



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Aplicación de una metodología para rehabilitación de
pavimentos mediante sobrecapas de refuerzo, utilizando
AASHTO 93.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE CONSTRUCCIONES

Autor:
DIEGO ESTEBAN MENDIETA QUITO

Director:
JUAN PABLO RIQUETTI MORALES

CUENCA, ECUADOR

2016

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Diego y Ruth, pilares fundamentales para que hoy alcance un primer escalón de triunfos. A mis hermanos Gabby y David, quienes con su constante apoyo me han llenado de energía y vitalidad para llevar a cabo este trabajo. A mi abuelita, mi Mamita Carmen, símbolo de mi corazón, siempre con sus sabios consejos y oraciones me ha guiado por el correcto camino llegando a cumplir con mis objetivos.

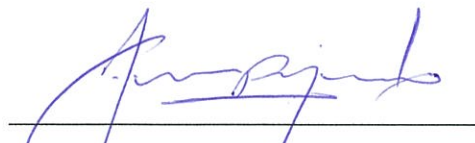
A Dios, a Él que nunca me abandonó y me iluminó en cada etapa de este proceso, quien nunca me dejó caer y siempre me ayudó a encontrar la salida. A todos ellos hoy soy quien soy y siempre los guardaré en mi corazón

**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA REHABILITACIÓN DE
PAVIMENTOS MEDIANTE SOBRECAPAS DE REFUERZO, UTILIZANDO
AASHTO 93.**

RESUMEN

AASHTO introdujo conceptos mecanicistas a partir de su versión de 1986 y con la nueva de 1993, las cuales permite conocer más a fondo la serviciabilidad en el diseño de pavimentos, su más reciente y mejorada versión nos dará una idea general de los elementos que conforman el pavimento, estudiando desde sub-base, base hasta el tipo de pavimento a utilizar, factores de diseño, comportamiento, propiedad de los materiales y finalmente características estructurales; este método introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

Palabras Claves: Rehabilitación, sobrecapas de refuerzo, pavimentos, AASHTO93.



Juan Pablo Riquetti Morales
Director de Tesis



Paúl Cornelio Cordero Díaz
Director de Escuela



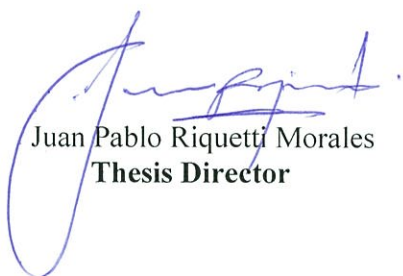
Diego Esteban Mendieta Quito
Autor

APPLICATION OF THE AASHTO 93 METHODOLOGY FOR PAVEMENT REHABILITATION THROUGH REINFORCED OVERLAYS

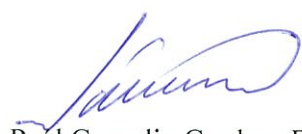
ABSTRACT

AASHTO introduced mechanistic concepts in its 1986 edition, as well as in the new 1993 edition; both of which enable to gain a thorough understanding about the serviceability of pavement design. Its latest and improved version will give us a general idea of the elements that make up the pavement, starting from its sub-base, base up to the type of pavement to be used, design factors, behavior, properties of materials, and finally structural features. This method introduces the concept of serviceability in pavement design as a measure of its ability to provide the user a smooth and soft surface.

Keywords: Rehabilitation, Reinforced Overlays, Pavements, AASHTO93



Juan Pablo Riquetti Morales
Thesis Director



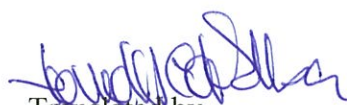
Paul Cornelio Cordero Díaz
School Director



Diego Esteban Mendieta Quito
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
JUSTIFICACIÓN	2
ALCANCE	2
METODOLOGÍA	3
Metodología AASTHO 93 para el diseño de pavimentos.....	3

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Pavimentos	5
1.1.1 Pavimentos Flexibles	6
1.1.1.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible	6
1.1.2 Pavimentos Rígidos.....	7
1.1.2.1 Funciones de las capas de un pavimento rígido	8
1.2 Comportamiento y evaluación del pavimento de concreto	9
1.2.1 Comportamiento Funcional.....	9
1.2.2 Comportamiento Estructural	11
1.2.3 Factores que afectan el comportamiento del pavimento	12
1.2.4 Variables de tiempo.....	13
1.2.5 Evaluación del pavimento existente.....	14
1.2.5.1 Evaluación funcional	14
1.3 Índice de serviciabilidad Presente (PSI)	15
1.3.1 Perfilómetro laser de alto rendimiento.....	17
1.4 Índice de regularidad superficial (IRI)	18
1.4.1 Perfilómetro Pivotante (Dipstick)	18
1.5 Índice de Estado (IE)	21
1.5.1 D1: Deformación Longitudinal	23
1.5.2 D3: Fisuración.....	24
1.6 Evaluación Estructural	25
1.6.1 Evaluación de la capacidad estructural basado en ensayos no destructivos	26
1.7 Evaluación visual	28
1.8 Clasificación de fallas	29
1.8.1 Cuantificación de fallas	30
1.8.1.1 Fallas funcionales.....	30
1.8.1.2 Fallas estructurales	30

CAPÍTULO 2: ENSAYOS GEOTÉCNICOS.

2.1 Ensayos geotécnicos.....	44
2.2 Clasificación de suelos	45
2.2.1 Sistema unificado de clasificación de suelos.....	45
2.3 Consistencia del suelo	49
2.4 CBR (Ensayo California Bearing Ratio)	50

CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LA SOBRECAPA DE REFUERZO

3.1 Diseño de la sobrecapa.....	53
3.2 Factores básicos para el estudio de refuerzos.....	55
3.3 Estudios preliminares	56
3.4 Método AASTHO 93	57
3.5 Índice de servicialidad.....	59
3.6 ESAL'S	60
3.6.1 Numero de ejes equivalentes por tramo	60
3.7 Estudio de transito	61
3.8 Confiabilidad	65
3.8.1 Desviación normal estándar	65
3.8.2 Error estándar combinado.....	66
3.9 Análisis de la subrasante	66
3.10 Módulo de resiliencia de subrasante (MR)	70
3.11 Determinación de numero estructural (SM)	71
3.12 Determinación de espesores	71
3.13 Coeficientes estructurales de capas (ai)	71
3.14 Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica	72
3.14.1 Coeficiente estructural de bases granulares (a2)	72
3.14.2 Coeficiente estructural de bases granulares estabilizadas	72
3.14.3 Coeficiente estructural de subbase granular (a3)	73

3.15	Refuerzos pavimentos flexibles.....	78
3.16	Refuerzo sobre pavimento de concreto sin fracturar	84

CAPÍTULO 4. DESARROLLO PRÁCTICO

4.	Desarrollo Práctico.....	98
4.1	Evaluación funcional	99
4.1.1	Índice de regularidad superficial (IRI)	99
4.1.2	Macrotextura.....	105
4.1.3	Hidrodeshlizamiento.....	107
4.1.4	Fisuración	109
4.2	Evaluación estructural	111
4.2.1	Espesores	111
4.3	Escaneo de barras de transferencias de carga.....	112
4.4	Transferencia de carga	113
4.5	Deflexiones	119
4.6	Módulo de reacción de soporte	131
4.7	ESAL'S	133
4.8	Resumen de resultados	136
4.9	NOMENCLATURA	137
4.10	Diseño de sobrecapa con refuerzo flexible sobre pavimento rígido.....	138
4.11	Diseño de sobrecapa con refuerzo flexible sobre pavimento flexible	145
4.11.1	Macrotextura del pavimento flexible	146
4.11.2	Espesores	147
4.11.3	Deflexiones	147
4.12	Análisis comparativo de precios unitarios.....	154
	CONCLUSIONES	170
	RECOMENDACIONES.....	175
	BIBLIOGRAFÍA.....	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Perfilómetro laser de alto rendimiento	18
Figura 1.2 Perfilómetro Pivotante (Dipstick)	20
Figura 1.3 Rugosímetro utilizado para obtener coeficiente D1	23
Figura 1.4 Distribución del palto de carga y de sismómetros	28
Figura 1.5 Falla de regularidad y superficie.....	38
Figura 1.6 Grietas.....	40
Figura 1.7 Deficiencias o fallas en juntas	41
Figura 2.1 Sistema Unificado de Clasificación, símbolos de grupo para suelos arenosos	47
Figura 2.2 Sistema Unificado de Clasificación, símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos	48
Figura 2.3 Carta de Plasticidad	49
Figura 2.4 Esfuerzo vs Penetración.....	52
Figura 3.1 Variación de la capacidad estructural de un pavimento en el tiempo.....	54
Figura 3.2 Diseño para estructuras de pavimento flexible.....	58
Figura 3.3 Modulo resiliente vs CBR	69
Figura 3.4 Correlación con el módulo resiliente.....	70
Figura 3.5 Para hallar A1 en función del módulo de elasticidad	73
Figura 3.6 Nomograma para estimar A1 en función de la estabilidad Marshall.....	74

Figura 3.7 Variación del coeficiente a_2 con diferentes parámetros de resistencia de la base granulada	75
Figura 3.8 Variación del coeficiente a_2 en bases tratadas con cemento para diferentes parámetros de resistencia	76
Figura 3.9 Variación del coeficiente a_2 en bases tratadas con asfalto para diferentes parámetros de resistencia	77
Figura 3.10 Ábaco de diseño para pavimentos flexibles.....	81
Figura 3.11 Carta para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente.....	84
Figura 3.12 Pavimento existente y refuerzo.....	85
Figura 3.13 Factor que convierte la deficiencia en espesor del pavimento de concreto en un espesor de refuerzo de concreto asfáltico.....	87
Figura 3.14 A Ábaco para el diseño de pavimentos rígidos	91
Figura 3.14 B Continuación del Ábaco para diseño de pavimentos rígidos	92
Figura 3.15 Factor de ajuste por juntas y fisuras	95
Figura 3.16 Entre el factor de condición y la vida remanente	97
Figura 4.1 Diagrama de funcionamiento del Perfilómetro láser dinámico	99
Figura 4.2 Eficiencia en la Transferencia de carga.	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Periodo de análisis	14
Tabla 1.2 Escala de calificación de la servicialidad.....	16
Tabla 1.3 Valores del IRI (m/Km) utilizados internacionalmente	20
Tabla 1.4 Valores límite de IRI y PSI en los que se requiere rehabilitación	21
Tabla 1.5 Rangos del IE según el estado del pavimento.....	22
Tabla 1.6 Valor de D1 en función de la rugosidad para pavimentos rígidos	24
Tabla 1.7 Fallas en pavimentos rígidos.....	31
Tabla 1.8 Formato para evaluar la condición del pavimento rígido según la provincia de colorado (EEUU)	42
Tabla 2.1 Valores de esfuerzo en la muestra patrón	52
Tabla 2.2 Clasificación y uso del suelo de acuerdo a los valores del CBR	53
Tabla 3.1 Factor de crecimiento (FCR)	62
Tabla 3.2 Calculo del factor camión (FC)	63
Tabla 3.3 Factores de equivalencia de carga para pavimentos rígidos	64
Tabla 3.4 Niveles de confiabilidad para diferentes carreteras	65
Tabla 3.5 Valores de ZR en función de la confiabilidad.....	66
Tabla 3.6 Valores sugeridos para coeficientes estructurales para losas fracturadas	82
Tabla 3.7 Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles.....	83

