRUCTURALES</b>	Daños estructurales asociados a la inestabilidad de la banca	Fisuras longitudinales Fisuras Transversales Fisuras media luna
	Daños estructurales asociados a la fatiga de la capa asfáltica	Fisuras transversales en las huellas Fisuras longitudinales en las huellas Fisuras piel de cocodrilo Fisuras en bloque Ojo de pescado
	Daños estructurales asociados a la deformación del perfil por deformación plástica acumulada	Asentamientos transversales Asentamientos longitudinales Hundimientos
	Daños superficiales asociados a deficiencias en el diseño o fabricación de la capa asfáltica	Fisuras Parabólicas Fisuras de Junta Desplazamiento de borde Descascaramiento Ojo de Pescado Surcos Exudación
<b>DAÑOS SUPERFICIALES</b>	Daños superficiales asociados a deficiencias en la calidad de los materiales y en su afinidad	Perdida de agregado Perdida de ligante Ojo de Pescado Pulimento Descascaramiento Cabezas duras

*Nota.* Tomado de Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos, Higuera 2015)

### Ensayo Cono de Penetración Dinámico (DCP)

El Cono de Penetración Dinámico (D.C.P) es una herramienta que permite realizar una auscultación in situ de las capas de suelo componentes de un pavimento durante su construcción en su etapa de servicio. El principio de funcionamiento es muy simple: una sonda con su extremo en forma de cono penetra a través de las capas en forma continua bajo la acción dinámica de una masa (m), que cae libremente desde una altura (H), ambas fijas y preestablecidas. (Frateschi, 2015)

Entre los usos posibles de los ensayos se destacan:

- Reconocimiento rápido del terreno.
- Verificación de eficiencia de los equipos de compactación utilizados en obra
- Control durante la construcción de las capas que componen el paquete.
- Detección e identificación de anomalías en alguno o algunas de las capas una vez construidas

### Figura 3.

*Ensayo DCP*



La penetración que se mide está en función de la resistencia al corte “in situ” de los materiales y el perfil de resistencia en profundidad, da una indicación de las propiedades de los materiales de todas las capas de la estructura hasta una

profundidad de auscultación determinada. El equipo es liviano, fácilmente transportable por una persona y su operación es totalmente manual, no requiriendo para la ejecución de la prueba de ningún otro dispositivo auxiliar. (Mencat, 2014)

El DCP es una herramienta muy utilizada en la actualidad para realizar auscultaciones in situ, especialmente en el ámbito de la geotecnia vial. Para usos viales, se han desarrollado diferentes correlaciones entre los resultados del DCP y parámetros característicos del suelo, como el Valor Soporte Relativo (CBR), el Módulo Resiliente y la Resistencia a la Compresión no Confinada (Angelone et al, 1994; Bessone y Delprato, 2000).

En Sudáfrica, el DCP fue utilizado como una herramienta útil en la medición de la capacidad estructural del pavimento (Yoder, 1975). En base a ello, se logró desarrollar un método de diseño y refuerzo de pavimentos basado en esta metodología de auscultación (Angelone et al, 1994).

### **Deflectómetro de Impacto (FWD)**

El FWD está diseñado para impartir un impulso de carga sobre la superficie del pavimento, simulando la carga producida por una rueda rodante del vehículo. La carga se produce dejando caer un gran peso sobre un conjunto de topes de goma en un soporte conectado a una placa de carga circular. Se mide las deflexiones a través de una celda de carga montada en la parte superior de la placa que mide la carga impartida y los sensores de deflexión (geófonos) montados radialmente desde el centro del plato de carga miden la deformación del pavimento en respuesta a la carga.

La respuesta del pavimento se analiza con un software, para determinar los módulos elásticos, los esfuerzos y las deformaciones de cada capa modelada. El software puede reportar la capa más débil y el modo de falla, vida residual y determina las alternativas óptimas de rehabilitación.

El Deflectómetro de Impacto FWD (Falling Weight Deflectometer) está disponible como un remolque o una versión montada en camión (Truck Mounted Deflectometer) (solamente en Estados Unidos) que cumple todas las normas FWD en todo el mundo.

### **Beneficios del Deflectómetro de Impacto FWD (Falling Weight *Deflectometer*)**

- Pruebas estructurales automatizadas y rápidas aplicables a los pavimentos de todo el mundo.
- Control de calidad de pavimentos nuevos (QC/QA).
- El uso del Deflectómetro de Impacto FWD (Falling Weight Deflectometer) proporciona datos estructurales precisos, reproducibles y repetibles.

Utiliza el análisis empírico-mecanicista aplicable a la mayoría de las estructuras de pavimento.

### **Diseño de refuerzos de pavimentos flexibles**

#### ***Método ASSHTO y la información del Deflectómetro de impacto FWD***

La capacidad estructural de un pavimento en servicio se puede determinar mediante pruebas “no destructivas”, que se basan en la interpretación del cuenco de deflexiones generado por el impacto de una carga estándar, y con la técnica denominada del retrocálculo se pueden determinar los módulos de elasticidad de las diferentes capas que componen el modelo estructural de un pavimento en servicio.

(HIGUERA, 2009)

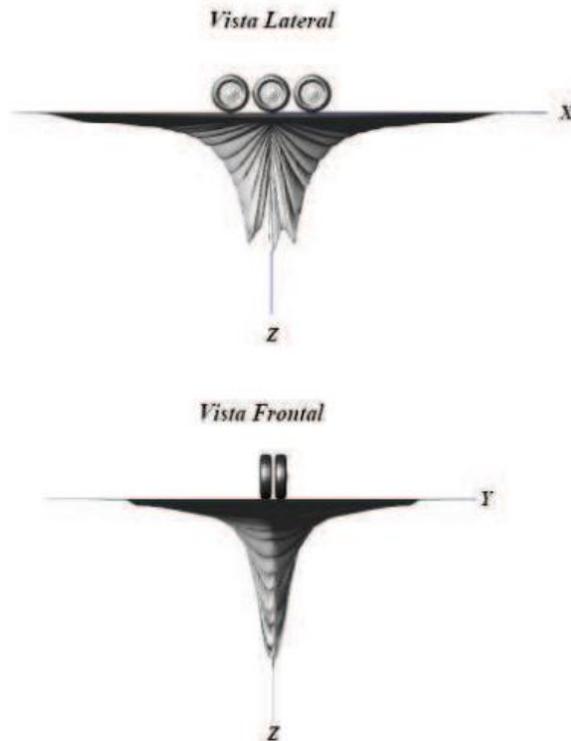
#### ***Deflexión***

La deflexión de un pavimento se define como el valor que representa la respuesta estructural ante la aplicación de una carga vertical externa. También se define como el desplazamiento vertical del paquete estructural de un pavimento ante la aplicación de una carga; generalmente, la carga es producida por el tránsito vehicular. Cuando se aplica una carga en la superficie no solo se desplaza el punto bajo su

aplicación, produciendo una deflexión máxima, sino que también se desplaza una zona alrededor del eje de aplicación de la carga, que se denomina cuenco de deflexión

**Figura 4.**

*Esquema de un cuenco de deflexión*



*Nota.* Tomado del Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998.

La deflexión permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que, si la deflexión es alta en un modelo estructural, la capacidad estructural del modelo de pavimento es débil o deficiente, y lo contrario, si la deflexión es baja, quiere decir que el modelo estructural del pavimento tiene buena capacidad estructural.

***Fundamentos del deflectómetro de impacto***

El deflectómetro de impacto genera un cuenco de deflexión, y la caracterización del cuenco determina una serie de parámetros que permiten calcular la capacidad de la

subrasante de una estructura de pavimento. Los ensayos de impacto son muy utilizados para determinar la resistencia de la subrasante con el equipo denominado deflectómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer –FWD–); dado que son no destructivos, constituyen una tecnología muy valiosa y rápida, que cuando se aplica adecuadamente provee una vasta información a muy razonables costos y tiempo.

**Figura 5.**

*Deflectómetro de impacto.*



*Nota.* Tomado de Internet\FallingWeight Deflectometer

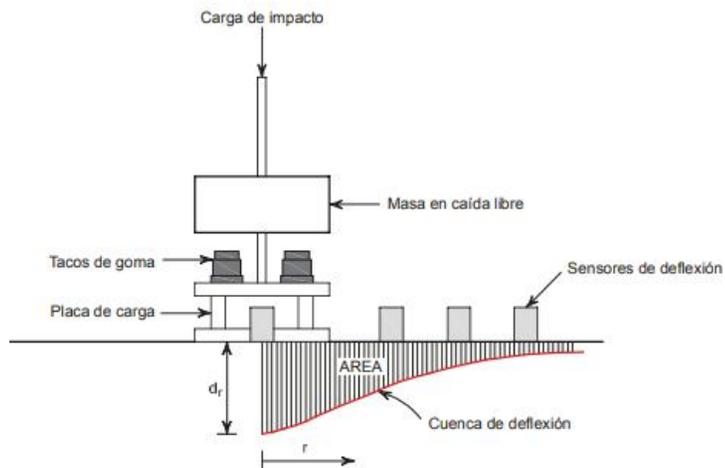
Este método involucra una evaluación directa de la resistencia de la subrasante y el pavimento existente. En pavimentos flexibles se utiliza para determinar el módulo resiliente de la subrasante, mientras que para pavimentos rígidos se utiliza para determinar la transferencia de carga en juntas y fisuras, estimar el módulo de reacción efectivo de la subrasante y el módulo de elasticidad del concreto.

El deflectómetro de impacto se fundamenta en la generación de una onda de carga en el pavimento o sobre la capa por estudiar. La onda es ocasionada por el impacto de la caída de una masa, y es transmitida al pavimento por medio de un

sistema de amortiguadores elásticos apoyados sobre una placa de carga, como se aprecia en la figura 20

**Figura 6.**

*Esquema de funcionamiento del deflectómetro de impacto.*



*Nota.* Tomado de Internet\Falling Weight Deflectometer

Tanto la masa como su altura de caída y el sistema de amortiguadores elásticos pueden ser variados, para generar el impacto deseado en el pavimento o en la subrasante por evaluar. Los sensores, generalmente, se localizan a una distancia "r" de 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 cm, medida entre el eje de carga del sistema y el sitio de ubicación de cada sensor.

La deflexión "dr" registrada por un sensor ubicado a una distancia "r" del eje de carga es debida a la deformación de la porción del pavimento que se encuentra dentro de la zona de tensión generada por el impacto sobre el pavimento o la subrasante. Conocida la carga, la relación de Poisson de la subrasante, el diámetro del plato de carga y la deflexión, se puede calcular el valor del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles y el módulo de reacción de la subrasante en pavimentos rígidos,

así como el de las distintas capas de una estructura del pavimento, mediante el procedimiento conocido como retrocálculo o cálculo inverso que se explica en el punto 2.8.3.

### ***Métodos para determinar la resistencia de la subrasante***

#### **Con información del Deflectómetro de impacto con Método AASHTO 1993**

##### **Módulo resiliente de la subrasante.**

El método simplificado para estimar el módulo resiliente de la subrasante a partir de deflexiones medidas en la superficie de pavimentos por capas fue propuesto por Ullidtz (1977; 1987), y está basado en los siguientes supuestos, para una estructura elástica multicapas:

- Como la distancia desde la carga se incrementa, la compresión de las capas arriba de la subrasante llega a ser menos significativa de ser medida en la superficie del pavimento.
- Como la distancia desde la carga se incrementa, la aproximación de una carga distribuida por un punto de carga mejora.

La primera observación significa que, a una distancia radial suficiente desde la carga aplicada, la deflexión medida en la superficie del pavimento es influenciada mayormente por la deflexión en la parte superior de la subrasante. De esta manera, la deflexión medida depende enteramente de las propiedades elásticas de la subrasante, sin tomar en cuenta el número, espesor y propiedades elásticas de las capas superiores.

La segunda observación es consecuencia de una comparación de deflexiones que resultan de una carga circular distribuida precedida, usando el programa BISAR 3.0 de la Shell, de capas elásticas a varias distancias radiales en la estructura multicapas, a deflexiones predichas a las mismas distancias usando la ecuación de Boussinesq para

un sistema de una sola capa. Con estas observaciones se determinó que el módulo resiliente de la subrasante puede ser obtenido por retrocálculo con las deflexiones medidas en el deflectómetro de impacto, para el sensor ubicado a 180 cm del eje de carga, utilizando la siguiente expresión:

$$Mrr = \frac{P(1 - \mu^2)}{\pi * r * dr}$$

Donde:

**Mrr:** Módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante (MPa o lb/pulg<sup>2</sup>)

**P:** Carga aplicada en el impacto (kN o libras)

**μ:** Relación de Poisson de la subrasante

**dr:** Deflexión registrada a la distancia r medida desde el centro de carga (centímetros o pulgadas)

**r:** Distancia entre el eje de carga del sistema y el sensor dado (centímetros o pulgadas)

Asumiendo una relación de Poisson de 0.5, el módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante se determina como:

$$Mrr = \frac{0.24P}{\pi * r * dr}$$

Para propósitos prácticos, la deflexión usada en estas ecuaciones debería ser la más cercana posible a la del plato de carga. De todas maneras, la distancia debe también ser suficientemente lejana desde el plato de carga para satisfacer las consideraciones asumidas. El siguiente análisis fue desarrollado para determinar la mínima distancia radial "r" a la cual las deflexiones pueden ser medidas sin introducir un error en el módulo resiliente determinado por retrocálculo:

$$a = \sqrt{a^2 + \left( D * \sqrt[3]{\frac{Ep}{Mrr}} \right)^2}$$

Donde:

**ae:** Radio del bulbo de tensión en la interfase pavimento-subrasante (pulgadas)

**a:** Radio del plato de carga (pulgadas)

**D:** Espesor total del pavimento por encima de la subrasante (pulgadas)

**Ep:** Módulo efectivo de todas las capas del pavimento por encima de la subrasante (lb/ pulg<sup>2</sup>), definido como:

$$\Delta_0 = 1.5qa \left[ \frac{1}{Mrr * \sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} * \sqrt[3]{\frac{Ep}{Mrr}} \right)^2}} + \frac{\left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{Ep} \right]$$

Donde:

**Δ0:** Deflexión máxima medida en el centro de la placa de carga corregida a 20 °C (pulgadas)

**q:** Presión de la placa de carga (lb/pulg<sup>2</sup>)

De acuerdo con lo propuesto por AASHTO en la Guía de diseño para estructuras de pavimento (1993), la deflexión empleada para retrocálculo del módulo de la subrasante debe ser medida lo suficientemente lejos, de tal modo que provea un buen estimativo del módulo resiliente de la subrasante, independientemente de los efectos de cualquiera de las capas por encima de esta; pero también debe estar lo suficientemente cerca, de tal modo que no sea muy pequeña e impida una medición precisa. La mínima distancia debe determinarse siguiendo la siguiente relación:

$$r = 0.7a_e$$

Determinar el módulo resiliente de diseño con retrocálculo, a partir de ensayos no destructivos, requiere del factor de ajuste C, para hacerlo consistente con el valor que representa la subrasante. Un valor de 0.33 es recomendado para el factor de ajuste C; con este, entonces, se ajustan los valores del módulo resiliente obtenidos por retrocálculo a los valores del módulo resiliente real de la subrasante.

La ecuación resultante para determinar el módulo resiliente o de diseño de la subrasante es:

$$Mr = C * \frac{0.24P}{\pi * r * dr} \text{ ó } Mr = C * Mrr$$

Donde:

**P:** Carga aplicada (libras)

**Mr:** Módulo resiliente de la subrasante (lb/pulg<sup>2</sup>)

**Mrr:** Módulo resiliente por retrocálculo de la subrasante (lb/pulg<sup>2</sup>)

**C:** Factor de ajuste (0.33)

### **Número estructural efectivo del pavimento, S<sub>Nef</sub>**

Representa la capacidad estructural de un modelo de pavimento flexible, calculado a partir de la información del cuenco de deflexión, del módulo equivalente y del espesor total del modelo estructural, y se determina por medio de la ecuación.

$$SN_{ef} = 0.0045D \sqrt[3]{Ep}$$

Donde:

**S<sub>Nef</sub>:** Número estructural efectivo de la estructura de referencia

**D:** Espesor total del pavimento (pulgadas)

**Ep:** Módulo efectivo del pavimento (lb/pulg<sup>2</sup>)

## Esfuerzos, Deformaciones Y Deflexión Admisibles

La estructura de pavimento reforzada se debe chequear por medio del método racional, con el propósito de verificar que los esfuerzos, deformaciones y deflexión críticos no superen los valores admisibles.

### **Criterio (Shell) para precisar la deformación radial adm. de tracción**

#### **En la base de la capa asfáltica, $\epsilon_{radm}$**

La ley de fatiga de la Shell se expresa de la siguiente manera:

$$\epsilon_{fat} = (0,856V_b + 1,08)E_1^{-0,36} \left(\frac{N}{K}\right)^{-0,20}$$

Donde:

**$\epsilon_{fat}$ :** deformación de tracción admisible de la capa asfáltica (m/m)

**$V_b$ :** porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla

**$E_1$ :** módulo dinámico de la mezcla asfáltica (N/m<sup>2</sup>)

**$N$ :** tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

**$K$ :** Coeficiente de Calage ( $k_1 \times k_2 \times k_3$ )

**Tabla 4**

*Coeficiente de Calage*

		Mezclas abiertas con bajos porcentajes de asfalto	Mezclas densas con altos porcentajes de asfalto
Auto reparación de fisuras pequeñas	$K_1$	2.0	10.0
Distribución lateral de cargas	$K_2$		2.5
Diferentes temperaturas de trabajo de la mezcla por día por año	$K_3$	Espesores pequeños Temperaturas bajas 1.00	Espesores altos Temperaturas altas 0.33

*Nota.* tomado de Universidad de Cauca, 1985 (pág. 197; Higuera, 2015)

El modelo de fatiga propuesto por la Shell incorpora el coeficiente de Calage, que relaciona el número de aplicaciones de carga de diseño con el número de aplicaciones de carga en un ensayo dinámico de laboratorio. El factor considera principalmente variaciones laterales de las cargas de tránsito, condiciones de temperatura de trabajo de la mezcla y diferentes estados de tensiones.

***Criterio (Shell) determinar deformación vertical admisible de compresión***

Deformación vertical admisible de compresión sobre subrasante,  $\epsilon_{zadm}$ : El criterio de la deformación admisible de compresión sobre la subrasante está en función del grado confiabilidad, y sus expresiones de cálculo para diferentes niveles de confianza son las siguientes:

**Tabla 5**

*Criterio (Shell) determ. deform. vertical adm. por compresión de subrasante.*

Nivel de Confianza, NC %	Ley de fatiga
50	$\epsilon_{zadm} = 2,80 * 10^{-2} N^{-0,25}$
85	$\epsilon_{zadm} = 2,10 * 10^{-2} N^{-0,25}$
95	$\epsilon_{zadm} = 1,80 * 10^{-2} N^{-0,25}$

Donde:

$\epsilon_{zadm}$ : Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante.

**N:** Número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el período de diseño

***Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante,  $\sigma_{zzadm}$***

El esfuerzo admisible de compresión sobre la subrasante se define según los criterios de Dormon-Kerhoven y de la CRR de Bélgica. Las expresiones de cálculo son las siguientes:

***Criterio de DORMON-KERHOVEN:***

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,007 * E_s}{1 + 0,7 * \log N}$$

Donde:

$\sigma_{zadm}$ : Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante, kg/cm<sup>2</sup>

**N**: Número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el período de diseño

**Es**: Módulo resiliente de la subrasante, kg/cm<sup>2</sup>

**Criterio de la CRR de Bélgica:**

$$\sigma_{zadm} = \frac{0,9607 * CBR^{1,2}}{N^{0,229}}$$

Donde:

$\sigma_{zadm}$ : esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante, kg/cm<sup>2</sup>.

**N**: Número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el período de diseño

**CBR**: capacidad de soporte del suelo de la subrasante, %.

### **Deflexión vertical admisible en la superficie, $\Delta_{zadm}$**

Las medidas de deflexión son un criterio de deformabilidad que permite evaluar el estado y la capacidad estructural de un pavimento, en función del número de aplicaciones de carga que este es capaz de soportar antes de alcanzar la falla.

La deflexión vertical admisible en la superficie de la estructura de pavimento se calcula con la expresión propuesta por Yang H. Huang:

$$\Delta_{zadm} = 23,32202N^{-0,238}$$

Donde:

$\Delta_{zadm}$ : Deflexión vertical admisible, mm

**N**: Número de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el período de diseño

## **Señalización vial**

La señalización está constituida por marcas viales y delineadores que tienen como función complementar las reglamentaciones o informaciones de otros dispositivos de tránsito o transmitir mensajes. (Hidalgo, 2017)

Los colores de las señalizaciones que se encuentran en el pavimento longitudinal estarán dados por:

Líneas Amarillas: Separación de Tráfico viajando en direcciones opuestas (sentido contrario), restricciones, borde izquierdo de la vía (en caso de tener parterre)

Líneas Blancas: Separación de flujo de tráfico en la misma dirección (mismo sentido), borde derecho de la vía (berma), zonas de estacionamiento, proximidad a un cruce de cebra

La presente investigación se enmarca en estándares de Reglamentos Técnicos Ecuatorianos INEN, en lo que refiere a diseño del sistema de señalización y seguridad vial vigentes al año 2012. La codificación de las señales horizontales y verticales es la utilizada en los documentos del INEN que son los últimos vigente en el Ecuador, las letras de identificación son: R señales regulatorias, P señales preventivas, I señales informativas, D señales especiales delineadoras, T señales y dispositivos para trabajos viales, E señales escolares, SR señales riesgos. (Hidalgo, 2017).

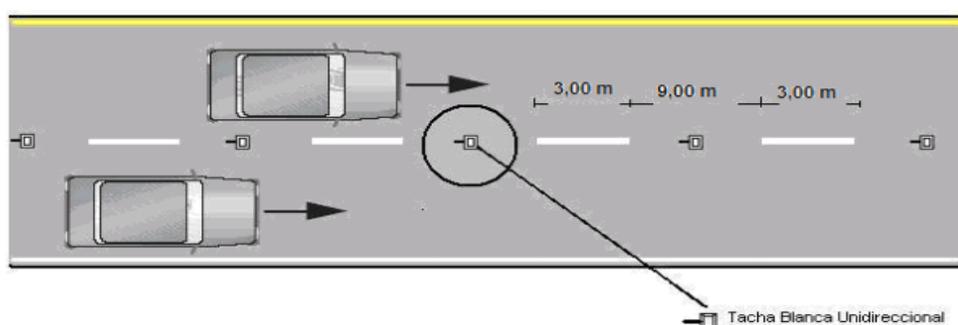
### ***Señalización Horizontal***

Este tipo de señalización se conforma por marcas horizontales en el pavimento y las cuales proporcionan órdenes a los conductores, informar las condiciones en las que se encuentra la vía y reglamentar la circulación del tráfico. La señalética horizontal más utilizada en la zona de estudio y de acuerdo a la tipología de la vía, cumpliendo la NORMA RTE INEN 004-2:2011 que presenta debe ser la siguiente:

Líneas de separación de carriles. - Estas líneas son segmentadas, separan el flujo de tráfico que se dirige en una misma dirección, son de color blanco, y su finalidad es ordenar el tráfico y posibilitan un uso más seguro, debido a que la velocidad de la vía es mayor a 50 Km/h en ancho de línea es de 150 mm., como se ilustra en la figura 5.

**Figura 7:**

*Línea de separación de carriles*

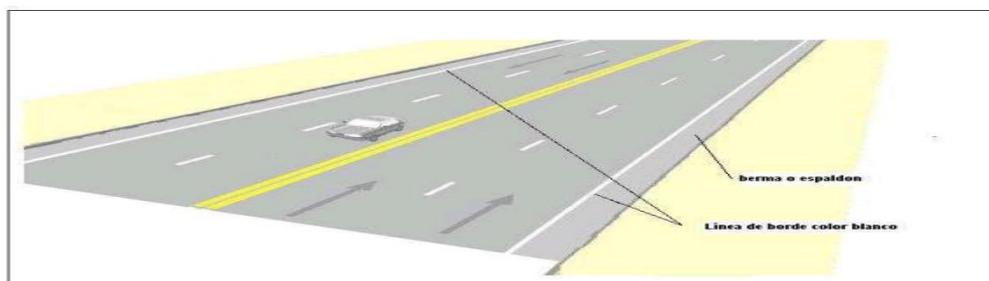


*Nota.* tomado de Señalización Vial. Parte 2. Señalización Horizontal, INEN 2011)

Líneas de borde. - Son líneas continuas de color blanco, cuya finalidad es distribuir de manera correcta los carriles de circulación que están dados por la velocidad de la vía que en el caso en estudio es 90 Km/h por lo tanto el ancho del carril esta entre 3.00 y 3.50 metros, considerando que mientras más ancho sea el carril es más seguro.

**Figura 8:**

*Líneas de borde*



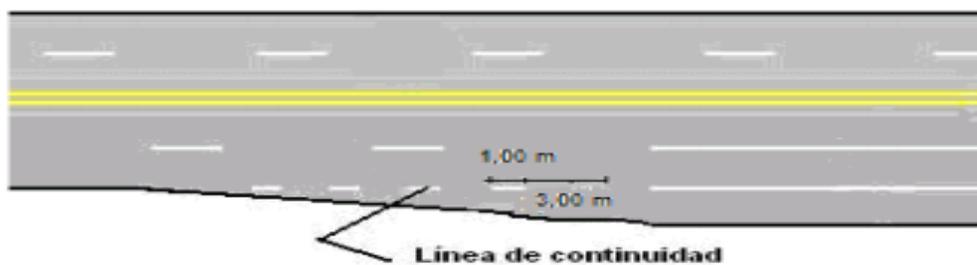
*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 2. Señalización Horizontal, INEN 2011)

Líneas de continuidad. - Son líneas de color blanco, segmentadas cuyo ancho es entre 150 y 200 mm, con líneas pintadas de 1,00 m y espaciamiento de 3,00 m, su

finalidad es indicar, borde de la vía que se destina al tráfico que circula recto y donde la línea segmentada puede ser cruzada.

**Figura 9:**

*Líneas de continuidad*

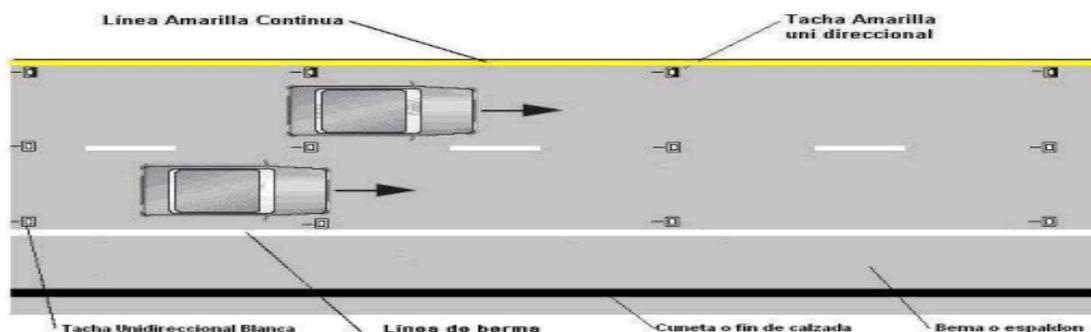


*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 2. Señalización Horizontal, INEN 2011.

Líneas de Borde de Calzada. - Son líneas continuas de color amarillo, su función principal es indicar el borde de la calzada a los conductores especialmente en condiciones de visibilidad reducida, su ancho mínimo para la zona de estudio es de 150 mm.

**Figura 10:**

*Líneas de borde de calzada*



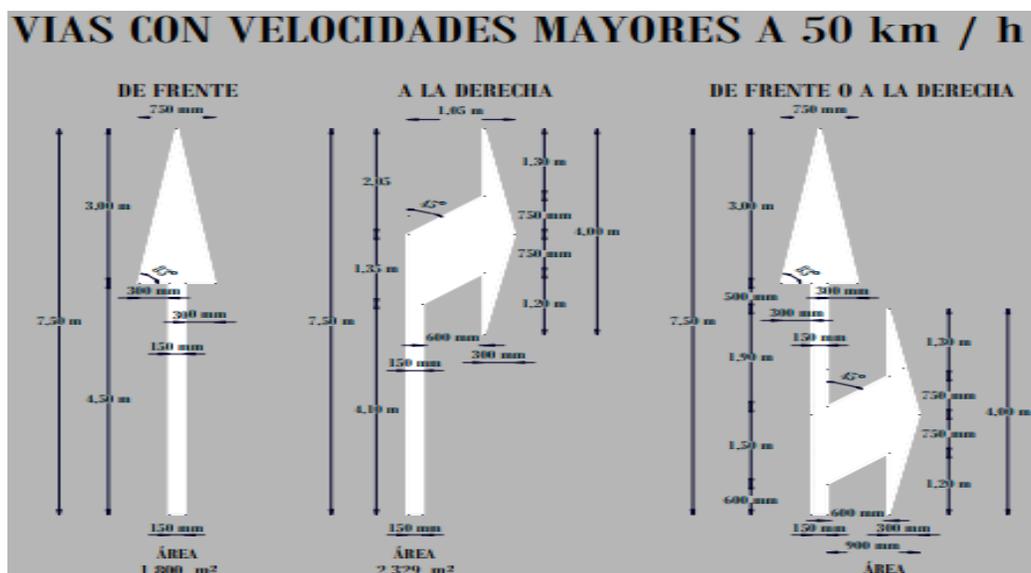
*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 2. Señalización Horizontal, INEN 2011.

Flechas. - La función de las flechas que se encuentran sobre el pavimento es indicar y advertir el sentido y la dirección obligatoria a seguir por los vehículos que transitan por un carril de circulación.

Las flechas según las maniobras que se efectúan pueden ser: flecha recta, flecha de viraje, flecha recta y de viraje, flecha recta y de salida, flecha de viraje en U.

**Figura 11:**

*Flechas*

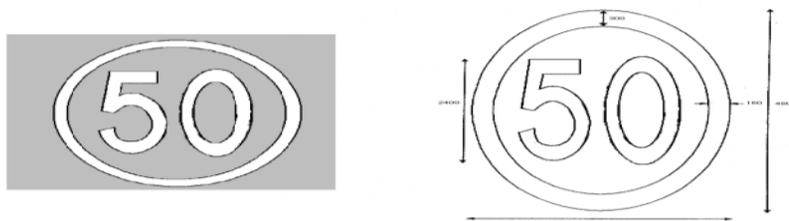


Nota. Tomado de Señalización Vial. Parte 2. Señalización Horizontal, INEN 2011.

Máxima Velocidad. - Indica la velocidad máxima permitida en el carril donde está ubicado, es de color blanco, generalmente se utiliza para reforzar la señal vertical.

**Figura 12:**

*Máxima velocidad*



Nota. Tomado de Señalización Vial. Parte 2. Señalización Horizontal, INEN 2011.

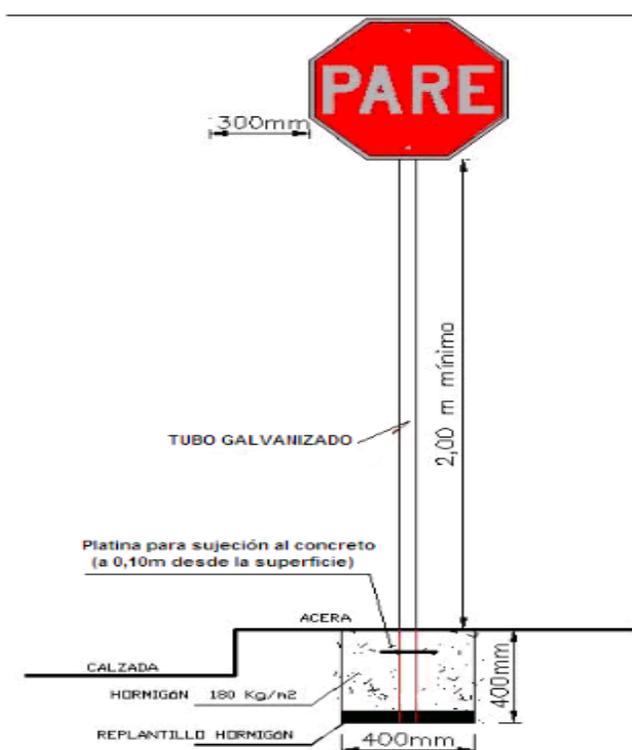
### **Señalización Vertical**

La norma que rige este tipo de señalética es la INEN 004-1:2011, la cual indica además los criterios con los que se asignan y los tamaños de las señales.

Las señaléticas en zonas urbanas, como corresponde la zona de estudio deben colocarse mínimo a 300 mm del filo del bordillo y máximo a 1,00 m, así también como la separación no debe ser menor a 2,00 m y mayor a 5,00 m, a excepción de señales grandes de información donde se requiere mayor espaciamiento. La altura también es un factor importante a considerar, es así como esta no debe ser menos a 2,00 m, desde la superficie de la acera hasta el borde inferior de la señal o en algunos casos 2,20 por los vehículos que se encuentren estacionados.

**Figura 13:**

*Altura normativa de señalética vertical*



*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical, INEN 2011.

Las señales deben ser reflectivas o iluminadas, que permitan su visibilidad tanto en la noche como en el día.

La iluminación se la puede realizar de 2 maneras:

- Una luz dentro o detrás de la cara de la señal que ilumine el principal mensaje o símbolo, o el fondo de la señal o ambos a través de un material translúcido.
- Una fuente de luz acoplada o montada independientemente y diseñada para dirigir adecuadamente iluminación sobre la cara total de la señal.

Las principales señales que se encuentran o deberían encontrarse en la zona de estudio son las siguientes:

No Rebasar (R2-13). - Esta señalización indica que está prohibido realizar la maniobra de rebasamiento a otro vehículo, tiene fondo blanco reflectivo, círculo de color rojo reflectivo y símbolos de color negro.

**Figura 14:**

**Señal No rebasar**



Código No.	Dimensiones (mm)
R2-13 A	600 x 600
R2-13 B	900 x 900
R2-13 C	1200 x 1200

*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical, INEN 2011.

Límite máximo de velocidad (R4-1). - esta señal representa la velocidad máxima en un tramo de vía, tiene símbolos negros, círculo rojo y fondo blanco ambos reflectivos.