Tabla 3.8 Valores de J de acuerdo al porcentaje de transferencia de carga	89
Tabla 3.9 Valores para F_{dur}	94
Tabla 3.10 Valores para F_{fat}	96
Tabla 4.1 Identificación del tramo Campo Alegre – Biblián	98
Tabla 4.2 Resultados de IRI.....	100
Tabla 4.3 Valores de IRI empleados en España para cada capa de pavimento	101
Tabla 4.4 Valores de IRI empleados en Portugal.....	102
Tabla 4.5 Comparación de Valores de IRI con diferentes normativas	103
Tabla 4.6 Resultados de Macrotextura.....	106
Tabla 4.7 Resultados de Hidrodeslizamiento.....	108
Tabla 4.8 Cumplimiento Normativa MTOP-001-F-2002	108
Tabla 4.9 Resultados de la Identificación de Fallas por calzada (Bajo, Media y Alta Severidad) en cada tramo	110
Tabla 4.10 Resultados de la Identificación de Espesores de Capas del Pavimento	112
Tabla 4.11 Resultados de escáner de barras de transferencia	113
Tabla 4.12 Calificación de Transferencia de Carga	116
Tabla 4.13 Resultados promedio de Transferencia de Carga por carril y por tramo	117
Tabla 4.14 Determinación de Fallas en losas estudiadas con FWD	117
Tabla 4.15 Deflexión promedio en el Plato de Carga (D1) capturada en campo.....	121
Tabla 4.16 Deflexión en el Plato de Carga (D1) Corregida a 40 KN en centro y esquina	123

Tabla 4.17 Deflexión en el Plato de Carga (D1) Corregida a 40 KN en junta.....	123
Tabla 4.18 No. Secciones Homogéneas por Deflexión Características	123
Tabla 4.19 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica por Tramo.	124
Tabla 4.20 Identificación de las secciones homogéneas por el método de deflexión característica Lado Derecho.....	124
Tabla 4.21 Identificación de las secciones homogéneas por el método de deflexión característica Lado Izquierdo	125
Tabla 4.22 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica, Módulo de Elasticidad y Módulo Rotura del Concreto Lado Derecho	125
Tabla 4.23 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica, Módulo de Elasticidad y Módulo Rotura del Concreto Lado Izquierdo	126
Tabla 4.24 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica, Módulo De Reacción Del Soporte K Y Módulos Elásticos De Las Capas Del Pavimento Lado Derecho	127
Tabla 4.25 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica, Módulo De Reacción Del Soporte K Y Módulos Elásticos De Las Capas Del Pavimento Lado Izquierdo	129
Tabla 4.26 Módulos de Reacción del Soporte “K”	132
Tabla 4.27 Valores de Área y Deflexión Máxima por Tramo y Sentido.	133
Tabla 4.28 Resumen del TPDA utilizados.....	134
Tabla 4.29 Módulos Elásticos de las capas del Pavimento	134
Tabla 4.30 Módulos Elásticos con AASHTO 93	136
Tabla 4.31 Módulo de Rotura del Pavimento	136
Tabla 4.32 Resumen de Parámetros Evaluados y Calculados.....	136

Tabla 4.33 Valores de la Desviación Estándar.....	139
Tabla 4.34 Valores para F_{dur}	140
Tabla 4.35 Valores para F_{fat}	140
Tabla 4.36 Tipos de fallas en el tramo Zhud – El Juncal.....	146
Tabla 4.37 Deflexión Característica Promedio y Módulo de la Subrasante	147

Mendieta Quito Diego Esteban

Trabajo de Graduación

Ing. Riquetti Morales Juan Pablo

Abril, 2016

**“APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA REHABILITACIÓN DE
PAVIMENTOS MEDIANTE SOBRECAPAS DE REFUERZO, UTILIZANDO
AASHTO 93”**

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador nos encontramos con vías que necesitan manteamiento constante lo cual revaloriza la construcción del pavimento, ocasionando gastos mayores que muchas de las veces sobrepasan el presupuesto fijado en un inicio, por ello en la siguiente tesis presento una alternativa de rehabilitación de pavimentos de concreto y asfáltico que nos permitan ahorrarnos costos innecesarios y en períodos muy cercanos el uno del otro, y mejoras que se pueden realizar en pavimentos con fallas por exceso de uso, es decir, también nos enfocamos en carreteras donde transitan a diario camiones que deterioran la calzada y producen malestar a los usuarios.

Objetivos

Objetivo general: diseñar una sobrecapa de refuerzo flexible sobre un pavimento de concreto o asfáltico parcialmente destruido, garantizando el tiempo de vida útil para el cual fue diseñado, obteniendo los mejores resultados económicos.

Objetivos específicos:

- Evaluar el comportamiento del pavimento existente.
- Determinar las reparaciones previas para el diseño de una sobrecapa de refuerzo.
- Diseñar mediante el método AASHTO 93, sobrecapas de refuerzo flexible sobre un pavimento existente (pavimento rígido o flexible).

Justificación

La carencia de tecnología en nuestro país hace que se produzca la falta de técnicas y procesos de rehabilitación de pavimentos, esto da lugar a investigar sobre nuevas alternativas para mejorar la vialidad, para lo cual, mediante la AASHTO 93 y un software integrado, propondremos las soluciones más adecuadas; las mismas que eviten una destrucción total del pavimento, optimizando los costos de la obra.

Alcance

Determinar los factores que afectan el comportamiento del pavimento, así como la evaluación del pavimento existente, dando a conocer el método utilizado y el software aplicado en el diseño del refuerzo del pavimento.

Metodología

La metodología muy acertada por el Ing. Luis Vásquez (Vásquez, 2015) nos da como resultado la inclusión de AASHTO y nos dice:

Método AASHTO para el diseño de pavimentos

El método AASHTO-1993 para el diseño de pavimentos flexibles, se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento, que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural, el método se apoya en una ecuación que relaciona los coeficientes, con sus respectivos números estructurales, los cuales se calculan con ayuda de un software, (AASHTO 93) el mismo requiere unos datos de entrada como son el rango de serviciabilidad, la confiabilidad y el módulo resiliente de la capa a analizar.

Ecuación AASHTO para pavimentos flexibles es:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

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

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas. —

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulgadas.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

SN = Efecto del número estructural.

P_t = Serviciabilidad final.

S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C_d = Coeficiente de drenaje.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

K = Módulo de reacción de la sub-rasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulgadas).

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Pavimentos.

El pavimento es una superficie exterior utilizada para la circulación de los distintos tipos de vehículos, formada por el agrupamiento de capas de distintos materiales, con el objeto de distribuir y transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo del terraplén. (Farinango, 2014).

Mientras que para (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012) un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- Resistir las cargas provocadas por el tránsito para el cual fue diseñado.
- Ser resistente ante agentes naturales en la intemperie.
- El pavimento a diseñar debe ser capaz de resistir la abrasión generada por el desgaste excesivo de los neumáticos.
- Para comodidad funcional, la superficie debe ser regular, teniendo en cuenta la velocidad de circulación.

- Durabilidad del pavimento garantizada.
- El color del pavimento debe evitar reflejos que puedan generar cualquier tipo de inseguridad al conductor.

1.1.1 Pavimentos flexibles

Al ser un pavimento que está formado por las capas de base y sub-base, las cuales no son capas rígidas, este tipo de pavimento guarda una estructura flexible. Dependiendo de las particularidades y necesidades en la obra, se podrá prescindir de alguna de estas capas, dependiendo de la evaluación para la cual va a ser diseñada. (Morales., 2005)

1.1.1.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible

En palabras de (Farinango, 2014, págs. 23-25)

Sub-base granular

- Capa de transición: la sub-base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y, por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menos, acabando su calidad.
- Disminución de la deformación: algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios externos de temperatura, pueden absorberse con la capa sub-base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
- Resistencia: la sub-base debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la subrasante.

Base granular

- Resistencia: la función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

Carpeta asfáltica

- Superficie de rodadura: la carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- Resistencia: su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.
- Impermeabilidad: hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

1.1.2 Pavimento Rígido

Se encuentran constituidos por la subrasante o material seleccionado llamado sub-base, además de la losa de concreto hidráulico como material rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Montejo Fonseca, 1998)

1.1.2.1 Funciones de las capas de un pavimento rígido.

Según (Paredes, 2011, pág. 13)

Sub-base

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de materiales fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimento
- Mejorar el drenaje y reducción por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.

Losa de concreto

- Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

1.2 Comportamiento y evaluación del pavimento de concreto

Se procederá con una explicación breve a cerca del comportamiento funcional y la estructura del pavimento de concreto. Con el propósito que los usuarios puedan tener una visión real del método rehabilitación y funcionalidad de la carretera, de la misma manera daremos a conocer los factores que afectan o influyen en el comportamiento del pavimento.

Para la realización de una rehabilitación de pavimento debemos tener en cuenta el momento propicio y el costo que implica hacerlo, para ello se debe realizar un estudio de campo de nos brinde una visión clara del estado actual del pavimento el cual lo dividiremos en tres momentos: evaluación funcional, evaluación estructural y evaluación visual.

Nos ayudaremos también de gráficas y tablas demostrativas de las fallas más comunes en los pavimentos de concreto, se mencionarán a su vez posibles causas y tratamientos correctivos. (Morales., 2005, pág. 30)

1.2.1 Comportamiento funcional.

Para (Morales., 2005) el comportamiento funcional de un pavimento de concreto es primordial brindar al usuario una calzada cómoda y segura que permita transportarse de manera placentera, la regularidad o rugosidad superficial son dos características predominantes a la hora de evaluar estos comportamientos entre otros tenemos también:

- Textura.
- Adecuada Fricción superficial.
- Trazado de carretera, incluyendo peralte y radio de curvatura.
- Fisuras.

La característica más percibida por el usuario será siempre la regularidad y rugosidad superficial debido a que esta afecta o mejora la rodadura. En caso de que la regularidad de la carretera no sea la adecuada se producirán vibraciones innecesarias y molestas a la hora de transitar estas carreteras, ocasionando daños en las mercancías transportadas o desgaste en los vehículos.

La textura influye indirectamente en el coeficiente de rozamiento del pavimento que permite una la adhesión correcta de las ruedas al pavimento lo cual da mayor seguridad al usuario, una textura adecuada ayuda también a una correcta evacuación del agua de la interface rueda-pavimento y asegura una conservación de las carreteras por tiempos más prolongados.

La fricción superficial de un pavimento es la fuerza desarrollada en la interface rueda pavimento que resiste el deslizamiento cuando se aplican las fuerzas de frenado.

En los pavimentos secos hay, en general, buena fricción superficial, pero en los mojados el agua actúa como lubricante y reduce el contacto entre rueda y pavimento. Si la película de agua es gruesa y el vehículo circula a gran velocidad, las ruedas pierden contacto con el pavimento, creando el peligroso fenómeno de hidroplaneo.

El trazado de la carretera debe ser preciso de tal manera que no ocasione accidentes en curvas con radios más pequeños de lo habitual, sus peraltes y contra-peraltes o pendientes longitudinales extremas pueden implicar costos elevados y tornarse peligroso.

Uno de los avisos que se debe tomar en cuenta en una carretera con problemas son las fisuras que pueden darse por diversos motivos como: desgaste, tensiones, cargas de tráfico

significativas que ponen en riesgo la resistencia del pavimento y cambios climáticos. Para ahorrar gastos de conservación se debe actuar rápidamente. (Morales., 2005, pág. 30)

1.2.2 Comportamiento estructural.

Según (Morales., 2005) el comportamiento estructural se verá afectado por múltiples razones principalmente por el exceso de peso o uso de este pavimento, lo cual producirá malestares generales a los usuarios ya que la rugosidad será mayor, produciendo ruidos y riesgos innecesarios.

En algunos casos los daños son a nivel interno y se tornan casi imperceptibles lo que ocasiona un problema extra porque el daño será de mayor magnitud y se necesitara más tiempo para su rehabilitación se detener en cuenta todo tipo de juntas o grietas, irregularidades en la calzada, fallas generales y peladuras que también podrían afectar el soporte del pavimento y disminuir la fricción de la carretera.

A pesar que los daños son menores y se producen en tiempos mayores con un cemento de mayor resistencia como lo es el de marca portland debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad en este punto entra el juego la resistencia de la losa y su forma de construcción o estructuración que dependerán de las condiciones de contorno como son el apoyo sobre la sub-base y las restricciones en los bordes que le imponen las losas adyacentes. (Morales., 2005, pág. 31)

1.2.3 Factores que afectan el comportamiento del pavimento

El tránsito: interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por ejes esperados en el carril de diseño solicitado, que determinara la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales, las velocidades de operación de los vehículos y la canalización del tránsito etc. (Morales., 2005).

La subrasante: de la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medio los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal. (Morales., 2005).

El clima: los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción de capas granulares y asfálticas. Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que

circulan sobre ellas. (Morales., 2005).

1.2.4 Variables de tiempo

- **Periodo de análisis:** etapa en la cual se tomarán en consideración varias estrategias de diseño del pavimento y se elegirá la más adecuada, este periodo también es semejante a la vida útil del pavimento y los distintos refuerzos que aplicaran en el proceso. (Morales., 2005).
- **Vida útil del pavimento:** tiempo transcurrido entre la construcción de la vía hasta el momento en el cual el pavimento deba ser rehabilitado.

Para efectos de diseño se considera el período de vida útil, mientras que el período de análisis se utiliza para la comparación de alternativas de diseño, es decir, para el análisis económico del proyecto. Los períodos de análisis recomendados son mostrados en la tabla 1.1 (Morales., 2005, pág. 13).

Tabla 1.1 Períodos de análisis

Clasificación de la vía	Período de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 – 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 – 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 – 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

1.2.5 Evaluación del pavimento existente

La evaluación del pavimento es un factor primordial para su rehabilitación con esta podemos tener en cuenta el diseño de refuerzo que se va utilizar; tomaremos a consideración tres puntos importantes: evaluación de la servicialidad, evaluación de la capacidad y la observación visual del pavimento existente, estos tres aspectos permitirán que tomemos la decisión correcta al momento de aplicar el tipo de fuerza para el proyecto. (Morales., 2005).

La evaluación nos permite determinar los daños existentes de la calzada, de igual manera nos dará a conocer las causas de los mismos. Tiene por objeto establecer un diagnóstico para seleccionar y proyectar la solución de mantenimiento o rehabilitación propicia del pavimento dividiendo de manera homogénea la carretera. (Morales., 2005).

Se deberán tener en cuenta las siguientes particularidades:

- Las evaluaciones deben ser periódicas para evitar daños mayores y tomar acciones inmediatas.
- Se debe evitar suposiciones de resistencia de los materiales, ya que podría ocasionar problemas con respecto a los resultados.
- Diferenciar los daños entre la calidad de tránsito y el desgaste y disminución de la capacidad de carga que soporta el pavimento.
- Drenajes adecuados para grietas y juntas.

1.2.5.1 Evaluación funcional

Considera aspectos en donde se ven afectado los usuarios, pero que no comprometen la capacidad estructural del pavimento. Los indicadores del estado superficial del pavimento esta emitido por medio de fórmulas en donde se recogen un sin número de parámetros del

pavimento los cuales están determinados según cada país en tablas referenciales para establecer sus límites.

En el caso de Ecuador el documento normativo técnico aplicable al desarrollo de las carretas que establece las políticas, criterios, procedimientos y metodologías que se deben cumplir en los proyectos viales, así como asegurar la calidad y durabilidad de los pavimentos; disminuyendo el impacto ambiental y mejorando la optimización y mantenimiento del tráfico en las fases de rehabilitación es la norma ecuatoriana vial, NEVI-12.

Entre los principales indicadores del estado superficial del pavimento tenemos:

- Índice de serviciabilidad presente (PSI).
- Índice de regularidad internacional (IRI).
- Índice de estado (IE).

Estos indicadores nos permitirán establecer los rangos de evaluación del pavimento siendo su finalidad definir el estado en que se encuentra superficialmente el pavimento, pero también podría indicar la necesidad de una evaluación estructural. (Morales., 2005, pág. 36)

1.3 Índice de Serviciabilidad presente (PSI)

Índice de comodidad y seguridad percibida por el consumidor al momento de viajar por este pavimento, el método fue desarrollado a mediados de los años sesenta aproximadamente por AASHTO.

Las mediciones se desarrollaban de manera empírica y subjetiva tomando sujetos experimentales para determinar los parámetros antes dichos lo cual generaba inexactitud calificando de 0 (pésimo) – 5 (excelente) el estado del pavimento por ello se realizaron modificaciones en la constatación del **PSI**.

Se implementaron parámetros medibles para la constatación del **PSI** tales como:

- rugosidad
- agrietamientos
- ahuellamientos
- baches

Los mismos que se interrelacionan con las opiniones del consumidor para obtener datos estadísticos. Para el caso de los pavimentos rígidos, el índice de serviciabilidad presente responde a la siguiente expresión:

$$PSI = 5.41 - 1.78 \cdot \log(1 + SV) - 0.09 \cdot (C + P) \cdot 0.50$$

Dónde:

PSI: Índice de Serviciabilidad Presente.

SV: Varianza de la pendiente longitudinal x 102 (pulg/pie), representa la rugosidad del Pavimento medida con Perfilómetro u otro instrumento.

C: Cantidad de agrietamientos tipo “fracturación múltiple” (pie²/1000pie²).

P: Área bacheada (pie²/1000pie²).

Los rangos de evaluación que se deberán tener en cuenta en la calificación del estado del pavimento a través del PSI se muestran en la tabla 1.2 (Morales., 2005, págs. 37-38)

Tabla 1.2 Escala de calificación de la serviciabilidad

0-1	Muy pobre
1-2	Pobre
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy buena

Fuente: Morales, J. (2005).

La rugosidad es el parámetro que gobierna el valor del PSI, dado que es el factor que tiene más en cuenta el usuario para juzgar la calidad del pavimento. Así, es importante emplear un instrumento confiable para medir la rugosidad al monitorear la historia del comportamiento del pavimento. (Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”).)

1.3.1 Perfilógrafo láser de alto rendimiento

El Perfilógrafo láser es un equipo preparado para registrar los perfiles longitudinales y transversales de las carreteras, así como la textura de las mismas. Está montado en un vehículo Volkswagen modelo Transporter Kombi, como se muestra en la imagen 1.1.

La parte frontal consta de una barra provista de 15 cámaras láser para medida de la regularidad superficial. En dicha barra va también situada otra cámara láser para medida de la textura. Los extremos de la barra de medida son retráctiles con el fin de que el ancho no supere el del propio vehículo durante el transporte.

Dada la elevada velocidad de medida (entre 25 y 120 km/h, dependiendo de la separación entre perfiles consecutivos), el ensayo se puede realizar sin que la medición afecte al desarrollo normal del tráfico. (Morales, Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto, 2005)

Aplicaciones:

- Medida y registro del perfil longitudinal en 15 líneas de perfil.
- Medida y registro de perfiles transversales.
- Cálculo de índices de regularidad superficial (PSI; IRI; APL).
- Medida y registro de la textura de los pavimentos.



Figura 1.1 Perfilógrafo laser de alto rendimiento

Fuente: Morales, J. (2005). Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo. Perú: Piura.

1.4 Índice de regularidad superficial (IRI)

Evalúa el estado superficial del pavimento y las condiciones actuales, el **IRI** se relaciona al confort que sentirá el usuario al momento de transitar por esta carretera.

“El IRI es el número de irregularidades (desplazamientos verticales) obtenido, por medio de una simulación matemática, con un "cuarto de coche" que circula a 80 km/h, dividido por la longitud del intervalo (m/km). En la actualidad hay diversos instrumentos que permiten obtener el IRI de una manera rápida y precisa, como el Perfilómetro pivotante, el SCRIM, etc.” (Morales., 2005, pág. 38)

1.4.1 Perfilómetro pivotante (Dipstick)

Equipo electrónico de alta precisión, para la evaluación de la regularidad superficial de los pavimentos. El perfilómetro pivotante es un equipo electrónico de alta precisión, para la evaluación de la regularidad en las superficies de rodadura de las carreteras. También llamado Dipstick (Digital Incremental Profiler).

Este aparato mide y graba, automáticamente, en la memoria de un microordenador incorporado, la diferencia de cotas entre puntos separados secuencialmente 250 mm, pivotando alternativamente alrededor de sus dos patas de apoyo.

Los datos registrados se utilizan mediante un programa especial preparado al efecto, para la obtención del Índice de Regularidad Internacional (IRI). El empleo del equipo es manual y operable solo por una persona.

Características técnicas del Dipstick:

Sistema de medida en caja estanca con dos patas de apoyo con una distancia de 0,25 m entre ellas:

- Calculadora programable para toma de datos y almacenamiento de los mismos.
- Baterías de alimentación.
- Bastón de manejo.
- Rendimiento: 200 m/día.

Aplicaciones del Dipstick:

Medida y registro de la regularidad superficial de un pavimento.

Obtención del perfil del mismo.

(Construmática Servicios de Información Profesional, 2009)



Figura 1.2 Perfilómetro pivotante

* Fuente: página web (Construmática Servicios de Información Profesional, 2009)

http://www.construmatica.com/construpedia/Perfil%C3%B3metro_Pivotante

El uso del **IRI** no solo se limita a la evaluación de pavimentos desgastados o antiguos sino también en ciertos países como en España se utiliza para la recepción de nuevas carreteras, este índice cumple con valores determinados que no pueden excederse en la recepción de carreteras. (Morales., 2005)

A continuación, se presenta en la Tabla 1.3 algunas escalas de clasificación según cada país estos índices establecerán los límites del IRI.

Tabla 1.3 Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente

País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo	Recepción
EE.UU.	<2.4	2.4-4.7	> 4.7		
España	0-2.5	2.5-4.0	>4	2.5	1.85
Chile	0-3	3.0-6.0	>4	2.5	2.5
Honduras	<3.5	3.5-6.0	>6		
Uruguay	<3.9	4.0-6.0	>4.6		

Fuente: Morales, J. (2005).

Los valores de IRI presentados en la tabla 1.3 son casi parecidos, siendo Honduras el país que da mayor rango para el IRI y España el país con menores rangos. Cada país de acuerdo a su experiencia establece estos límites. En el caso de nuestro país aún no existe una normalización al respecto y generalmente se basan en los de otros países. Esto es muy subjetivo ya que los índices de otros países no reflejan las características de los pavimentos del país. (Morales., 2005)

Según Morales los índices PSI y el IRI están interrelacionados con el estado de la superficie del pavimento y con la perspectiva de confort que el usuario tendrá del mismo. Esto ha llevado a los investigadores a establecer relaciones entre ambos indicadores. Esto

es muy importante ya que permitirá realizar las pruebas solamente para uno de ellos, obteniéndose el otro de una de las siguientes relaciones:

Según D. Dujisin y A. Arroyo (1995)

$$PSI = 7.10 - 2.19 IRI_{0.5} \text{ (Rígidos)}$$

Tabla 1.4 Valores límites de IRI y PSI en los que se requiere rehabilitación

Volumen de tráfico en TMDA (Tráfico Medio Diario Anual)	PSI Crítico	IRI Crítico (m/km)
Alto (> 10000 TMDA)	3.0-3.5	1.97-1.38
Medio (3000 – 10000 ADT)	2.5-3.0	2.68-1.97
Bajo (< 3000 ADT)	2.0-2.5	3.55-2.68

Fuente: (Morales, Técnicas de Rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

1.5 Índice de estado (IE)

Favorece el uso de la información en un nivel general, agrupando en una sola fórmula las fallas más significativas que afectan un pavimento.