**Figura 15:**

*Señal límite máximo de velocidad*



Código No.	Dimensiones (mm)
R4-1 A	600 x 600
R4-1 B	750 x 750
R4-1 C	900 x 900

*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical, INEN 2011.

Límite máximo de velocidad con iluminación LED (R4-2). - Indica al igual que el anterior la velocidad máxima, sin embargo, esta señal es utilizada donde las condiciones climáticas son adversas como neblina, lluvia, etc., está constituido por

número con iluminación color blanco, círculo con iluminación color rojo, fondo negro mate.

**Figura 16:**

*Señal límite máximo de velocidad con luces LED*



Código No.	Dimensiones (mm)
R4-2 A	450 x 600
R4-2 B	600 x 800

*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical, INEN 2011.

Reduzca la velocidad (R4-4). - Esta señal es común cuando se requiere que se realice una reducción de la velocidad de circulación por algún motivo.

**Figura 17:**

*Señal reduzca la velocidad*



Código No.	Dimensiones (mm)
R4-4 A	750x600
R4-4 B	900x1200
R4-4 C	1500x1200

*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical, INEN 2011.

Altura Máxima (R4-5). - Es muy utilizada para indicar la altura permisible por la presencia de un túnel, puente o paso a desnivel, se la coloca siempre y cuando dicha restricción sea menor a 4,30 m.

**Figura 18:**

*Señal Máxima altura*



Código No.	Dimensiones (mm)
R4-5 A	600 x 600
R4-5 B	750 x 750
R4-5 C	900 x 900

*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical, INEN 2011.

Bandas transversales de alerta BTA (P5-4). - Se utiliza esta señal para indicar la proximidad de una zona de retumbos en la superficie de la calzada.

### Figura 19:

*Señal bandas transversales*



Código	Dimensiones (mm)
P6-5A	600 x 600
P6-5B	750 x 750
P6-5C	900 x 900

*Nota.* Tomado de Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical, INEN 2011.

### Estudio de tráfico

Para diseñar la estructura de pavimento, se debe tomar en cuenta el tráfico promedio diario anual, que circulan por la vía, de esta manera se estimara la faja de diseño establecida por la normativa MOP F001.

#### ***Tráfico promedio diario anual (TPDA)***

El TPDA es aquel que toma en cuenta la cantidad de vehículos que circulan por una vía, para obtener este valor se debe realizar un conteo en tiempo real para realizar una estimación seria para el diseño vial.

#### **Disposición y tipo de tráfico**

A la hora de realizar el diseño de la estructura de un pavimento, se debe tomar en cuenta el tipo de vehículo que circulará por la infraestructura y como este transmitirá

los esfuerzos dinámicos al terreno. Para caracterizar de manera adecuada el tráfico se tomará en cuenta el número de ejes y las cargas que estos producen para lo cual es prescindible para el Ecuador basarse en la Tabla nacional de pesos y dimensiones establecidas en las NEVI.

**Figura 20:**

*Tabla nacional de pesos y dimensiones*

CUADRO DEMONSTRATIVO DE TIPO DE VEHÍCULOS MOTORIZADOS REMOLQUES Y SEMIREMOLQUES							
TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)			
				Largo	Ancho	Alto	
2D			7	5,00	2,60	3,00	
2DA			10	7,50	2,60	3,50	
2DB			18	12,20	2,60	4,10	
3-A			27	12,20	2,60	4,10	
4-C			31	12,20	2,60	4,10	
4-D			32	12,20	2,60	4,10	
V2DB			18	12,20	2,60	4,10	
V3A			27	12,20	2,60	4,10	
VZS			27	12,20	2,60	4,10	
T2			18	8,50	2,60	4,10	
T3			27	8,50	2,60	4,10	
S3			24	13,00	3,00	4,30	
S2			20	13,00	3,00	4,30	
S1			11	13,00	3,00	4,30	

Nota. Ministerio de Obras Públicas y Transporte, 2006

### **Clasificación de las vías según TPDA**

Para realizar una estimación del tipo de vía nos referiremos a la Normativa de Movilidad Transporte y Obras Públicas. La tabla 10 detalla los límites y descripción de los diferentes tipos de vías.

**Tabla 6**

*Clasificación funcional de las vías en función del TPDA*

<b>Clasificación Funcional de las Vías en base al TPDA</b>			
Descripción	Clasificación Funcional	Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) al año de horizonte	
		Límite Inferior	Límite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carreteras de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

*Nota.* Tomado de MOP F001, NEVI-12 Volumen 2A, 2012.

Donde:

**C1:** Equivale a carreteras de mediana capacidad

**C2:** Equivalente a carretera convencional básica y camino básico

**C3:** Camino agrícola/forestal

### **Cálculo y estimación de Tráfico Promedio Diario Anual “TPDA”**

Para el desarrollo del presente cálculo se realizará un conteo diario en tiempo real, empezando desde el día 00 hasta el día 0+i por un periodo estimable de tiempo.

Para esto se utilizarán las siguientes formulas:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n-1}}$$

$$TPDS = \frac{\sum TD_i}{N^{\circ} \text{ de Dias}}$$

Donde:

**S:** Desviación estándar de la muestra

**TDi:** Tráfico diario del día sondeado

**TPDS:** Tráfico promedio diaria semanal

### **ESTIMACIÓN DE LA DEVIACIÓN ESTÁNDAR POBLACIONAL $\sigma$**

$$\sigma = \left( \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

**N:** Número de días de un año

**n:** Tamaño de la muestra en número de días de toma de datos

**S:** Desviación estándar de la muestra

### **TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL TPDA**

$$TPDA = TPDS \pm Zc\sigma$$

Donde:

**$\sigma$ :** Desviación estándar poblacional

**Zc:** Número de desviación estándar correspondiente al nivel de confiabilidad

### **Diseño de mezcla asfáltica en caliente**

Para la realización de la mezcla asfáltica se toma como base el cálculo del TPDA, mediante el cual se estima el tráfico vehicular que circula por esta vía. La tabla 4 detalla la clasificación de las vías, siendo este el primer parámetro para el diseño de la nueva mezcla asfáltica.

Este parámetro para el diseño se toma en cuenta debiéndose a que existen vías que rebasan la barrera de los 80,000 vehículos diarios (TPDA), existiendo un número significativo de accidentes de tránsito y, además, por diversos estudios que se realizaron en donde se comprobó que el parque automotor ha crecido consistentemente

a una tasa promedio simple durante los últimos 14 años en el orden de 6% anual.

(MTOP, 2012).

### ***Hormigón asfáltico mezcla en caliente***

Este diseño consistirá en la construcción de la capa de rodadura de hormigón asfáltico de una vía, la cual se constituye por una granulometría determinada, material asfáltico y de ser necesario un relleno mineral.

Estos serán mezclados en caliente en una planta central y se colocara sobre una base debidamente preparada o sobre un pavimento ya existente.

Al realizar una estructura vial para tráfico liviano, se podrá utilizar en lo que se refiere a materiales, cemento asfáltico con un grado de penetración 85 a 100. En lo que respecta a sus agregados a emplearse en el hormigón asfáltico, este podrá estar constituido por roca o grava triturada parcialmente o total, materiales que se hayan fragmentado naturalmente, con relleno mineral o con arenas.

Para el diseño de la mezcla idónea para el tráfico anteriormente mencionada nos vamos a referir a la tabla 5, en la cual nos especifica en tamaño de agregado de acuerdo a la granulometría idónea:

**Tabla 7**

*Clasificación de pasante de agregados*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	¾"	Nº4
1" (25.4 mm)	100	-	-	-
¾" (19.0 mm)	90-100	100	-	-
½" (12.7 mm)	-	90-100	100	-
3/8" (9.50 mm)	56-80	-	90-100	100
Nº 4 (4.75 mm)	35-65	44-74	55-85	80-100
Nº 8 (2.36 mm)	23-49	28-58	32-67	65-100
Nº 16 (1.18 mm)	-	-	-	40-80
Nº 30 (0.60 mm)	-	-	-	25-65

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4"	1/2"	3/8"	N°4
N° 50 (0.30 mm)	5-19	5-21	7-23	7-40
N° 100 (0.15 mm)	-	-	-	3-20
N° 200 (0.075 mm)	2-8	2-10	2-10	2-10

*Nota.* Tomado de (MOP F-001, 2002)

Para realizar la discretización del tipo de mezcla que se va a seleccionar nos guiaremos en la clasificación del tráfico la cual es función de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDP) mediante la tabla 6 se estipularan los rangos admisibles:

**Tabla 8**

*Clasificación de Tráfico por IMPD*

TRÁFICO	IMPD
<b>Liviano</b>	Menos de 50
<b>Medio</b>	50 a 200
<b>Pesado</b>	200 a 1000
<b>Muy Pesado</b>	Más de 1000

*Nota.* Tomado de MOP F-001, 2002.

Detallando de forma similar en la tabla 9 los tipos de mezclas para el tratamiento y cantidades aproximadas por metro cuadrado utilizando emulsiones asfálticas.

**Tabla 9**

*Tratamiento y Cantidades de material por m<sup>2</sup> de emulsión asfáltica*

Tipo de Tratamiento	Agregado en kilogramos						Emulsión en litros
	A	B	C	D	E	F	
TSB-1 <b>Capa única</b>						14-16	1.4-2.0
TSB-2 <sup>a</sup> <b>Primera Capa</b>				11-14			0.9-1.6
TSB-2B <b>Primera Capa</b>			14-16				1.4-2.0
TSB-2C <b>Primera Capa</b>		22-27					1.8-2.3
TSB-3 <b>Primera Capa</b>	15-18						0.9-1.4

*Nota.* Tomado de MOP F-001, 2002.

### ***Principios y consideración para una mezcla asfáltica***

Para considerar una preparación de una mezcla asfáltica se deben establecer criterios de acuerdo a las especificaciones técnicas que rijan el proyecto.

- Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla
- Porcentaje de vacíos llenados con el asfalto
- Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral
- Valor mínimo de la estabilidad
- Rango de valores límite de fluencia.

### **Fórmula maestra de obra**

Se considera acorde a las siguientes condiciones:

- Las cantidades de las diversas fracciones definidas para los agregados
- El porcentaje de material asfáltico para la dosificación, en relación al peso total de todos los agregados, inclusive el relleno mineral y aditivos para el asfalto si se los utilizase.
- La temperatura que deberá tener el hormigón al salir de la mezcladora
- La temperatura que deberá tener la mezcla al colocar en sitio

### **Método Marshall para diseño de pavimentos**

El procedimiento completo y detallado que debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T 245 (o ASTM D1559), solo aplicable a mezclas asfálticas en caliente para una combinación determinada de agregados, requiriendo información sobre parámetros de estabilidad y flujo de las diferentes mezclas en caliente, estableciendo densidades y contenidos óptimos de vacíos que se deben cumplir para las especificaciones de la obra.

Se debe tomar en cuenta que el material pétreo debe encontrarse a una temperatura de 140 o 150 °C y el cemento o ligante asfáltico a una temperatura de 110

a 130 °C para la correcta mezcla de ambos componentes. La mezcla terminada se deberá extender en capas de manera uniforme con los espesores y anchos estipulados, y posteriormente ser compactadas a temperaturas superiores a los 90 °C. Para su correcta funcionalidad un concreto asfáltico debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Suficiente estabilidad en la mezcla y de esta manera satisfacer las necesidades de servicio y demandas del tránsito sin que ocurran desplazamiento o distorsiones.
- Debe tener suficiente asfalto para certificar un pavimento durable, resultante de la cobertura total de los agregados pétreos, ligando de manera adecuada entre partículas, e impermeabilizando bajo una compactación adecuada.
- Suficiente trabajabilidad y de esta forma permitir una mayor eficiencia operacional en la fabricación de la mezcla y su compactación.
- La presencia de una cantidad aceptable de vacíos en la mezcla compactada, y de esta manera proveer una reserva que impida, al producirse una pequeña compactación adicional.
- Los criterios para alcanzar unas mezclas satisfactorias se establecen en requisitos mínimos de fluencia, densidad, estabilidad y porcentaje de vacíos. Al utilizar este modelo se determinan procesos para la realización de ensayos de estabilidad y flujo de mezclas preparadas en caliente, además de determinar las características físicas y analizar los diferentes parámetros que definen el contenido de asfalto necesario para la estructura vial.

Este valor representa la deformación producida en sentido del diámetro del espécimen antes que se produzca su fractura. Es decir, este valor es un indicador para

alcanzar la condición plástica y por consiguiente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica bajo la acción de cargas que por ella circulen.

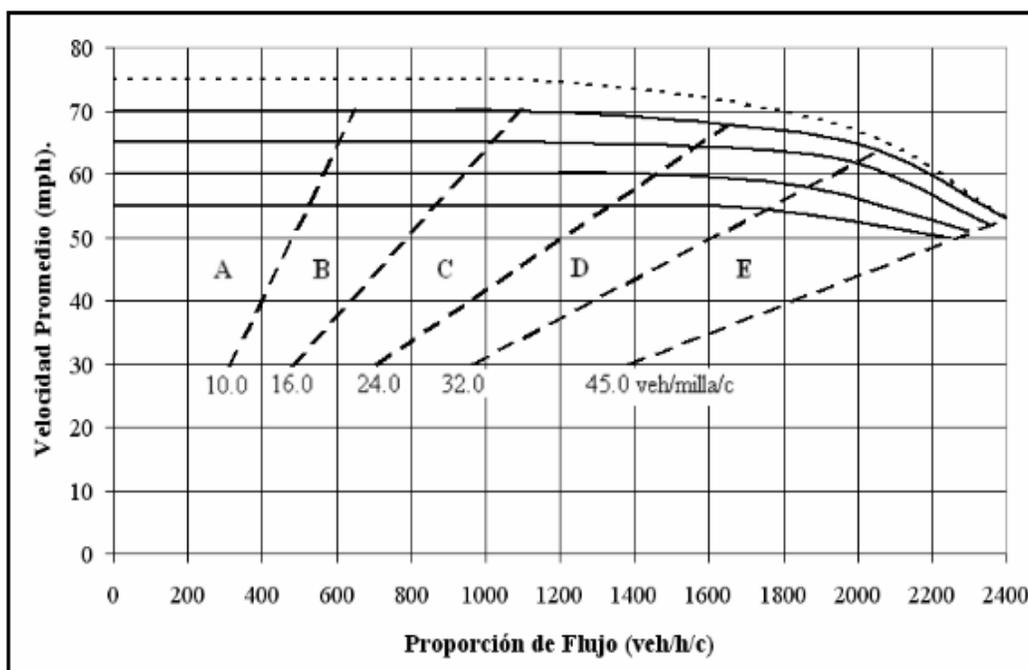
### Nivel de Servicio (NS)

Para definir los niveles de servicio en secciones básicas de autopista es a través del parámetro de la densidad, ya que la misma se incrementa al igual que el flujo hasta la capacidad. Los rangos de densidad, velocidad y flujo para cada nivel de servicio se muestran en la figura 21 y 22 se muestran las relaciones entre velocidad, flujo y densidad para secciones básicas de autopista. Además, muestra la definición de varios niveles de servicio usando sus respectivos valores de densidad.

(Board\_Transportation\_Research, 2000)

### Figura 21:

*Criterio de Niveles de Servicio*



*Nota.* Tomado de Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998.

Figura 22:

*Criterios de NS para Secciones Básicas de Autopistas*

Nivel de Servicio	Densidad Máxima (veh/mi/c)	Velocidad máxima (mi/h)	Maximo Flujo de Servicio (veh/h/c)	Maxima Relacion v/c
<b>Velocidad a Flujo Libre = 75 mi/h (121 km/h)</b>				
A	10,00	75,00	750,00	0,31
B	16,00	75,00	1200,00	0,50
C	24,00	71,00	1704,00	0,71
D	32,00	65,00	2080,00	0,87
E	45,00	53,00	2400,00	1,00
F	>45,00	<53,00	<2400,00	1,00
<b>Velocidad a Flujo Libre = 70 mi/h (113 km/h)</b>				
A	10,00	70,00	700,00	0,29
B	16,00	70,00	1120,00	0,47
C	24,00	68,00	1632,00	0,68
D	32,00	64,00	2048,00	0,85
E	45,00	53,00	2400,00	1,00
F	variable	variable	variable	variable
<b>Velocidad a Flujo Libre = 65 mi/h (105 km/h)</b>				
A	10,00	65,00	650,00	0,28
B	16,00	65,00	1040,00	0,44
C	24,00	64,50	1548,00	0,66
D	32,00	62,00	1984,00	0,84
E	45,00	52,00	2350,00	1,00
F	variable	variable	variable	variable
<b>Velocidad a Flujo Libre = 60 mi/h (97 km/h)</b>				
A	10,00	60,00	600,00	0,26
B	16,00	60,00	960,00	0,42
C	24,00	60,00	1440,00	0,63
D	32,00	58,00	1856,00	0,81
E	45,00	51,00	2300,00	1,00
F	variable	variable	variable	variable
<b>Velocidad a Flujo Libre = 55 mi/h (88 km/h)</b>				
A	10,00	55,00	550,00	0,24
B	16,00	55,00	880,00	0,39
C	24,00	55,00	1320,00	0,59
D	32,00	54,50	1744,00	0,78
E	45,00	50,00	2250,00	1,00
F	variable	variable	variable	variable

Nota. Tomado de Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998.

**Nivel de Servicio "A".** - Este nivel de servicio presenta al usuario de la vía, operaciones y velocidades de libre fluidez, además que permite que los vehículos puedan maniobrar dentro del tráfico casi completamente libres, existe un espacio promedio entre vehículos alrededor de 160 m o 26 longitudes del vehículo los cual

presenta un alto grado de confort físico y psicológico al conductor. Es casi nulo la posibilidad de ocurrencia de incidentes o puntos de colapso.

**Figura 23:**

*Nivel de Servicio "A"*



*Nota.* Tomado de Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998.

**Nivel de Servicio "B".** - Dentro de este nivel de servicio la habilidad para maniobrar dentro del flujo de tráfico es ligeramente restringida ya que solo presenta una fluidez razonable y cuya velocidad a flujo libre es mantenida, la separación entre vehículos esta alrededor de 100 m o 17 longitudes de vehículo. Los efectos de ocurrencia de incidentes son menores y los puntos de colapso son fácilmente absorbidos.

**Figura 24:**

*Nivel de servicio "B"*



*Nota.* Tomado de Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998.

**Nivel de Servicio “C”.** – Este nivel de servicio presenta un flujo con velocidades cercanas a la velocidad de flujo libre de autopista, se restringe notablemente la capacidad de maniobrar dentro del tráfico, los cambios de vía requieren mucho más cuidado por parte del conductor, además se reduce el espacio entre vehículos a aproximadamente 67 metros u 11 longitudes de vehículo, se reduce además la capacidad de absorber incidentes, se puede esperar la formación de filas detrás de cualquier bloqueo significativo.

**Figura 25:**

*Nivel de Servicio "C"*



*Nota.* (Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998)

**Nivel de Servicio “D”.** – Dentro de este nivel de servicio se evidencia un claro aumento de la densidad algo más rápido con el incremento de flujo, en cambio la velocidad empieza a bajar considerablemente, además que la capacidad de maniobrar es aún más limitada, se podría esperar que cualquier incidente cree filas debido a que el flujo de tráfico tiene un pequeño espacio para absorber turbulencias, la separación de vehículos está en el orden de los 50 metros u 8 longitudes de vehículo.

**Figura 26:**

*Nivel de Servicio "D"*



*Nota.* Tomado de Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998.

**Nivel de Servicio "E".** – Este nivel de servicio, presenta espacios muy reducidos para maniobrar, la separación entre vehículos es aproximadamente 6 longitudes de vehículo, cualquier interrupción en el flujo de tráfico, tal como vehículos entrando o saliendo de una rampa o cambiando de carril puede provocar una interrupción del tráfico, el flujo de tráfico no tiene la capacidad para disipar la menor interrupción, por tal motivo cualquier incidente podría provocar un colapso con extensas filas vehiculares, lo que provoca que el nivel de confort físico y psíquico para el conductor se muy malo.

**Figura 27:**

*Nivel de servicio "E"*



*Nota.* Tomado de Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998.

Nivel de Servicio "F". – Dentro de este nivel de servicio se describe colapsos en la fluidez de vehículos, generalmente se forman filas detrás de puntos de colapso y estos pueden por lo siguiente:

- Incidentes de tráfico causan reducción temporal de la capacidad en un corto segmento, ya que la cantidad de vehículos que llega al punto es mayor que la cantidad que sale.
- Cualquier ubicación donde el proyectado flujo en la hora-pico excede la capacidad estimada de la ubicación.

**Figura 28:**

*Nivel de servicio "F"*



*Nota.* (Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos, 1998)

### Capítulo 3

#### Metodología de estudio para el análisis del tramo vial

##### Área de estudio.

El Anillo vial se encuentra localizado en el interior de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, en la ciudad de Sangolquí, del cantón Rumiñahui, de la provincia de Pichincha. La universidad es un centro de educación superior, donde su Dominio Institucional es la Seguridad, Defensa y Sociedad, el eje transversal sobre el cual los dominios y líneas de investigación deben estar orientados.

##### Figura 29:

*Ubicación Anillo vial UFA ESPE*



El proyecto se desarrolla en el anillo vial de la universidad, que consta actualmente de 6 carriles de uso, de los cuales 2 carriles están destinados para parqueo, y 4 carriles para el uso de circulación del tránsito vehicular en dos sentidos de dirección, además para obtener resultados se realiza el estudio técnico de la estructura del pavimento empleando métodos convencionales como es el DCP, y métodos tecnológicos con el empleo del FWD, con lo cual se obtiene datos técnicos que permitirá

obtener el estado actual de las capas del pavimento existente del anillo vial y poder proponer una propuesta de rehabilitación.

Geográficamente la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se encuentra en las coordenadas (NACEVILLA TOAQUIZA, 2018):

**Tabla 10**

*Coordenadas de ubicación ESPE*

<b>Coordenadas</b>	
<b>Geográficas</b>	0° 18' 52.1352" S
	78° 26' 37.5216" W
<b>UTM WGS84</b>	784548.85 m E
	9965173.75 m S

*Nota.* Tomado de NACEVILLA TOAQUIZA, 2018.

### **Análisis de Tráfico**

Para conocer el volumen de los vehículos que usan los carriles del anillo vial para su movilidad con el fin de cuantificarlos, clasificarlos acorde a normativas existentes. La metodología para encontrar el volumen de vehículos, basados en trabajos de campo y de escritorio tiene los siguientes alcances:

- Realizar conteos para obtener volumen y composición del tráfico.
- Determinar el Tráfico Promedio Diario Anual actual y futuro (TPDA).
- Ejes de carga equivalente.
- Tránsito futuro

### **Medidas del tráfico.**

TASA DE FLUJO: frecuencia a la cual pasan los vehículos, durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como tasa horaria equivalente. Se suele medir en: vehículos/hora (flujo horario) y vehículos/día (flujo diario).

VELOCIDAD: Está sujeta a variaciones en un vehículo o en el conjunto de vehículos dentro del flujo de circulación

VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN: corresponde a la velocidad real que mantiene un vehículo a lo largo de una sección específica de carretera, y se la puede determinar como la distancia recorrida dividida para el tiempo de circulación del vehículo, se considera además que la velocidad de circulación es una medida de la calidad del servicio que proporciona la vía a los usuarios.

**Figura 30:**

*Relaciones entre la velocidad de diseño y la velocidad de circulación*

Velocidad de Diseño en (Km/h)	VELOCIDAD DE CIRCULACION EN (Km/h)		
	Volumen de Transito Bajo	Volumen de Transito Intermedio	Volumen de Transito Alto
25	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	48
70	63	59	53
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

*Nota.* Tomado de Normas de Diseño Geométrico, MOP 2003.

VOLUMEN DE TRÁFICO: Se define como el número total de vehículos que pasa por un punto durante un intervalo de tiempo dado, se puede expresar en relación a periodos horarios, diarios, o anuales.

Podemos observar la velocidad de circulación tomando en cuenta el volumen de tránsito y el tipo de terreno, en nuestra zona de estudio es menor a 40 Km/h.

**DENSIDAD DE TRÁFICO:** Se denomina densidad de tráfico al número de vehículos que existen circulando en una longitud o un tramo de carretera dada, la unidad de medida es vehículos/km.

**CAPACIDAD DE LA VÍA:** número horario máximo de vehículos que tienen una probabilidad razonable de atravesar un tramo de carretera durante un período de tiempo, bajo condiciones prevalecientes del camino y del tránsito. Expresada en vehículos / hora.

**TPDA:** basado en la norma del MOP, el tráfico promedio diario anual es abreviado como TPDA, corresponde al número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) por una sección de camino durante un año dividido por 365.

### **Composición del tráfico y vehículos tipo**

Para la realización de la presenta investigación se toma la siguiente clasificación:

**Tabla 11**

#### *Tipos de Vehículos*

MOTOS	AUTO		CAMIONETA S PICK UP	CAMIONET A PANEL	RURAL COMBI
	TIPO 2D	TIPO 2D	TIPO 2D	TIPO 2D	TIPO 2DA
					
MICRO TIPO 2DA	BUS		CAMION		
	2 E TIPO 2DB	2 E TIPO 2DB	3 E TIPO 3A	4 E TIPO 4C	
					

El tipo se basa acorde a la Tabla 2ª. 106 -02 Nacional de pesos y Dimensiones: “Tipo de vehículos motorizados remolques y semirremolques”, presentados en la NEVI 12 Volumen 2ª que se encuentra basado en la AASHTO.

### ***Contabilización vehicular***

Se realiza a través del método de contabilización manual donde varios medidores registran el total de vehículos que ingresan a la universidad y circulan por el anillo vial. Para obtener mejores resultados del conteo vehicular se realizó con estudiantes de la materia de Diseño de Carreteras de 7mo. Nivel de la Carrera de Ingeniería Civil, personal que actualmente está capacitado e idóneo.

El conteo se realiza por cada hora del día empezando desde las 00:00 hasta las 24H00, para mayor seguridad de los datos, se apoyó el conteo con medios visuales como son las cámaras pertenecientes a la Empresa URBAPARK, colocadas al ingreso de la universidad (Cámara 1: en la Entrada Principal comúnmente conocidas como garita o prevención; y, Cámara 2: por el ingreso posterior conocido como Reten o Garita de Atrás), el conteo realizado se puede verificar en el Anexo 1 Tabla de ESTUDIO DE CLASIFICACIÓN VEHICULAR.

### ***Consideraciones generales***

- Fechas de contabilización vehicular: se considera el inicio desde el 18 de noviembre de 2019, realizando el conteo por 14 días, culminando el 01 de diciembre de 2019.
- La toma de datos se realiza en formato específico para la elaboración de la presente investigación, se pueden verificar en el Anexo 1.
- Los sentidos de circulación por el anillo vial se realizan, los carriles internos de izquierda a derecha, y carriles externos de derecho a izquierda.

- Las condiciones climáticas durante el periodo de contabilización son optimo durante el día alcanzando temperaturas de 22 a 25 °C, y por la noche temperaturas de 7 °C, por lo tanto, un periodo con días despejados, y la circulación vial transitable.

### **Procedimiento para el cálculo del TPDA**

El análisis del estudio del TPDA permitirá determinar las características de volúmenes de la vía. El volumen de tráfico, se basa en datos estadísticos y pronósticos que tiene una metodología establecida, para calcular el TPDA mediante la siguiente ecuación:

$$\text{TPDA} = \frac{\text{T0 x FH x FD x FS x FM}}{365}$$

$$\text{TPDA} = \frac{\text{TPD} * 24 * 14 * 1}{365}$$

Donde

**TPDA:** Tráfico Promedio Diario Anual

**T0:** Tráfico observado.

**FH:** Factor hora

**FD:** Factor día

**FS:** Factor semana

**TM:** Factor hora

### **Cálculo del tráfico promedio observado (tpo)**

$$\text{TPO} = \frac{\text{TRÁFICO TOTAL OBSERVADO}}{\text{DIAS DE CONTEO MANUAL}}$$

$$\text{TPO} = \frac{28038}{14}$$

$$\text{TPO} = 2003_{veh/dia}$$

**Factor Horario:** Se toma del día de mayor frecuencia de transitabilidad por el anillo vial (jueves 28-Nov-019), del cual determinamos la desviación estándar de las 24 horas del conteo vehicular (127.079 veh/h) entre el promedio de vehículos observados en las 24 horas (120 veh/h).

$$FH = \frac{S}{TPOH}$$

DONDE:

**TPOH:** Tráfico promedio observado hora

**S (Desviación Estándar):** medida de dispersión más común, que indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media

$$S = \sqrt{S^2}$$

**S2: (Varianza):** medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media.

$$S^2 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$$

Los resultados que obtenemos al aplicar las ecuaciones antes mencionadas son:

$$FH = \frac{127.079}{120}$$

$$FH = 1.059$$

**Factor diario:** Se toma del día de mayor frecuencia de transitabilidad por el anillo vial (jueves 28-Nov-019), entre el TPO.

$$FD = \frac{\text{TRÁFICO MAXIMO DIARIO OBSERVADO}}{\text{TRÁFICO PROMEDIO OBSERVADO}}$$

$$FD = \frac{2880}{\frac{1982 + 2024}{2}}$$

$$FD = 1.44$$

**Factor Semana:** Se toma el conteo semanal de mayor frecuencia de transitabilidad por el anillo vial (semana 2), entre el TPO\*7 días.

$$FS = \frac{\text{TRÁFICO MAXIMO SEMANA OBSERVADO}}{\text{TRÁFICO PROMEDIO OBSERVADO} * 7 \text{ DIAS}}$$

$$FD = \frac{14168 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \text{semana}}{(2003 * 7) \frac{\text{veh}}{\text{día}} \text{semana}}$$

$$FD = 1.01$$

**Factor Mes:** Se toma el conteo observado total multiplicado por 2 semanas entre el TPO multiplicado por 30 días.

$$FM = \frac{\text{TRÁFICO OBSERVADO} * 2}{\text{TRÁFICO PROMEDIO OBSERVADO} * 30 \text{ DIAS}}$$

$$FD = \frac{28038 * 2 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \text{mes}}{(2003 * 30) \frac{\text{veh}}{\text{día}} \text{mes}}$$

$$FD = 0.93$$

### ***Ejes equivalentes y de carga del tráfico.***

Para el diseño de pavimentos, los ejes equivalentes y de carga del tráfico es determinado acorde a número de cargas que deberá resistir durante la vida útil, las cargas deberán estar basadas de acorde al tipo de vehículos con su diferente pesos y números de ejes que serán a un vehículo tipo de 80 kn, 8.2 ton o 18 kips, se hace a través de los factores equivalentes de carga FEF; este proceso conocido como el cálculo de ESAL (CARGA DE EJE SIMPLE EQUIVALENTE).

Obtenido el ESAL, se determinará una estructura de pavimento, que soportará la carga solicitada al año de vida útil, se obtiene el valor numérico del factor tipo de vehículo, que será multiplicado por el factor de presión de inflado, el factor carril, y por el factor de crecimiento de tráfico.

El resultado será el valor que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por una carga de un tipo de eje y la producida por el eje estándar de 80 kN en el mismo eje.

### Cálculo de factor tipo vehículo.

Los datos de ingreso serán obtenidos del TPDA (veh/día) acorde a cada tipo de vehículo, se transforma a Veh/año, se identifica cada eje y acorde a la tabla de relación de cargas para determinar ejes equivalentes en pavimentos flexibles se adopta la ecuación, su resultado será el valor de factor equivalente a un vehículo tipo de 8.2 ton.

### Figura 31:

*Ecuaciones para cálculo de ejes equivalentes*

#### Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes (EE) Para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE <sub>8.2 tn</sub> )
Eje Simple de ruedas simples (EE <sub>S1</sub> )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE <sub>S2</sub> )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TA1</sub> )	$EE_{TA1} = [ P / 14.8 ]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TA2</sub> )	$EE_{TA2} = [ P / 15.1 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE <sub>TR1</sub> )	$EE_{TR1} = [ P / 20.7 ]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE <sub>TR2</sub> )	$EE_{TR2} = [ P / 21.8 ]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'93

### Cálculo de factor Presión Neumático (P.N).

- Número de vehículos día, está en función de la ingeniería de tráfico.
- Escoger la que genera menor área de contacto, área de contacto de todas las llantas y establecer el área más crítica que se genera en la impresión.
- La presión de inflado está de acuerdo a la nomenclatura del tipo de llanta.

- Presión de contactos es la relación de carga Max por neumático para el Área de contacto transformado a Psi.

### Cálculo de factor carril.

Se deberá referirse a la norma AASHTO 93 en el cuadro 6.1 de factores de distribución direccional y carril para determinar el tránsito en el carril de diseño:

### Figura 32:

#### *Factores de distribución direccional*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO'93

### Cálculo de factor de crecimiento de tráfico.

Se obtiene de la fórmula:

$$factor\ de\ crecimiento = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Consideramos una tasa de crecimiento anual en base al MOP - 001-F 2002 del 4%, el período de diseño se considera de 10 años.

### Cálculo de tránsito futuro

Como se indica en la normativa establecida por MOP 001, se debe dar un dato que permita el diseño en base al tránsito que se espera que use el anillo vial para su

circulación, por lo tanto, se deberá diseñar para el volumen de tránsito que se espera se presente en el último año de vida útil.

Se toma un periodo de 20 años para ser calculada con una proyección en base a la tasa de crecimiento poblacional usando la ecuación:

$$TF = TPO_{ANUAL} * (1 + i)^n$$

Donde

*i*: Tasa de crecimiento, entre el 5% y 7% acorde a datos MTOP.