La fórmula general es:

$$IE = 10 \times e^{-\sum a_i \times D_i}$$

Donde a_i es el coeficiente de peso, que depende del tipo de la capa de rodamiento del pavimento evaluado, según sea flexible con capa de rodamiento de concreto asfáltico, flexible con tratamiento bituminoso superficial, o rígido adoptan valores entre 0.04 y 0.08. D_i es el coeficiente que valoriza el grado de falla, adopta valores correspondientes entre 0 y 10, correspondiendo los mayores valores a situaciones más desfavorables.

Para el caso de los pavimentos rígidos, el índice de estado responde a la siguiente expresión:

$$IE = 10 \times e^{-(0.05 D1 + 0.09 D3)}$$

Donde:

D1: Deformación longitudinal

D3: Fisuras

El rango establecido para evaluar un pavimento a través del IE está entre 1 y 10, correspondiendo los mayores a los mejores estados de los pavimentos. En la tabla 1.5 se dan los rangos correspondientes a cada uno.

Tabla 1.5 Rangos de IE según el estado del pavimento

Rango de IE	Estado del pavimento	Recomendación
7 – 10	Bueno	Mantenimiento preventivo
5 – 7	Regular	Estudio para determinar la conveniencia de encarar oportunamente las fallas con tareas de mantenimiento
< 5	Deteriorado	Requiere atención urgente (rehabilitación)

Fuente: Morales, J. (2005).

1.5.1 D1: Deformación longitudinal

La determinación del coeficiente D1 se efectúa mediante la aplicación de un rugosímetro analizador de perfil longitudinal, equipo especialmente concebido para el registro de las deformaciones longitudinales de la calzada. (Morales., 2005, pág. 42)

En la figura 1.3 se muestra el equipo utilizado (rugosímetro), consiste básicamente en una rueda de ensayo que se encuentra montada dentro de un bastidor rectangular mediante dispositivos de suspensión y amortiguación adecuados. Al ser remolcado el conjunto a lo largo del camino, la rueda de ensayo oscila verticalmente con respecto al bastidor horizontal, en proporción a las deformaciones de la calzada, lo cual es medido y registrado en el aparato. (Morales., 2005, pág. 42)

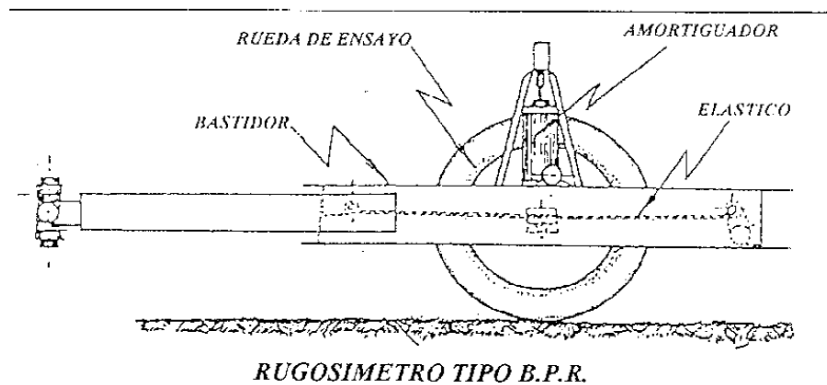


Figura 1.3 Rugosímetro utilizado para obtener coeficiente D1

Fuente: Morales., Paul. (2005).

Según Morales la información registrada por el rugosímetro se le da salida bajo la forma final de un número de uniformidad del perfil longitudinal. Este número indica el total del movimiento vertical descendente efectuado por las ruedas del ensayo, en metros por kilómetros de camino. Con la rugosidad se define el coeficiente D1 basándose en los datos de la tabla 1.6.

Tabla 1.6 Valor de D1 en función de la rugosidad para pavimentos rígidos

Rugosidad (m/km)	Coefficiente D1 Correspondiente
0-1.8	0
1.9-2.1	1
2.2-2.5	2
2.6-2.9	3
3.0-3.3	4
3.4-3.6	5
3.7-4.0	6
4.1-4.5	7
4.6-5.0	8
5.1-5.5	9
>5.5	10

Fuente: Morales, J. (2005).

1.5.2 D3: Fisuración

(Morales., 2005) Afirma lo siguiente:

Para la determinación del coeficiente D3 el procedimiento a utilizar consiste en efectuar una inspección visual, comparando la clase de fisuramiento presente en el pavimento con un catálogo de fallas para ese fin.

En el catálogo tipo se indican valores absolutos 2, 4, 6, 8, 10 del coeficiente D3 equivalente a grados de fisuración característicos, reflejados en las fotografías.

De la información obtenida referente a estos tres indicadores del estado de un pavimento se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Para la obtención de los tres indicadores se necesitan instrumentos, que van desde los más tradicionales como son el rugosímetro hasta equipos sofisticados como el perfilógrafo láser. La desventaja de estos equipos es que son escasos y costosos para el caso de nuestro país.

2. El IRI y el PSI se basan en la rugosidad superficial como elemento para juzgar la calidad de un pavimento.
3. El IRI a diferencia de los otros, tiene la gran ventaja de permitir la comparación entre los pavimentos empleados en cualquier país del mundo.
4. De los tres indicadores el Índice de Estado (IE) es el que agrupa en una sola fórmula las fallas más significativas que afectan a un pavimento. Es decir, el más completo, otra ventaja de éste, es la simplicidad de su metodología que puede ser fácilmente aplicada. Este es el indicador que podría aplicarse a la ciudad de Piura para evaluar los pavimentos.
5. Los tres indicadores pueden ser usados para los dos tipos de pavimentos más comunes (flexibles y rígidos).
6. El IRI tiene la ventaja de poder aplicarse a pavimentos nuevos y antiguos. En efecto, en países como España, este índice se utiliza como una prueba final al momento de realizar la recepción de una obra de pavimentación.

1.6 Evaluación estructural

Es una evaluación de los tramos en donde un mantenimiento tradicional ya no es posible por su deterioro avanzado y poca resistencia a cargas pesadas. Por ello debe realizarse una rehabilitación para que la carretera pueda volver a ser transitable. (Morales., 2005)

Como primer objetivo de la evaluación estructural es precisar la capacidad estructural efectiva del pavimento actual, debido a que dependerá de este que el tipo de refuerzo futuro sea diseñado de forma propicia.

Hay tres maneras de determinar la capacidad estructural del pavimento existente:

- Capacidad estructural basada en la observación visual y ensayo de materiales.
- Capacidad estructural basada en ensayos no destructivos (NDT, por sus siglas en ingles).
- Capacidad estructural basada en la vida remanente.

1.6.1 Evaluación de la capacidad estructural basada en ensayos no destructivos

La física moderna ha ayudado de gran manera a los estudios en ingeniería civil que se han realizado por más de 50 años y en la actualidad se ha desarrollado un método relativamente nuevo como lo es la evaluación de la capacidad estructural basada en ensayos no destructivos, la misma que está apoyada en los estudios de radioactividad y electrónica que ayudan a conocer de manera más profunda la resistencia y propiedades que poseen los suelos antes de ser sometidos a una construcción, rehabilitación o cualquier tipo de práctica.

Para la evaluación estructural del pavimento existente, el NDT es un método de mucho valor y rápido de ejecutar. Si está correctamente aplicado, éste proporciona mucha información y análisis en forma rápida y económica. El análisis, sin embargo, puede ser muy sensible a condiciones desconocidas. Por lo tanto, deben ser ejecutados por personal que conozca el tema y tenga experiencia en esta metodología.

La evaluación estructural con el NDT depende del tipo de pavimento. Para la evaluación de pavimentos rígidos, el NDT sirve para evaluar tres aspectos principales:

- Eficiencia de transferencia de carga en juntas y fisuras.
- Estimación del módulo efectivo de reacción de la subrasante (valor K).
- Estimar el módulo de elasticidad del concreto (la resistencia del mismo es función del módulo de elasticidad).

La eficiencia de transferencia de carga en juntas y fisuras se mide a través de ensayos de deflexión. Las pruebas de deflexión tienen como objetivo medir la respuesta de un pavimento a una carga específica. Las mediciones se hacen a lo largo de la losa de concreto, usando equipos como la viga Benkelman, el dynaflect, el road rater, o el deflectómetro de impacto (FWD – Falling Weight Deflectometer).

Para carreteras de dos carriles, las mediciones de las deflexiones se hacen sobre el borde exterior, a ambos lados de la línea central. Para carreteras divididas, las deflexiones sólo

se deben medir en el borde más exterior, tomando adicionalmente medidas de las deflexiones en las esquinas, juntas, grietas y en áreas de pavimento deterioradas, para determinar la capacidad de transferencia de carga. (Morales., 2005, págs. 44-45)

Deflectómetro de impacto (FWD, por sus siglas en ingles)

En palabras de Morales en su tesis de “técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo” nos dice que el Deflectómetro de impacto (FWD, por sus siglas en inglés) es un equipo constituido por una masa que se deja caer por gravedad, desde una altura determinada, sobre una placa, provista de un sistema de distribución, que transmite la carga de manera uniforme a la superficie sobre la que se apoya. Esto produce un impulso dinámico que simula el paso de una rueda de vehículo.

El deflectómetro de impacto de 150kN, se muestra en la figura 1.4 y presenta las siguientes características técnicas:

- La onda de carga simula la producida por un vehículo circulando a 70 km/h. El tiempo de carga puede ser de 40 ó 60 milisegundos y la carga máxima equivalente es de 150kN.
- La deflexión debida a la carga se mide a través de siete sismómetros situados uno en el centro de la placa, y los otros a distancias de 30, 45, 60, 90, 120 y 150 cm.
- Dispone de un sensor de infrarrojos para medir la temperatura de la superficie del pavimento.
- El rendimiento del equipo (suponiendo una distancia entre puntos de medida de 25 m) es de aproximadamente 2 km/h.

Aplicaciones:

- Evaluación de la capacidad estructural de pavimentos flexibles y rígidos.
- Evaluación de la transferencia de cargas en juntas de pavimentos de concreto.
- Permite obtener in situ el módulo resiliente de la subrasante. (Morales., 2005, pág. 45)



Figura 1.4 Distribución del plato de carga y de los sismómetros

Fuente: Morales, J. (2005). Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo. Perú: Piura.

1.7 Evaluación visual

Es una observación periódica que ayuda a determinar daños y deterioros que se produzcan en la calzada de forma superficial para poder tener una idea de las causas por las que se produjeron los desgastes y la extensión o profundidad del impacto. Al momento de proyectar una sobrecapa de refuerzo estos datos son de suma importancia para su realización debido a que si estos daños no son reparados en el menor tiempo posible. (Morales., 2005)

En caso de que estos deterioros no se reparen a tiempo pueden desencadenar una reflexión de fisuras; este tipo de evaluación es también importante porque permite determinar el tratamiento más adecuado que necesite la superficie del pavimento antes de colocar la sobrecapa de refuerzo.

Se debe analizar también el drenaje y correlacionar sus deficiencias con las fallas presentes. Asimismo, se recomienda el muestreo y ensayo de materiales. Esto permitirá conocer los espesores reales de cada capa y el estado de deterioro en que se encuentran.

La metodología de la evaluación visual comprende los siguientes pasos:

- Identificar las fallas y las posibles causas de las mismas.
- Se ubican las fallas en una hoja de evaluación adoptada al efecto.
- Se determina el grado de severidad y la extensión de las fallas.
- Se cuantifica en gabinete la información recogida en el campo.
- Se emite un dictamen respecto del tramo evaluado.

La evaluación visual de los pavimentos de concreto exige definir una terminología uniforme que permita identificar los diferentes tipos de daños, sus causas, su grado de severidad y la extensión de los mismos. Esta uniformidad en la terminología es fundamental si se considera que la estimación de las condiciones de un pavimento admite un componente subjetivo. En efecto, el tipo de daño puede ser descrito de diferente forma, o con distinto énfasis por ingenieros de diferente experiencia. (Morales., 2005, pág. 46)

1.8 Clasificación de fallas

(Morales., 2005, pág. 47) Nos dice lo siguiente:

Las fallas típicas en los parámetros de concreto se clasifican en:

- Fallas de regularidad y superficie: Se consideran como fallas de regularidad aquellas que corresponden a defectos de forma, originados generalmente por diversas causas durante la construcción y afectan principalmente a la textura. (Morales., 2005)
- Grietas: Son fallas que se extienden a la superficie de la losa de concreto y tienen mucha incidencia en el comportamiento del pavimento. Las grietas en general se relacionan con la integridad de la superficie de rodamiento y su evolución en el mediano plazo. (Morales., 2005).
- Deterioros en juntas y grietas: Son fallas que aparecen a nivel de juntas y grietas. En la tabla 6.7 se muestran las principales fallas típicas de acuerdo a la clasificación antes mencionada. Asimismo, se presentan las principales causas que las originan y las posibles soluciones para corregir dichas fallas. (Morales., 2005)

En las figuras 1.5, 1.6 y 1.7 se muestran las fallas más comunes de regularidad y superficie, grietas y deterioros en juntas, respectivamente. En la tabla 1.8 se muestra un formato para evaluar la condición del pavimento rígido.

1.8.1 Cuantificación de fallas

Parámetros con los que deben ser cuantificadas las fallas visibles:

- Tipo: fallas funcionales o estructurales.
- Severidad: apariencia de la falla expresada en porcentaje en unidades de longitud por una descripción comparativa, o por una combinación de ellas, puede ser alta, media o baja.
- Extensión: Se expresa en orden de magnitud o en porcentaje de las juntas, del número de paños o de la longitud de la vía afectada.

1.8.1.1 Fallas funcionales

Se localiza en la parte superficial del pavimento lo que genera malestar en el usuario al momento de usar la carretera a pesar de que estas fallas sean leves son tomadas como fallas funcionales. Pueden detectarse por simple observación visual. Entre las principales fallas funcionales tenemos: escalonamiento que es la principal causa de la rugosidad, superficie pulida, baches pequeños, fisuramiento por retracción, desintegración, etc. (Morales., 2005).

1.8.1.2 Fallas estructurales

Pueden originarse en una o varias capas del pavimento, son graves, consisten en el rompimiento del pavimento por la falla estructural de alguna o varias de sus capas o por la incapacidad del suelo que lo soporta. Estos deterioros cuando están muy avanzados, imposibilitan al pavimento para resistir las cargas que se le imponen en la superficie. Aunque estas fallas pueden detectarse por observación visual, siempre es necesario auxiliarse con ensayos destructivos y/o no destructivos para cuantificar la magnitud de los daños para poder proponer soluciones técnicas racionales y económicas.

Entre las principales fallas estructurales tenemos: grietas (longitudinal, transversal, de esquina), punzonados, levantamientos, agrietamiento por durabilidad, etc. Muchas de estas fallas no son provocadas por la acción del tránsito sino por otras causas como son: malas técnicas de construcción, agrietamiento por baja temperatura, etc. No obstante, esto, la acción del tráfico acelera el proceso de deterioro. (Morales., 2005, pág. 47)

Tabla 1.7 Fallas en Pavimentos Rígidos

Tipo de Falla	Denominación de la manifestación	Definición	Causas	Posible tratamiento correctivo
Fallas de regularidad y superficie	Asentamientos	Desviación longitudinal de la superficie del pavimento con relación a su perfil original	- Falta de soporte de la Subrasante. - Cambio volumétrico de la subrasante por modificación de su estado de humedad.	- Estabilización de losas. - Reconstrucción localizada
	Baches	Hoyos en la superficie del pavimento.	- Materiales deleznales como terrenos de arcilla. - Mortero poco homogéneo.	-Si el deterioro es generalizado, reparar colocando una carpeta asfáltica, siempre que se garantice la adherencia entre

				capas.
	Bombeo	Expulsión de agua con finos, a través de juntas, grietas y borde externo del pavimento, al pasar un vehículo pesado.	- Presencia de agua debajo de la losa. - Material de apoyo erosionable - Tráfico pesado y frecuente.	- Resellar juntas y grietas. - Instalar drenes de borde. - Estabilización de losas.
	Escalonamiento	Desplazamiento vertical diferencial de losas adyacentes, en juntas o grietas.	- Erosión de la base en las inmediaciones de la junta. - Deficiencia en el traspaso de cargas entre las losas. - Drenaje insuficiente.	- Mejorar el sistema de drenaje. - Severidad baja y media: cepillado de la superficie. - Severidad alta: estabilización de losas y mejorar transferencia de cargas.
	Fisuramiento por retracción	Fisuras delgadas en forma de mapa que afectan solo la superficie de la losa	-Contracción plástica del concreto, que aparece antes de la fragua final, por secado prematuro.	- Para cualquier nivel de deterioro: reparación de espesor parcial.

				- Colocar un parche asfáltico.
	Desintegración	Desintegración progresiva de la superficie perdiéndose primero la textura y luego el mortero, quedando el árido grueso expuesto.	- Concreto con exceso de mortero o mal dosificado. - Curado inapropiado.	-Reparación de espesor parcial. -Recubrir con una mezcla asfáltica y garantizar la adherencia entre capas.

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

Tipo de Falla	Denominación de la manifestación	Definición	Causas	Posible tratamiento correctivo
Fallas de regularidad y superficie	Textura inadecuada	La superficie del pavimento parece pulida, sin la textura superficial original, haciéndolo resbaladizo.	- Mala calidad del agregado. - Acabado inadecuado. - Contaminación de la superficie.	- Cepillado de la superficie. - Colocar un sello de fricción, garantizando la adherencia con el pavimento.

				-Construir un micro pavimento
	Agrietamiento por durabilidad.	Grietas finas muy cercanas y con forma de un cuarto de luna y se inicia en las esquinas de las losas.	- Reactividad álcali- sílice de los agregados que conforman el concreto, cuando estos se congelan y expanden.	- Severidad baja y media: reparación de espesor parcial. - Severidad alta: reparación en todo el espesor.
	Descascaramientos, despostillamientos, saltaduras en juntas y grietas.	Son roturas o desprendimientos del concreto a nivel de juntas o grietas.	- Infiltración de materiales incompresibles dentro de la junta o grieta. - Debilitamiento de las juntas y bordes debido al tránsito intenso y pesado.	- Severidad baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad media y alta: reparación de espesor parcial
	Punzonados	Es cuando una sección de losa situada entre dos grietas de contracción se rompe y	- Altas deflexiones en el borde del pavimento. - Bombeo de la subbase y	- Estabilización de losas. - Reparación en todo el espesor

		desciende bajo la acción de cargas repetidas.	pérdida de soporte.	
	Parches deteriorados	Área de una losa que ha sido removida o reemplazada por un material (concreto o asfalto), y que se encuentra deteriorada.	- En parches asfálticos: capacidad insuficiente. - En parches de concreto: insuficiente traspaso de cargas en las juntas	- En parches asfálticos: remover y reemplazar este material. - En parches de concreto: rehacer el parche colocando pasadores.
	Levantamientos localizados	Levantamiento de parte de la losa, localizado a ambos lados de una junta transversal o grieta. Habitualmente el concreto afectado se quiebra en varios trozos.	- Losas de longitud excesiva. - Mala colocación de pasadores - Presencia de suelos expansivos a poca profundidad.	- Reparar en todo el espesor. - Reconstruir la junta de contracción cuando corresponda

Continuación de la tabla 7

Tipo de Falla	Denominación de la manifestación	Definición	Causas	Posible tratamiento correctivo
Grietas	Longitudinales	Son líneas de rotura que se presentan en el sentido del eje del pavimento, de modo que separa la losa en dos partes.	- Asentamiento de la cimentación. - Fatiga de la losa. - Losa de ancho excesivo.	- Severidad media y baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad alta: reparación en todo el espesor. - Colocación de barras en cruz
	Transversales	Son líneas de rotura que se presentan en sentido normal al eje del pavimento, de modo que separa la losa en dos partes	- Asentamiento de la cimentación. - Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones. - Cimentación no nivelada.	- Severidad media y baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad alta: reparación en todo el espesor. - Colocación de barras de traspaso de carga o pasadores
	Esquina	Grieta que origina un trozo de losa de forma triangular, al	- Sobrecarga en las esquinas. - Deficiente transmisión de	- Severidad media y baja: sellado de juntas y grietas.

		interceptar la juntas transversal y longitudinal.	cargas entre las juntas. - Falta de apoyo de la losa, originado por la erosión de la base o alabeo térmico.	- Severidad alta: reparación en todo el espesor.
	Diagonales	Son aquellas que siguen un curso casi diagonal a la línea central de la vía.	- Puede deberse a falta de soporte de la subrasante o calidades diferentes de subrasantes.	- Severidad media y baja: sellado de juntas y grietas. - Severidad alta: reparación en todo el espesor. - Colocación de barras de traspaso de carga o pasadores
	Fracturación Múltiple	Son grietas que se encuentran interconectadas entre sí y forman grandes o pequeños polígonos que dan origen a	Fatiga de la losa debido al tránsito intenso y pesado.	- Reparación en todo el espesor, reemplazando longitudinal y transversalmente toda la zona afectada.

		numerosos trozos separados.		
--	--	-----------------------------------	--	--

Fuente: Morales, J. (2005).



Escalonamiento



Punzonados



Descascaramientos

Figura 1.5 Fallas de Regularidad y Superficie

La figura 1.5 son tres tipos de fallas de regularidad y superficie como son escalonamiento, punzonados y descascaramientos.

Fuente: Morales, J. (2005).



Longitudinal



Transversal



Esquina

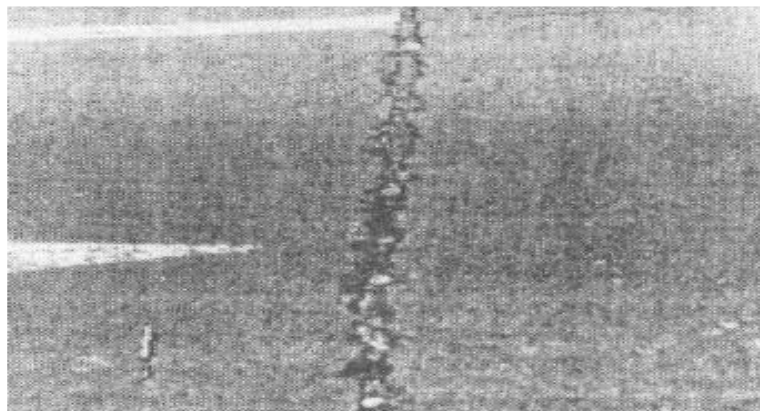
Figura 1.6 Grietas

Estas imágenes presentan grietas longitudinales, transversales y de esquina.

Tomado de Morales, J. (2005). Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo. Perú: Piura.



Extrusión del material de sello



Sello contaminado con material extraño



Figura 1.7 Deficiencias o fallas en juntas

La Figura 1.7 presenta deficiencia o fallas en juntas y éstas son de extrusión del material de sello, sello contaminado con material extraño.

Fuente: Morales, J. (2005).