**TA:** Tráfico actual

**n:** Periodo futuro

$$TF = (2877 * 365) * (1 + 0.07)^{20}$$

$$TF = 1050105 * (1.07)^{20}$$

$$TF = 4063575 \text{ veh/año} \approx 11133 \text{ veh/día}$$

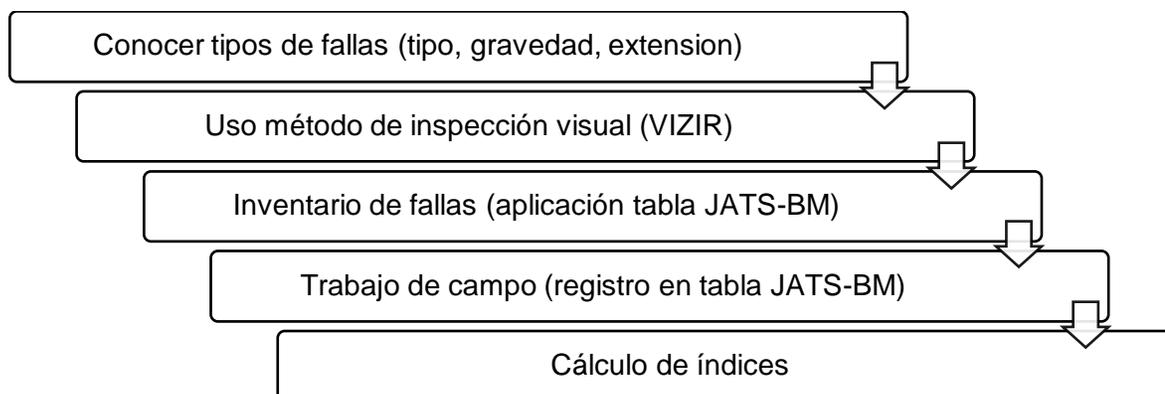
### **Metodología para Evaluación del Pavimento**

Para la evaluación del pavimento del anillo vial, se considera dos tipos, realizar una evaluación funcional mediante el empleo de una evaluación Visual, permitiendo hacer la evaluación funcional que permitirá un punto de partida e iniciar con la evaluación estructural a través de métodos convencionales con el empleo del DCP y de métodos de alto rendimiento con el empleo del FWD.

#### ***Evaluación Funcional del Pavimento***

Dentro de la metodología para realizar la inspección visual del pavimento hay varios métodos, en esta investigación se tomó el Método VIZIR para la determinación y calificación del estado del anillo vial, basado en el manual de Rehabilitación de Pavimentos del Instituto Nacional de Vías, INVIAS de Colombia.

### Metodología para la inspección visual de daños de pavimentos flexibles.



### ***Inspección visual, aplicación método VIZIR***

Al aplicar este método se plantea una matriz que permita ser objetiva, sencilla de aplicación, usando la Tabla JATS-BM, facilitando el trabajo de campo. Auscultando las fallas del pavimento del anillo vial, lo que permitirá a posteriori una programación idónea de los trabajos a realizarse.

### ***Metodología de uso Tabla JATS-BM***

1. Establecer las secciones a ser visualizadas, dependiendo la longitud y el tipo de ensayo; para el análisis del anillo vial es cada 100 m.
2. Identificar y marcar puntos de referencia (PR): se debe registrar con número entero y/o longitud, ejemplo: el PR 00+000 al PR 00+100 o PR 00+055 al PR 02+033
3. Medición y calificación de los parámetros de vías pavimentadas: acorde a la matriz de campo, se encuentra la unidad en la que se debe medir.
4. En la tabla de registro visual JATS-BM encontrará:
  - Niveles de deterioro: que permiten la clasificación y cuantificación de las degradaciones en el método VIZIR, es decir, DEGRADACIÓN TIPO A caracteriza la condición estructural del pavimento. DEGRADACIÓN

TIPO B en su mayoría de tipo funcional y dan lugar a reparación que no están ligadas a la capacidad estructural de la vía.

- Tipos de daños que se asocian al tipo de deterioro que tienen los pavimentos.
- Definición del daño
- Símbolo del daño
- Unidad para ser medido el tipo de daño
- Foto del tipo de daño (informativo)
- Las abscisas de 0 a 100 m horizontal y abscisas del ancho de carril verticalmente

### ***Registro de campo***

1. Se debe visualizar el daño, se registrará en Tabla de registro visual JATS-BM de la siguiente manera:
2. Se identifica el daño

### **Figura 33:**

#### *Identificación de daños*



*Nota.* la figura muestra algunos daños encontrados en el carril interno del anillo vial.

3. Se debe medir el daño con lo cual se identificará el tipo de gravedad

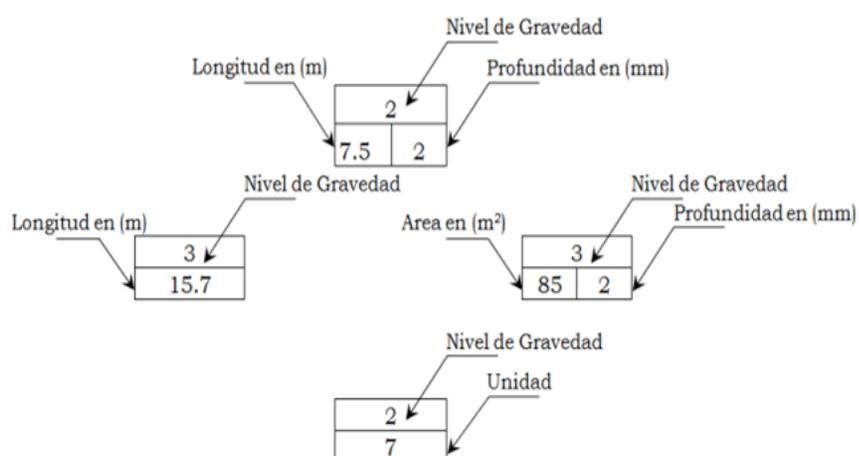
**Figura 34:***Medición de daño*

*Nota.* La figura muestra medición de fallas con odómetro o cinta métrica.

4. Se identifica y se registra el tipo de daño acorde a la tabla de Deterioro:

- Color azul gravedad nivel 1
- Rojo gravedad nivel 2
- Negro gravedad nivel 3

En caso que las condiciones no permitan registrar con el color sugerido se colocará encima de la gráfica de daño el nivel de gravedad del deterioro, se colocará la medida del daño.

**Figura 35:***Marcación en tabla JATS-BT*

**Ejemplo del empleo tabla JATS-BM**

**Figura 36:**

*Ejemplo de registros en tabla JATS-BM*

TIPO DE DAÑO	MODO	DEFINICIÓN	TIPO DE DAÑO	MEDIDA	Pav.	DESCR.	Grid
		Son los daños en las zonas de tránsito de tránsito	AT	m		CARRIL ESTACIONAMIENTO	Grid
		Son los daños en las zonas de tránsito de tránsito	AT	m		CARRIL 1	Grid
		Son los daños en las zonas de tránsito de tránsito	AT	m		CARRIL 2	Grid
		Son los daños en las zonas de tránsito de tránsito	AT	m		CARRIL ESTACIONAMIENTO	Grid

**Metodología para determinación del estado del Pavimento**

Se aplica la inspección visual por método VIZIR, se subdivide en 7 tramos cada uno de 300 m longitudinales (dos sentidos del anillo vial), a excepción del último tramo que comprende 233 m, se emplearan por lo tanto 4 escuadrillas de trabajo para la inspección visual y trabajo de campo con mínimo de 3 personas.

**Figura 37:**

*Tramos longitudinales de 300 m.*



*Nota.* La figura representa los tramos divididos para inspección visual

La medición longitudinal se realiza a través de un odómetro de propiedad del laboratorio de la carrera de ingeniería civil de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.

**Figura 38:**

*Medición de carriles para subdivisión de tramos*



*Nota.* Las figuras muestran la medición y subdivisión en tramos del anillo vial.

Realizado el procedimiento descrito en 3.3.1.1.2 Inspección visual, aplicación método VIZIR, se procede a realizar el cálculo del índice del deterioro superficial del pavimento en base a la información recolectada.

Se puede determinar el deterioro que ha sufrido la capa superficial del pavimento y qué tipo de daño se encuentra relacionado para más adelante tomar una alternativa a solucionar el problema; se aplica la siguiente metodología:

1. Determinación de la gravedad
  - a. Se calcula acorde a los daños en base a Tabla 17 Niveles De Gravedad De Los Deterioros Del Tipo A y Tabla 18 Niveles De Gravedad De Los Deterioros Del Tipo B, propuestas en Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos, de Carlos Higuera S:

Tabla 12

Nivel de gravedad de deterioro TIPO A

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	1	2	3
<b>Ahuellamiento u otras deformaciones</b>	Sensible usuario, pero poco importante Flecha <20mm	Deformaciones importantes, hundimientos localizados o ahuellamiento 20 mm ≤ Flecha ≤ 40 mm	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y seguridad de los usuarios Flecha > 40 mm
<b>Grietas Longitudinales por fatiga</b>	Fisuras finas en la banda de rodamiento	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas (grietas). Bordes de fisuras ocasionalmente degradados
<b>Piel de cocodrilo</b>	Piel de cocodrilo formada por mallas grandes (>500mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales	Mallas más densas (< 500mm), con pérdidas ocasionales de materiales desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (< 200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales
<b>Bacheos y Parches</b>	Intervención de superficie ligada a deterioros del tipo B	intervenciones ligadas a deterioros del tipo A Comportamiento satisfactorio de la reparación	Ocurrencia de fallas en Zonas de reparación

Nota. Tomado de INVIAS,2002.

Tabla 13

Nivel de gravedad de deterioro Tipo B

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	1	2	3
<b>Grieta longitudinal de junta o construcción</b>	Fina y Única	Ancha (10mm o más) sin desprendimientos Fina ramificada	Ancha con desprendimientos o ramificada
<b>Grietas de contracción térmica</b>	Fisuras finas	Ancha (10mm o más) sin desprendimientos Fina ramificada	Ancha con desprendimiento
<b>Grietas parabólicas</b>	Fisuras finas	Ancha (10mm o más) sin desprendimientos Fina ramificada	Ancha con desprendimiento

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD					
	1		2		3	
<b>Grietas de borde</b>	Fisuras finas		Ancha (10mm o más) sin desprendimientos Fina ramificada		Ancha con desprendimiento	
<b>Abultamientos</b>	F < 20 mm		Ancha (10mm o más) sin desprendimientos Fina ramificada		F > 40 mm	
<b>Ojos de pescado (cada 100 m)</b>	Cantidad	< 5	5 a 10	< 5	>10	5 a 10
	Diámetro	≤ 300	≤ 300	≤ 1000	≤ 300	≤ 1000
<b>Desprendimientos:</b>						
<b>Pérdida de película ligante</b>		Pérdidas aisladas	Pérdidas continuas		Pérdidas generalizadas y muy marcadas	
<b>Pérdida de agregados</b>						
<b>Descascaramiento</b>	Prof. (mm)	≤ 25	≤ 25	> 25	> 25	
	Área (m <sup>2</sup> )	≤ 0,8	> 0,8	≤ 0,8	> 0,8	
<b>Pulimento de agregados</b>			no define niveles de gravedad			
<b>Exudación</b>		Puntual	Continua sobre la banda de rodamiento		Continua y muy marcada	
<b>Afloramientos:</b>		Localizados y apenas perceptibles	Intensos		Muy intensos	
<b>De mortero</b>						
<b>De agua</b>						
<b>Desintegración de los bordes del pavimento</b>		Inicio de la desintegración	La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más		Erosión extrema que conduce a la desaparición del revestimiento asfáltico	
<b>Escalonamiento entre calzada y berma</b>		Desnivel de 10 a 50 mm	Desnivel entre 500 a 100 mm		Desnivel superior a 100 mm	
<b>Erosión de las Bermas</b>		Erosión incipiente	Erosión pronunciada		La Erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios	

Nota. Tomado de INVIAS,2002.

## 2. Determinación del Índice global que califica el estado del Pavimento

- a. Determinar el índice de fisura (If): depende de la gravedad y la extensión de las fisuras y agrietamientos de tipo estructural de cada tramo evaluado. Se toma el mayor de los índices calculados.
- b. Determinar el índice de deformación (Id): depende de la gravedad y la extensión de las deformaciones de origen estructural.

- c. Combinación del índice de fisura (If) e índice de deformación (Id), se encuentra el primer índice de calificación de la calzada.
- d. Corrección del primer índice de calificación de la calzada basado en función de los trabajos de bacheo.
- e. Se obtiene el Índice de Deterioro Superficial (Is), una vez realizada la corrección, se califica el tramo escogido; el valor variara entre 1 y 7, acorde al valor se ingresa en el Cuadro 15. Umbrales de Intervención con el Índice de Deterioro Superficial Is, del método VIZIR; propuesto en Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos, de Carlos Higuera S:

**Tabla 14**

*Rangos del Índice de deterioro superficial*

<b>RANGO DEL ÍNDICE</b>	<b>ESTADO DEL PAVIMENTO</b>	<b>TRABAJOS DE MANTENIMIENTO REQUERIDOS</b>
<b>1-2</b>	buen estado	Pavimentos con limitados agrietamientos y deformaciones que presentan un buen aspecto general y que no requieren en el momento más que acciones de <b>mantenimiento rutinario</b>
<b>3-4</b>	regular estado	Representan pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos no fisurados, pero con deformaciones de alguna importancia, su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado por lo tanto la acción que requiere son <b>tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad</b>

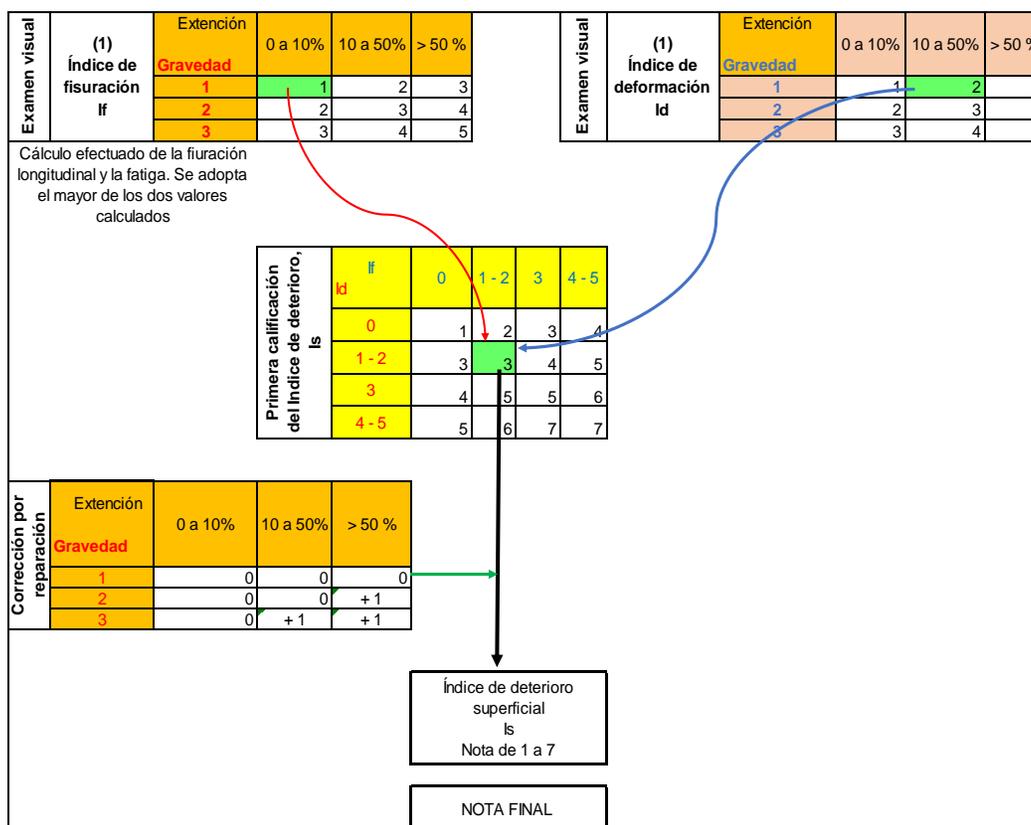
RANGO DEL ÍNDICE	ESTADO DEL PAVIMENTO	TRABAJOS DE MANTENIMIENTO REQUERIDOS
5-7	pavimentos altamente deteriorados	Son Indicativos de pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes, cuyo deficiente estado superficial exige la ejecución de acciones de <b>trabajos importantes de rehabilitación</b>

Nota. Tomado de (HIGUERA, 2009).

La siguiente figura muestra la metodología que se aplica en cada uno de los tramos de la evaluación funcional:

**Figura 39:**

*Metodología para cálculo del Is.*



Nota. Tomado de (Higuera, 2015)

Generalmente con índice de fisuración mayor a 3 ( $I_f > 3$ ) e índice de deformación mayor a 2 ( $I_d > 2$ ), se considera estructuras que no tienen vida residual, que deberán ser sometidas a rehabilitación.

### **Metodología para determinar la Señalización**

Mediante la inspección visual se procede a verificar:

1. Señalética horizontal: todas las marcas sobre el pavimento; por cada tramo de análisis acorde a la aplicación del método VIZIR.
2. Señalética vertical: todas las marcas que permitan la circulación vehicular con seguridad a través del anillo vial; por cada tramo de análisis acorde a la aplicación del método VIZIR

Para verificar cada una de las señaléticas se procede a realizar una caminata en cada tramo indicando las observaciones de cada señalética en cada tramo, además que se realizado en condiciones climáticas optimas en el horario matutino (07h00 a 10h00) y en condiciones climáticas adversas horas nocturnas (19h00 a 22h00), con el fin de observar la reflectividad de la señalética vertical.

### ***Evaluación estructural del Pavimento***

#### **Metodología para realizar penetrómetro dinámico de cono DCP**

Para evaluar la resistencia del suelo in situ del material existente en el anillo vial se aplica lo norma ASTM D 6951-03 de ensayo de DCP, en donde se explica el siguiente procedimiento:

- El operador introduce la punta del DCP en el suelo, levantando el mazo deslizante hasta la empuñadura y soltándola luego. Se mide la penetración total alcanzada para un determinado número de golpes y se anota en mm/golpe, una medida que luego se usa para describir la rigidez del suelo, para estimar el CBR

in situ, con base en un cuadro apropiado de correlación, así como otras características.

- Se obtiene una lectura inicial de la escala vertical graduada o una escala separada. La distancia es medida con precisión lo más cerca de 1 mm (0,04 pulgadas).
- Condiciones durante el ensayo: 1) ensamblado el penetrómetro dinámico de cono, la punta va sobre la superficie del material; 2) el DCP debe estar perpendicular, 3) El martillo debe subir hasta el límite y caer libremente sin impulso; 4) Tomar lectura por cada golpe de martillo, en caso que la relación de penetración menor a 20 mm/golpe la frecuencia de lectura es: a) una lectura por 2 golpes, si penetra de 10 a 20 mm por golpe; b) una lectura por cada 5 golpes si penetra de 5 a 9 mm, c) una lectura por cada 10 golpes si penetra de 2 a 4 mm por golpe, la penetración a una profundidad máxima de 800 mm, d) lecturas menores a 1 mm por cada 20 golpes o más debe descartarse; 5) no aplicar en suelos granulares con tamaños superiores a 2 pulg.

#### **Figura 40:**

*Empleo del DCP.*



*Nota.* La figura se muestra la metodología explicada del empleo del DCP

Para obtener el CBR in situ se obtiene usando el índice DCP y los datos obtenidos por la penetración. La penetración por golpe puede ser graficada con

respecto a la profundidad total alcanzada. A continuación, se indica las fórmulas utilizadas para procesar los datos en las hojas de Excel.

La correlación entre la penetración por golpe (DCP) se deriva de la fórmula:

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1.12}}$$

Esta fórmula se utiliza para todos los suelos, exceptuando los suelos arcillosos de baja plasticidad (CL) con CBR por debajo de 10 y suelos CH. Para este tipo de suelos, se recomienda:

CBR de suelos CL < 10

$$CBR = \frac{1}{(0.017019 * DCP)^2}$$

Suelos CH:

$$CBR = \frac{1}{0.002871 * DCP}$$

La selección de la correlación se deja bajo un criterio profesional. La existencia de estratos diferentes se observará para cada capa un cambio de pendiente en el gráfico de golpes acumulados de penetración versus profundidad.

El espesor de capa se puede determinar por medio de la intersección de las líneas que representan el promedio de pendiente de las capas adyacentes. Definido el espesor por capas, se calcula la penetración promedio por capa.

### **Metodología para realizar FWD**

Este método de ensayo es una prueba del tipo de placa de carga. La carga es un pulso de fuerza generado por la caída de un peso en un sistema amortiguado y es transmitido a través de un plato que descansa en la superficie de la estructura del pavimento. El equipo de ensayo puede ser montado en un vehículo o en un sistema de remolque tirado por un vehículo, y se aplica el siguiente procedimiento en su empleo:

**Figura 41:**

*Equipo FWD sobre remolque.*



*Nota.* Se muestra el equipo FWD sobre remolque y su parte técnica.

- Se detiene el vehículo, posicionando el plato en el lugar del ensayo junto a los sensores de deflexión, hasta que descansen perpendicularmente sobre la superficie.

**Figura 42:**

*Sensores del FWD*



- Luego se levanta la masa hasta una altura tal que al caer libremente aplique al pavimento la fuerza de impacto deseada. Se deja caer el peso y en momento del impacto se miden los movimientos verticales o deflexiones del pavimento mediante la instrumentación adecuada. Múltiples ensayos a la misma o a diferente altura de caída, se pueden efectuar antes de levantar el aparato y moverlo al siguiente sitio de prueba.

**Figura 43:**

*Martillo de impacto del FWD*



- Las deflexiones máximas del pavimento resultantes del pulso de fuerza aplicado en cada sitio donde se efectúe la prueba, son registradas en micras o en milímetros, como se considere más apropiado.

**Figura 44:**

*Toma de datos (programa RoSy DESIGN)*



- La carga máxima aplicada por la caída del peso, es medida por una celda de carga y registrada como fuerza en kN. El esfuerzo promedio (la carga dividida por el área de la placa) se expresa en kN/m<sup>2</sup>.

**Figura 45:**

*Programa RoSy DESIGN.*



## PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES

- Se transporta el dispositivo al sitio de la prueba y se coloca el plato de carga encima del punto de prueba deseado. El sitio de la prueba debe estar tan limpio como sea posible de piedras y escombros para asegurar el ajuste adecuado del plato de carga. Las superficies de grava o de suelo deberán estar tan lisas como sea posible y se debe retirar todo el material suelto.

### Figura 46:

*Punto de inicio Abscisa 00+000*



- Se bajan el plato de carga y los sensores hasta asegurar que ellos estén descansando en una superficie firme y estable.

### Figura 47:

*Sensores sobre el pavimento*



- Se levanta el generador de fuerza a la altura deseada y se deja caer el “el peso”. Se registran las deflexiones máximas resultantes de la superficie y la carga máxima.

*Nota.* Si se produce una deformación permanente significativa bajo el plato de carga, se debe mover el aparato y reducir la fuerza aplicada hasta que la deformación permanente no tenga ninguna importancia para la primera prueba en el sitio de prueba.

- Se llevan a cabo por lo menos dos series de la carga y se compararan los resultados. Si la diferencia es mayor que 3% para cualquiera sensor, se debe registrar la variación en el informe. Las pruebas adicionales se pueden ejecutar a las mismas o diferentes cargas.

### **Empleo del FWD sobre el anillo vial**

#### **Figura 48**

*Personal técnico del FWD*



Se realizó el ensayo con la aplicación del equipo y medios proporcionados por el MTOP, el equipo cuenta un vehículo Ford con capacidad de montacargas, en la parte trasera del automóvil se acopla el equipo de alto rendimiento FWD.

#### **Figura 49:**

*Vehículo con montaje del Equipo FWD*



*Nota.* La figura muestra el equipo FWD

El equipo de FWD cuenta con 9 geófonos los mismos que están ubicados a una distancia de 30 cm como se muestra en la Figura 45 y descrito en la Tabla 20.

**Tabla 15**

*Ubicación de geófonos en el equipo fwd*

NOMENCLATURA		UBICACIÓN DE GEÓFONOS
D (1) (um)	Geófono 1, situado en el plato de carga a distancia 0 cm.	<p><b>Figura 50:</b> <i>Geófonos del Equipo FWD</i></p> 
D (2) (um)	Geófono 2, situado a una distancia de 30 cm del plato de carga.	
D (3) (um)	Geófono 3, situado a una distancia de 60 cm del plato de carga.	
D (4) (um)	Geófono 4, situado a una distancia de 90 cm del plato de carga.	
D (5) (um)	Geófono 5, situado a una distancia de 120 cm del plato de carga.	
D (6) (um)	Geófono 6, situado a una distancia de 150 cm del plato de carga.	
D (7) (um)	Geófono 7, situado a una distancia de 180 cm del plato de carga.	
D (8) (um)	Geófono 8, situado a una distancia de 210 cm del plato de carga.	
D (9) (um)	Geófono 9, situado a una distancia de -30 cm del plato de carga.	

Cada geófono mide la deflexión a diferente profundidad, lo que permite que se forme el cuenco de deformación del pavimento. El cuenco de deflexiones es el gráfico resultante de la representación sobre el eje de abscisas de las distancias de los sensores al centro de la placa de carga y en ordenadas las deflexiones obtenidas en cada uno de los sensores. Las deflexiones se representan como si fueran valores negativos con objeto de visualizar mejor la forma de la deformada o del cuenco de deflexiones.

Antes de iniciar el trabajo, el equipo técnico que manipula el FWD verifica su funcionamiento, para lo cual revisan los diferentes sistemas como son: sistema hidráulico, sistema eléctrico, sistema operativo, ubicación de geófonos, conecta el sistema de toma

de datos que consta de una computadora y el programa donde se registra cada dato del trabajo al momento de su funcionamiento, como se puede observar en la Figura 46.

**Figura 51:**

*Mantenimiento del equipo FWD*

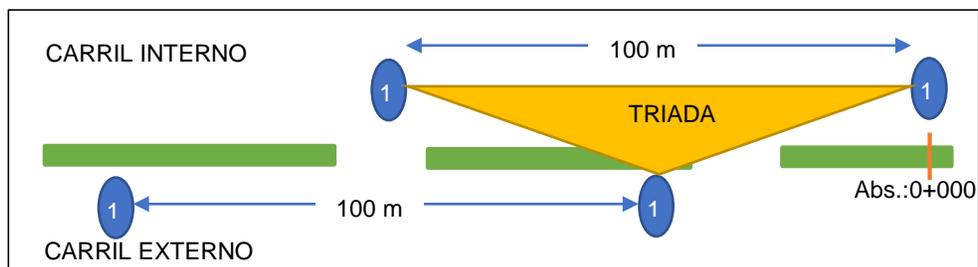


Se inicia el trabajo para lo cual se coloca el equipo FWD en la abscisa 00+000 donde se aplica la carga vertical de 40 KN al pavimento, se registra en el sistema de información RoSy Design del equipo FWD,

Para obtener una mayor información de la vía se realiza la toma de datos aplicando la técnica de triada como se observa en la figura 47 donde se ausculta con el FWD puntos cada 100 m en la longitud de cada carril y en análisis de los 2 carriles es cada 50 m con el fin de obtener la mayor información posible:

**Figura 52:**

*Técnica de triada para toma de datos del equipo FWD*



Se obtiene los datos de las deflexiones del programa y se los tabula para luego ser tratados, esta tabla se llama datos en bruto (Tabla 16 y 17):

**Tabla 16***Valores en bruto de deflexiones del carril interno*

<b>Abscisa</b>	<b>D (9)</b>	<b>D (1)</b>	<b>D (2)</b>	<b>D (3)</b>	<b>D (4)</b>	<b>D (5)</b>	<b>D (6)</b>	<b>D (7)</b>	<b>D (8)</b>	<b>kPa</b>	<b>kN</b>	<b>Longitude: West</b>	<b>LATITUDE: SOUTH</b>	<b>Altitud</b>
<b>0+000</b>	200	387	203	67	40	28	24	17	15	568	40,14	78°26'35,4060"	0°18'54,3900"	2504
<b>0+100</b>	170	430	167	44	37	30	25	19	15	550	38,91	78°26'36,2460"	0°18'57,2880"	2504
<b>0+201</b>	158	467	148	36	21	18	16	13	11	568	40,17	78°26'37,7460"	0°19'0,1800"	2504
<b>0+301</b>	193	448	190	80	57	43	36	29	25	593	41,91	78°26'40,4520"	0°19'1,9680"	2499
<b>0+400</b>	181	503	195	73	49	39	30	22	20	596	42,13	78°26'41,9100"	0°19'4,6800"	2500
<b>0+509</b>	449	771	406	162	89	49	34	24	13	552	39,02	78°26'43,3680"	0°19'7,7760"	2500
<b>0+605</b>	199	519	178	51	46	35	27	20	18	531	37,54	78°26'46,3140"	0°19'7,6500"	2504
<b>0+701</b>	192	652	184	65	47	34	27	19	14	575	40,66	78°26'47,6220"	0°19'4,9260"	2500
<b>0+800</b>	203	354	194	91	68	50	38	27	22	557	39,38	78°26'47,9400"	0°19'1,8060"	2492
<b>0+902</b>	241	519	261	106	70	54	40	30	26	576	40,7	78°26'46,2660"	0°18'58,9560"	2487
<b>1+001</b>	379	755	350	99	54	40	32	23	19	557	39,35	78°26'46,4040"	0°18'55,8240"	2491
<b>1+102</b>	323	675	336	133	85	66	53	43	37	578	40,85	78°26'48,1260"	0°18'53,0220"	2494
<b>1+201</b>	336	572	333	151	96	73	56	44	37	532	37,62	78°26'49,5360"	0°18'50,1720"	2493
<b>1+304</b>	236	498	235	95	70	57	45	35	31	566	40,04	78°26'49,2900"	0°18'46,9020"	2493
<b>1+401</b>	378	670	375	158	89	63	45	35	31	554	39,17	78°26'47,8500"	0°18'44,0520"	2495
<b>1+503</b>	197	437	209	68	47	36	29	21	17	599	42,31	78°26'45,2520"	0°18'42,7740"	2499
<b>1+600</b>	225	453	235	94	57	42	32	26	20	573	40,53	78°26'42,3480"	0°18'43,6800"	2505
<b>1+700</b>	148	382	162	64	44	32	27	20	16	593	41,88	78°26'39,7320"	0°18'45,5880"	2506
<b>1+800</b>	184	451	184	58	42	34	28	20	18	586	41,41	78°26'37,1040"	0°18'47,4960"	2501
<b>1+901</b>	315	634	301	114	70	47	37	29	24	549	38,83	78°26'35,1660"	0°18'49,9620"	2498
<b>2+000</b>	321	598	343	143	71	44	35	26	24	529	37,42	78°26'35,3760"	0°18'53,1480"	2498
<b>2+033</b>	200	387	203	67	40	28	24	17	15	568	40,14	78°26'35,4060"	0°18'54,3900"	2504

Tabla 17

Valores en bruto de deflexiones del carril externo

Abscisa	D(9)	D(1)	D(2)	D(3)	D(4)	D(5)	D(6)	D(7)	D(8)	kPa	kN	Longitude: West	LATITUDE: SOUTH	Altitud
<b>1+945</b>	195	397	178	64	41	30	24	19	16	562	39,7	78°26'34,7580"	0°18'50,8680"	2502
<b>1+900</b>	257	537	256	102	68	50	39	29	26	557	39,36	78°26'34,8780"	°18'49,3560"	2502
<b>1+816</b>	230	553	235	69	50	39	31	23	20	565	39,96	78°26'36,5520"	0°18'47,3160"	2503
<b>1+801</b>	156	451	178	60	43	33	26	19	18	586	41,42	78°26'36,9780"	0°18'47,0400"	2504
<b>1+651</b>	359	737	344	117	68	58	39	27	20	585	41,37	78°26'40,8480"	0°18'44,2380"	2507
<b>1+550</b>	164	504	209	68	48	40	34	26	24	586	41,43	78°26'43,6620"	0°18'42,5700"	2503
<b>1+448</b>	196	538	197	56	35	30	21	15	15	596	42,12	78°26'46,9380"	0°18'42,6240"	2494
<b>1+349</b>	223	454	218	92	66	52	39	29	26	559	39,53	78°26'48,9060"	0°18'45,1500"	2492
<b>1+247</b>	186	485	199	89	72	60	46	35	31	573	40,51	78°26'50,0820"	0°18'48,1920"	2490
<b>1+150</b>	277	548	298	116	72	57	46	35	30	538	38,05	78°26'49,6500"	0°18'51,3000"	2491
<b>1+050</b>	195	425	206	83	58	46	36	27	25	554	39,13	78°26'48,0600"	0°18'54,0780"	2489
<b>0+948</b>	249	506	235	91	59	46	37	29	23	562	39,76	78°26'46,5180"	0°18'56,9460"	2488
<b>0+849</b>	191	441	209	79	59	46	37	28	22	572	40,45	78°26'47,3460"	0°19'0,0000"	2489
<b>0+749</b>	231	430	215	88	57	44	35	27	24	547	38,64	78°26'48,5100"	0°19'2,8860"	2494
<b>0+649</b>	210	464	204	52	40	36	27	18	16	586	41,43	78°26'47,8440"	0°19'6,0300"	2501
<b>0+545</b>	272	595	256	68	39	33	26	19	17	570	40,32	78°26'45,6000"	0°19'8,3460"	2499
<b>0+448</b>	424	815	417	165	99	69	51	36	31	540	38,14	78°26'42,6000"	0°19'7,6740"	2499
<b>0+350</b>	211	482	206	67	47	39	30	20	18	609	43,08	78°26'41,4900"	0°19'4,7280"	2500
<b>0+246</b>	166	353	176	53	33	30	25	19	15	547	38,67	78°26'39,8340"	0°19'2,0340"	2501
<b>0+147</b>	157	358	162	46	31	27	22	15	13	573	40,47	78°26'37,2600"	0°19'0,2220"	2506
<b>0+049</b>	250	491	259	104	66	45	32	24	22	549	38,81	78°26'35,8800"	0°18'57,3600"	2506
<b>-0+054</b>	225	473	229	76	44	33	25	19	16	570	40,3	78°26'34,9620"	0°18'54,1260"	2504

Una vez obtenidos los datos expresados en las tablas anteriores se puede obtener el área de forma suficientemente aproximada, empleando el método de los trapecios en los que se descompone cada sección de análisis. Con el objeto de que los resultados de dicha aproximación sean comparables entre sí, la extensión del cálculo aproximado del área se limita a la encerrada entre el punto de aplicación de la carga y el situado a 1,5 m de dicho punto. Con los datos en bruto se procede a realizar una serie de cálculos, con el fin de encontrar secciones homogéneas en base a las deflexiones que se obtengan, analizando datos del geófono 1 y geófono 8, en cada uno de los carriles de análisis de deflexiones.

### PROCEDIMIENTO EN EL CARRIL INTERNO

#### GEÓFONO D1

Los valores de deflexión son corregidos según ASTM D4694-96 por carga: 40.00 KN y temperatura: 20 °C, aplicando las ecuaciones mostradas en la tabla de ecuaciones de correlación, donde se aplicará dependiendo del espesor de la carpeta de rodadura, y la temperatura del pavimento.