Tabla 1.8 Formato para evaluar la condición del pavimento rígido según la provincia de Colorado (EEUU).

FORMATO PARA EVALUAR PAVIMENTOS RÍGIDOS	
PROYECTO No _____	LOCALIZACIÓN _____ DIRECCIÓN _____
CÓDIGO DEL PROYECTO _____	
DATOS DEL PAVIMENTO EXISTENTE	
SUBRASANTE (AASHTO)	CONDICIÓN DE BERMA (BUENA, REGULAR, POBRE)
BASE (TIPO/ESPESOR)	
ESPESOR DEL PAVIMENTO	CONDICIÓN DEL SELLO DE JUNTA (BUENA, REGULAR, POBRE)
RESISTENCIA DEL SUELO (R/MR)	
SUELO EXPANSIVO (SI/NO)	SEPARACIÓN CARRIL – BERMA (BUENA, REGULAR, POBRE)
CONDICIÓN DE DRENAJE (BUENA, REGULAR, POBRE)	

EVALUACIÓN VISUAL DE FALLAS		
TIPO	SEVERIDAD	EXTENSIÓN
LEVANTAMIENTOS		
ROTURA DE ESQUINA		
ASENTAMIENTOS		
ESCALONAMIENTOS		
PUNZONAMIENTOS		
AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL		
BOMBEO		
AGRIETAMIENTO POR DURABILIDAD		
DESCASCARAMIENTOS		
AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL Y DIAGONAL		

Fuente: Morales, J. (2005)..

CAPÍTULO 2

ENSAYOS GEOTÉCNICOS

2.1 Ensayos geotécnicos

Para realizar una evaluación del pavimento existente es importante analizar el tipo de suelo sobre el cual se va a trabajar en ensayos de laboratorio para determinar el material utilizado en las capas del pavimento; estos parámetros nos ayudarán de gran manera para poder determinar el estado del pavimento.

Las propiedades de los suelos serán establecidas según los datos arrojados en los ensayos de campo y laboratorio que determinen la distribución y propiedades físicas. Para lo cual la investigación de los suelos debe comprender de:

- Determinación del perfil del suelo: La cual consiste en ejecutar perforaciones en el terreno, con el objeto de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelo, la forma como estos están dispuestos en capas y la determinación de aguas freáticas. Lógicamente, la ubicación, profundidad y número de perforaciones deben ser tales que permitan determinar toda variación importante de la calidad de los suelos. (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012)
- Toma de muestras de las diferentes capas de suelos: En cada perforación deberá tomarse muestras representativas de las diferentes capas encontradas. Las muestras pueden ser de dos tipos: Alteradas e inalteradas. (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012)

Se realizará también un estudio en vías con sondeos espaciados entre 350 y 600 m, teniendo en cuenta las semejanzas del material a partir de uno de los cortes presentes. Las

muestras obtenidas ayudan a determinar las propiedades y clasificación del material extraído basándose en estos ensayos:

- Humedad natural
- Granulometría
- Límites de Atterberg.
- Humedad Natural

2.2 Clasificación de suelos

La clasificación de los suelos se determina por sus propiedades dividiéndose así en grupos y subgrupos basados en su comportamiento ingenieril. Al existir una amplia gama de variaciones por cada tipo de suelo y por propiedad que posea no se puede expresar de forma detallada características únicas de los suelos sino aproximaciones de estas características tratando de que sean lo más concisas posibles. (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012)

En la actualidad se utilizan dos sistemas de clasificación uno por distribución de tamaño de grano y plasticidad de los suelos usados generalmente por ingenieros de suelos. Estos son el sistema de clasificación AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Los ingenieros geotécnicos usualmente prefieren el sistema unificado. (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012)

2.2.1 Sistema unificado de clasificación de suelos

Casagrande en 1942 propuso un sistema para usar en la construcción de aeropuertos emprendida por el cuerpo de ingenieros del ejército durante la segunda guerra mundial. Este sistema será presentado en las siguientes tablas.

Clasificación los suelos:

1. Suelos de grano grueso, tipo grava o arenosos con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S.G significa grava o suelo gravoso y S significa arena o suelo arenoso. (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012)
2. Suelos de grano fino, con el 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupos comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u O para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos. (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012)

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad (limite liquido menor que 50)
- H: alta plasticidad (limite liquido mayor que 50)

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% pasa la malla No. 200; $C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor que o igual a 6; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea <i>A</i> (figura 2.12); o índice de plasticidad menor que 4
SC	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg se grafican arriba de la línea <i>A</i> (figura 2.12); índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más de 12% pasa la malla No. 200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12
SW-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	Porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12; cumple los criterios para SP y SC

Figura 2.1 Sistema unificado de Clasificación; símbolos de grupo para suelos arenosos

Fuente: (Monsalve, L; Giraldo, L; Maya, Y, 2012)

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la figura 2.12)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI < 4$; o se grafica debajo de la línea A (véase la zona ML en la figura 2.12)
OL	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura 2.12)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica sobre o arriba de la línea A (véase la zona CH en la figura 2.12)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI se grafica debajo de la línea A (véase la zona MH en la figura 2.12)
OH	Orgánico; $LL - \text{seco en horno} / (LL - \text{sin secar}) < 0.75$; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura 2.12)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

Figura 2.2 Sistema unificado de Clasificación, símbolos de grupo para suelos limosos y arcillosos

Fuente: (Monsalve, L; Giraldo, L; Maya, Y, 2012)

Según (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012) debe conocerse todo para realizar la clasificación apropiada con este sistema, debe conocerse algo o todo de la información siguiente:

1. Porcentaje de grava, es decir, la fracción que pasa la malla de 76.2 mm y es retenido en la malla No. 4 (abertura de 4.75mm)
2. Porcentaje de arena, es decir, la fracción que pasa la malla No. 4 (abertura de 4.75mm) y es retenido en la malla, No. 200 (abertura de 0.075mm)
3. Porcentaje de limo y arcilla, es decir, la fracción de finos que pasan la malla No. 200 (abertura de 0.075 mm)
4. Coeficiente de uniformidad (Cu) y coeficiente de curvatura (Cz)

5. Límite líquido e índice de plasticidad de la porción de suelo que pasa la malla No. 40.

Los símbolos de grupo para suelos tipo grava de grano grueso son GW, GP, GM, GC, GC-GM, GW-GM, GW-GC, GP-GM, y GP-GC. Similarmente, los símbolos de grupos para suelos de grano fino son CL, ML, OL, CH, MH, OH, CL-ML y Pt.

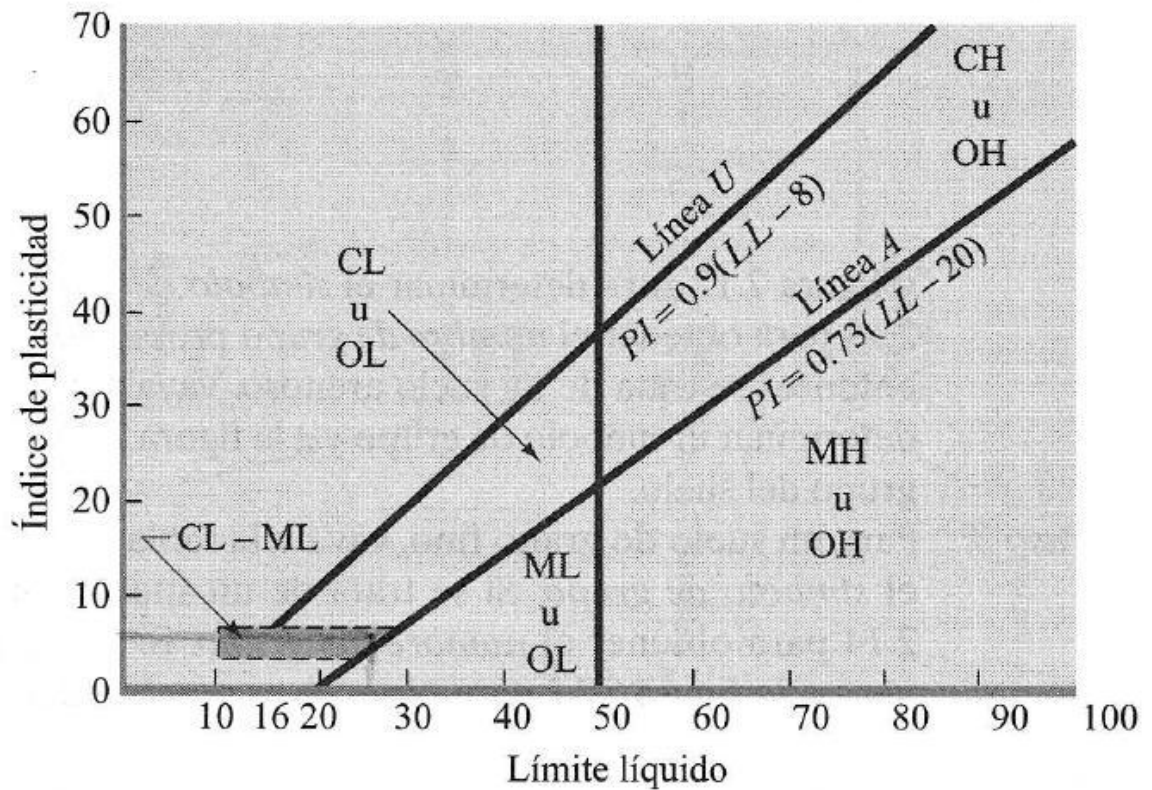


Figura 2.3 Carta de plasticidad

Fuente: (Monsalve, L; Giraldo, L; Maya, Y, 2012)

2.3 Consistencia del suelo

Según Albert Mauritz Atterberg quien desarrollo un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables a muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta más como un sólido frágil. Cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto, dependiendo del contenido

de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica arbitrariamente en cuatro estados básicos, denominados sólidos, semisólido, plásticos y líquido.

- Límite líquido (LL): Se define como el contenido de agua de un suelo fino, para el cual su resistencia al corte es aproximadamente de 25 g/cm²
- Límite plástico (PL): Se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. Es el límite inferior de la etapa plástica del suelo.

$$PI = LL - PL$$

- Límite de contracción (SL): La masa de suelo se contrae conforme se pierde gradualmente el agua del suelo. Con una pérdida continua de agua, se alcanza una etapa de equilibrio en la que más pérdida de agua conducirá a que no haya cambio de volumen. (MONSALVE, GIRALDO, & MAYA, 2012)

$$SL = w_i (\%) - \Delta w (\%)$$

2.4 CBR (ensayo California Bearing Ratio).

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California), mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub-base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad. (Construmática Servicios de Información Profesional, 2009)

Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el Ensayo Proctor y los análisis granulométricos del terreno.

Diferenciamos distintos tipos de CBR en función de la calidad de suelos, a saber:

- CBR suelos inalterados.
- CBR suelos remoldeados.
- CBR suelos gravosos y arenosos.
- CBR suelos cohesivos poco o nada plásticos.

- CBR suelos cohesivos plásticos.

Este procedimiento puede efectuarse en terreno compactado.

Este procedimiento mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y luego de haber medido su hinchamiento.