#### Figura 53:

*Ecuaciones de correlación para valores de deflexión*

ESPESOR (cm)	ECUACIONES DE CORRELACIÓN
5	$Ct=6E-06x^2-0,007x+1,15$
10	$Ct=2E-05x^2-0,013x+1,262$
15	$Ct=-3E-06x^2-0,014x+1,287$
20	$Ct=-3E-05x^2-0,015x+1,313$
25	$Ct=-4E-05x^2-0,015x+1,328$
30	$Ct=-6E-05x^2-0,016x+1,344$

x: Temperatura en grados centígrados

Se aplica la ecuación para 5 cm; es decir,  $CT = D(1) * 0.000006X^2 - 0.007X + 1.15$  para los datos obtenidos del geófono D(1), indica en la Tabla 24.

Tabla 18

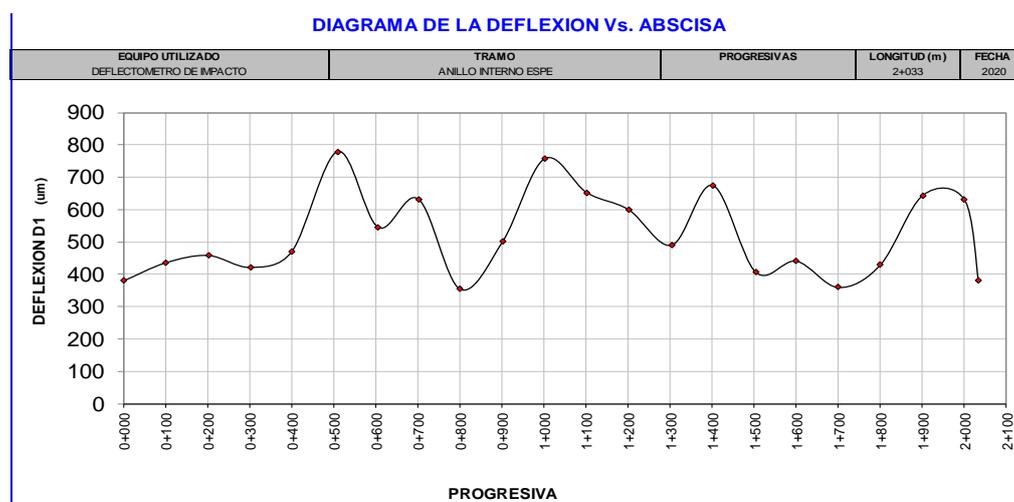
Valor deflexión corregidos (ASTM D4694-96 carga 40.00 Kn; T= 20 °C)

EQUIPO UTILIZADO DEFLECTOMETRO DE IMPACTO		TRAMO ANILLO INTERNO UFA ESPE			PROGRESIVAS			LONGITUD (m)		FECHA
Nº	Progresiva	D (9) (um)	D (1) (um)	D (2) (um)	D (3) (um)	-----		2033		2020
						D (4) (um)	D (5) (um)	D (6) (um)	D (7) (um)	D (8) (um)
1	0+000	199	380	202	67	40	28	24	17	15
2	0+100	172	436	172	45	38	31	26	20	15
3	0+201	155	459	147	36	21	18	16	13	11
4	0+301	182	422	181	76	54	41	34	28	24
5	0+400	169	471	185	69	47	37	28	21	19
6	0+509	454	779	416	166	91	50	35	25	13
7	0+605	209	545	190	54	49	37	29	21	19
8	0+701	186	633	181	64	46	33	27	19	14
9	0+800	203	355	197	92	69	51	39	27	22
10	0+902	234	503	257	104	69	53	39	29	26
11	1+001	380	757	356	101	55	41	33	23	19
12	1+102	312	652	329	130	83	65	52	42	36
13	1+201	352	600	354	161	102	78	60	47	39
14	1+304	232	491	235	95	70	57	45	35	31
15	1+401	381	675	383	161	91	64	46	36	32
16	1+503	184	407	198	64	44	34	27	20	16
17	1+600	219	441	232	93	56	41	32	26	20
18	1+700	139	360	155	61	42	31	26	19	15
19	1+800	175	430	178	56	41	33	27	19	17
20	1+901	320	644	310	117	72	48	38	30	25
21	2+000	338	630	367	153	76	47	37	28	26
22	2+033	197	380	202	67	40	28	24	17	15
<b>PROMEDIO D(1) um</b>		<b>245</b>	<b>520</b>	<b>247</b>	<b>92</b>	<b>59</b>	<b>43</b>	<b>34</b>	<b>26</b>	<b>21</b>
<b>PERCENTIL 85 D(1) um</b>		<b>350</b>	<b>651</b>	<b>356</b>	<b>149</b>	<b>82</b>	<b>56</b>	<b>44</b>	<b>34</b>	<b>30</b>

Con los datos corregidos podemos graficar el diagrama de la deflexión con respecto a cada abscisa considerando los valores obtenidos de los geófonos del equipo FWD, observando los máximos de deflexiones que son indicadores de una mayor falla en la estructura del pavimento mostrado así en la Figura 48:

**Figura 54:**

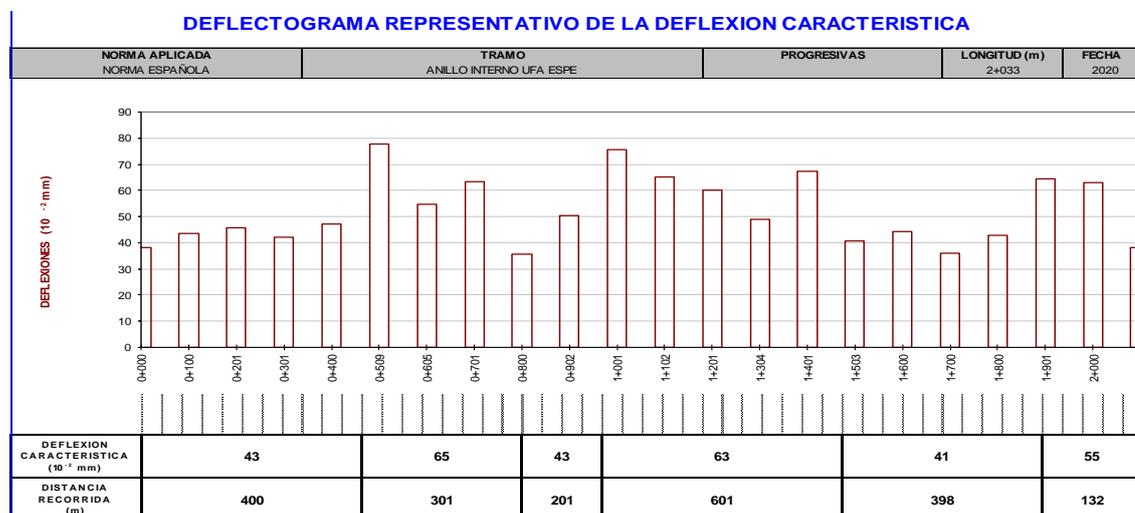
*Diagrama de deflexiones geófono D (1) del carril interno*



Además, obtendremos el Histograma de las deflexiones producidas por el geófono D (1) conocido también como deflectograma representativo de la deflexión característica de la vía, como se muestra en la figura 49.

**Figura 55:**

*Histograma de deflexiones geófono D (1) del carril interno*



En la Figura 50 y 51 se puede observar el cuenco de deformación realizado posterior al ensayo realizado en la abscisa 00+000 donde en la ubicación de 0 se observa la deflexión máxima que es dada por el geófono D(1).

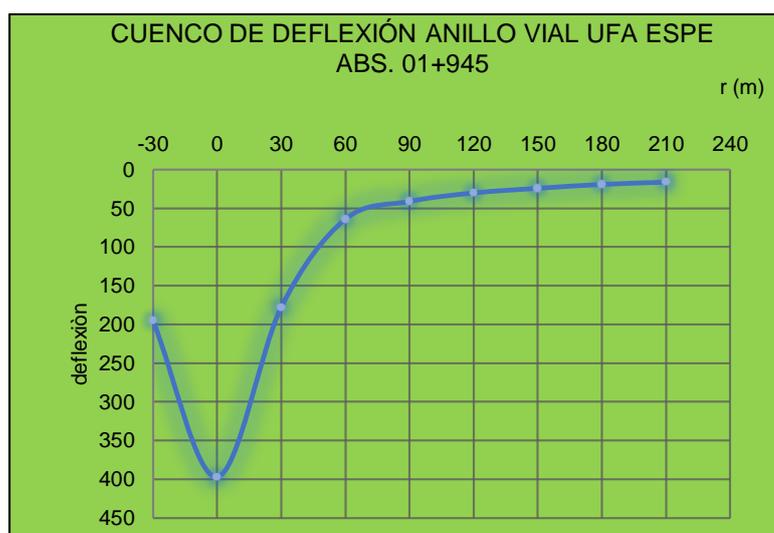
**Figura 56:**

*Cuenca de Deflexión en abscisa 00+00 carril interno*



**Figura 57:**

*Cuenca de Deflexión en abscisa 01+945 carril externo*



En Figura 52 y 53, se puede observar los cuencos de deflexión cada 100 m en cada uno de los anillos de la universidad.

Figura 58:

*Cuencos de Deflexiones en carril interno*

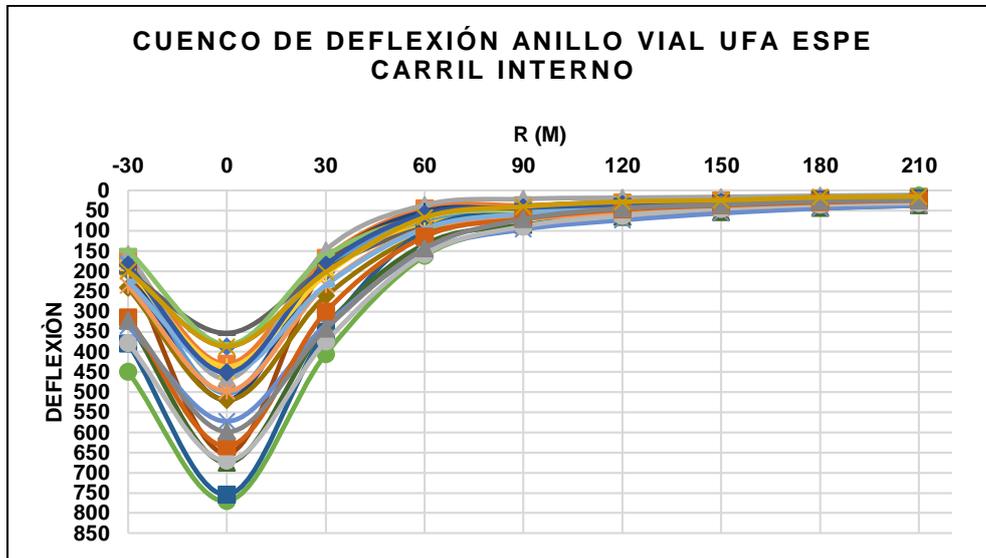
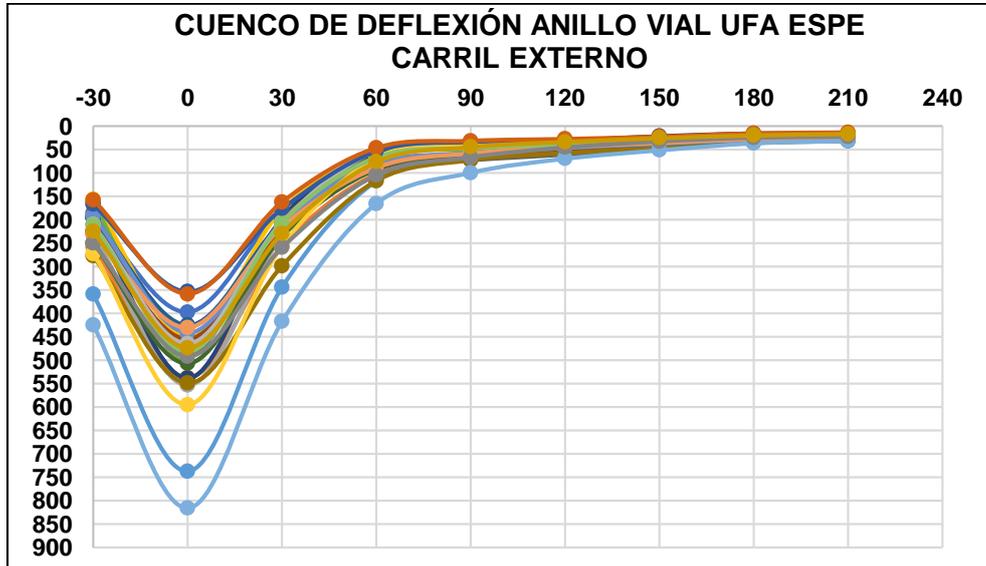


Figura 59:

*Cuencos de Deflexiones en carril externo*



En la tabla 19 donde se verifica las secciones homogéneas, se realiza el cálculo de longitudes acumuladas ( $\Sigma\Delta x_i$ ); el cálculo de áreas ( $a_i$ ) es la multiplicación entre la longitud es decir la distancia de intervalo de medición del geófono D(1) por el valor de deflexión promedio marcada por el geófono D (1), se obtiene las áreas acumuladas ( $\Sigma a_i$ ).

Para determinar las secciones homogéneas se procede a encontrar la frecuencia ( $F = \sum a_i / \sum \Delta x_i$ ), al encontrar el valor de diferencia acumulada  $Zx = \sum a_i - F * \sum \Delta x_i$  se grafica la columna  $Zx$  y se obtiene el diagrama de secciones homogéneas, indicado en la tabla 19:

**Tabla 19**

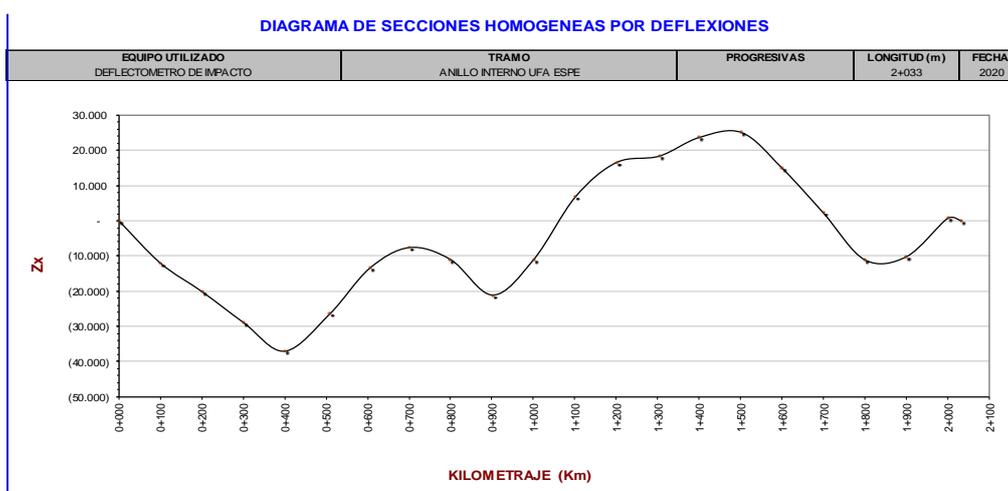
*Cálculo para secciones homogéneas*

DETERMINACION DE SECCIONES HOMOGENEAS POR DEFLEXIONES							
Absci CS	NORMA APLICADA ASTM D4694-96		TRAMO ANILLO INTERNO UFA ESPE		LONGITUD 2+033	FECHA 2020	Diferencia Acumulada (Zx)
	Distancia Intervalo $\Delta x_i$	Distancia Acumulada ( $\sum \Delta x_i$ )	DEFLEXION D1 (um)	Área Intervalo ( $a_i$ )	Área Acumulada ( $\sum a_i$ )	Diferencia Acumulada (Zx)	
			Ensayo	Prom.			
0+000	0	0	380	380	0	0	0
0+100	100	100	436	408	40811	40811	-11967
0+201	101	201	459	447	45172	85982	-20101
0+301	100	301	422	440	44011	129993	-28868
0+400	99	400	471	446	44183	174177	-36934
0+509	109	509	779	625	68144	242321	-26318
0+605	96	605	545	662	63587	305908	-13397
0+701	96	701	633	589	56537	362445	-7527
0+800	99	800	355	494	48862	411307	-10915
0+902	102	902	503	429	43737	455043	-21012
1+001	99	1001	757	630	62361	517405	-10900
1+102	101	1102	652	704	71135	588539	6929
1+201	99	1201	600	626	61951	650490	16630
1+304	103	1304	491	545	56153	706644	18422
1+401	97	1401	675	583	56517	763161	23745
1+503	102	1503	407	541	55188	818349	25099
1+600	97	1600	441	424	41142	859491	15047
1+700	100	1700	360	400	40033	899524	2302
1+800	100	1800	430	395	39470	938993	-11006
1+901	101	1901	644	537	54219	993212	-10092
2+000	99	2000	630	637	63083	1056295	741
2+033	33	2033	380	505	16676	1072971	0
<b>F = <math>\sum a_i / \sum \Delta x_i</math></b>					<b>528</b>		

En la figura 54, se verifica el diagrama de secciones homogéneas, en donde se agrupa las secciones hasta donde el cambio de dirección de la curva diferencia cada sección, es decir que las secciones homogenizadas están compuestas por todos los valores que estén dentro de la curva de deflexión.

**Figura 60:**

*Diagrama de secciones por deflexiones D(1) carril interno*



En la Tabla 20, se observa cada sección homogénea, se procede a identificar los valores de cada sección y se calcula la desviación estándar que es la medida de la dispersión de los valores respecto a la media de cada una de las secciones (DES (S)), se verifica y se asigna la deflexión máxima de los datos analizados (MAX), el percentil al 85%, la media, con esos datos obtenemos la deflexión características (CAR.) que es la suma del valor de la media más 2 veces la desviación estándar (CAR= MED+2\*DES (S), se acepta el cálculo cuando s/m que es la relación entre la desviación estándar y la media da un valor menor al 30%, caso contrario la sección no estará homogénea.

Tabla 20

Verificación de secciones homogéneas geófono D (1), carril interno

PROGRESIVA	DEFLEXION CARACTERISTICA, MAXIMA, PERCENTIL 85 Y MEDIA							PROGRESIVAS		FECHA 2020 s/m
	NORMA APLICADA		TRAMO				-----			
	ENSAYADA	CORREGIDA	ANILLO INTERNO UFA ESPE				RANGO	DESVIACION ESTANDAR		
		DEFLEXIONES D1 (10 <sup>-2</sup> mm)								
		CARACTERISTICA	MAXIMA	PERCENTIL 85	MEDIA					
0+000	387	38	50	47	46	43	0,88	3,54	0,08	
0+100	430	44	50	47	46	43	1,01	3,54	0,08	
0+201	467	46	50	47	46	43	1,06	3,54	0,08	
0+301	448	42	50	47	46	43	0,97	3,54	0,08	
0+400	503	47	50	47	46	43	1,09	3,54	0,08	
0+509	771	78	89	78	74	65	1,19	11,83	0,18	
0+605	519	55	89	78	74	65	0,84	11,83	0,18	
0+701	652	63	89	78	74	65	0,97	11,83	0,18	
0+800	354	35	64	50	48	43	0,83	10,49	0,24	
0+902	519	50	64	50	48	43	1,17	10,49	0,24	
1+001	755	76	83	76	71	63	1,19	9,85	0,16	
1+102	675	65	83	76	71	63	1,03	9,85	0,16	
1+201	572	60	83	76	71	63	0,94	9,85	0,16	
1+304	498	49	83	76	71	63	0,77	9,85	0,16	
1+401	670	67	83	76	71	63	1,06	9,85	0,16	
1+503	437	41	48	44	44	41	1,00	3,59	0,09	
1+600	453	44	48	44	44	41	1,08	3,59	0,09	
1+700	382	36	48	44	44	41	0,88	3,59	0,09	
1+800	451	43	48	44	44	41	1,05	3,59	0,09	
1+901	634	64	85	64	64	55	1,17	14,85	0,27	
2+000	598	63	85	64	64	55	1,14	14,85	0,27	
2+033	387	38	85	64	64	55	0,69	14,85	0,27	

En lo referente a la Deflexión Característica se han definido 6 secciones homogéneas, siendo el segmento ubicado entre la abscisa 0+400 a 0+701 el de mayor deflexión, y el de menor módulo del paquete estructural, se muestra en tabla 21 y 22

**Tabla 21**

*Secciones homog. diferencias acumuladas geófono D (1), carril interno*

<b>EQUIPO</b>	<b>TRAMO</b>	<b>PROGRESIVAS</b>	<b>LONGITU</b>	<b>FECH</b>
<b>FWD</b>	<b>ANILLO INTERNO UFA ESPE</b>	<b>-----</b>	<b>2+033</b>	<b>2020</b>
<b>Nº DESDE</b>	<b>HASTA</b>	<b>LONGITUD (M)</b>	<b>D (1) (um)</b>	
1	0+000	0+400	400	433
2	0+400	0+701	301	652
3	0+701	0+902	201	429
4	0+902	1+503	601	635
5	1+503	1+901	398	409
6	1+901	2+033	132	552

**Tabla 22**

*Secciones homog. deflexión característica geófono D (1), carril interno*

<b>EQUIPO</b>	<b>TRAMO</b>	<b>PROGRESIVAS</b>	<b>LONGITUD</b>	<b>FECH</b>
<b>FWD</b>	<b>ANILLO INTERNO DE UFA ESPE</b>	<b>-----</b>	<b>2+033</b>	<b>2020</b>
<b>N.º DESDE</b>	<b>HASTA</b>	<b>LONGITUD (M)</b>	<b>D(1) (10-2 mm)</b>	
1	0+000	0+400	400	50
2	0+400	0+701	301	89
3	0+701	0+902	201	64
4	0+902	1+503	601	83
5	1+503	1+901	398	48
6	1+901	2+033	132	85

Con el mismo procedimiento se procede a realizar el cálculo con el Geófono D

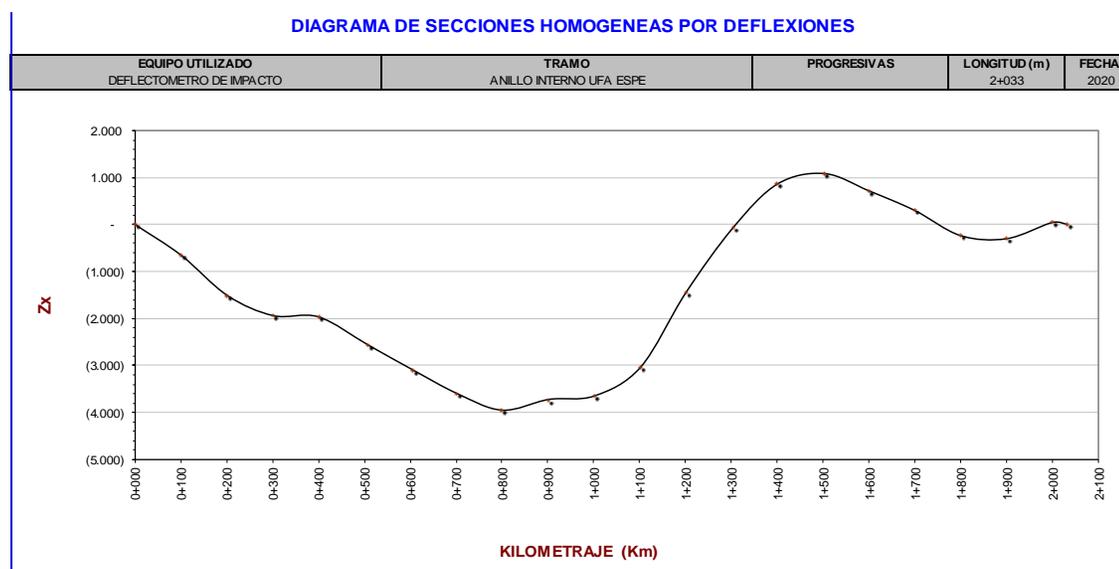
(8) del carril interno del anillo vial de la universidad, encontrándose el siguiente

diagrama de secciones homogéneas

## GEÓFONO D8 CARRIL INTERNO

**Figura 61:**

*Diagrama de secciones por deflexiones D (8), carril interno*



En lo referente a la Deflexión Característica, se han definido 5 secciones homogéneas, siendo el segmento ubicado entre la abscisa 1+102 a 1+503 el de mayor deflexión, y el de menor módulo del paquete estructural, se muestra en tabla 23 y 24

**Tabla 23**

*Secciones homog. diferencias acumuladas geófono D (8), carril interno*

EQUIPO	TRAMO	PROGRESIVAS	LONGITUD (m)	FECHA
FWD	ANILLO INTERNO UFA ESPE	-----	2+033	2020
N.º	DESDE	HASTA	LONGITUD (M)	D(8) (um) Promedio
1	0+000	0+400	400	17
2	0+400	0+800	400	15
3	0+800	1+102	302	22
4	1+102	1+503	401	35
5	1+503	1+901	398	17
6	1+901	2+033	132	22

Tabla 24

Secciones homog. deflexión característica geófono D (8), carril interno

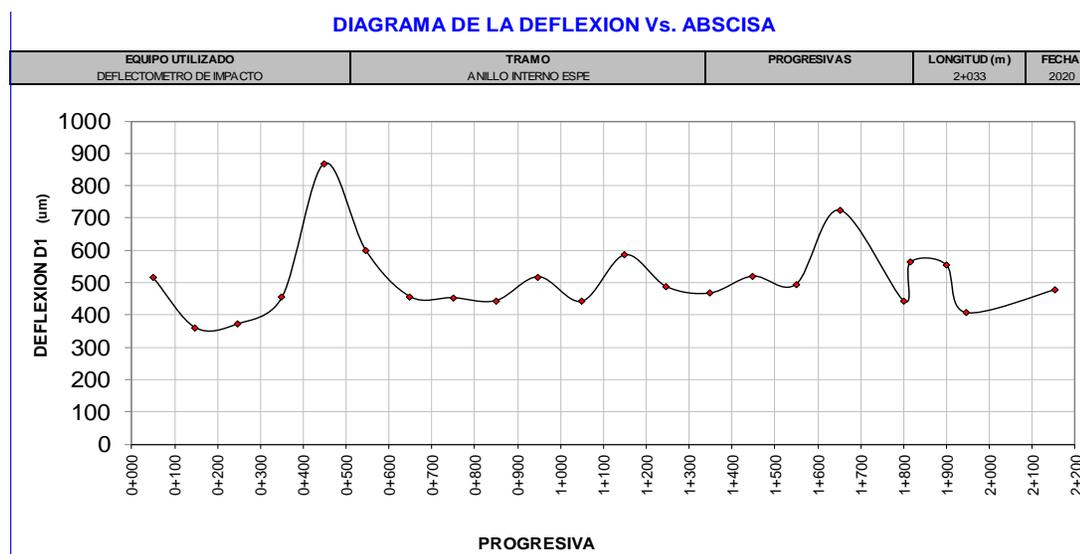
EQUIPO	TRAMO		PROGRESIVAS	LONGITUD (m)	FECHA
FWD	ANILLO INTERNO DE UFA ESPE		-----	2+033	2020
N.º	DESDE	HASTA	LONGITUD (M)	D(8) (10-2 mm) Promedio	
1	0+000	0+400	400	3	
2	0+400	0+800	400	2	
2	0+800	1+102	302	3	
3	1+102	1+503	401	4	
4	1+503	1+901	398	2	
5	1+901	2+033	132	3	

**PROCEDIMIENTO EN EL CARRIL EXTERNO:** De otro modo en lo que

respecta a la deflexión característica del carril externo del anillo vial de la universidad, para lo cual se aplica el mismo procedimiento, de análisis del carril interno, obteniendo ya corregidos los datos por temperatura y carga el diagrama de deflexión de todo el carril externo como se muestra en la figura 65:

Figura 62:

Diagrama de deflexión en carril externo

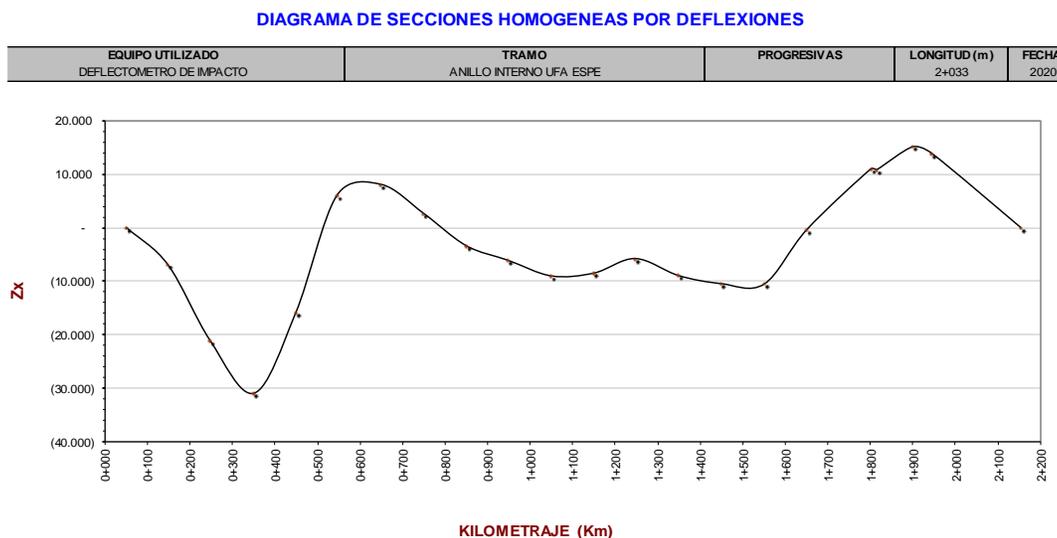


Realizados los cálculos, se define 5 secciones homogéneas tanto en el análisis del geófono de D(1) y D(8) respectivamente encontrándose que todos los segmentos tienen una tendencia de deflexión característica, tal como se muestra en las figuras 57 y 58, y descritas en las tablas de secciones homogéneas por diferencias acumuladas.

**GEOFONO 1 CARRIL EXTERNO**

**Figura 63:**

*Diagrama de secciones por deflexiones D (1), carril externo*



**Figura 64:**

*Secciones homog. diferencias acumuladas geófono D (1), carril externo*

**SECCIONES HOMOGÉNEAS POR DIFERENCIAS ACUMULADAS**

<b>EQUIPO</b> FWD	<b>TRAMO</b> ANILLO INTERNO UFA ESPE	<b>PROGRESIVAS</b>	<b>LONGITUD (m)</b> 2+033	<b>FECHA</b> 2020
----------------------	---	--------------------	------------------------------	----------------------

Nº	PROGRESIVA		LONGITUD (M)	D(1) (um) Promedio
	DESDE	HASTA		
1	0+049	0+350	301	425
2	0+350	0+649	299	642
3	0+649	1+550	901	490
4	1+550	1+900	350	577
5	1+900	2+154	254	480

**Figura 65:**

*Secciones homog. deflexión característica geófono D (1), carril externo*

EQUIPO	0	0	TRAMO	PROGRESIVAS	LONGITUD (m)	FECHA
			ANILLO INTERNO DE UFA ESPE		2+033	2020

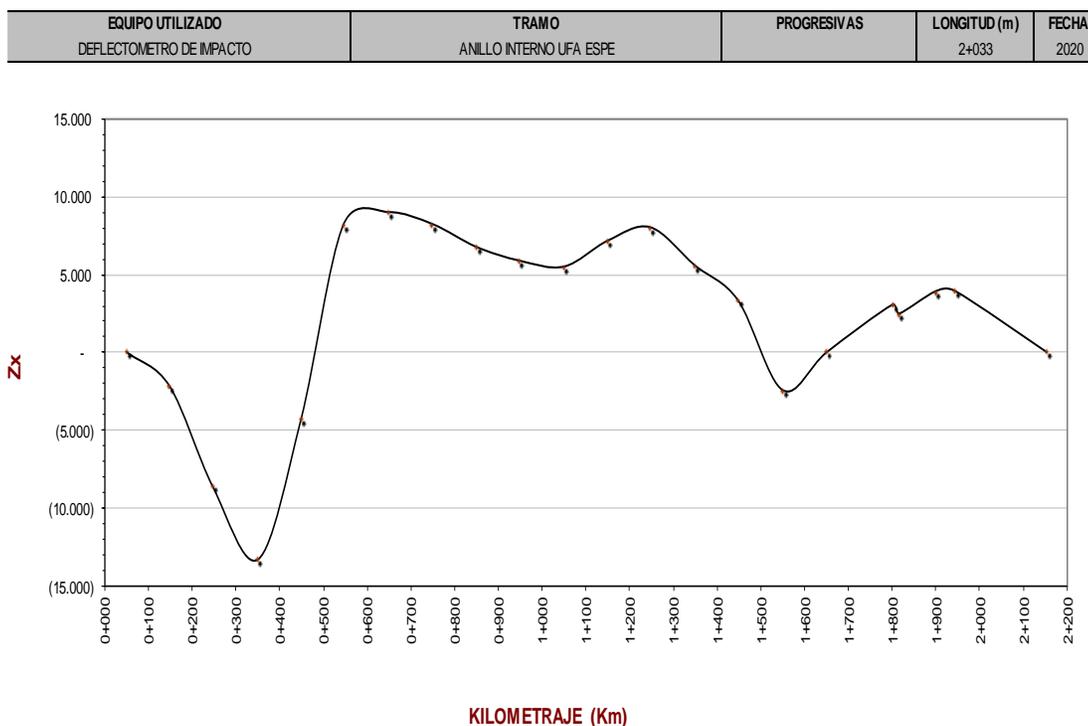
  

PROGRESIVA				
Nº	DESDE	HASTA	LONGITUD (M)	D(1) (10-2 mm) Promedio
1	0+049	0+350	301	57
2	0+350	0+649	299	106
3	0+649	1+550	901	58
4	1+550	1+900	350	80
5	1+900	2+154	254	54

### GEOFONO 8 CARRIL EXTERNO

**Figura 66:**

*Diagrama de secciones por deflexiones D (8), carril externo*



**Figura 67:**

*Secciones homog. diferencias acumuladas geófono D (8), carril externo*

EQUIPO	TRAMO		PROGRESIVAS	LONGITUD (m)	FECHA
FWD	ANILLO INTERNO UFA ESPE			2+033	2020

PROGRESIVA				
Nº	DESDE	HASTA	LONGITUD (M)	D(1) (um) Promedio
1	0+049	0+350	301	195
2	0+350	0+545	195	357
3	0+545	1+247	702	222
4	1+247	1+550	303	190
5	1+550	1+900	350	247
6	1+900	2+154	254	210

**Figura 68:**

*Secciones homog. deflexión característica geófono D (8), carril externo*

EQUIPO	0	0	TRAMO	PROGRESIVAS	LONGITUD (m)	FECHA
			ANILLO INTERNO DE UFA ESPE		2+033	2020

PROGRESIVA				
Nº	DESDE	HASTA	LONGITUD (M)	D(1) (10-2 mm) Promedio
1	0+049	0+350	301	62
2	0+350	0+545	195	121
3	0+545	1+247	702	64
4	1+247	1+550	303	86
5	1+550	1+900	350	87
6	1+900	2+154	254	59

Con los datos obtenidos se procede a realizar un análisis del número efectivo requerido; para lo cual empleamos el programa Ecuación AASHTO 93, que permitirá encontrar de acorde a los parámetros obtenidos (Cálculo del ESAL'S y cálculo de módulos resilientes, otros) el valor del número efectivo requerido para cada sección

homogénea, en la figura 71 se observa el ingreso de los parámetros como es la serviciabilidad de  $PSI = 4.2$  y  $PSI$  final a  $2.2$  (recomendado en el apartado), el Factor De Confiabilidad ( $R$ ) de un  $80\%$  donde el valor de  $Z_r = -0.841$  y el valor de desviación estándar de  $0.49$ , el módulo de resiliencia calculado por retrocálculo de  $11252,63$  psi, y del cálculo de ESALS de  $962358,70$  encontrando un  $SN_{req}$  de  $2.73$  para la sección homogénea 1.

**Figura 69:**

*Programa Ecuación AASHTO 93*

The figure displays two screenshots of the 'Ecuación AASHTO 93' software interface, showing the input and output parameters for the calculation of the AASHTO 1993 (2.0) equations for flexible pavements.

**Left Screenshot (Input Parameters):**

- Título:** 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
- Confianza (R) y Desviación estándar (So):** Reliability (R) [dropdown], So [input]
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial [input: 4.2], PSI final [input: 2]
- Módulo resiliencia de la subrasante:** Mr [input: 11252.63] psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
  - Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi) [input]
  - Coefficiente de transmisión de carga -  $(I)$  [input]
  - Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi) [input]
  - Coefficiente de drenaje -  $(C_d)$  [input]
- Tipo de Análisis:**  Calcular SN,  Calcular W18
- Número Estructural:** SN = [input]
- Observaciones:** [input area]
- Botones:** Calcular, Salir

**Right Screenshot (Output Results):**

- Título:** 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
- Confianza (R) y Desviación estándar (So):** 80 %  $Z_r = -0.841$  [dropdown], So [input: 0.49]
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial [input: 4.2], PSI final [input: 2]
- Módulo resiliencia de la subrasante:** Mr [input: 11252.63] psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
  - Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi) [input]
  - Coefficiente de transmisión de carga -  $(I)$  [input]
  - Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi) [input]
  - Coefficiente de drenaje -  $(C_d)$  [input]
- Tipo de Análisis:**  Calcular SN,  Calcular W18
- Número Estructural:** SN = [input: 2.73]
- Observaciones:** [input area]
- Botones:** Calcular, Salir

### ***Análisis estructural deflectométrico criterio AASHTO 93 pavimentos flexibles.***

Con la información obtenida por medio del estudio del deflectómetro de impacto, se puede aplicar el método de retrocálculo explicado en el apartado 2.8.3, calculando parámetros que serán usados en la modelación de la estructura de pavimento flexible.

En el Anexo 4 se encuentra el detalle de cálculo de cada una de las secciones homogéneas, en el presente apartado se coloca la aplicación de la norma para encontrar los parámetros de la primera sección homogénea:

Por lo cual se aclara que las deflexiones características permiten evaluar la capacidad estructural de la estructura de pavimento flexible mediante la metodología AASHTO 1993, el estimado del Número Estructural efectivo  $SN_{eff}$  que tiene el paquete estructural del pavimento existente; por lo tanto, los parámetros que se calculan son: el Módulo resiliente de la Subrasante ( $M_r$ ), módulo efectivo del pavimento sobre la subrasante ( $E_p$ ), el módulo estructural efectivo ( $SN_{eff}$ ).

Es necesario las mediciones de la estructura de pavimento existente, las mismas que fueron obtenidas en cada una de las secciones homogéneas,

**Tabla 25**

*Espesores de estructura del pavimento*

ZONA DE ESTUDIO	CARPETA DE RODADURA (CM)	MATERIAL GRANULAR (CM)	SUBBASE GRANULAR (CM)
SECCIÓN 1	5.08	50	0
SECCIÓN 2	4	40	0
SECCIÓN 3	4	30	0
SECCIÓN 4	3	38	0
SECCIÓN 5	4	40	0
SECCIÓN 6	4	40	0

Estos datos permitirán obtener el espesor del pavimento ( $D$ ), como se puede verificar en la tabla 25. Además los valores que son dados por el equipo de empleo del FWD son:  $r$ : distancia del centro de carga, pulgadas de 210 cm., la deflexión a una distancia  $r$  del centro de la carga ( $d_r$ ) que corresponde a la medición del geófono D (8), carga aplicada ( $P$ ) que es la carga que equivale a 40 Kn; radio del plato de carga del FWD ( $a$ ) dado de 15 cm, el módulo de elasticidad efectivo de las capas del pavimento

( $E_p$ ), se calcula por un proceso de tanteos de tal forma que se iguale la medición de la deflexión del geófono  $D(1)$  con el retrocálculo de la deflexión máxima corregida ( $\Delta 0$ : formula descrita en el apartado 2.8.3.1), lo que permite verificar que  $r > 0.7 * a_e$ , donde  $a_e$  es el Radio del bulbo de tensión en la interfase pavimento-subrasante.

Debido a que el material de la estructura del pavimento se encuentra deteriorado, inclusive con saturación de agua, y como se puede evidenciar en los resultados presentados es pertinente aplicar la recomendación de AASHTO, que el módulo de resiliencia sea calculado con un coeficiente  $C=0.45$  quedando la formula del  $M_r$ :  $(0,45 * 0,24 * P) / (d_r * r)$ .

## **Metodología para rehabilitación de pavimentos por evaluación funcional**

### ***Reparación de capa de rodadura***

Cuando existe leves daños en los pavimentos y que son de simple apreciación; es decir, existirá un daño funcional en donde la capa de rodadura se vea afectada, presumiblemente se deberá usar tratamientos superficiales o recubrimientos de sello considerando que es un método de rehabilitación en los de pavimentos flexibles (asfálticos).

Por lo tanto, se deberá aplicar un recubrimiento de asfalto solo o con agregados, de menos de una pulgada de espesor generalmente a la superficie de la vía. En general con este tipo de tratamiento no hay mejora estructural substancial, pero si una serie de beneficios indirectos como minorizar el índice de deterioro de la estructura del pavimento, es decir que aumentan la vida útil del pavimento.

### ***Métodos de reparación en base a los tipos de fallas más comunes***

#### **Agrietamientos**

**Piel de cocodrilo.** - consecuencia de saturación de bases o subrasantes formando grietas se deberá corregir:

- Remoción del material húmedo e instalación de los drenajes necesarios.
- Colocar parche resistente, empleando material asfáltico mezclado en planta.
- También se puede colocar un material granular nuevo de base, compactándolo en capas que no excedan de 15cm. La base granular debe ser luego imprimada y bacheada.
- Realizar reparaciones temporales, aplicando parches superficiales o capas de sello con agregados en las áreas afectadas.
- En todos los casos, las reparaciones deben hacerse lo más rápidamente posible para así evitar mayores daños a la estructura del pavimento.

**Agrietamiento por sobrecarga.** – Un recapeamiento debidamente diseñado corregirá la condición. El bacheo descrito se lo realice siempre y cuando las superficies presenten grietas mayores a 3mm de ancho; las reparaciones que se realizarían son:

***Bacheo profundo:***

- Remover la superficie y la base hasta la profundidad que sea necesaria, alcanzar un apoyo firme (extendiéndose al menos 30 cm en el pavimento sano fuera del área agrietada). Esto puede significar que parte del material de la subrasante también tendrá que ser removido.
- Realizar un corte cuadrado o rectangular, con caras rectas y verticales. Un par de las caras debe ser perpendicular a la dirección del tráfico (AYALA, 2013).
- Instalar drenajes, si la causa de la falla es el agua.
- Para obtener los mejores resultados, se rellena el hueco con una mezcla asfáltica densamente gradada, mezclada en caliente en planta. Para evitar la segregación de la mezcla, extiéndase cuidadosamente. Si no se dispone de la mezcla asfáltica, se puede hacer el relleno con un buen material granular

de base. Parte del material de la superficie y de la parte superior de la base removida del hueco, desmenuzado en pequeños pedazos y mezclado completamente, puede colocarse en el fondo del hueco. (AYALA, 2013)

- Si el hueco tiene más de 15 cm de profundidad, se debe compactar en capas, para que la compactación tenga buenos resultados, esta debe realizarse con el equipo más apropiado al tamaño del trabajo. Para parches pequeños, un compactador vibrante plano es excelente, no así para áreas grandes donde puede resultar más práctico un rodillo. (AYALA, 2013)
- Cuando la mezcla asfáltica se coloca directamente sobre la subrasante no se requiere imprimación.
- Si se emplea una base granular, entonces debe ser imprimada. La reparación se completa luego colocando mezcla asfáltica en caliente, en planta y compactándole hasta dejarla a ras con la superficie adyacente.
- Utilice una regla o un alambre para verificar el alineamiento del bache.

### ***Bacheo Superficial***

- Se abre una zanja poco profunda, alrededor del área que se va a bachear, en forma tal que los bordes resultantes sean con caras verticales (AYALA, 2013).
- Se limpia el área agrietada barriéndola con cepillos y si es necesario con aire comprimido.
- Se usa un cepillo para extender sobre las grietas material asfáltico de gradación fina, mezclado en planta.
- Se compacta con un compactador vibrante plano o con un rodillo, o se apisona con las ruedas de un camión cargado, esta compactación se realiza sobre el material colocado en la zanja agrietada.

- Se aplica una capa de pega.
- Se coloca un parque delgado con material asfáltico mezclado en caliente en planta. Si no se dispone de ese material, se utiliza mezcla con asfalto líquido. Antes de compactar deben limpiarse los bordes cuidadosamente removiendo las partículas gruesas con un raspador y un rastrillo.
- Se compacta el parche con un compactador vibrante plano o con un rodillo. Si no se dispone ninguno de ellos, la compactación podrá realizarse con las ruedas del camión que transporta la mezcla, esta compactación se realiza sobre el material colocado sobre la zona agrietada y la zanja anunciada en 1.

#### ***Grietas menores a 3mm de ancho***

- Se limpia el área agrietada con cepillo y aire comprimido.
- Se riega la cantidad necesaria de asfalto líquido (puede ser emulsión de curado rápido o de curado medio) sobre el área limpia. Generalmente, para la capa de sello es suficiente de 0,60 a 1,00 litros por metro cuadrado, pero si a través de las grietas se pierde una cantidad excesiva de asfalto, puede emplearse una cantidad ligeramente mayor.
- Se aplican los agregados de cubierta e inmediatamente después de regar el asfalto. Para este tipo de parche, un buen tamaño de agregado es el comprendido entre el tamiz de 1/4 y el tamiz número 10.
- Se apisona la capa de sello con una apisonadora de ruedas de caucho. Si no se dispone de una apisonadora, pueden emplearse entonces las ruedas del camión que lleva el agregado.
- Si es necesario elevar nivel del área reparada al de las zonas adyacentes al pavimento, puede aplicarse una segunda capa de sello.

- Antes de abrir la vía al tráfico se debe esperar el curado completo lo cual ocurre después de, por lo menos, 24 horas.

**Grietas en los bordes.** - Para efectuar la reparación de este tipo de fallas:

- Rellenan las grietas con lechada de emulsión asfáltica o asfalto líquido mezclado con arena.
- Si el borde del pavimento se ha asentado se debe elevar el nivel utilizando material de bacheo mezclado en planta en caliente.
- Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:
- Mejoran los drenajes, instalando un subdrenaje cuando sea necesario.
- Se limpian el pavimento y las grietas con cepillo y aire comprimido.
- Se rellenan las grietas con lechada de emulsión o asfalto líquido, mezclado con arena, igualando con una escoba de plástico.
- Se aplica una capa de pega.
- Se nivelan los bordes asentados, extendiendo material asfáltico mezclado en planta en caliente. Se comprueba la nivelación con una regla o con un cable. Se compacta con un compactador vibrante plano o con una apisonadora. Los bordes del parche deben quedar limpios y rectos (AYALA, 2013).
- Se remueven los árboles, yerbas o cualquier otra vegetación, excepto la grama, que se encuentran próximos a los bordes del pavimento.

**Grietas longitudinales a lo largo de los bordes.** – si existe agua, el primer paso consiste en mejorar el drenaje, eliminando la causa del estancamiento del agua y se repara igual que grietas de reflexión.

**Grietas a lo largo de la junta de los carriles.** - se repara igual que grietas de reflexión.

**Grietas de reflexión.** - Las grietas grandes, de más de 3mm de ancho, se pueden llenar con lechada de emulsión asfáltica o con un asfalto líquido liviano mezclado con arena fina, pudiéndose también usar compuestos asfálticos especiales o materiales asfálticos de mayor cuerpo (AYALA, 2013). Para realizar este trabajo de reparación, se procede de la siguiente manera:

- Se limpian las grietas con un cepillo de cerdas duras o aire comprimido.
- Utilizando una maestra de mano y un cepillo, se rellenan con lechada de emulsión asfáltica o asfalto líquido mezclado con arena. Después de curado, se sella con asfalto líquido utilizando una regadera y una maestra de mano.
- Se recubre con arena seca la superficie de la grieta rellena, para evitar que el tráfico la levante.

#### **Deformaciones o distorsiones**

**Ahuellamientos.** - Para la reparación, se enrasa el pavimento relleno de las depresiones con mezcla asfáltica producida en planta en caliente y luego se coloca un recubrimiento asfáltico, común, delgado, de mezcla en planta (AYALA, 2013).

Para realizar esta reparación de mantenimiento se procede de la siguiente manera:

- Se determinan los límites de las depresiones con una regla o un cable, demarcando con un lápiz las áreas a relleno.
- Se aplica una capa de pega ligera 0,25 a 0,75 litros por metro cuadrado de emulsión asfáltica SS-1 o SS-h diluida en partes iguales de agua.
- En las depresiones se extiende concreto asfáltico densamente gradado (mezcla tipo IVa o IVb) con una pavimentadora, debiendo quedar el material rebajado en los bordes.

- Se compacta con un rodillo de ruedas de goma. Si no se dispone de él, se utilizará un rodillo de rueda metálica.
- Se aplica un recubrimiento delgado de material mezclado en planta en caliente.
- Si no se va a recubrir el pavimento con un recapeamiento, se aplica un sello de arena sobre el área reparada a fin de evitar la entrada de agua, teniendo cuidado de no regar asfalto en exceso.

**Ondulaciones y combaduras.** - Si el pavimento ondulado está formado por una base de agregado y un tratamiento superficial delgado, una medida correctiva satisfactoria es escarificar la superficie, mezclarla con la base, y extender y recompactar esta mezcla antes de repavimentar (AYALA, 2013).

Si el pavimento tiene una base y una superficie asfáltica de más de 5cm, de espesor, las ondulaciones superficiales pueden eliminarse con una máquina que se conoce con el nombre de máquina calentadora, aplicando a continuación una capa de sello o una carpeta superficial de mezcla de planta. Para lograr una reparación efectiva de las áreas combadas, éstas deben ser removidas o bacheadas.

***Reparación de las ondulaciones en los tratamientos superficiales***

***delgados***, para realizar esta reparación se procede de la siguiente manera:

- Se escarifica y rompe la superficie con una cortadora rotativa.
- Se mezcla el material de superficie así desmenuzado con el material de base, hasta una profundidad de 10cm.
- Se compacta y reconforma la base.
- Se imprima la base.
- Se aplica un tratamiento superficial nuevo.

**Reparación de las ondulaciones en las superficies asfálticas gruesas. -**

Para realizar este trabajo se debe proceder de la siguiente manera:

- Se alisa el pavimento con la máquina calentadora hasta obtener una superficie libre de irregularidades.
- Se cubre la superficie alisada con una capa de sello asfáltico mezclado en planta en caliente o con una emulsión de lechada asfáltica.

**Reparación de zonas combadas.** - La reparación de estas fallas se realiza mediante un bacheo profundo (ver grietas piel de cocodrilo).

**Hundimientos de la rasante.** - Para la reparación, las depresiones deben llenarse con material asfáltico mezclado en planta caliente y compactarse hasta nivelarles con el pavimento circundante (AYALA, 2013). Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- Se delimitan los bordes de la zona hundida con una regla o con un alambre, marcándolos sobre la superficie del pavimento con un lápiz de marcaje.
- Se limpia perfectamente toda el área, abarcando al menos 30cm más allá de los límites marcados.
- Se aplica una capa de adherencia ligera 0,25 a 0,75 litros por metro cuadrado de emulsión asfáltica SS-1 o SS-1h diluida en partes iguales de agua, sobre la superficie limpia.
- Se deja curar la capa de adherencia.
- Se extiende sobre la depresión suficiente material asfáltico mezclado en planta en caliente, hasta alcanzar, cuando se compacte, el nivel original.

- Los bordes del parche deben ser acuñados, rastrillando y manipulando cuidadosamente el material. Sin embargo, al rastrillar se debe tenerse cuidado para evitar la separación de las partículas gruesas y finas de la mezcla.
- Se verifica la lisura del parche con una regla o con un alambre.
- Se debe compactar perfectamente el parche con un compactador vibrante plano, con rodillo o con pisón de mano.
- Se coloca un sello de arena sobre el área bacheada, para evitar la entrada de agua, cuidando de no aplicar exceso de asfalto.

**Levantamientos.** - Los levantamientos se reparan realizando un bacheo profundo como se indicó anteriormente al tratar de las grietas piel de cocodrilo.

**Hundimiento sobre zanjas.** - Para su reparación siga el mismo procedimiento descrito para hundimientos de la rasante, visto anteriormente.

### **Desintegraciones**

**Baches.** - Generalmente los baches aparecen cuando es difícil hacer una reparación permanente, requiriéndose entonces aplicar medidas de emergencia.

**Reparación de emergencia.** - Para realizar este tipo de reparación se procede de la siguiente manera:

- Se limpia el hueco de todo el material suelto y el agua que sea posible.
- Se rellena el hueco con una mezcla de emulsión asfáltica almacenada y se rastrilla hasta dejar la superficie lisa.
- Se compacta con un compactador vibrante plano o con un rodillo.

**Reparación permanente.** - Para este tipo de reparación se procede a realizar un bacheo profundo (ver grietas piel de cocodrilo).

**Desmoronamiento en los bordes.** - Las superficies con bordes desmoronados, son condiciones que requieren generalmente un tratamiento superficial.

**Reparación de emergencia.** - Para realizar esta reparación se procede de la siguiente manera:

- Se barre de la superficie todo el polvo y material suelto que sobre ella se encuentran.
- Se aplica un sello negro: 0,50 a 1,00 litro por metro cuadrado, dependiendo de la textura y porosidad del pavimento, de emulsión asfáltica SS-1h o SS-Kh diluida en partes iguales de agua.
- Se debe prohibir el tráfico hasta que el sello haya curado, lo cual ocurre en un tiempo de 24 horas.

**Reparación permanente.** - Se procede de la siguiente manera:

- Se procede de igual manera que en los puntos anteriores 1,2 y 3 para reparación de emergencia.
- Se aplica un tratamiento superficial: sello de lechada, sello de arena, sello de agregado o tratamiento superficial con mezcla en planta, dependiendo de la condición de la superficie y de la intensidad del tráfico.

### **Exudaciones Y Agregados Pulidos**

**Exudación o afloración de asfalto.** - En muchos casos, la exudación puede corregirse esparciendo repetidamente arena caliente o cerniduras de escoria o de roca en caliente, para absorber el exceso de asfalto. Algunas veces, cuando la exudación es ligera, un tratamiento superficial con mezcla en planta o un sello de agregado es el único tratamiento requerido (AYALA, 2013). Para realizar la reparación se procede de la siguiente manera:

- Se esparcen cerniduras de escoria, arena o roca cuyo tamaño máximo no sobrepasa 1 cm, sobre el área afectada.

- Este agregado debe ser calentado al menos a 150°C, y extendiéndose a razón de 5 a 7,5 kilogramos por metro cuadrado
- Inmediatamente después de extendido el agregado, se apisona con un rodillo de ruedas de goma.
- Cuando el agregado se ha enfriado, se barren las partículas sueltas.
- Si es necesario, se repite el proceso.

**Agregados pulidos.** - La única forma efectiva de reparar un pavimento construido con agregados pulidos es recubriendo la superficie con un tratamiento anti-resbaladizo.

Para ello se debe aplicar un tratamiento superficial de mezcla en planta en caliente, un sello de arena o un sello de agregado. El agregado debe ser duro y angular. Para realizar este trabajo de reparación se procede de la siguiente manera:

- Se aplica una capa de pega ligera: 0,25 a 0,75 litros por metro cuadrado de emulsión asfáltica SS-1 o SS-1h diluida en partes iguales de agua.
- Se extiende material mezclado en planta en caliente. Si no se dispone de este material puede usarse un sello de arena o de agregado.
- Se apisona con rodillos de rueda de goma y de ruedas de acero.

#### **Chequeo de refuerzo utilizando el método racional**

Se chequea y/o se verifica por método racional, las secciones que deben ser intervenidas luego de haber obtenido el refuerzo necesario a través del método ASSHTO y la información del deflectómetro de impacto, con el fin de verificar los respectivos esfuerzos, deformaciones y deflexiones críticas que no superen los admisibles.

Mediante los criterios de si es una excesiva la deformación de la capa de rodadura, por lo general se produce agrietamiento de esta capa, y, si es excesiva deformación vertical de compresión en la subrasante se ocasionará una anomalía

permanente en la misma y se producirá la imperfección de la capa de rodadura denotado en el manual de diseño de pavimentos de la SHELL.

En la Tabla se indica las ecuaciones para obtener esfuerzos, deformaciones y deflexiones admisibles, calculados con criterios de la SHELL, Dormon-Kerhoven, y Yang Huang que deberán ser chequeados con referencia el método racional con el fin que no se supere los valores admisibles:

**Figura 70:**

*Ecuaciones para esfuerzos, deformaciones y deflexiones admisibles*

CAPA	CRITERIOS	PARAMETRO	SIMBOLO	ECUACIÓN
Capa asfáltica de refuerzo	SHELL	Deformación radial admisible de tracción de la base de la capa asfáltica de refuerzo	$\epsilon_{r1}$	$\epsilon_{fat} = (0,856V_b + 1,08)E_1^{-0,36} \left(\frac{N}{K}\right)^{-0,20}$
Capa asfáltica de refuerzo	SHELL	Deformación radial admisible de tracción de la base de la capa asfáltica existente	$\epsilon_{r2}$	$\epsilon_{fat} = (0,856V_b + 1,08)E_{CA}^{-0,36} \left(\frac{N}{K}\right)^{-0,20}$
Subrasante	SHELL (NC=85%)	Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante	$\epsilon_{z5}$	$\epsilon_{zadm} = 2,80 * 10^{-2} N^{-0,25}, NC=50\%$ $\epsilon_{zadm} = 2,10 * 10^{-2} N^{-0,25}, NC=85\%$ $\epsilon_{zadm} = 1,80 * 10^{-2} N^{-0,25}, NC=50\%$
	CBR de Bélgica	Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante	$\sigma_{z4}$	$\sigma_{zadm} = \frac{0,9607 * CBR^{1,2}}{N^{0,229}}$
	DORMON - KERHOVEN	Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante	$\sigma_{z4}$	$\sigma_{zadm} = \frac{0,007 * E_s}{1 + 0,7 * \log N}$
Estructura	HUANG	Deflexión admisible de la superficie de la estructura	$\Delta_{r6}$	$\sigma_{zadm} = 23,32202N^{-0,2438}$

Utilizando el programa WINDEPAV, de la Universidad del Cauca, se determinan los esfuerzos, deformaciones y deflexiones de servicio en cada una de las secciones a ser intervenidas, para ser comparados con los datos admisibles.

Con la información del deflectómetro de impacto y método AAHSTO se obtiene el modelo estructural del Pavimento por cada sección a ser intervenida.

Figura 71:

Datos de la estructura actual del anillo vial carril interno y externo

ANILLO VIAL CARRIL INTERNO 0+000 AL 2+033						
<b>SECCIÓN 2 (0+400 - 0+701)</b>				<b>SECCIÓN 3 (0+701 - 0+902)</b>		
Estructura del pavimento existente con refuerzo						
<b>DISEÑO</b>	<b>cm</b>	<b>pulg</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA</b>			
CAPA ASFALTICA DE REFUERZO	2.54	1.0	↑	Ep, kg/cm <sup>2</sup>	1687.0	D, cm
CAPA ASFALTICA	3.00	1.2				
BASE GRANULAR	38.00	15.0				
SUB-BASE GRANULAR	0.00	0.0				
SUBRASANTE	∞					
			↓	u	0.5	
				Mr, kg/cm <sup>2</sup>	952.638	
				u	0.5	
Estructura del pavimento existente con refuerzo						
<b>DISEÑO</b>	<b>cm</b>	<b>pulg</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA</b>			
CAPA ASFALTICA DE REFUERZO	4.0	1.6	↑	Ep, kg/cm <sup>2</sup>	3849.7	D, cm
CAPA ASFALTICA	4.0	1.6				
BASE GRANULAR	30.0	11.8				
SUB-BASE GRANULAR	0.0	0.0				
SUBRASANTE	∞					
			↓	u	0.5	
				Mr, kg/cm <sup>2</sup>	729.754	
				u	0.5	
<b>SECCIÓN 4 (0+902 - 1+503)</b>				<b>SECCIÓN 6 (1+901 - 2+033)</b>		
Estructura del pavimento existente con refuerzo						
<b>DISEÑO</b>	<b>cm</b>	<b>pulg</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA</b>			
CAPA ASFALTICA DE REFUERZO	5.0	2.0	↑	Ep, kg/cm <sup>2</sup>	2800.0	D, cm
CAPA ASFALTICA	3.0	1.2				
BASE GRANULAR	38.0	15.0				
SUB-BASE GRANULAR	0.0	0.0				
SUBRASANTE	∞					
			↓	u	0.5	
				Mr, kg/cm <sup>2</sup>	492.272	
				u	0.5	
Estructura del pavimento existente con refuerzo						
<b>DISEÑO</b>	<b>cm</b>	<b>pulg</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA</b>			
CAPA ASFALTICA DE REFUERZO	4.0	1.6	↑	Ep, kg/cm <sup>2</sup>	2219.0	D, cm
CAPA ASFALTICA	4.0	1.6				
BASE GRANULAR	40.0	15.7				
SUB-BASE GRANULAR	0.0	0.0				
SUBRASANTE	∞					
			↓	u	0.5	
				Mr, kg/cm <sup>2</sup>	621.427	
				u	0.5	
ANILLO VIAL CARRIL EXTERNO 0+000 AL 2+033						
<b>SECCIÓN 2 (0+448 - 0+649)</b>				<b>SECCIÓN 3 (0+649 - 1+050)</b>		
Estructura del pavimento existente con refuerzo						
<b>DISEÑO</b>	<b>cm</b>	<b>pulg</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA</b>			
CAPA ASFALTICA DE REFUERZO	7.0	2.8	↑	Ep, kg/cm <sup>2</sup>	1840.0	D, cm
CAPA ASFALTICA	4.0	1.6				
BASE GRANULAR	40.0	15.7				
SUB-BASE GRANULAR	0.0	0.0				
SUBRASANTE	∞					
			↓	u	0.5	
				Mr, kg/cm <sup>2</sup>	445.173	
				u	0.5	
Estructura del pavimento existente con refuerzo						
<b>DISEÑO</b>	<b>cm</b>	<b>pulg</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA</b>			
CAPA ASFALTICA DE REFUERZO	3.0	1.2	↑	Ep, kg/cm <sup>2</sup>	5271.0	D, cm
CAPA ASFALTICA	4.0	1.6				
BASE GRANULAR	30.0	11.8				
SUB-BASE GRANULAR	0.0	0.0				
SUBRASANTE	∞					
			↓	u	0.5	
				Mr, kg/cm <sup>2</sup>	793.551	
				u	0.5	
<b>SECCIÓN 4 (1+050 - 1+247)</b>				<b>SECCIÓN 6 (1+550 - 1+945)</b>		
Estructura del pavimento existente con refuerzo						
<b>DISEÑO</b>	<b>cm</b>	<b>pulg</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA</b>			
CAPA ASFALTICA DE REFUERZO	3.0	1.2	↑	Ep, kg/cm <sup>2</sup>	3262.0	D, cm
CAPA ASFALTICA	3.0	1.2				
BASE GRANULAR	38.0	15.0				
SUB-BASE GRANULAR	0.0	0.0				
SUBRASANTE	∞					
			↓	u	0.5	
				Mr, kg/cm <sup>2</sup>	605.554	
				u	0.5	
Estructura del pavimento existente con refuerzo						
<b>DISEÑO</b>	<b>cm</b>	<b>pulg</b>	<b>DEFLECTOMETRÍA</b>			
CAPA ASFALTICA DE REFUERZO	3.0	1.2	↑	Ep, kg/cm <sup>2</sup>	2512.4	D, cm
CAPA ASFALTICA	4.0	1.6				
BASE GRANULAR	40.0	15.7				
SUB-BASE GRANULAR	0.0	0.0				
SUBRASANTE	∞					
			↓	u	0.5	
				Mr, kg/cm <sup>2</sup>	749.118	
				u	0.5	

Se realiza la corrida en el programa Windepav, permite obtener los valores de servicio acorde al refuerzo obtenido por método AASHTO, en la figura 70 se puede observar el ingreso de datos en el programa, registrando acorde a los valores obtenidos en los carriles a ser intervenidos con un refuerzo, además el programa permite obtener las propiedades de los materiales de cada una de las capas de la estructura del pavimento como se muestra en la figura 59.

### Figura 72:

*Programa WinDepav, ingreso de datos sección homog. 2 carril interno*

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas)

REFUERZO ANILLO VIAL

Número de capas: 2 3 4 5 6

Archivo: C:\Users\Casa\Desktop\ESPE\TITULACIÓN\TESIS\JORGE TOLEDO TESIS\4. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL F

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm <sup>2</sup> )	v	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión		
					C*k1*(1/E)^k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado
1	39281	0.30	2.54	<input checked="" type="checkbox"/>	3.2883E-13	5.0000	1026563	<input type="checkbox"/>		
2	6702	0.35	3	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		
3	2760	0.35	38	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>		
4	952.64	0.5		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	1.9400E-07	4.0000

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm) 10.80

Distancia entre ruedas (cm) 32.40

Presión de contacto (kgf/cm<sup>2</sup>) 5.594

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.

Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.

Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.

Luis Ricardo Vásquez Varela, 2018.

Figura 73:

Programa WinDepav, propiedades de los materiales de cada capa

The image shows three windows from the WinDepav software, each titled 'CÁLCULO DE LA E1', 'CÁLCULO DE LA Ega', and 'CÁLCULO DE ES DE BAS Y SUB BASE'. Each window contains a table of material properties and a specific equation for the modulus of elasticity  $E$ .

- Window 1 (LA E1):** Shows a table with columns for Material, A, B, C, and Observaciones. The equation is  $E = A \cdot e^{\left[ \frac{(T_{mix} - B)^2}{C} \right]}$ .
- Window 2 (LA Ega):** Shows a table with columns for Material, A, B, C, and Observaciones. The equation is  $E = A \cdot UCS^B + C$ .
- Window 3 (Es DE BAS Y SUB BASE):** Shows a table with columns for Material, A, B, C, and Observaciones. The equation is  $E_{(n)} = E_{(n-1)} \left\{ \frac{A \cdot \log_{10}[h_{(n)}] + B \cdot \log_{10}[E_{(n-1)}]}{-C \cdot \log_{10}[h_{(n)}] \cdot \log_{10}[E_{(n-1)}] - D} \right\}$ .

Una vez realizado la corrida en el programa Windepav se obtiene los resultados

como se muestra en la figura 74 y 75.

Figura 74:

Resultados del Programa WinDepav.

The image shows the 'Resultados del análisis' window in WinDepav. It contains the following sections:

- Archivo:** C:\Users\Casa\Desktop\ESPE\TITULACIÓN\TESIS\JORGE TOLEDO TESIS\4. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL FWD MTOP PROPUESTA\WINDEPA
- Descripción del proyecto:** REFUERZO ANILLO VIAL
- Sistema de carga:** Radio de las ruedas (cm) = 10.80; Distancia entre los centros de las ruedas (cm) = 32.40; Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) = 5.594
- Posición del valor máximo para una carga:** A Bajo una rueda simple; B Bajo una de las ruedas de la carga; C Al centro de la carga
- Gráficos de respuesta:** Exportar resultados a Excel (csv)
- Respuestas estructurales en las interfases y evaluación del comportamiento por fatiga y ahueamiento:**
  - Número de capas: 4
  - Table with columns: No., E (kgf/cm²), v, Z (cm), Sigma T (kgf/cm²), Sigma Z (kgf/cm²), Tracción (fatiga) (Épsilon T, N admisible, Factor de daño), Compresión (Épsilon Z, N admisible, Factor de daño).
- Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm):** 44.25
- Radio de curvatura (m):** 85.10
- Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100):** 3766.0
- Salir y descartar los resultados**

**Figura 75:****Resultados exportados del Programa WinDepav al programa Excel.**

WINDEPAV 2.6 con DOSBox 0.74  
 Interfase para Windows del programa DEPAVF desarrollado por la Universidad del Cauca  
 DEPAVF funciona en Windows de 64 bits gracias al programa DOSBox 0.74 (<https://www.dosbox.com/>)  
 Programado por: Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela - M.Sc.