La muestra se sumerge para poder prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción. Por ello, después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, se lo penetra con un pistón el cual está conectado a un pequeño "plotter" que genera una gráfica donde se representa la carga respecto la profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro de la muestra. (Construmática Servicios de Información Profesional, S.L., 2009)

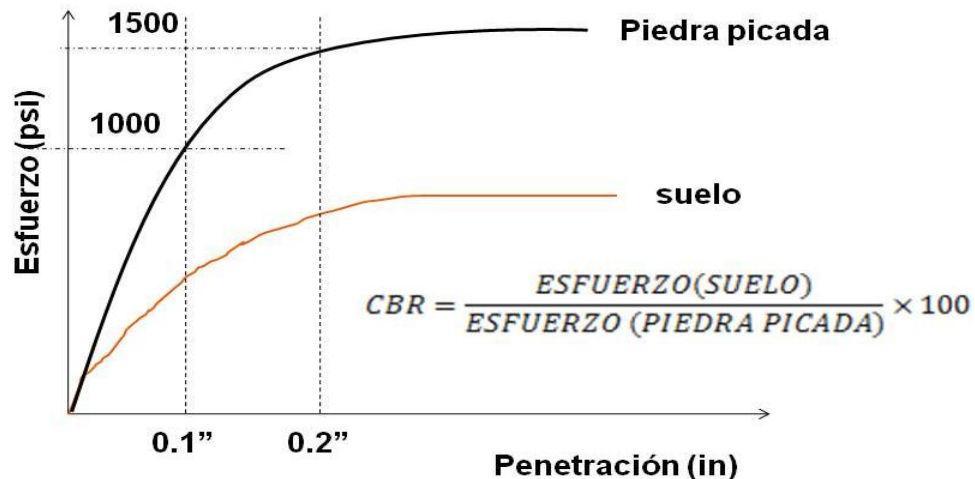


Figura 2.4 Esfuerzo vs Penetración

Fuente: (Monsalve, L; Giraldo, L; Maya, Y, 2012)

La muestra patrón fue elegida y ensayada por O.J. Poter, en California, en 1929, presentando los siguientes esfuerzos para diferentes profundidades de penetración del pistón:

Tabla 2.1 Valores de esfuerzo en la muestra patrón

Penetración del pistón.	(mm)	2.5	5	7.5	10	12.5
	(pulg)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Esfuerzo	(MPa)	6.89	10.34	13.1	15.86	17.93
	(Lb./Pg.^2)	1000	1500	1900	2300	2600

Fuente: (Monsalve, L; Giraldo, L; Maya, Y, 2012)

Para cada muestra preparada se debe dibujar una gráfica relacionando esfuerzo vs penetración del pistón y se calcula el valor de CBR para penetración de 0.1'' (2.5mm) y 0.2'' (5mm) con las siguientes expresiones

$$CBR_{0.1''} = \frac{\sigma_{0.1''}}{1000psi} * 100$$

$$CBR_{0.2''} = \frac{\sigma_{0.2''}}{1500psi} * 100$$

Formula obtenida de (Monsalve, L; Giraldo, L; Maya, Y. Diseño de Pavimento flexible y rígido.2012)

Los valores de índice de CBR oscilan entre 0 y 100. Cuando mayor es su valor, mejor es la capacidad portante del suelo. Valores por debajo de 6, deben descartarse

Tabla 2.2 Clasificación y usos del suelo de acuerdo a los valores de CBR

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2-5	Muy mala	Sub-rasante
5-8	Mala	Sub-rasante
8-20	Regular-buena	Sub-rasante
20-30	Excelente	Sub-rasante
30-60	Buena	Sub-base
60-80	Buena	Base
80-100	Excelente	Base

Fuente: (Monsalve, L; Giraldo, L; Maya, Y, 2012)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA SOBRECAPA DE REFUERZO

3.1 Diseño de la sobrecapa

Sobrecapa de refuerzo: es un tipo de rehabilitación estructural que permite que el pavimento desgastado recupere su capacidad estructural o mejore la capacidad inicial de diseño.

El número de aplicaciones de carga sobre el pavimento según como aumenta disminuye la serviciabilidad inicial (P1) alcanzando así un índice de serviciabilidad mínimo (P2) en el cual es necesario colocar un refuerzo, de tal manera que el número de cargas actuales (NP) no superen al número de cargas que producen la rotura del pavimento (N1.5). De la misma manera, se produce una reducción de la capacidad estructural del mismo, ya que

al momento de colocar el refuerzo ésta ha pasado de SC_o (capacidad estructural original) a SC_{ef} (capacidad estructural efectiva).

Imaginemos que para el tránsito futuro esperado (N_f), se requiera una capacidad estructural SC_f , la diferencia entre SC_f y SC_{ef} debe ser dada por el refuerzo (SC_o), como se puede apreciar en la figura 3.1. Este criterio de diseñar el refuerzo se llama aproximación por deficiencia estructural. (Morales., 2005)

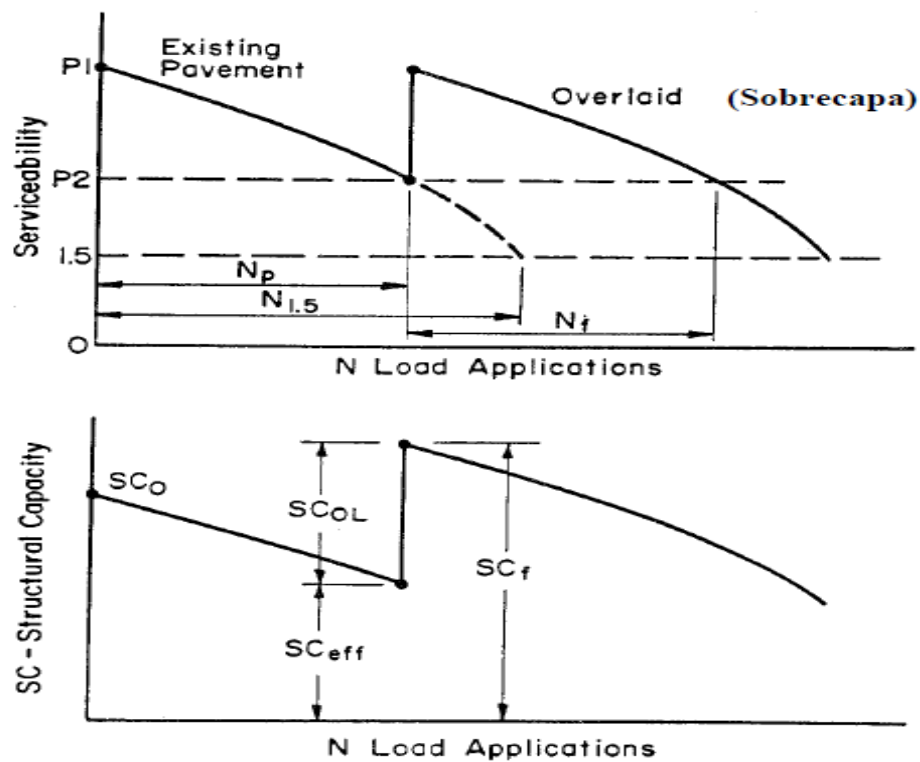


Figura 3.1 Variación de la capacidad estructural de un pavimento en el tiempo

Fuente: (Morales, Técnicas de Rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

3.2 Factores básicos para el estudio de refuerzos

El refuerzo deberá aportar al pavimento resistencia y durabilidad, variables indispensables en un pavimento para un funcionamiento óptimo teniendo en cuenta que el refuerzo debe tener un mantenimiento adecuado para su nivel de tráfico y tipo de carretera.

Factores de refuerzo:

a) Factores internos

- El estado superficial del pavimento que se pretende reforzar.
- La estructura del pavimento existente, naturaleza y estado de cada una de sus capas componentes.
- La capacidad resistente del pavimento existente, esta puede ser determinada mediante la medida de deflexiones.
- El tipo de material a emplear en el refuerzo.

b) Factores externos

- Disponibilidad de fondos adecuados para realizar el refuerzo.
- Disponibilidad de materiales y equipos.
- Manejo del tránsito de la vía durante la ejecución de las obras de refuerzo y el costo de la demora del usuario.
- Problemas constructivos como: ruido, contaminación, instalaciones subterráneas, gálibo bajo puentes, espesor de bermas.
- El estado del sistema de drenaje de la carretera antes del refuerzo y posibilidades de mejora del mismo.
- Cargas de tránsito futuras.
- Clima local. (Morales., 2005, pág. 79)

3.3 Estudios preliminares

Para la realización la capa de refuerzo es suma importancia la segmentación de la vía en tramos homogéneos debido a que el daño por cada tramo o segmento será diferente y tendrá variaciones propias, ya que el problema podría ser superficial o estructural y esto solo puede ser determinado con un estudio preliminar en caso hacer un mal cálculo o no hacer este estudio el resultado sería desbalance en costos. Es importante también tener en cuenta el espesor del refuerzo para cada sección.

Variables para la segmentación de la vía:

- Variaciones sensibles en las solicitaciones de tránsito pesado (causadas, por ejemplo, por la existencia de intersecciones).
- Variaciones en las condiciones climáticas, que pueden influir sensiblemente en la temperatura del pavimento y en el grado de humedad de la subrasante.
- Cambios importantes en el tipo de suelo de la subrasante.
- Cambios importantes en la sección transversal.
- Cambios importantes en el tipo o espesor del pavimento existente o alguna de sus capas.
- Variación en el estado del pavimento.
- Variación de las condiciones de drenaje.

Esta segmentación previa es de gran importancia sobretodo en proyectos de gran longitud y en aquellos en que, por falta de tiempo o de medios, no sea posible efectuar la medida de la deflexión en toda la longitud a reforzar, puesto que permite seleccionar secciones representativas de cada uno de los tramos cuyo comportamiento sea previsiblemente distinto. (Morales., 2005, págs. 79-80)

3.4 Método AASHTO 93

En (Farinango, 2014, pág. 43) nos dice que:

El diseño se basa en encontrar un “Numero Estructural (SN)” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga esperado. La ecuación general y la gráfica para determinar el SN requerido incluyen los siguientes parámetros:

- El número de ejes equivalentes acumulados para el período de diseño, (W18).
- El parámetro de confiabilidad, (R).
- El error estándar combinado, (So).
- El módulo de resiliencia efectivo, (Mr) del material usado para la subrasante.
- La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados, (Δ PSI).

La fórmula de diseño, según el método AASHTO 1993 es:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log (SN+1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{1094} + 2.32 \times \log M_R - 8.07$$

$$0.40 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}$$

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

Dónde:

W18 = Número de ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado.

ZR = Desviación estándar normal para la confiabilidad R.

SO = Error estándar combinado.

Δ PSI = Diferencia de serviciabilidad.

Mr = Módulo de resiliencia efectivo, en psi.

SN = Numero estructural.