Archivo: C:\Users\Cas\METODO RACIONAL Y VIDEO\SECCIO\_2\_C\_EXTERNO.pav  
 Descripción (REFUERZO ANILLO VIAL)

Radio de las 10.8  
 Distancia ent 32.4  
 Presión de  $\alpha$  5.594

Capa No.	Espesor (cm)	Módulo E (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación de Poisson	Condición de interfase
1	7	3.93E+04	0.3	Continua
2	4	6.70E+03	0.35	Continua
3	40	1.32E+03	0.35	Continua
4	Semi infinita	4.45E+02	0.5	

Posición del valor máximo para una carga  
 A Bajo una rueda simple  
 B Bajo una de las ruedas de la carga  
 C Al centro de la carga

Capa	Profundidad	Sigma T (kgf/cm <sup>2</sup> )	Sigma Z (kgf/cm <sup>2</sup> )	Épsilon T (microstrain)	Épsilon Z (microstrain)
1	0	2.04E+01 B	5.60E+00 A	346 B	-144 B
	7	-1.21E+01 B	2.32E+00 B	-252 B	228 A
2	7	-1.14E+00 B	2.32E+00 B	-252 B	443 B
	11	-3.38E+00 B	1.48E+00 B	-445 B	533 B
3	11	-2.28E-02 A	1.48E+00 B	-445 B	1090 B
	51	-4.16E-01 C	2.72E-01 C	-289 C	416 C
4	51	2.88E-02 C	2.72E-01 C	-289 C	534 C

Deflexión en 74.84  
 Radio de cur 111.57  
 Deflexión x f 8350.8

Agrietamiento  $N_f = C^*k_1*(1/et)^k_2*(1/E)^k_3$   
 Ahuellamiento  $N_r = k_4*(1/ez)^k_5$

Capa	Criterio	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor	Respuesta e:NESE admisil	NESE de dise	Daño acumulado	
1	Agrietamiento	$C^*k_1*(1/E)^k_2$	4.54E-13	k2 =	5	-2.52E-04	4.47E+05	9.62E+05	2.154
4	Ahuellamiento	k3 =	1.94E-07	k4 =	4	5.34E-04	2.39E+06	9.62E+05	0.403

**DISEÑO DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO POR METODO AASHTO**

Con los parámetros y acorde a la propuesta planteada procedemos a aplicar la norma AASHTO para diseño de pavimentos flexibles en donde nos indica:

Las ecuaciones empíricas se utilizan para relacionar los fenómenos observados o medibles (características del pavimento) con los resultados (rendimiento del pavimento). La ecuación empírica es ampliamente utilizada y tiene la siguiente forma:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Dónde:

---

<b>W<sub>18</sub></b>	número previsto de ESAL de 80 kN (18,000 lb.)
<b>Z<sub>R</sub></b>	estándar normal desviado
<b>S<sub>o</sub></b>	error estándar combinado de la predicción del tráfico y la predicción del rendimiento
<b>ΔPSI</b>	diferencia entre el índice de capacidad de servicio de diseño inicial, po, y el índice de capacidad de servicio del terminal de diseño, pt
<b>M<sub>R</sub></b>	módulo resistente de subrasante (en psi)
<b>SN</b>	Número estructural (un índice que es indicativo del espesor total del pavimento requerido)

---

*Nota.* Guía de AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento.

**PARÁMETROS DEL DISEÑO:**

**ESAL:** para el diseño de la propuesta es de 1026562.81, calculado en el apartado 4.3

**R:** confiabilidad, se toma un valor de 80%, en base a la tabla de niveles recomendados por la Guía de AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento.

**Tabla 26**

*Tabla 1, Niveles recomendados de confiabilidad (R)*

Clasificación de la vía	Urbana	Rural
Autopistas	85-99,9	80-99,9
Troncales	80-99	75-95
Locales	80-95	75-95
Ramales y Vías Agrícolas	50-80	50-80

---

*Nota.* Tomado de la norma (AASHTO, 1990)

**Z<sub>R</sub>:** estándar normal desviado depende de la confiabilidad R, considera la tabla de valore de Z<sub>R</sub>, para diversos grados de Confiabilidad propuestos en la Guía de AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento, se toma R de 85% por lo tanto el Z<sub>R</sub> de -1.037.

**Figura 76:**

*Tabla I-I, Valores de ZR para diversos grados de confiabilidad.*

Confiabilidad (R)	Valor de ZR
50	- 0,000
60	- 0,253
70	- 0,524
75	- 0,674
80	- 0,841
85	- 1,037
90	- 1,282
91	- 1,340
92	- 1,405
93	- 1,476
94	- 1,555
95	- 1,645
96	- 1,751
97	- 1,881
98	- 2,054
99	- 2,327
99,9	- 3,090
99,99	- 3,750

**So:** desviación estándar total de la distribución normal de los errores asociados con las predicciones de tránsito y de comportamiento del pavimento. Para el diseño de la propuesta se toma un valor de 0.49.

**Tabla 27**

*Tabla II, Valores recomendados para la desviación estándar (So).*

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0,35 — 0,50 <b>(0.45 valor recomendado)</b>

**$\Delta$ PSI:** diferencia entre el índice de capacidad de servicio de diseño inicial,  $p_o$ , y el índice de capacidad de servicio del terminal de diseño,  $p_t$ .

**1. El Índice de Servicapacidad Inicial ( $p_o$ ):** es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción. El valor establecido en el Experimento Vial de la AASHO para los pavimentos flexibles fue de 4,2.

**2. El Índice de Servicapacidad Final ( $p_t$ ):** es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía cuyo pavimento se diseña, y son normalmente los siguientes:

- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico:  $p_t = 2.5 - 3.0$
- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas Interurbanas,  $p_t = 2.0 - 2.5$
- Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de  $p_t = 1.8 - 2.0$

Los valores que se acogen para el diseño son:

Serviciabilidad Inicial	Serviciabilidad Final
4.2	2.2

**MR, MÓDULO RESISTENTE,** en la ecuación empírica el  $M_r$  se refiere al módulo de la capa de apoyo de la capa analizarse, es decir si se necesita calcular el número estructural de la capa asfáltica; entonces, ira el módulo de resiliencia de la base granular.

**Mr** módulo resistente de subrasante (en psi)

Para el módulo de resiliencia de la capa de base se toma acorde a la tabla de valores típicos de módulos de elasticidad de materiales para pavimentos.

**Figura 77:**

Valores típicos de módulos de elasticidad de materiales para pavimentos

Material	Rango (Kg/cm <sup>2</sup> )	Típico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Concreto hidráulico	200000-550000	300000
Concreto asfáltico	15000-35000	30000
Base tratada con asfalto	5000-30000	10000
Base tratada con cemento	35000-70000	50000
Concreto pobre	100000-300000	200000
Base granular	1000-3500	2000
Subbase granular	800-2000	1200
Suelo granular	500-1500	1000
Suelo fino	200-500	300

1 Kg/cm<sup>2</sup> = 0,1 MPa = 14,3 psi

Nota. <https://es.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-7-materiales-para-base-y-subbase-fernando-snchez-sabogal>

Los módulos de resiliencia en cada sección homogénea son:

**Tabla 28**

Módulos de resiliencia de las secciones homogéneas.

CARRIL INTERNO		CARRIL EXTERNO	
TRAMO	Mr de la subrasante (PSI)	TRAMO	Mr de la subrasante (PSI)
<b>SECCIÓN 1</b>	11252,63	<b>SECCIÓN 1</b>	10988,59
<b>SECCIÓN 2</b>	13609,11	<b>SECCIÓN 2</b>	6359,61
<b>SECCIÓN 3</b>	10425,06	<b>SECCIÓN 3</b>	11336,44
<b>SECCIÓN 4</b>	7032,45	<b>SECCIÓN 4</b>	8650,77
<b>SECCIÓN 5</b>	14206,70	<b>SECCIÓN 5</b>	8650,77
<b>SECCIÓN 6</b>	8877,52	<b>SECCIÓN 6</b>	10701,68

De acuerdo a la NEVI 12 Volumen 2A, se realiza la propuesta acogiendo los años de operación comprendido desde la inauguración del proyecto hasta el término de vida útil, que es un Proyecto de rehabilitación y mejoras para 10 años (n= 10)

**SN:** Número estructural, (un índice que es indicativo del espesor total del pavimento requerido), el SN requerido fue obtenido por retrocálculo, que es el mínimo espesor que debe tener el paquete estructural del pavimento para

soportar el tráfico futuro que ocurrirá en los próximos 10 años. Los SN calculados son:

**Tabla 29**

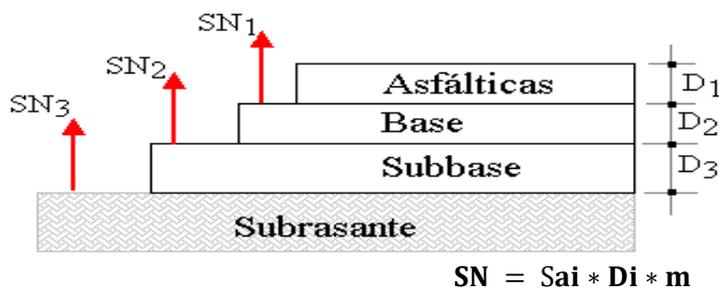
*Número estructural de las secciones homogéneas.*

CARRIL INTERNO			CARRIL EXTERNO		
TRAMO	SNR req (pulg)	SN eff (pulg)	TRAMO	SNR req (pulg)	SN eff (pulg)
SECCIÓN 1	2,73	3,72	SECCIÓN 1	2,76	4,17
SECCIÓN 2	2,55	2,25	SECCIÓN 2	3,36	2,32
SECCIÓN 3	2,81	2,29	SECCIÓN 3	2,73	2,54
SECCIÓN 4	3,24	2,48	SECCIÓN 4	3,01	2,61
SECCIÓN 5	2,51	3,05	SECCIÓN 5	3,01	3,25
SECCIÓN 6	2,98	2,47	SECCIÓN 6	2,78	2,57

Para lo cual se debe realizar una propuesta que permita obtener SN corregidos que sean iguales o mayores al Sn requeridos, con lo cual se garantice el soporte la carga vehicular en diez años. Las ecuaciones para controlar el SN corregido son:

**Figura 78:**

*Cálculo del número estructural SN.*



$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Donde:

$D_{1,2,3}$ : espesores de capas asfálticas, base y subbase respectivamente (pulgadas)

- a:** coeficiente estructural de capa<sub>i</sub>, dependiente de su módulo, Valores promedio de coeficientes estructurales
- Mezcla asfáltica densa en caliente: 0.44/pulgada
  - Base de grava y piedra partida: 0.14/pulgada
  - Subbase granular: 0.11/pulgada
- m:** coeficientes de drenaje para capas no estabilizadas, dependiente del tiempo requerido para drenar y del tiempo en que la humedad se encuentre en niveles cercanos a la saturación.

**Figura 79:**

*Categorización de la calidad de drenaje*

<b>CALIDAD DEL DRENAJE</b>	<b>EL AGUA SE REMUEVE EN</b>
Excelente	2 – 4 horas
Bueno	12 – 24 horas
Normal	3 – 6 días
Malo	18 – 36 días
Muy malo	Más de 36 días

*Nota.* Guía de AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento.

**Figura 80:**

*Coefficientes de drenaje (m<sub>i</sub>) para bases y subbases granulares*

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	>25%
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Bueno	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Normal	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Malo	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy malo	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

*Nota.* Guía de AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento. Asociación Estadounidense de Autopistas Estatales y Funcionarios de Transporte. Washington, DC  
 Para la propuesta se indica que es un pavimento diseñado con drenaje normal (la humedad drena en una semana) y durante dos meses del año ( $3/12=0.25=25\%$ ) está sometido a condiciones cercanas a la saturación; por lo tanto, el  $m_i$  se considera de 0.9

### Determinación de los espesores de las capas individuales (Di)

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* \geq a_1 * D_1^* \geq SN_1$$

$$D_2^* = \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{a_2 * m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$D_3^* = \frac{[SN_3 - (SN_2^*)]}{a_3 * m_3}$$

$$SN_1^* = a_1 D_1^* \geq SN_1$$

$$SN_2^* = SN_1^* + a_2 m_2 D_2^* \geq SN_2$$

$$SN_3^* = SN_2^* + a_3 m_3 D_3^* \geq SN_3$$

Donde  $D^*$  son los valores de altura de cada capa adoptados, Y  $SN_i$  son los números estructurales reales de cada capa de la estructura del pavimento.

## Capítulo 4

### Resultados y discusión

Los siguientes son los resultados una vez aplicado la metodología explicada en cada apartado del capítulo 3, lo que permitirá obtener valores para su respectivo análisis y que son la base para presentar una propuesta de rehabilitación.

#### Resultados de tránsito y obtención de TPDA

**Tabla 30**

*Conteo Vehicular*

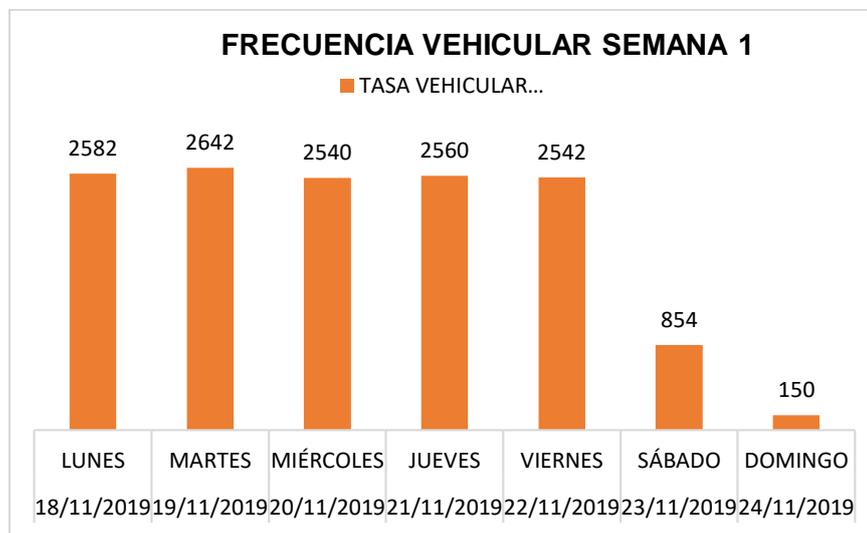
CONTROL VOLUMETRICO VEHICULAR - ANILLO VIAL UFA ESPE								
CLASIFICACIÓN MTOP		MOTOS	VEHICULOS LIVIANOS		VEHICULOS PESADOS			TOTAL
FECHA	DÍA	s/c	2D	2DA	2DB	3A	4C	
18/11/2019	LUNES	117	2378	55	31	1	0	2582
19/11/2019	MARTES	53	2398	162	27	2	0	2642
20/11/2019	MIÉRCOLES	128	2328	60	24	0	0	2540
21/11/2019	JUEVES	92	2381	58	24	5	0	2560
22/11/2019	VIERNES	110	2327	58	32	0	0	2542
23/11/2019	SÁBADO	26	799	20	9	0	0	854
24/11/2019	DOMINGO	13	136	1	0	0	0	150
25/11/2019	LUNES	133	2321	55	35	1	0	2545
26/11/2019	MARTES	43	2388	162	33	3	0	2629
27/11/2019	MIÉRCOLES	122	2304	60	21	0	0	2507
28/11/2019	JUEVES	75	2721	56	22	6	0	2880
29/11/2019	VIERNES	108	2361	56	29	0	0	2554
30/11/2019	SÁBADO	23	746	9	9	0	0	787
01/12/2019	DOMINGO	29	232	4	1	0	0	266
<b>TOTAL</b>		1072	25820	816	297	18	0	28038

Los vehículos que circularon por el anillo vial de la universidad en los 14 días de conteo vehicular es de 28038 veh., con un promedio diario de 2003 veh/día, además los vehículos de mayor frecuencia que soporta la estructura del pavimento, son para vehículos livianos considerados en la categoría de 2D con un peso máximo de 7 ton, además que circulan un 3.82% de motos.

Además, se determina la frecuencia de vehículos por semana a fin de obtener una mejor apreciación de datos que permitan determinar el TPDA.

**Figura 81:**

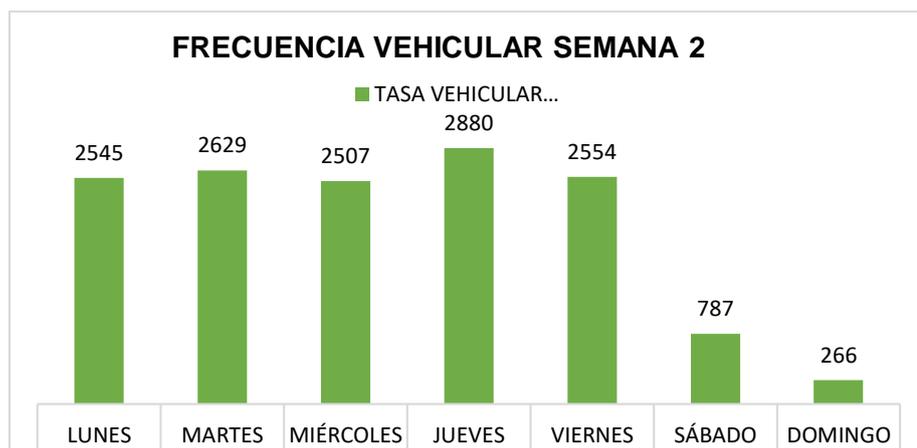
*Estadística de conteo vehicular semana 2*



Se determina que el día martes 19 de noviembre día con mayor tráfico de ingreso a la universidad con 2642 veh., y se aprecia que los fines de semana es de baja frecuencia vehicular en el anillo vial.

**Figura 82:**

*Estadística de conteo vehicular semana 2*

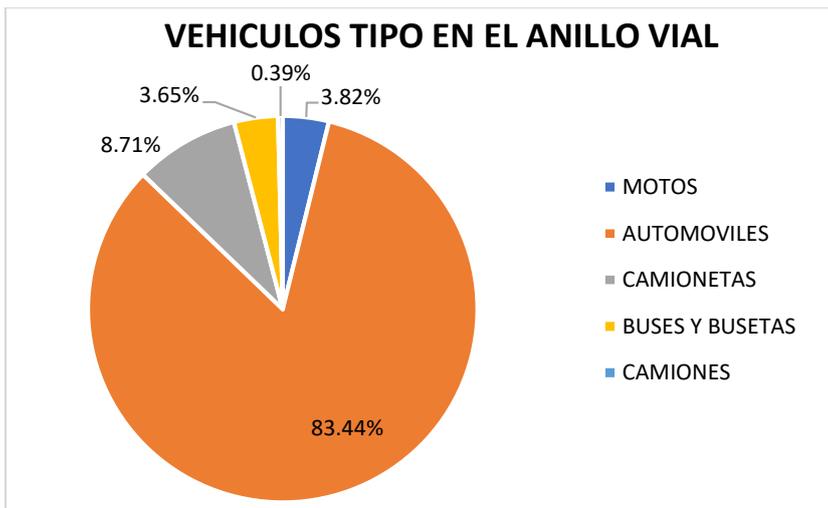


De la segunda semana se determina que el día jueves 28 de noviembre es el día con mayor frecuencia vehicular que ingreso a la universidad, y circula por el anillo vial de la universidad.

De las semanas analizadas; verificamos que de lunes a viernes se tiene una frecuencia mayor a los 2500 veh. /día, esto influye sustancialmente en el diseño del pavimento, y los días sábados y domingos disminuye proporcionalmente.

**Figura 83:**

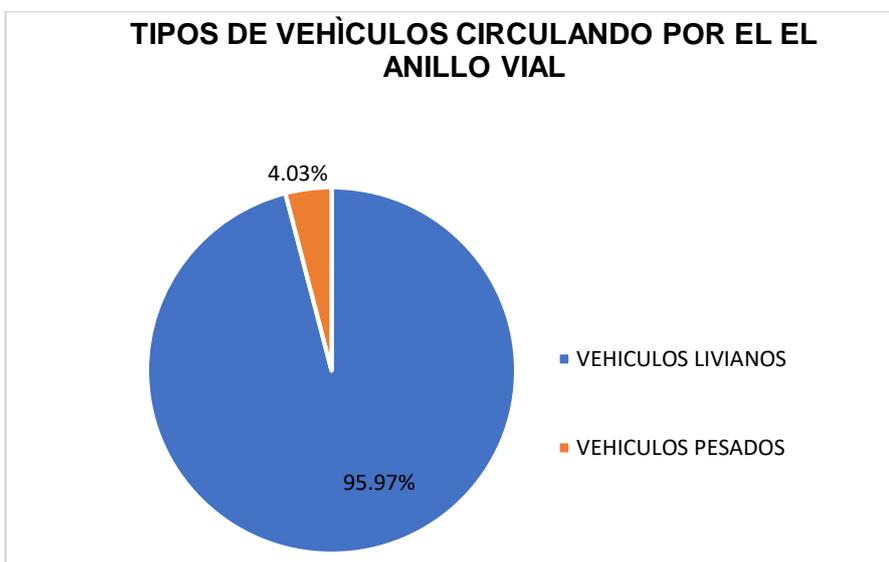
*Tipos de Vehículos sobre Anillo Vial*



La mayor cantidad en promedio que usa el anillo vial son vehículos automóviles con un 83.44% seguido de camionetas con un 8.71%.

**Figura 84:**

*Porcentaje de Vehículos pesados y livianos*



Se determina que los vehículos livianos incluyendo al conteo de motos, son los que usan con mayor frecuencia y transitan por el pavimento del anillo vial.

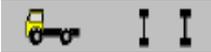
### Cálculo del TPDA

$$TPDA = 2003 \times 4.2 \times 1.44 \times 1.04 \times 0.93$$

$$TPDA = 2877 \frac{veh}{día}$$

**Tabla 31**

*Tabla de resultados de TPDA*

Tipo vehicular	Descripción grafica del vehículo	2019	
		Veh/día	Veh/año
	<b>MOTOS</b> 	110	40150
<b>VEHICULOS LIVIANOS</b>	<b>2D</b> 	2650	967250
	<b>2DA</b> 	84	30660
<b>VEHICULOS PESADOS</b>	<b>2DB</b> 	31	11315
	<b>3A</b> 	2	730
<b>IMD</b>		<b>2877</b>	<b>1050105</b>

El valor de TPDA es de 2877 vehículo-día y para TPDA anual de 1050105 vehículos-año, los datos presentados en la tabla 32 y 33 permitirán calcular y obtener los ESALS.

**Tabla 32**

*Resumen de cálculo TPDA*

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	Veh/día
<b>TPO</b>	TRÁFICO PROMEDIO OBSERVADO	2003
<b>TPD</b>	TRÁFICO PROMEDIO MÁXIMO DIARIO	2880
<b>TPDS</b>	TRÁFICO PROMEDIO DIARIO SEMANAL	14019

<b>TPDA</b>	TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL	2877
<b>FH</b>	FACTOR HORARIO	1,06
<b>FD</b>	FACTOR DÍA	1,44
<b>FS</b>	FACTOR SEMANA	1,01
<b>FM</b>	FACTO MES	0,93

Acorde a la clasificación funcional de las vías en base al TPDA, en la actualidad y acorde a los valores obtenidos el anillo vial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE se ubica en clasificación de Carretera de 2 carriles (C1) entre los límites de 1000 a 8000; es decir, una carretera de mediana capacidad, basado en la tabla 2ª.201-01 de la NEVI.

Además, podemos realizar una comparación realizada en la tesis del Capt. E. Ochoa Pauta Paul Fernando realizado en el año 2013 sobre el análisis de tráfico realizado en la ESPE se obtiene un TPDA DE 1637 veh/día

De lo cual verificamos que el parque automotor al año 2019 se amplía en un 43.10 % con un total de 1239 veh/día.

Además, se encuentra el tráfico futuro descrito acorde a su metodología donde se puede obtener de 1 a n años, en la tabla 33 se presenta el valor del tráfico futuro en función del TPDA, y la respectiva clasificación vehicular, en donde en 10 años a partir de la recolección de datos se obtendrá un TPDA de 5659 veh/día.

**Tabla 33**

*Cálculo de tráfico futuro*

Tipo vehicular	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>MOTOS</b>	110	126	135	144	154	165	177	189	202	216	
<b>VEHICULOS</b>	<b>2D</b>	2650	3034	3246	3474	3717	3977	4255	4553	4872	5213
<b>LIVIANOS</b>	<b>2DA</b>	84	96	103	110	118	126	135	144	154	165
	<b>2DB</b>	31	35	38	41	43	47	50	53	57	61

		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Tipo vehicular		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
VEHICULOS	3A	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4
PESADOS	4C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMD		2877	3294	3524	3771	4035	4318	4620	4943	5289	5659

### Ejes equivalentes y de carga del tráfico.

Los datos que se obtiene aplicando las ecuaciones de factor de ejes equivalentes explicado en la metodología de cálculo de ESALS se representa en la tabla 34:

**Tabla 34**

*Resultados de cálculo EE y FEE*

Cálculo del FEE						Total, de factor tipo vehículo
Ejes	Carga Según censo de carga (ton)	Tipo de eje	Tipo de Rueda	Peso (ton)	Factor E. E	
1	0,5	SIMPLE	SIMPLE	0,5	3,3E-05	3,3E-05
E1	3	SIMPLE	SIMPLE	3	0,043	0,18
E2	4	SIMPLE	SIMPLE	4	0,135	
E1	3	SIMPLE	SIMPLE	3	0,043	0,18
E2	4	SIMPLE	SIMPLE	4	0,135	
E1	7	SIMPLE	SIMPLE	7	1,265	4,50
E2	11	SIMPLE	DOBLE	11	3,238	
E1	7	SIMPLE	SIMPLE	7	1,265	4,34
E2	20	TANDEM	DOBLE	20	3,078	

**Tabla 35**

*Cálculo de presión de inflado por tipo vehículo*

Vehículo Tipo	Carga máx. por neumático (kg)	Área de - contacto real o área de impresión cm <sup>2</sup>	Presión de inflado PI (Psi)	Presión de contacto PC (Psi)	Relación PC/PI (Psi)
Autos	800,00	322,84	60,00	35,25	0,59
2D	2000,00	655,89	60,00	43,37	0,72
2DA	2250,00	655,89	60,00	48,79	0,81
2DB	3500,00	785,09	80,00	63,41	0,79

Vehículo Tipo	Carga máx. por neumático (kg)	Área de - contacto real o área de impresión cm <sup>2</sup>	Presión de inflado PI (Psi)	Presión de contacto PC (Psi)	Relación PC/PI (Psi)
3 <sup>a</sup>	3500,00	785,09	100,00	63,41	0,63

Los resultados de cada uno de los factores calculados se muestran en la tabla 36, obteniendo un Número de ejes equivalentes 8,2 ton de **1'026.563** que aportaran carga en los carriles del anillo vía.

**Tabla 36**

*Resultados de factores para cálculo de Ejes equivalentes.*

Tipo vehicular		Total, de factor tipo vehículo	Factor P.N.	Factor carril	Factor de crecimiento de tráfico	Número de ejes equivalentes 8,2 ton
	<b>MOTOS</b>	3,3E-05	0,36143	0,500	12,01	2,87
<b>VEHICULOS LIVIANOS</b>	<b>2D</b>	0,18	0,723	0,500	12,01	745442,73
	<b>2DA</b>	0,18	0,813	0,500	12,01	26582,77
<b>VEHICULOS PESADOS</b>	<b>2DB</b>	4,50	0,793	0,500	12,01	242466,54
	<b>3A</b>	4,34	0,634	0,500	12,01	12067,90
<b>ESALS</b>						<b>1026562,81</b>

### Resultados de ensayos de núcleos

Los ensayos realizaron acorde a la normativa descrita en la tabla 37:

**Tabla 37**

*Normativa de ensayos para núcleos*

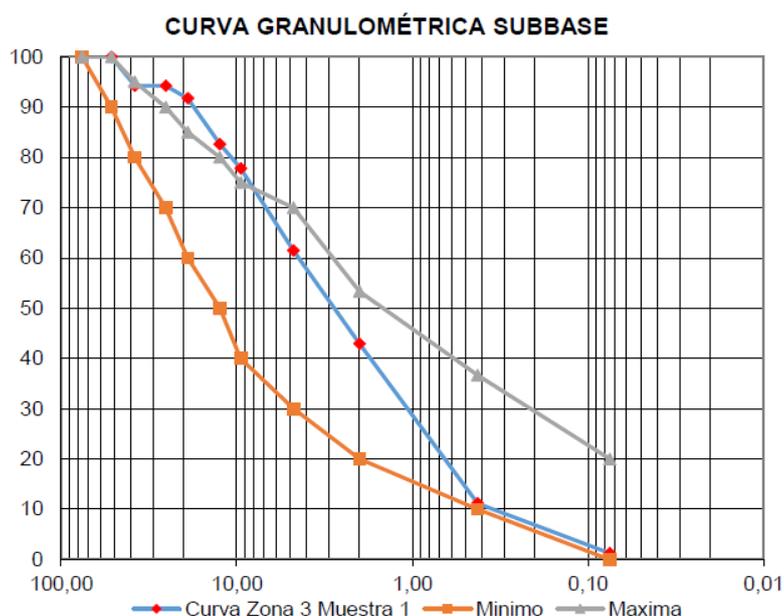
ENSAYO	NORMA ASTM
Límite Líquido	D4318
Límite Plástico	D4318
Granulometría por Lavado	C117
Granulometría por Tamizado	C136
Clasificación de suelos SUCS	D2487
Clasificación de suelos AASHTO	D3282

ENSAYO	NORMA ASTM
Compactación (Proctor)	C1557
CBR	D1883

Basados en los resultados de proyectos realizados en el anillo vial, y al ser testigo de no existir modificación alguna desde el año 2012, se presenta los datos informativos iniciales, previa consulta realizados en las tesis del Sr. NACEVILLA TOAQUIZA, LUIS JONATAN (2017) y CAPT. DE ING. OCHOA PAUTA, PAUL FERNANDO (2013); para denotar la información se expresa y se compara los resultados.

### Figura 85:

#### Curva Granulométrica



Nota. tomado de (LUIS JONATAN (2017))

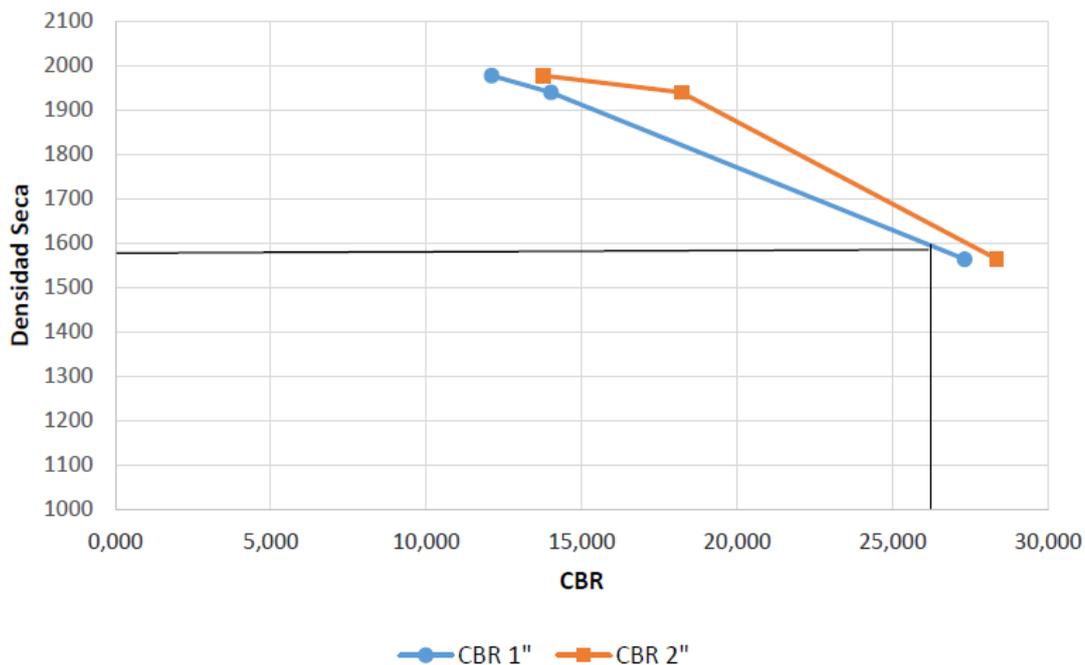
En el año 2017, “Tomando en consideración la normativa MOP-F001 2002, vigente en el Ecuador y basándose en la tabla 403-1.1, misma que describe las fajas granulométricas de clasificación, la granulometría presentado en la Figura 69, no cumple con las características estipuladas al encontrarse fuera de sus límites tanto superior como inferior, por tal motivo el material granular ensayo no cumple con las condiciones de subbase ni base”.

**Tabla 38***Resultados de humedad y densidad seca*

Contenido de humedad (%)	Densidad Seca Máxima(g/cm <sup>3</sup> )
10.9	1.578
12.2	1.608
16.7	1.786
20.4	1.697

**Tabla 39***Resultados de CBR de 1" y 2"*

# Golpes	Densidad Seca	<i>Resultados CBR</i>			
		CBR 1"	CBR 2"	DS Proctor	90% DS
12	1564	27.317	28.352		
25	1940	14.007	18.211	1774	1596.6
56	1978	12.106	13.775		

**Figura 86:***Curva de % CBR*

*Nota.* Tomado de (LUIS JONATAN (2017))

De esta manera obteniendo un CBR=25.6, categorizando a la subrasante de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, como una S3, según el Capítulo 5 de

“Diseño de pavimentos flexibles” desarrollado por el Ministerio de obras públicas y comunicaciones.

**Figura 87:**

*Clasificación de subrasante*

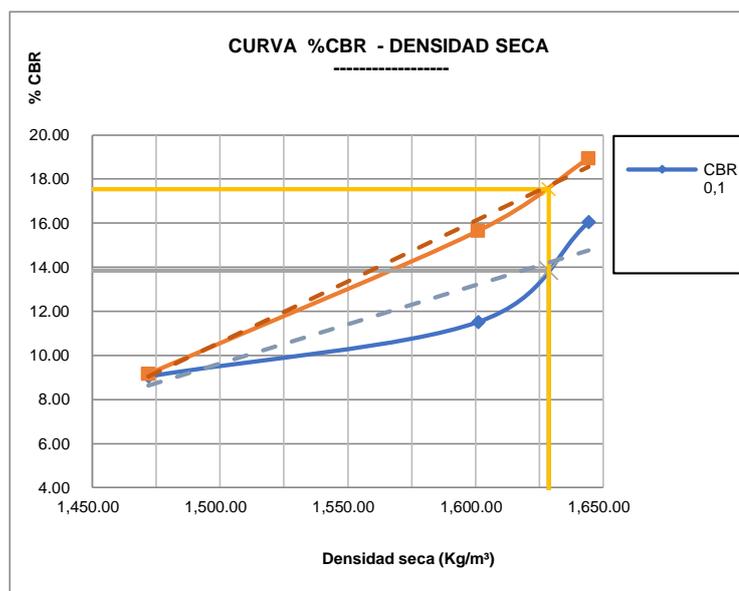
CLASIFICACIÓN DE SUBRASANTES	
S1	CBR = 5 a 10%
S2	CBR = 10 a 20%
S3	CBR = > 20%

**Nota.** Tomado de CORPECUADOR NORMAS INTERNAS

En el año 2013 se realiza ensayos como es de Humedad Natural, Granulometría por Lavado y Tamizado, Límite Líquido y Plástico, Clasificación de suelo (SUCS Y AASHTO), Compactación (Proctor) y CBR, basados cada ensayo en las normas ASTM. Obteniendo los siguientes resultados como se muestra en la figura:

**Figura 88:**

*Curva de % CBR*



**Nota.** Tomado de (OCHOA PAÚL (2013))

Conforme a los ensayos realizados se verifica que existe para un CBR de 17.55% una densidad seca aproximada de 1.650 kg/m<sup>3</sup>, categorizando a la

subrasante de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, como una S2, según el Capítulo 5 de “Diseño de pavimentos flexibles” desarrollado por el Ministerio de obras públicas y comunicaciones.

En la tabla 40, se refleja los resultados de los núcleos ensayados en el laboratorio:

**Tabla 40**

*Densidad seca y CBR de subrasante*

AÑO	DENSIDAD SECA g/cm <sup>3</sup>	CBR %	SUBRASANTE
2013	1.650	17.5	S2
2017	1.786	25.6	S3

La correlación para encontrar los módulos resilientes siempre y cuando sean valores de CBR > 10%:

1.  $Mr (N/m^2) = 10^7 * CBR$
2.  $Mr (lb/pulg^2) = 1500 * CBR$
3.  $Mr (Kg/cm^2) = 100 * CBR$   
para CBR > 10 %
4.  $Mr (MPa) = 10 * CBR$
5.  $K (Kg/cm^3) = 4.51 + 0.89[\log (CBR)]^{4.34}$
7.  $K (MPa/m) = 46 + 9.08[\log (CBR)]^{4.34}$

Los valores típicos de k en función del suelo se encuentran en la guía de diseño de estructuras de pavimentos publicada por la AASHTO (1998)

### **Evaluación funcional del pavimento**

Para la evaluación funcional aplicando el método VIZIR se subdivide cada carril de análisis por tramos de 300 m para su respectivo análisis obteniendo tramos iguales en longitud a excepción del último tramo que es menor, el cálculo del análisis de cada tramo se encuentra en el ANEXO 3.

Para obtener los valores de la tabla se procedió a realizar una hoja de cálculo, en donde acorde a la información de campo se puede obtener las medidas de cada falla, y con el procedimiento de cálculo explicado en la metodología del cálculo del índice de deterioro superficial, en la figura 72, la hoja de cálculo se

encuentra en el ANEXO 3, finalmente se determina el resumen de cada uno de los carriles.

**Figura 89:**

*Cálculo de Índice de deterioro Superficial.*

TRAMO :		0+000,00	-	0+300,00	PR. INICIAL:	0+000,00	FECHA:	09/12/2019	
RESPONSABLE:		CAPT. JORGE TOLEDO			PR. FINAL:	0+100,00	FECHA:	10/12/2019	
					VÍA DE ANÁLISIS		ANILLO VIAL DE LA UFA ESPE		
					CANTIDAD DE CARRILES		INTERNO	3	
					Dimension (m)	Carril 1	Carril 2	Estacionamiento	
						3,00	2,90	2,25	
<b>NOTA:</b>									
1.) Ingrese los valores en celdas color gris con letra roja, verifique en el comentario en cada celda									
2.) Los valores de largo y ancho deben ser las medidas de mayor magnitud de cada carril de analisis									
TIPOS	DAÑOS	DEFINICIÓN	SÍMBOLO	MEDIDA	Datos	Fórmula	Resultado	Gravedad	Índice
E T E R I O R I O M A C I O N E S T I P O	Asentamiento Transversal	Son hundimientos en sentido perpendicular al eje de la vía	AT	m	largo	$\frac{0,00}{100,00} \times 3 \times 100 = 0,00\%$	0,00%	0	0
	Asentamiento Longitudinal	Son hundimientos que se presentan principalmente a lo largo de las huellas debido a la canalización del tránsito	AL	m	largo	$\frac{0,00}{100,00} \times 3 \times 100 = 0,00\%$	0,00%	0	0
	Depresiones	Son hundimientos del pavimentos, generalmente localizados en forma circular o semejante	H	Número, si es generalizado y afecta capa base se anota como AL	largo	$\frac{0,00}{100,00} \times 3 \times 100 = 0,00\%$	0,00%	0	0
	Media Luna	Son hundimientos en los bordes de la banca. Les falta estabilidad en los taludes del terraplén	ML	Número	largo	$\frac{0,00}{100,00} \times 3 \times 100 = 0,00\%$	0,00%	0	0
<b>Índice de Deformación Id</b>									<b>0</b>
F I S U R A S	Longitudinales:	Son fisuras sensiblemente paralelas al eje de la vía, en general cerca del borde o en las huellas de tránsito	FLH	m	largo	$\frac{16,00}{100,00} \times 3 \times 100 = 5,33\%$	5,33%	2	2
			FL	m	largo ancho	$\frac{0,00 \times 0,00}{100,00 \times 3} \times 100 = 0,00\%$	0,00%	0	0
	Transversales:	Son fisuras sensiblemente perpendiculares al eje del pavimento	FTH	M, se considera la totalidad del carril entre 2 FT con separación < 10m.	largo	$\frac{3,00}{100,00} \times 3 \times 100 = 1,00\%$	1,00%	0	1
			FT		largo	$\frac{0,00}{100,00} \times 3 \times 100 = 0,00\%$	0,00%	0	0
	Media Luna	Son fisuras que se presentan en forma parabólica en los extremos de la banca	FML	Número	largo	$\frac{0,00}{100,00} \times 3 \times 100 = 0,00\%$	0,00%	0	0
	En Bloque	Son fisuras que formas amplios polígonos con ángulos más o menos rectos	FBL	m <sup>2</sup>	largo ancho	$\frac{3,00 \times 2,11}{100,00 \times 8,15} \times 100 = 0,78\%$	0,78%	0	0
	Piel de Cocodrilo	Son fisuras interconectadas formando pequeños polígonos en forma de malla	PC	m <sup>2</sup>	largo ancho	$\frac{3,00 \times 2,54}{100,00 \times 8,15} \times 100 = 0,93\%$	0,93%	0	0
	<b>Índice de Fisuración If</b>								
B A C H E O	Tapado	Son baches tapados en concreto asfáltico o tratamientos superficiales	B	m <sup>2</sup>	largo ancho	$\frac{0,40 \times 0,50}{100,00 \times 8,15} \times 100 = 0,05\%$	0,05%	1	0
	Destapado	Son baches en la superficie de rodadura de la vía	DB	m <sup>2</sup>	largo ancho	$\frac{0,00 \times 1,00}{100,00 \times 8,15} \times 100 = 0,00\%$	0,00%	0	0
<b>Corrección por reparación</b>									<b>0</b>
<b>Índice de Deformación Id</b>							0		
<b>Índice de Fisuración If</b>							2		
<b>Índice de Deterioro Superficial Is</b>							2		
<b>Corrección por reparación</b>							0		
<b>Índice de Deterioro Superficial Is</b>							2		

En las tablas 41 y 42 se encuentra el resumen por cada tramo del carril interno del anillo vial de la universidad, con la identificación del IDS.

**CARRIL INTERNO**: acorde a la tabla 41, se denota que los tramos más afectados son los que están comprometidas en las abscisas Km 00+400 – 00+500 y Km 1+800 a 1+900 con un Índice de deterioro superficial 4; conforme a la tabla 14, indica: pavimento regular y que se debe realizar pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos no fisurados, pero con deformaciones de alguna importancia, su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado por lo tanto la acción que requiere son **tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad**.

**Tabla 41**

*Índice deterioro superficial del carril interno del anillo vial UFA ESPE*

PR. INICIAL	PR. FINAL	ÍNDICE DE DEFORMACIÓN	ÍNDICE DE FISURAMIENTO	CORRECCIÓN REPARACIÓN	ÍNDICE DE DETORIORO SUPERFICIAL	
0+000	0+100	0	2	0	2	Mantenimiento rutinario
0+100	0+200	0	3	0	3	Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+200	0+300	0	3	0	3	Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+300	0+400	0	3	0	3	Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+400	0+500	0	4	0	4	Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+500	0+600	0	3	0	3	Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+600	0+700	0	3	0	3	Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+700	0+800	0	2	0	2	Mantenimiento rutinario
0+800	0+900	0	2	0	2	Mantenimiento rutinario
0+900	1+000	0	3	0	3	Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+000	1+100	0	3	0	3	Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación

PR. INICIAL	PR. FINAL	ÍNDICE DE DEFORMACIÓN	ÍNDICE DE FISURAMIENTO	CORRECCIÓN REPARACIÓN	ÍNDICE DE DETORIO SUPERFICIAL
1+100	1+200	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+200	1+300	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+300	1+400	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+400	1+500	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+500	1+600	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+600	1+700	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+700	1+800	0	4	0	4 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+800	1+900	0	4	0	4 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+900	2+000	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
2+000	2+033	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación

**CARRIL EXTERNO:** de la información de la tabla 42, se denota que el tramo más afectados está comprometido en las abscisas Km 01+000 – 01+100 con un índice de deterioro de 5 donde se verifica que el pavimento es altamente deteriorado agrietamientos y deformaciones abundantes, cuyo deficiente estado superficial exige la ejecución de acciones de trabajos importantes de rehabilitación; y, en el resto de la vía existe un Índice de deterioro superficial entre 3 y 4 de la tabla 14, se indica que se tiene un pavimento regular y que se debe realizar pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos no fisurados, pero con deformaciones de alguna importancia, su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado por lo tanto la acción que requiere son **tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad.**

Tabla 42

*Índice de deterioro superficial del carril externo del anillo vial UFA ESPE*

PR. INICIAL	PR. INICIAL	ÍNDICE DE DEFORMACIÓN	ÍNDICE DE FISURAMIENTO	CORRECCIÓN REPARACIÓN	ÍNDICE DE DETORIO SUPERFICIAL
0+000	0+100	0	4	0	4 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+100	0+200	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+200	0+300	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+300	0+400	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+400	0+500	0	4	0	4 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+500	0+600	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+600	0+700	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+700	0+800	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
0+800	0+900	0	2	0	2 Mantenimiento rutinario
0+900	1+000	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+000	1+100	3	3	0	5 Pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes
1+100	1+200	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+200	1+300	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+300	1+400	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+400	1+500	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+500	1+600	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+600	1+700	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación

PR. INICIAL	PR. INICIAL	ÍNDICE DE DEFORMACIÓN	ÍNDICE DE FISURAMIENTO	CORRECCIÓN REPARACIÓN	ÍNDICE DE DETORIORO SUPERFICIAL
1+700	1+800	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+800	1+900	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
1+900	2+000	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación
2+000	2+033	0	3	0	3 Pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación

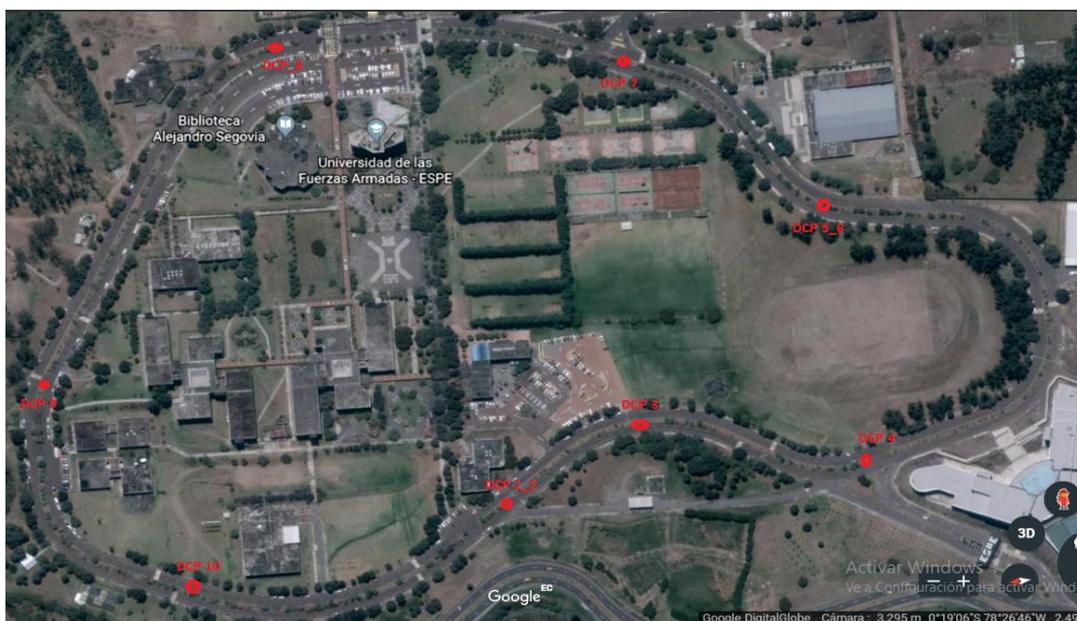
### 3.1 Evaluación estructural

#### **Método convencional: Ensayo Cono de Penetración Dinámico (DCP)**

La tabulación de cada uno de los DCP realizados acorde a la distribución presentada en la Figura 73; Croquis de la ubicación de los puntos DCP del sector Anillo Vial de la ESPE se denota en el ANEXO 4.

#### **Figura 90:**

*Ubicación de puntos de ensayos DCP sobre el anillo vial.*



*Nota.* Tomado de Google Maps

Realizado los ensayos de DCP y para poder establecer el CBR con relación a los datos obtenidos se basa en la tabla N.º 6 normado en la ASTM, que se denota a continuación en la tabla 60:

**Tabla 43**

*Relaciones para valores obtenidos ensayo DCP.*

<b>Materiales Arenosos</b>			
<i>Descripción</i>	<i>Densidad Relativa de Burmister (%)</i>	<i>SPT saturado N (golpes/300mm)</i>	<i>DCP (mm/golpe)</i>
Muy suelta	-	< 4	> 76
Suelta	0 - 40	4 - 10	31 - 76
Medianamente densa	40 - 70	10 - 30	13 - 31
Densa	70 - 90	30 - 50	5 - 13
Muy densa	90 - 100	> 50	2 - 5

<b>Materiales Arcillosos</b>			
<i>Descripción</i>	<i>Cohesión (kPa)</i>	<i>SPT saturado N (golpes/300mm)</i>	<i>DCP (mm/golpe)</i>
Muy suave	< 18	< 2	> 112
Suave	18 - 36	2 - 4	56 - 112
Firme	36 - 72	4 - 8	31 - 56
Consistente	72 - 144	8 - 15	15 - 31
Muy consistente	> 144	15 - 30	7 - 15

*Nota.* Tomado de relaciones para valores obtenidos con el equipo DCP por ASTM

Los resultados de la tabulación y análisis de la información obtenida aplicando el ensayo DCP son:

**Tabla 44**

*Resumen datos DCP puntos ensayados (materiales arenosos).*

TIPO DE MATERIAL EN LOS PUNTOS ENSAYADOS					
PUNTO	Hmax (cm)	DCP (mm/golpe)	CBR (%)	# CAPAS	Descripción del suelo
DCP 1	61.20	16.08	13.02	2	Medianamente densa
DCP 2	100.00	21.20	9.55	4	Medianamente densa
DCP 3	90.00	33.47	5.72	4	Suelta
DCP 4	98.00	28.27	6.92	4	Medianamente densa
DCP 5	100.00	12.48	17.29	3	Densa
DCP 6	100.00	13.80	15.45	4	Medianamente densa
DCP 7	100.00	52.92	3.43	3	Suelta
DCP 8	98.00	29.31	6.64	3	Densa

Se obtiene CBR < 20% en todos los puntos de ensayo encontrando que se encuentra categorizando a la subrasante de la Universidad de las Fuerzas Armadas

ESPE, como una S2, según el Capítulo 5 de “Diseño de pavimentos flexibles” desarrollado por el Ministerio de obras públicas y comunicaciones.

### Tecnología de alto rendimiento ensayo falling weight deflectometer

En la figura 74 se puede evidenciar la hoja de cálculo, en donde inicialmente se determina que carril se está analizando, la abscisa de inicio a fin de la sección homogénea, en este caso de la abscisa 0+000 a 0+400, se requiere además la deflexión del geófono D(1) y D(8).

En la tabla 45 se encuentran los datos de cada sección homogénea en base a los valores encontrados explicados en la metodología para su cálculo.

Finalmente, se presentan los resultados de capacidad estructural existente en términos de número estructural efectivo (Efectivo) en cada uno de los tramos evaluados, así como del módulo resiliente y el módulo equivalente. Determinados los parámetros anteriores, se procede a determinar el número estructural efectivo.

### Figura 91:

#### Análisis estructural deflectométrico

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE																																					
ANILLO VIAL CARRIL INTERNO 0+000 AL 2+033																																					
ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEFLECTOMÉTRICO SEGÚN CRITERIOS DE AASHTO 93 PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES																																					
RUTA:		CARRIL:			TRAMO:																																
ANILLO INTENO UFA ESPE		INTERNO			SECCIÓN 1 (0+000 - 0+400)																																
DATOS DEFLECTOMÉTRICOS: SOLAMENTE MODIFICAR LOS VALORES EN ROJO																																					
DEFLEXIÓN PROMEDIO TRAMO	D9	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	CARGA KN																											
		504							27	40.00																											
<b>1.- Módulo resiliente de la subrasante, Mr.</b> Relación de Poisson $\mu=0,5$ Mr: Módulo resiliente de la subrasante, psi. $Mrr = \frac{P(1-\mu^2)}{\pi * r * dr} \rightarrow Mr = \frac{Mrr}{3} \rightarrow Mr = \frac{0,33 * (0,24 * P)}{r * dr}$ P: carga aplicada, libras. dr: deflexión a una distancia r del centro de la carga, pulgadas. r: distancia del centro de carga, pulgadas. $r > \phi = 0.7 * ae$ ae (pulg)= función (a, D, Ep y Mr) a: radio del plato de carga del FWD, pulg. D: espesor total del pavimento, pulg. Ep: módulo efectivo del pavimento sobre la subrasante, psi. Ep se calcula por un proceso de tanteos =>																																					
$\Delta_0 = 1,5qa \left[ \frac{1}{Mrr * \left( 1 + \left( \frac{D}{a} \right)^3 \frac{Ep}{Mrr} \right)^2} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}}}{EP} \right]$ d0 (µm)= 504      d0 (pulg)= 0.0199 Ecuación comprobación: 0.0199 ae (pulg)= 37.4 0.7 x ae= 26.2 r (pulg)= 82.7      Por lo que: $r > 0.7xae$																																					
<table border="0"> <tr> <td>P (KN)=</td> <td>40.00</td> <td>P (libras)=</td> <td>9,000</td> </tr> <tr> <td>dr (µm)=</td> <td>27</td> <td>dr (pulg)=</td> <td>0.0010</td> </tr> <tr> <td>r (cm)=</td> <td>210</td> <td>r (pulg)=</td> <td>82.7</td> </tr> <tr> <td><b>Mr(kg/cm2)=</b></td> <td><b>788</b></td> <td>Mr (psi)=</td> <td>11,253</td> </tr> <tr> <td>a (cm)=</td> <td>15.00</td> <td>a (pulg)=</td> <td>5.9</td> </tr> <tr> <td>D (cm)=</td> <td>55.1</td> <td>D (pulg)=</td> <td>21.7</td> </tr> <tr> <td><b>Ep(kg/cm2)=</b></td> <td><b>3,878</b></td> <td>Ep (psi)=</td> <td><b>55,400</b></td> </tr> </table>										P (KN)=	40.00	P (libras)=	9,000	dr (µm)=	27	dr (pulg)=	0.0010	r (cm)=	210	r (pulg)=	82.7	<b>Mr(kg/cm2)=</b>	<b>788</b>	Mr (psi)=	11,253	a (cm)=	15.00	a (pulg)=	5.9	D (cm)=	55.1	D (pulg)=	21.7	<b>Ep(kg/cm2)=</b>	<b>3,878</b>	Ep (psi)=	<b>55,400</b>
P (KN)=	40.00	P (libras)=	9,000																																		
dr (µm)=	27	dr (pulg)=	0.0010																																		
r (cm)=	210	r (pulg)=	82.7																																		
<b>Mr(kg/cm2)=</b>	<b>788</b>	Mr (psi)=	11,253																																		
a (cm)=	15.00	a (pulg)=	5.9																																		
D (cm)=	55.1	D (pulg)=	21.7																																		
<b>Ep(kg/cm2)=</b>	<b>3,878</b>	Ep (psi)=	<b>55,400</b>																																		
Estructura del pavimento existente: <table border="1"> <tr> <td>CAPA ASFALTICA</td> <td>5.1</td> <td rowspan="4">Ep, kg/cm2 3878.0 D, cm 55.1</td> </tr> <tr> <td>BASE GRANULAR</td> <td>50.0</td> </tr> <tr> <td>SUB-BASE GRANULAR</td> <td>0.0</td> </tr> <tr> <td>SUBRASANTE</td> <td>∞</td> </tr> </table> Mr, kg/cm2 788										CAPA ASFALTICA	5.1	Ep, kg/cm2 3878.0 D, cm 55.1	BASE GRANULAR	50.0	SUB-BASE GRANULAR	0.0	SUBRASANTE	∞																			
CAPA ASFALTICA	5.1	Ep, kg/cm2 3878.0 D, cm 55.1																																			
BASE GRANULAR	50.0																																				
SUB-BASE GRANULAR	0.0																																				
SUBRASANTE	∞																																				
<b>2.a- Número Estructural Efectivo, SN eff. (NDT).</b> $SN_{ef} = 0,0045D^3 \sqrt{Ep}$ <b>SN eff = 3.7</b> NDT: Nondestructive Deflection Test																																					

Los módulos resilientes de la subrasante y módulos de elasticidad, que permiten encontrar el número estructural efectivo en cada una de las secciones se pueden verificar en la tabla 45,

**Tabla 45**

*Espesores de estructura del pavimento,  $S_{Neff}$  carril interno*

TRAMO HOMOGÉNEO	ABSCISA (Km)		Espesor Existentes		Do (mm)	Cálculos $S_{N_{EFF}}$ SEGÚN AASHTO				
	Desde	Hasta	C. A (cm)	B. G (cm)		Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Mr (PSI)	Ep (psi)	Ep (Kg/cm <sup>2</sup> )	SN eff (pulg)
SECCIÓN 1	0+000	0+400	3	50	504	788	11252,6	55400	3878	3,72
SECCIÓN 2	0+400	0+701	4	40	889	953	13609,1	24100	1687	2,25
SECCIÓN 3	0+701	0+902	4	30	639	730	10425,1	54996	3849,7	2,76
SECCIÓN 4	0+902	1+503	3	38	832	492	7032,5	40000	2800	2,48
SECCIÓN 5	1+503	1+901	4	40	481	994	14206,7	59700	4179	3,05
SECCIÓN 6	1+901	2+033	4	40	849	621	8877,52	31700	2219	2,47

En el Anexo 4 se puede verificar el cálculo de los  $S_n$  req., de cada sección homogénea; en la tabla se indica los valores ya calculados de cada sección:

**Tabla 46**

*Cálculos:  $S_{NReq}$  y  $S_{neff}$  con metodología AASHTO 93 del carril interno*

TRAMO	Desde	Hasta	Do (mm)	Mr de la subrasante (PSI)	Ep (psi)	$S_{NR}$ req (pulg)	SN efectivo (pulg)	$S_{NR}$ req < SN efectivo
SECCIÓN 1	0+000	0+400	504,24	11252,6	55400	2,73	3,72	estructura cumple
SECCIÓN 2	0+400	0+701	889,01	13609,1	24100	2,55	2,25	Insuficiencia estructural
SECCIÓN 3	0+701	0+902	638,68	10425,1	54996	2,81	2,76	Insuficiencia estructural
SECCIÓN 4	0+902	1+503	831,69	7032,45	40000	3,24	2,48	Insuficiencia estructural
SECCIÓN 5	1+503	1+901	481,19	14206,7	59700	2,51	3,05	estructura cumple
SECCIÓN 6	1+901	2+033	848,53	8877,5	31700	2,98	2,47	Insuficiencia estructural

En donde se verifica las secciones homogéneas 2, 3, 4, 6 no soportaría las cargas de ejes equivalentes, por lo tanto, su paquete estructural es insuficiente, al mismo tiempo podemos indicar que la sección homogénea 1, soportaría un ESALS remanente de la estructura según número estructural requerido de 6560 y la sección homogénea 5 soporta un ESALS remanente de la estructura según número estructural requerido de 7480.

**Tabla 47**

*Cálculos: SNReq y Sneff metodología AASHTO 93 del carril externo*

TRAMO	Desde	Hasta	Do (mm)	Mr de la subrasante (PSI)	Ep (psi)	SNR req (pulg)	SN efectivo (pulg)	SNR req < SN efectivo
SECCIÓN 1	0+49	0+448	412,34	10988,59	78212	2,76	4,17	La estructura cumple
SECCIÓN 2	0+448	0+649	1081,31	6359,61	26286	3,36	2,32	Insuficiencia estructural
SECCIÓN 3	0+649	1+050	519,02	11336,44	75300	2,73	2,54	Insuficiencia estructural
SECCIÓN 4	1+050	1+247	695,78	8650,77	46600	3,01	2,61	Insuficiencia estructural
SECCIÓN 5	1+247	1+550	527,67	8650,77	72370	3,01	3,25	La estructura cumple
SECCIÓN 6	1+550	1+945	733,81	10701,68	35891	2,78	2,57	Insuficiencia estructural

En la tabla 48 y 49 se puede evidenciar el resumen de análisis estructural y que intervención se puede realizar a cada sección homogénea del carril interno y externo respectivamente:

**Tabla 48**

*Análisis de intervenciones en carril interno*

TRAMO	Desde	Hasta	Longitud (km)	Intervención
SECCIÓN 1	0+000	0+400	0,40	La estructura de pavimento cumple un número estructural proyectada de 8 a 10 años, por lo que no requiere estructuralmente ningún tipo de intervención, sin embargo, este análisis no exenta la intervención funcional que se requiera y tener en cuenta la ejecución del mantenimiento preventivo.

TRAMO	Desde	Hasta	Longitud (km)	Intervención
SECCIÓN 2	0+400	0+701	0,30	La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran los SLURRYES, MICROPAVIMENTOS, tratamientos con GEOCOMPUESTOS.
SECCIÓN 3	0+701	0+902	0,20	La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran los SLURRYES, MICROPAVIMENTOS, tratamientos con GEOCOMPUESTOS.
SECCIÓN 4	0+902	1+503	0,60	La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran los SLURRYES, MICROPAVIMENTOS, tratamientos con GEOCOMPUESTOS.
SECCIÓN 5	1+503	1+901	0,40	La estructura de pavimento cumple un número estructural proyectada de 8 a 10 años, por lo que no requiere estructuralmente ningún tipo de intervención, sin embargo, este análisis no exenta la intervención funcional que se requiera y tener en cuenta la ejecución del mantenimiento preventivo.
SECCIÓN 6	1+901	2+033	0,13	La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran los SLURRYES, MICROPAVIMENTOS, tratamientos con GEOCOMPUESTOS.

**Tabla 49***Análisis de intervenciones en carril externo*

TRAMO	Desde	Hasta	Longitud (km)	Intervención
SECCIÓN 1	0+49	0+448	0,40	-La estructura de pavimento cumple un número estructural proyectada de 8 a 10 años, por lo que no requiere estructuralmente ningún tipo de intervención, sin embargo, este análisis no exenta la intervención funcional que se requiera y tener en cuenta la ejecución del mantenimiento preventivo.

TRAMO	Desde	Hasta	Longitud (km)	Intervención
SECCIÓN 2	0+448	0+649	0,20	La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran los SLURRYES, MICROPAVIMENTOS, tratamientos con GEOCOMPUESTOS.
SECCIÓN 3	0+649	1+050	0,40	La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran los SLURRYES, MICROPAVIMENTOS, tratamientos con GEOCOMPUESTOS.
SECCIÓN 4	1+050	1+247	0,20	La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran los SLURRYES, MICROPAVIMENTOS, tratamientos con GEOCOMPUESTOS.
SECCIÓN 5	1+247	1+550	0,30	La estructura de pavimento cumple un número estructural proyectada de 8 a 10 años, por lo que no requiere estructuralmente ningún tipo de intervención, sin embargo, este análisis no exenta la intervención funcional que se requiera y tener en cuenta la ejecución del mantenimiento preventivo.
SECCIÓN 6	1+550	1+945	0,40	La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran los SLURRYES, MICROPAVIMENTOS, tratamientos con GEOCOMPUESTOS.

### **Evaluación de la señalización**

La señalización en el anillo vial horizontal está cumpliendo acorde a las normas vigentes NORMA RTE INEN 004-2:2011 para la señalización horizontal y norma INEN 004-1:2011 para la señalización vertical, además se indica que la velocidad máxima permitida de 20 Km/h para la circulación vehicular, existiendo 6 reductores de velocidad en los 2 carriles de circulación vial.

### **Propuesta de rehabilitación**

La importancia de recolectar los datos y poder tener un sistema de gestión de vías, es poder tomar las acciones a fin de no incurrir en gastos exorbitantes por parte de la universidad y significativamente para el estado, al mismo tiempo contribuir con la reducción de gastos impregnados en el presupuesto global, que es dedicado a las vías.

En la propuesta que se desarrolla en la presente investigación está basada en los datos obtenidos y de mayor confiabilidad en la presente investigación, del análisis realizado por FWD,

Se presenta el resumen en la tabla 50 y 51, donde se indica por el método AASHTO un espesor de refuerzo lo cual se deberá comprobar por método racional, si los esfuerzos, deformaciones y factores de daño admisibles en comparación con los de servicio, tienen que ser mayores, será la propuesta inicial aumentar los espesores indicados para cada una de las secciones homogéneas de su respectivo carril, además que su factores de daño de fatiga y de compresión sean menores a uno para que soporte el ESALS del proyecto.

### Resumen de información del deflectómetro de impacto

**Tabla 50**

Resumen de datos de carril interno

TRAMO	Desde	Hasta	Do(mm) característico del tramo	Mr de la subrasante (PSI)	Ep (psi)	SNR req (pulg)	SN efectivo (pulg)	SNR req < SN efectivo	SN ajustado	Espesor máx. (cm) Dref=SN <sub>ref</sub> /a <sub>ref</sub>
SECCIÓN 1	0+000	0+400	504.24	11252.63	55400.00	2.73	3.72	La estructura cumple	-0.99	-
SECCIÓN 2	0+400	0+701	889.00	13609.11	24100.00	2.55	2.25	Insuficiencia estructural	0.30	1.89
SECCIÓN 3	0+701	0+902	638.68	10425.06	54996.00	2.81	2.29	Insuficiencia estructural	0.52	3.30
SECCIÓN 4	0+902	1+503	831.69	7032.45	40000.00	3.24	2.48	Insuficiencia estructural	0.76	4.80
SECCIÓN 5	1+503	1+901	481.19	14206.70	59700.00	2.51	3.05	La estructura cumple	-0.54	-
SECCIÓN 6	1+901	2+033	848.53	8877.52	31700.00	2.98	2.47	Insuficiencia estructural	0.51	3.26

**Tabla 51**

Resumen de datos de carril externo

TRAMO	Desde	Hasta	Do(mm) característico del tramo	Mr de la subrasante (PSI)	Ep (psi)	SNR req (pulg)	SN efectivo (pulg)	SNreq < SNeF	SNref ajustado	Espesor máx. (cm) Dref=SN <sub>ref</sub> /a <sub>ref</sub>
SECCIÓN 1	0+049	0+448	412.34	10988.59	78212.00	2.76	4.17	La estructura cumple	-1.413	-
SECCIÓN 2	0+448	0+649	1081.31	6359.61	26286.00	3.36	2.32	Insuficiencia estructural	1.042	6.62
SECCIÓN 3	0+649	1+050	519.02	11336.44	75300.00	2.73	2.54	Insuficiencia estructural	0.186	1.18
SECCIÓN 4	1+050	1+247	695.78	8650.77	46600.00	3.01	2.61	Insuficiencia estructural	0.396	2.52
SECCIÓN 5	1+247	1+550	527.68	8650.77	72370.00	3.01	3.25	La estructura cumple	-0.239	-
SECCIÓN 6	1+550	1+945	733.82	10701.68	35891.00	2.78	2.57	Insuficiencia estructural	0.209	1.32

### Chequeo de valores admisibles y de servicio

El cuadro de resumen de los resultados obtenidos comparando con los admisibles, la relación y el factor de daño.

**Tabla 52**

*Valores de adm. y de servicio secc. homog. a intervenir en carril interno*

<b>TRAMO: SECCIÓN 2 (0+400 - 0+701)</b>				
<b>VALOR ADMISIBLE</b>		<b>VALOR DE SERVICIO</b>	<b>CONDICIÓN</b>	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	1.04E-04	VERDADERO	30%
6.61E-04	>	3.79E-04	VERDADERO	57%
6.60E-04	>	3.84E-04	VERDADERO	58%
0.604	>	0.433	VERDADERO	72%
1.280	>	0.433	VERDADERO	34%
0.901	>	0.443	VERDADERO	49%
<b>SECCIÓN 3 (0+701 - 0+902)</b>				
<b>VALOR ADMISIBLE</b>		<b>VALOR DE SERVICIO</b>	<b>CONDICIÓN</b>	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	2.26E-04	VERDADERO	65%
6.61E-04	>	4.99E-04	VERDADERO	75%
6.60E-04	>	5.20E-04	VERDADERO	79%
0.438	>	0.593	FALSO	135%
0.981	>	0.593	VERDADERO	60%
0.901	>	0.542	VERDADERO	60%
<b>-SECCIÓN 4 (0+902 - 1+503)</b>				
<b>VALOR ADMISIBLE</b>		<b>CONDICIÓN</b>	<b>VALOR DE SERVICIO</b>	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	VERDADERO	2.80E-04	80%
6.61E-04	>	VERDADERO	5.40E-04	82%
6.60E-04	>	VERDADERO	4.22E-04	64%
0.273	>	FALSO	0.469	172%
0.662	>	VERDADERO	0.469	71%
0.901	>	VERDADERO	0.579	64%
<b>SECCIÓN 6 (1+901 - 2+033)</b>				
<b>VALOR ADMISIBLE</b>		<b>CONDICIÓN</b>	<b>VALOR DE SERVICIO</b>	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	VERDADERO	1.97E-04	56%
6.61E-04	>	VERDADERO	4.93E-04	75%
6.60E-04	>	VERDADERO	3.76E-04	57%
0.361	>	FALSO	0.414	115%
0.835	>	VERDADERO	0.414	50%
0.901	>	VERDADERO	0.511	57%

Tabla 53

Valores de adm. y de servicio secc. homog. a intervenir en carril externo

<b>SECCIÓN 2 (0+448 - 0+649)</b>				
<b>VALOR ADMISIBLE</b>		<b>CONDICIÓN</b>	<b>VALOR DE SERVICIO</b>	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	VERDADERO	2.52E-04	72%
6.61E-04	>	VERDADERO	4.31E-04	65%
6.60E-04	>	VERDADERO	5.01E-04	76%
0.242	>	FALSO	0.272	112%
0.598	>	VERDADERO	0.272	46%
<b>0.901</b>	>	VERDADERO	0.748	83%
<b>SECCIÓN 3 (0+649 - 1+050)</b>				
<b>VALOR ADMISIBLE</b>		<b>CONDICIÓN</b>	<b>VALOR DE SERVICIO</b>	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	VERDADERO	1.38E-04	39%
6.61E-04	>	VERDADERO	5.00E-04	76%
6.60E-04	>	VERDADERO	5.67E-04	86%
0.485	>	FALSO	0.538	111%
1.067	>	VERDADERO	0.538	50%
0.901	>	VERDADERO	0.575	64%
<b>SECCIÓN 4 (1+050 - 1+247)</b>				
<b>VALOR ADMISIBLE</b>		<b>CONDICIÓN</b>	<b>VALOR DE SERVICIO</b>	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	VERDADERO	-1.86E-04	-53%
6.61E-04	>	VERDADERO	-5.73E-04	-87%
6.60E-04	>	VERDADERO	5.76E-04	87%
0.350	>	FALSO	0.407	116%
0.814	>	VERDADERO	0.407	50%
0.901	>	VERDADERO	0.683	76%
<b>SECCIÓN 6 (1+550 - 1+945)</b>				
<b>VALOR ADMISIBLE</b>		<b>CONDICIÓN</b>	<b>VALOR DE SERVICIO</b>	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	VERDADERO	1.32E-04	38%
6.61E-04	>	VERDADERO	4.62E-04	70%
6.60E-04	>	VERDADERO	4.22E-04	64%
0.452	>	VERDADERO	0.368	81%
1.007	>	VERDADERO	0.368	37%
0.901	>	VERDADERO	0.532	59%

Los valores de esfuerzo vertical de la ecuación de CBR de Bélgica, no cumplen en las secciones homogéneas 3, 4, 6 del carril interno, en las secciones homogéneas 2,3 y 4 del carril externo.

### Cálculo de factor de daño en WINDEPAV

Los factores de daño a tracción y a compresión de la estructura de pavimento deben ser menor a 1 para satisfacer la carga en el periodo de diseño, caso contrario el refuerzo indicado debe ser mayor o se debe modificar la estructura de pavimento.

**Tabla 54**

*Factor de daño de secciones homogéneas*

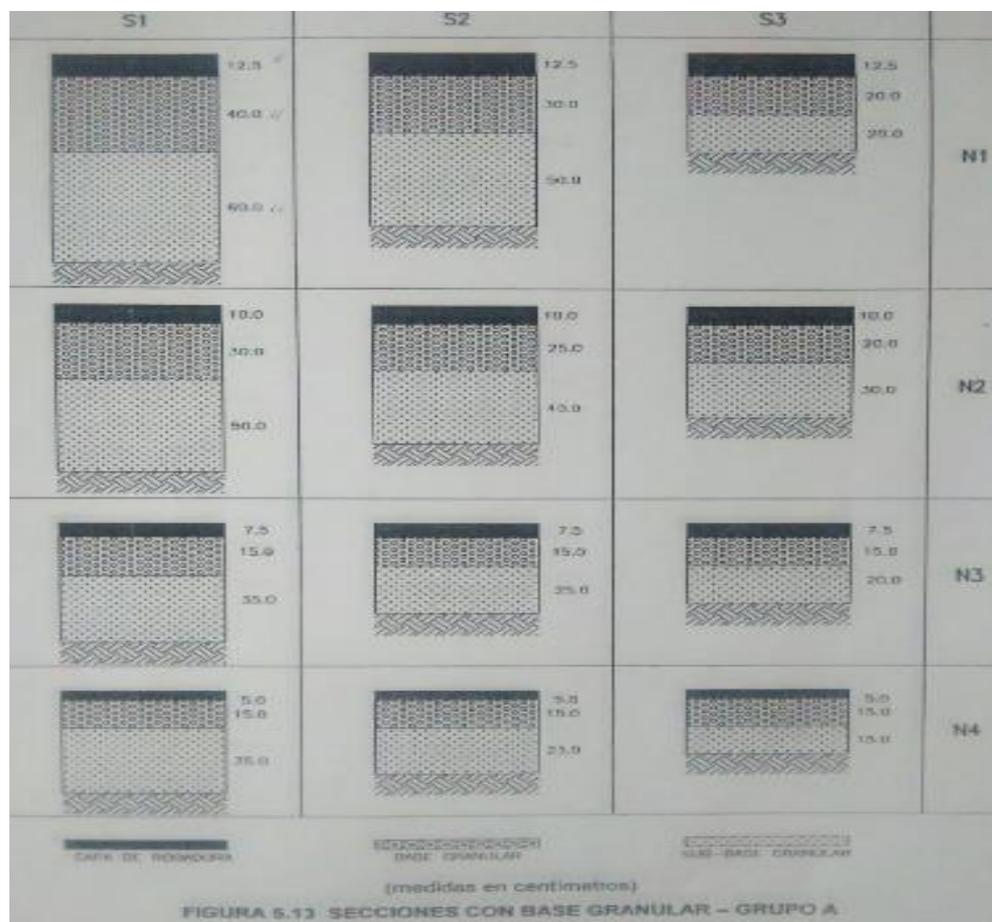
Sección homogénea	Factor de daño a tracción (fatiga)	Factor de daño a compresión
<b>Carril Interno</b>		
2	0.033	0.115
	CUMPLE	CUMPLE
3	0.149	0.992
	CUMPLE	CUMPLE
4	4.741	0.792
	NO CUMPLE	CUMPLE
6	0.732	0.274
	CUMPLE	CUMPLE
<b>Carril Externo</b>		
2	2.154	0.403
	NO CUMPLE	CUMPLE
3	0.146	0.513
	CUMPLE	CUMPLE
4	0.652	0.546
	CUMPLE	CUMPLE
6	0.117	0.157
	CUMPLE	CUMPLE

No se cumple con los factores de fallo a tracción (fatiga) en las secciones homogéneas 4 del carril interno y 2 del carril externo, además se indica que todas las secciones cumplen con los factores de daño a compresión de la estructura del pavimento.

Se debe realizar una estructura de pavimento para las secciones homogéneas que no cumplieron con los factores de daño, se realiza como propuesta inicial, lo indicado en la guía de CORPECUADOR, donde propone espesores de cada una de las capas de la estructura del pavimento con respecto a la clasificación de subrasante y del número de ejes equivalentes de 8.2 ton. como se muestra en la figura 92:

**Figura 92:**

*Secciones de base granular grupo A*



Nota. tomado de COPECUADOR-norma interna

Acorde a los datos obtenidos se toma como referencia que la estructura de la cual partimos sería para una subrasante S2 y nivel de tráfico N3 obteniendo una estructura como se indica en la figura 93

**Figura 93:**

*Estructura de pavimento inicial*

Estructura del pavimento	
CAPA ASFALTICA	7.0
BASE GRANULAR	15.0
SUB-BASE GRANULAR	25.0
SUBRASANTE	∞

Se verifica por medio del método AASHTO, se el empleo de la hoja del programa Excel donde se aplican todos los parámetros de diseño descritos:

**DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTO FLEXIBLE**  
ANILLO VIAL DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

**DISEÑO TRES CAPAS BASE ASFALTICA**  
SECCION 2: KM 00+448-00+649

DATOS :		TRANSFORMACIONES		
NO. AÑOS :	10.00	NO. AÑOS :	10.00	
EJES ACUMULADOS 8,2 ton :	1026563	kg/cm2	Psi	Mpa
CONFIABILIDAD (%) :	85.00	1	14.3	0.1
DESVIACION ESTANDAR :	-1.037	<b>a 1 :</b>	0.40	<b>m 1 :</b>
ERROR ESTANDAR COMBINADO :	0.49	<b>a 2 :</b>	0.14	<b>m 2 :</b>
CBR:	7.82	<b>a 3 :</b>	0.12	<b>m 3 :</b>
MODULO HORMIGON ASF. (p.s.i.) :	380,000.00			x
MODULO DE LA BASE GRANULAR (p.s.i.) :	60,000.00			1.20
MODULO DE LA SUBBASE (p.s.i.) :	20,000.00			1.00
MODULO SUBRASANTE (p.s.i.) :	6,359.61			
PERDIDA TOTAL DE P S I :	2.0			

SN1 NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (CAPA RODADURA)	
NUMERO ESTRUCT REQUERIDO :	1.50
LOG (EJES ACUMULADOS) :	6.01
ECUACION DE COMPROBACION :	6.01
SN2 NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (BASE GRANULAR)	
NUMERO ESTRUCT REQUERIDO :	2.16
LOG (EJES ACUMULADOS) :	6.01
ECUACION DE COMPROBACION :	5.83
SN3 NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SUB BASE GRANULAR)	
NUMERO ESTRUCT REQUERIDO :	3.29
LOG (EJES ACUMULADOS) :	6.01
ECUACION DE COMPROBACION :	5.83

**DETERMINACION DE ESPESORES DE LA ESTRUCTURA:**

CAPAS DEL PAVIMENTO	Espesor Num. Estr.	Num. Estr. corregido	Espesor inicial adop. (plg)	h1 min (plg)	Espesor adoptado (cm)
CAPA HORMIGON ASFALTICO :	D1* :		3.00	3.74	7.6
	SN1* :	1.20			
BASE GRANULAR :	D2* :		5.91	5.71	15.0
	SN2* :	2.19			
SUBBASE GRANULAR :	D3* :		9.83	9.14	25.0
	SN3* :	3.37			
<b>TOTAL</b>		<b>3.37</b>	<b>18.7</b>	<b>18.6</b>	<b>47.6</b>

**ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PLANTEADA**

CAPA HORMIGON ASFALTICO :	7.6
BASE GRANULAR :	15.0
SUBBASE GRANULAR :	25.0
SUBRASANTE	

Comprobamos los valores admisibles con los de servicios

SECCIÓN 4 carril interno y sección 2 carril externo				
VALOR ADMISIBLE		CONDICIÓN	VALOR DE SERVICIO	$\frac{V. Servicio}{V. Admisible} * 100$
3.50E-04	>	VERDADERO	2.16E-04	72%
6.61E-04	>	VERDADERO	3.34E-04	65%
6.60E-04	>	VERDADERO	5.21E-04	76%
0.242	>	FALSO	0.262	112%
0.598	>	VERDADERO	0.262	46%
<b>0.901</b>	>	VERDADERO	0.6636	83%

Sección homogénea	Factor de daño a tracción (fatiga)	Factor de daño a compresión
2 y 4	0.769 CUMPLE	0.390 CUMPLE

Realizado el análisis de los resultados se presenta la siguiente propuesta:

**Tabla 55**

*Propuesta para secciones homogéneas a ser intervenidas.*

Carril Interno	
Sección Homogénea	Propuesta
1	Reparar daños, realizar curado de fisuras
2	Colocar una capa de refuerzo de 5.08 cm. de concreto asfáltico
3	Colocar una capa de refuerzo de 5.08 cm. de concreto asfáltico
4	Realizar una estructura de pavimento con 7.62 cm capa de hormigón asfáltico, 15 cm de base granular, 25 cm de sub-base granular
5	Reparar daños, realizar curado de fisuras
6	Colocar una capa de refuerzo de 7.62 cm. de concreto asfáltico.
Carril Externo	
Sección Homogénea	Propuesta
1	Reparar daños, realizar curado de fisuras
2	Realizar una estructura de pavimento con 7.62 cm capa de hormigón asfáltico, 15 cm de base granular, 25 cm de sub-base granular
3	Colocar una capa de refuerzo de 5.08 cm. de concreto asfáltico.
4	Colocar una capa de refuerzo de 5.08 cm. de concreto asfáltico.
5	Reparar daños, realizar curado de fisuras
6	Colocar una capa de refuerzo de 5.08 cm. de concreto asfáltico.

***Planteamiento de propuesta de rehabilitación***

Luego de haber analizado cada uno de los datos, referidos en la presente investigación, se plantea como propuesta lo siguiente:

**Forma general:**

1. Frezado
2. Escarificar
3. Reconformación de base (mejoramiento con capa de base y subbase en secciones homogéneas).
4. Carpeta asfáltica
5. Subdrenes

**Forma específica:**

- Realizar frezado de 1 pulg. De los 2 carriles excepto en las secciones homogéneas 4 del carril interno y 2 del carril externo.
- Colocar una capa asfáltica de 1 pulg., en las secciones homogéneas 1 y 5 del carril interno y externo del anillo vial.
- Colocar una capa asfáltica de 2 pulg., en las secciones homogéneas 2,3 del carril interno, 3, 4, y 6 del carril externo
- Colocar una capa asfáltica de 7.6 cm en la sección homogénea 6 del carril interno
- Realizar un escarificado y excavación en las secciones homogéneas 4 del carril interno y 2 del carril externo, y conformar una estructura de pavimentos con 3 pulg capa de hormigón asfáltico, 15 cm de base granular, 2 cm de sub-base granular.
- En la sección homogénea 2 y 3 en el carril externo realizar un subdren.

- Realizar la limpieza de sumideros.
- Realizar la señalización horizontal.

**Presupuesto de propuesta.**

Para obtener el presupuesto de la propuesta, se basa en los A.P.U 2020 que son elaborados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, cuyos COSTOS DIRECTOS sirven como referente para la elaboración de proyectos dentro de las FF.AA, queda a consideración de los directivos y ordenadores de gasto de la universidad la aplicación de los COSTOS INDIRECTOS dentro de cada rubro.

UNVIERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMDAS ESPE						
PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DEL ANILLO VIAL						
TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS						
ITEM	COD	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	P. UNIT	PRECIO TOTAL
<b>REPAVIMENTACIÓN VIAL ASFÁLTICA DEL ANILLO VIAL</b>						
<b>1</b>		<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
1	2778	LIMPIEZA MANUAL DE CALZADA DE VÍA Trabajos limp. Manual calles mant. Vial, incl. Des. (tierra, gran., basura, hier.) a=7.0m	km	2.03	319.92	\$ 649.44
2	1063	LIMPIEZA DE SUMIDERO Y TUBERÍA Incluye desalojo.	u	10.00	11.66	\$ 116.60
3	V922	TRANSPORTE MATERIAL DE EXCAVACIÓN Y ESCOMBROS De la obra, en vías principales o secundarias del interior de la ciudad, incluye cargada, esponjamiento y pago escombrera	m <sup>3</sup> - km	500.00	0.44	\$ 220.00
<b>2</b>		<b>REASFALTADO</b>				
1	4534	FRESADO DE CARPETA ASFALTICA No incluye transporte 406-8	m <sup>3</sup>	632.30	7.44	\$ 4,704.29
2	V210	TRANSPORTE MATERIAL DE FRESADO Hasta sitios indicados por fiscalización. Esta en este rubro incluido el esponjamiento	m <sup>3</sup> - km	37,937.82	0.34	\$ 12,898.86
3	V909	ASFALTO DILUIDO RC PARA RIEGO ADHERENCIA, 405-2(1)	l	34,967.60	0.55	\$ 19,232.18
4	V918	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE e=1 PULG. INC. TRANS. Mezcla en planta, tendido, conformación y compactación. Incluye transporte de mezcla a la obra. 405-5	m <sup>2</sup>	11,361.10	4.14	\$ 47,034.95
5	V918	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE e=2 PULG. INC. TRANS. Mezcla en planta, tendido, conformación y compactación. Incluye transporte de mezcla a la obra. 405-5	m <sup>2</sup>	12,410.48	8.28	\$ 102,758.77

5	V919	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE e=3 pulg INC. TRANS. Mezcla en planta, tendido, conformación y compactación. Incluye transporte de mezcla a la obra. 405-5	m <sup>2</sup>	8,543.64	12.29	\$ 105,001.34
<b>3</b>		<b>ESTRUCTURA DE PAVIMENTO</b>				
1	V321	EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR Incluye conformación, compactación de subrasante, y transporte de tierra 500 m. 303-2(2)	m <sup>3</sup>	3,116.77	4.07	\$ 12,685.27
2	V206	TRANSPORTE DE MATERIAL DE EXCAVACIÓN. Incluye esponjamiento y pago en escombrera. 309-2(2)	m <sup>3</sup> -km	93,503.22	0.41	\$ 38,336.32
3	V915	SUB-BASE CLASE 3 - SIN TRANSPORTE Incluye tendido y compactación 403-1E	m <sup>3</sup>	1,855.41	12.52	\$ 23,229.73
4	V800	BASE CLASE 2-SIN TRANSPORTE Incluye tendido y compactación 404-1E	m <sup>3</sup>	1,113.25	15.08	\$ 16,787.75
5	V207	TRANSPORTE DE SUB-BASE, BASE, MATERIAL DE MEJORAMIENTO Transporte de la mina a la obra incluye esponjamiento 309-4(2)	m <sup>3</sup> -km	30,510.00	0.34	\$ 10,373.40
<b>4</b>		<b>DRENAJE PARA OBRAS DE ARTE MENOR</b>				
1	307-3(1)a	EXCAVACIÓN PARA SUBDRENES Y GEODRENES	m <sup>3</sup>	300.00	4.41	\$ 1,323.00
2	402-8(1)E	GEODREN TUBO 6" X 1.5 M DE PROF.	m	500.00	0.61	\$ 305.00
3	606-1(2)	MATERIAL FILTRANTE (SUBDRENES)	m <sup>3</sup>	160.00	4.81	\$ 769.60
4	309-6(4)E	TRANSPORTE DE MATERIAL FILTRANTE	m <sup>3</sup> -km	9,600.00	0.03	\$ 288.00
5	605-1(1b)	GEOTEXTIL PARA SUBDREN	m <sup>2</sup>	1,300.00	0.36	\$ 468.00
6	606-1(1a)	TUBERIA PARA SUBDRENES - PVC = 200 MM DESCARGA DE SUBDRENES	m	160.00	3.86	\$ 617.60
<b>5</b>		<b>SEÑALIZACIÓN</b>				
1	2908	SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL CON MATERIAL TERMOPLÁSTICO Limpieza de superficie, aplicación con máquina y microesferas, líneas, figuras, nombres y otros	m <sup>2</sup>	500.00	34.76	\$ 17,380.00
2	4542	POSTE ABATIBLE PLÁSTICO h= 75 cm: INSTALADO CON PERNOS Poste Plástico b=20 cm, h=75 cm, diam= 8 cm, con bandas reflectivas, instalado con pernos	u	20.00	32.47	\$ 649.40
<b>6</b>		<b>RUBROS AMBIENTALES</b>				
1	V011	AGUA PARA CONTROL DE POLVO 205-(1)	m <sup>3</sup>	150.00	5.44	\$ 816.00
2	V001	CHARLAS DE CONCIENTIZACIÓN 220-(1)	u	1.00	439.92	\$ 439.92
3	V014	PUBLICACIONES POR LA PRENSA 8.44x12.63cm 220-(6)A	u	1.00	851.02	\$ 851.02
4	V007	LETRERO AMBIENTAL DEL PROYECTO (0.61x120m), h=2m, Instalado.	u	1.00	166.45	\$ 166.45
5	1631	ROTULO LONA 13 ONZAS DESCR. OBRA ANTES Y DESPUÉS 2 LONAS 2.40x1.20m Marco tubo cuad. 1 1/2"x1.5mm, par. T. cuad. 100x3mm, pintura de secador rápido 1m, pint. Sint. Autom. 2m, gigan. Lona 13 onz, con inst. de 2 lonas de antes y después. Incluye instalación	u	2.00	695.92	\$ 1,391.84
<b>TOTAL, PRESUPUESTO</b>						<b>\$ 419,494.73</b>

## Capítulo 5

### Conclusiones Y Recomendaciones

#### Conclusiones

##### *Tráfico y ejes equivalentes*

- Los valores obtenidos del análisis de tráfico, realizado durante 2 semanas (14 días continuos) se obtuvo que los vehículos que circularon por el anillo vial de la universidad son 28038 veh., con un promedio diario de 2003 veh./día, además se obtiene factores para determinar el TPDA como los son: factor hora de 1.06, factor día de 1.44, factor semana 1.01 y factor mes de 0.93, el valor de TPDA en función de lo antes descrito es de 2877 vehículos.
- El tráfico auscultado corresponde al 3,82 % en motos sin clasificación, con el 92,15 % de vehículos livianos clasificados en 2D, 2DA; entre vehículos pesados busetas buses con un 4,03 % con la clasificación entre 2DB, 3A y 4C; enmarcados en la norma AASHTO, se afirma que mayor demanda de uso del anillo vial se tiene por los vehículos livianos, que es un 96% del tráfico total.
- El valor de eje equivalentes de 8.2 ton es de 962359 vehículos con una tasa de crecimiento de 4 % y un diseño eficaz de 10 años considerando factores de inflado de neumáticos, factor carril, y dependiendo de la carga por cada clasificación de vehículo establecido en la MOP-001.

##### *De la evaluación funcional del anillo vial.*

- Se desarrolló auscultación de las diferentes fallas con la técnica de inspección visual aplicando la metodología VIZIR, proporcionando los datos en crudo que, mediante tratamiento matemático, permite evaluar la funcionalidad de la vía; para lo cual se estableció la TABLA DE REGISTRO “JATS-BM”, basada en la Norma INVIAS 2006 de Colombia.

- Se estableció la Tabla “JATS-BM”, que permite registrar el trabajo de campo, como son medidas de ancho, largo y la gravedad de la falla, el resultado es el INVENTARIO DE DAÑOS EN PAVIMENTO DEL ANILLO VIAL.
- El Inventario de daños se realizó en cada carril de circulación del anillo vial de la universidad, subdividiendo en 7 tramos cada uno de 300 m longitudinales (dos sentidos del anillo vial), a excepción del último tramo que comprende 233 m inspeccionando; es decir, cada 100 metros, una longitud en el eje central de 2033 m, completando 4066 m de inspección visual.
- Mediante la evaluación funcional se determina que los tramos de las abscisas Km 00+500 – 00+600 y Km 1+700 a 1+900 del carril interno y las abscisas Km 00+000 – 00+100 y Km 0+400 a 0+500 del carril externo presentan un Índice de deterioro superficial 4, se indica que se tiene un pavimentos con agrietamientos estructural y pocas o ninguna deformación, así como pavimentos no fisurados, pero con deformaciones de alguna importancia, su estado superficial se considera regular y lo suficientemente degradado por lo tanto la acción que requiere son tratamientos de rehabilitación de mediana intensidad, además que el resto de abscisas presentan un Índice de deterioro superficial 3, que están dentro del rango 3-4 de la tabla de 14 de Rangos del Índice de deterioro superficial, a excepción del tramo en las abscisas de 1+000 a 1+100 donde el índice de deterioro es de 5 lo cual indica pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes, cuyo deficiente estado superficial exige la ejecución de acciones de trabajos importantes de rehabilitación.

### **Análisis de la estructural del pavimento**

#### **Ensayo Cono de Penetración Dinámico (DCP)**

- Se realizó varios ensayos en diferentes puntos del anillo vial, donde se determina los CBR que permitirá obtener el CBR de diseño, las capas y la descripción del suelo de cada punto, por lo tanto, se determina:

PUNTO DE ENSAYO	CBR %	SUELO
1	13,02	medianamente denso
2	9,55	medianamente denso
3	5,72	suelto
4	6,92	medianamente denso
5	17,29	Denso
6	15.45	medianamente denso
7	3,43	Suelto
8	6,64	denso

#### **Ensayo FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER**

- Se realizó el ensayo de FWD, con el personal, material y equipo proporcionado por el Ministerio de Obras Públicas del Ecuador, que consta de 03 técnicos especializados en la manipulación y en la ejecución del ensayo; 01 vehículo de transporte, y el equipo de alto rendimiento FWD con 9 geófonos; y 01 equipo de toma de datos con una computadora y un programa de registro.
- Se aplica la técnica de triada para obtener una mayor auscultación del anillo vial, con lo cual se obtuvo 22 puntos para la determinación del estado del pavimento; tanto, en el carril externo e interno, es decir, se obtiene resultados generales del anillo vial de cada 50 m.
- Se obtuvo el registro de los 44 puntos, y por tratamiento matemático aplicando la norma AASHTO 93, se obtiene 06 secciones homogéneas las que se diferencia por sus abscisas determinadas encontrando las

deflexiones de cada sección homogénea como el módulo resiliente de la subrasante :

**Tabla 56**

*Resultados de secciones homogéneas de deflexiones y Mr de subrasante*

Secciones homogéneas	Carril interno			Carril Externo		
	Abscisas (Km)	Deflexión (um)	Mr kg/cm <sup>2</sup>	Abscisas km	Deflexión (um)	Mr kg/cm <sup>2</sup>
1	0+000 a 0+400	433	788	0+049 a 0+448	412	769
2	0+400 a 0+701	652	953	0+448 a 0+649	712	445
3	0+701 a 0+902	429	730	0+649 a 1+050	453	794
4	0+902 a 1+503	635	492	1+050 a 1+247	498	606
5	1+503 a 1+901	409	994	1+247 a 1+550	476	606
6	1+901 a 2+033	552	621	1+550 a 1+945	515	749

- La mayor deformación del pavimento es en la sección homogénea 2 de cada carril, es decir, en el carril interno entre las abscisas del Km 0+400 a 0+701 con 652 mm, y del carril externo entre las abscisas del Km 0+448 a 0+649 con 712mm.
- Calculado los módulos resilientes de la subrasante, se calcula el número estructural efectivo de la estructura del pavimento en cada sección homogénea del respectivo carril el número estructural requerido teniendo:

**Tabla 57**

*Resultados de secciones homogéneas de Sneff y Snreq*

Secciones homogéneas	Carril interno			Carril Externo		
	Abscisas (Km)	Sneff	SnReq	Abscisas km	Sneff	SnReq
1	0+000 a 0+400	3.7	2.73	0+049 a 0+448	4.17	2.76
2	0+400 a 0+701	2.3	2.55	0+448 a 0+649	2.32	3.36

3	0+701 a 0+902	2.3	2.81	0+649 a 1+050	2.54	2.73
4	0+902 a 1+503	2.5	3.24	1+050 a 1+247	2.61	3.01
5	1+503 a 1+901	3.0	2.51	1+247 a 1+550	3.25	3.01
6	1+901 a 2+033	2.5	2.98	1+550 a 1+945	2.57	2.78

- Donde la sección 1 y sección 5 del carril interno y externo cumple con la estructura del pavimento, mientras las secciones de 2, 3, 4, 6 examina una insuficiencia estructural del pavimento.
- Finalmente, se indica; que obtenidos los números estructurales requeridos y efectivos, para las secciones 1 y 5, la estructura de pavimento cumple un número estructural proyectada de 10 años, por lo que no requiere estructuralmente ningún tipo de intervención, sin embargo este análisis no exenta la intervención funcional que se requiera y tener en cuenta la ejecución del mantenimiento preventivo; para las secciones 2, 3, 4, 6 La estructura no cumple debe someterse a un proyecto de reforzamiento o un tratamiento superficial de alto desempeño, en los que se encuentran mejoramientos de base, los slurries, micropavimentos, tratamientos con geocompuestos entre otros.

***Propuesta de rehabilitación, para la determinación del tipo de rehabilitación.***

- Realizar frezado de 1 pulg. De los 2 carriles excepto en las secciones homogénea 4 del carril interno y 2 del carril externo.
- Colocar una capa asfáltica de 1 pulg., en las secciones homogéneas 1 y 5 del carril interno y externo del anillo vial.
- Colocar una capa asfáltica de 2 pulg., en las secciones homogéneas 2,3 del carril interno, 3, 4, y 6 del carril externo

- Colocar una capa asfáltica de 7.6 cm en la sección homogénea 6 del carril interno
- Realizar un escarificado y excavación en las secciones homogénea 4 del carril interno y 2 del carril externo, y conformar una estructura de pavimentos con 7.6 cm capa de hormigón asfáltico, 15 cm de base granular, 25 cm de sub-base granular.
- En la sección homogénea 2 y 3 en el carril externo realizar un subdren.
- Realizar la limpieza de sumideros.
- Realizar la señalización horizontal.

Para obtener el presupuesto de la propuesta, se basa en los A.P.U 2019-2020 que son elaborados por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, cuyos COSTOS DIRECTOS sirven como referente para la elaboración de proyectos dentro de las FF.AA, queda a consideración de los directivos y ordenadores de gasto de la universidad la aplicación de los COSTOS INDIRECTOS dentro de cada rubro, dando un costo de . \$419,494.73 (CUATROCIENTOS DIEZ Y NUEVE MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y CUATRO CON 73/100 DÓLARES AMERICANOS).

### **Recomendaciones**

- Fomentar un sistema de gestión de vías que permita una conservación adecuada del anillo vial mediante un costo apropiado, lo que permite optimizar inversiones, y mantener un control de los efectos de la vía, con el fin de preservar el pavimento si existe un incremento de cargas, monitoreando el deterioro de la estructura del pavimento.
- Plantear la utilización de la tabla de registro para evaluación funcional mediante el empleo del método VIZIR, para determinar el deterioro de vías, y obteniendo base de datos, con la información de las necesidades de la vía, permitiendo una toma de decisiones acertadas acorde a las zonas delimitadas en el proyecto.

- Aplicar auscultación por FWD, para determinar fallas estructurales con la finalidad de establecer la estructura del pavimento en servicio, y obtener la capacidad de soporte de la estructura, capacidad de soporte de la subrasante y por ende de las diferentes capas de la estructura del pavimento.
- Aplicar la propuesta del presente trabajo con el fin de lograr una mayor resistencia a las cargas que actuaran sobre el pavimento, logrando un costo-beneficio y así disminuyendo inversiones (gastos) del presupuesto de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, y además con la finalidad de lograr confort y seguridad a los usuarios de la vía.
- Con la ampliación del parque automotor sobre el anillo vial; se realice un estudio de tráfico y una propuesta de optimización en las entradas y salidas de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aashto. (1990). *A Policy On Geometric Design Of Highways And Streets*. Washington, D.C.
- Andrade, A. O. (2015). *Memoria Tecnica De Señalización*. Manabi.
- Board\_Transportation\_Research. (2000). *Highway Capacity Manual*.
- Canalconstruccion. (2016). *Canalconstruccion*. Obtenido De <Http://Canalconstruccion.Com/Pavimentos-Flexibles.Html>
- Cossi, P. (2012). *Diseño De Pavimentos Por Metodo Aashto 93*.
- Dji. (2017). *Manual De Usuario Dron Phantom4*.
- Ecured. (16 De Enero De 2018). [Https://Www.Ecured.Cu/Infraestructura\\_Vial](Https://Www.Ecured.Cu/Infraestructura_Vial). Obtenido De [Https://Www.Ecured.Cu/Infraestructura\\_Vial](Https://Www.Ecured.Cu/Infraestructura_Vial)
- Elcomercio. (2016). *Accidente En La Av. Simon Bolivar. El Comercio*.
- Frateschi, A. (2015). *Efn.Uncor.Edu*. Obtenido De [Http://Www.Efn.Uncor.Edu/Investigacion/Impas/Espanol/Papers/014\\_Paper%20dcp.Pdf](Http://Www.Efn.Uncor.Edu/Investigacion/Impas/Espanol/Papers/014_Paper%20dcp.Pdf)
- Gaete, G. T. (2012). <Http://Www.Ricuc.Cl/Index.Php/Ric/Article/Download/364/Pdf>. Obtenido De <Http://Www.Ricuc.Cl/Index.Php/Ric/Article/Download/364/Pdf>
- Hidalgo, R. J. (2017). *Modelacion Y Rediseño Vial De La Interseccion Av. Isaac Alberniz Y Av. Galo Plaza Lazo*. Sangolqui.
- Higuera, C. H. (2015). *Nociones Sobre Evaluacion Y Rehabilitacion De Estructuras De Pavimentos*. Colombia.
- Higuera, S. C. (16 De Noviembre De 2009). *Caracterizaci• N De La Resistencia De La Subrasante*. Recuperado El 2019, De <Https://Dialnet.Unirioja.Es/Descarga/Articulo/3856618.Pdf>
- Inen. (2011). *Señalización Vial, Parte 1, Señalización Vertical*. Quito.
- Inen. (2011). *Señalización Vial, Parte 2, Señalización Horizontal*. Quito.

- Mencat, W. (2014). *Scribd*. Obtenido De  
<https://es.scribd.com/document/227864283/Ensayo-Dcp>
- Mop. (2003). *Normas De Diseño Geométrico*. Quito.
- Mtop. (2012). *Nevi 12*. Quito: Volumen 6.
- Nacevilla Toaquiza, L. J. (2018). *Evaluación Funcional Y Estructural De Pavimentos Flexibles Mediante Tecnología Termográfica Y Método Uav*. Sangolqui: Ufa-Espe.
- Patillo, J. (2000). *Diseño Estructural De Pavimento Flexible*. Chile.
- Udep. (2012). *Método Aashto 93 Para El Diseño De*.
- Via, I. (7 De Enero De 2015). *Infraestructura Vial*. Obtenido De Ecured:  
[https://www.ecured.cu/Infraestructura\\_Vial](https://www.ecured.cu/Infraestructura_Vial)