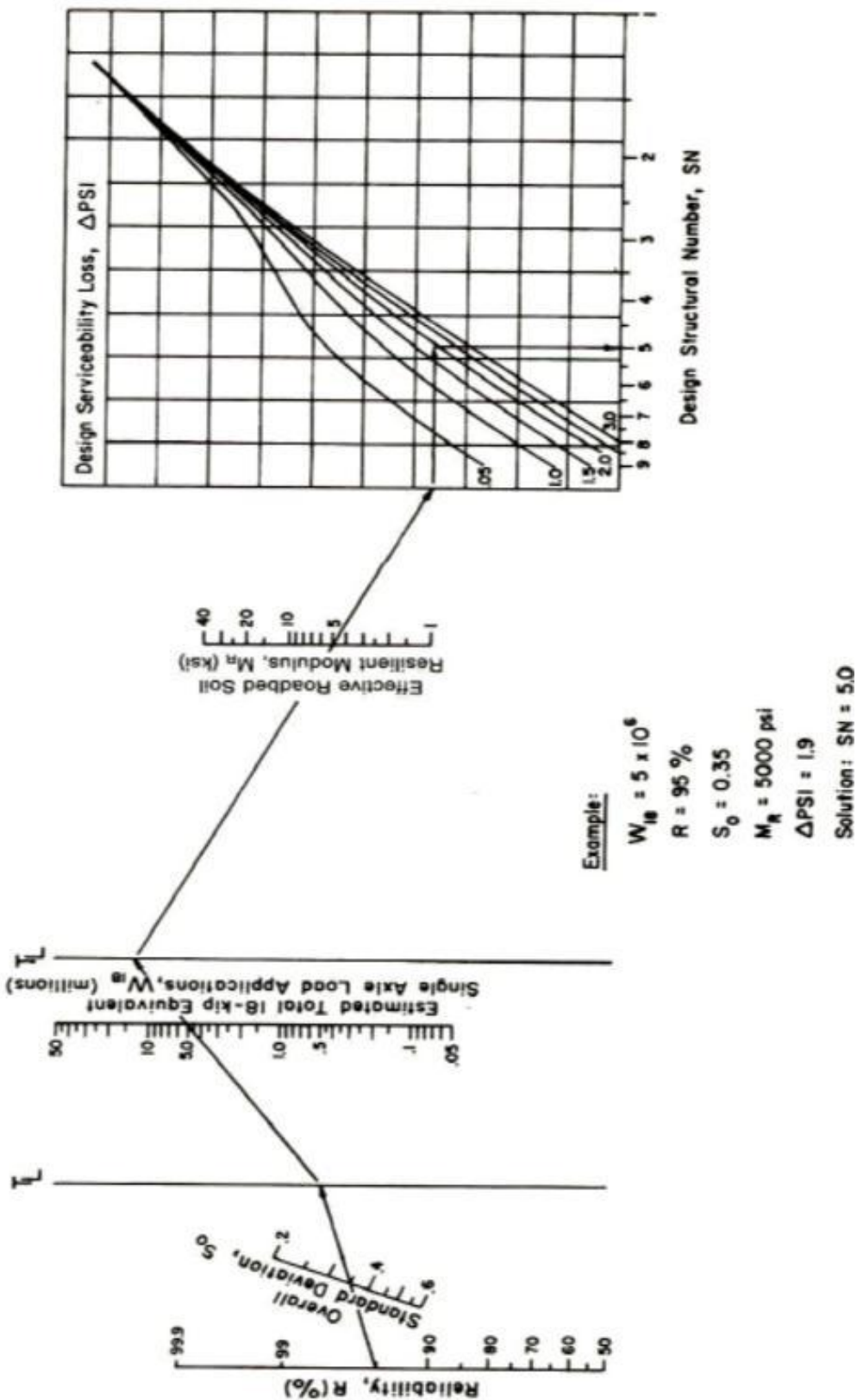


Figura 3.2 Diseño para estructuras de pavimento flexible

Fuente: GUÍA PARA PAVIMENTOS, MÉTODO AASHTO 1993

3.5 Índice de servicialidad

Según (Farinango, 2014) el pavimento se califica en:

- 0 para pavimentos en pésimas condiciones y
- 5.0 para pavimentos en perfecto estado.

Dónde:

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

P_o = Índice de servicio inicial.

P_t = Índice de servicio final.

La serviciabilidad inicial (P_o) es función directa del diseño del pavimento y de la calidad que se construye la carretera, la serviciabilidad final o terminal (P_t) va en función de la categoría de la carretera y se basa en el índice más bajo que pueda ser tolerado antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación o una reconstrucción, los valores que recomienda la Guía AASHTO son:

Para el diseño de pavimento flexible se recomienda los siguientes valores. (Farinango, 2014, pág. 44)

- Índice de servicio inicial = 4.2
- Índice de servicio final: Para Autopistas y vías principales 2.5
Para Carreteras 2.0

3.7 Estudio de Tránsito

El estudio del tránsito es un factor primordial debido a que refleja el tipo de tráfico que soportara la vía a reforzar durante su nuevo periodo de diseño. Para este estudio se deben considerar estas dos variables:

- Tráfico medio diario en ambas direcciones, de todos los vehículos (ADT- average daily traffic)
- Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones (ADTT- average daily truck traffic)

Los censos del tránsito nos ayudan a obtener estos datos, los cuales nos serán útiles al momento de construir la nueva vía o a rehabilitarla; se usarán también los datos de los lugares próximos al sitio de la construcción existen también mapas de volúmenes de tránsito que son menos exactos que los censos que se realizan en lugares determinados. El tránsito tiene como variables el día de la semana o la forma estacional lo cual se debe tener en cuenta. De igual manera, es necesario conocer las tasas de crecimiento del tránsito, así como también la distribución por dirección y si se trata de un camino multitrocha, la distribución por trocha. También es necesario conocer el porcentaje de camiones presentes en el volumen de tránsito a estudiar, como así también la clasificación de estos camiones.

Procedimiento estándar para el cálculo de los ESALs de diseño:

1. Se determina el volumen promedio diario para cada tipo de vehículo en el carril de diseño.
2. Se calcula el factor de crecimiento (FCR), este factor depende de la tasa de crecimiento y del período de diseño y se selecciona de la tabla 3.1 (Farinango, 2014).

Tabla 3.1 Factor de crecimiento (FCR)

Período de diseño (Años)	Tasa de Crecimiento Anual, porcentaje (r)							
	Sin Crecimiento	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.34	172.32	271.02

Fuente: Farinango, D. (2014).

$$FCR = \frac{(1+r)^R - 1}{r}, \text{ donde } r = \text{tasa}/100$$

Si el crecimiento anual es cero, Factor de Crecimiento = Período de diseño

3. Se calcula el tránsito de diseño multiplicando el volumen promedio diario de cada vehículo por el factor de crecimiento de éste y por 365 días.
4. Se calcula el factor camión (Número de aplicaciones de cargas por eje simple equivalente a 80 KN, en una pasada de un vehículo). Esto se realiza para cada vehículo. Para entender mejor el procedimiento para determinar el factor camión, escogemos un vehículo, en este caso un T2S2, del reglamento de peso y dimensión vehicular para la circulación en la red vial nacional vigente desde el año 1998. Las características de este camión se muestran en la tabla.

Tabla 3.2 Cálculo del Factor Camión (FC)

Camión tipo T2S2			
Ejes	Delantero	1° eje	2° eje
Tipos de eje	Simple	Simple	Doble
Factor equivalente de carga por eje (Fec)	0.53	3.15	2.02
Σ Fec	5.70		

Fuente: Farinango, D. (2014).

5. Finalmente, se multiplica el tránsito de diseño por el factor camión para cada tipo de vehículo, para obtener el número de ESALs de diseño.

Tabla 3.3 Factores de equivalencia de carga para pavimentos rígidos.

Carga por eje		D = 10 pulg		P _t = 2.5
kN	lb	Eje Simple	Eje Doble	Eje Triple
8.90	2,000	0.0002	0.0001	0.0001
17.80	4,000	0.002	0.0005	0.0003
26.70	6,000	0.010	0.002	0.001
35.60	8,000	0.032	0.005	0.002
44.50	10,000	0.081	0.012	0.005
53.40	12,000	0.175	0.025	0.009
62.30	14,000	0.338	0.047	0.016
71.20	16,000	0.601	0.081	0.027
80.00	18,000	1.00	0.132	0.044
89.00	20,000	1.58	0.204	0.066
97.90	22,000	2.38	0.305	0.098
106.80	24,000	3.45	0.441	0.139
115.60	26,000	4.85	0.620	0.194
124.50	28,000	6.61	0.850	0.263
133.40	30,000	8.79	1.14	0.351
142.30	32,000	11.4	1.50	0.460
151.20	34,000	14.6	1.95	0.594
160.10	36,000	18.3	2.48	0.756
169.00	38,000	22.7	3.12	0.950
178.00	40,000	27.9	3.87	1.18
187.00	42,000	34.0	4.74	1.45
195.70	44,000	41.0	5.75	1.77
204.50	46,000	49.2	6.90	2.13
213.50	48,000	58.7	8.21	2.55
222.40	50,000	69.6	9.68	3.02
231.30	52,000		11.3	3.56
240.20	54,000		13.2	4.16
249.00	56,000		15.2	4.84
258.00	58,000		17.5	5.59
267.00	60,000		20.0	6.42
275.80	62,000		22.8	7.33
284.50	64,000		25.8	8.33
293.50	66,000		29.2	9.42
302.50	68,000		32.9	10.6
311.50	70,000		37.0	11.9
320.00	72,000		41.5	13.3
329.00	74,000		46.4	14.8
338.00	76,000		51.8	16.5
347.00	78,000		57.7	18.2
356.00	80,000		64.2	20.2
364.70	82,000		71.2	22.2
373.60	84,000		78.9	24.5
382.50	86,000		87.0	26.9
391.40	88,000		96.0	29.4
400.3	90,000		106.0	32.2

Fuente: Farinango, D. (2014).

3.8 Confiabilidad

Es la probabilidad de que la estructura tenga un comportamiento real igual o mejor que el previsto durante la vida de diseño adoptada. La Guía AASHTO, sugiere los niveles de confiabilidad R, de acuerdo al tipo de carreteras tabla 3.4. (Farinango, 2014)

Tabla 3.4 Niveles de confiabilidad para diferentes carreteras

TIPO DE CARRETERA	NIVELES DE CONFIABILIDAD (%)	
	URBANO	RURAL
Autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Tabla tomada de Farinango, D. (2014).

3.8.1 Desviación normal estándar

El tránsito que puede soportar un pavimento a lo largo de un determinado período de diseño sigue una ley de distribución normal con una desviación típica (S_o), mediante esta distribución se puede obtener el valor de (Z_r) asociado a un nivel de confiabilidad (R). Como se muestra a continuación en la tabla 3.5, mediante esta se puede obtener el valor de Z_R asociada a un nivel de confiabilidad R. (Farinango, 2014, pág. 81)

Tabla 3.5 Valores de ZR en función de la confiabilidad

NIVEL DE CONFIANZA	Z _R	NIVEL DE CONFIANZA	Z _R
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

Fuente: Farinango, D. (2014).

3.8.2 Error estándar combinado

En (Farinango, 2014) nos dice que los valores comprendidos de (So) está dentro de los siguientes intervalos:

- Para pavimentos flexibles 0,40 – 0,50
- En construcción nueva 0,35 – 0,40
- En sobre- capas 0,50

3.9 Análisis de la subrasante

En palabras de (Morales., 2005, págs. 85-87)nos dice lo siguiente de los análisis de la subrasante:

Para diseñar el espesor de una sobrecapa de refuerzo utilizando el método AASHTO 93, es necesario conocer las propiedades de la subrasante. Aun cuando se disponga de los registros de los diseños originales, es recomendable efectuar algunas pruebas de carácter limitado, para asegurar al Ingeniero de diseño que no ha habido ningún cambio en las

condiciones del suelo durante la vida de la vialidad existente. Cuando no se disponga de los datos de diseño originales, deberá establecerse la resistencia del suelo de la subrasante.

Por este motivo, uno de los primeros pasos en el procedimiento de dicho método es recolectar especímenes de suelo para verificar o determinar los valores de resistencia sobre el cual basar el diseño del espesor total requerido. Se deberá seleccionar especímenes aleatoriamente por cada tipo de suelo encontrado, los cuales pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Suelos pobres, los que se vuelven blandos y plásticos cuando se humedecen. Incluye los suelos que tienen cantidades apreciables de arcilla y limo fino. Propiedades típicas: Módulo resiliente = 30 MPa (4500 psi), CBR = 3%.
- b) Suelos medios, son los que retienen un moderado grado de resistencia bajo condiciones adversas de humedad. Incluye suelos tales como: arenas arcillosas, arenas limosas y gravas arenosas. Módulo resiliente = 80 MPa (12000 psi), CBR = 8%.
- c) Suelos buenos, son los que retienen una cantidad sustancial de su capacidad de soportar cargas cuando se humedecen. Están incluidas las arenas limpias, gravas arenosas y angulosas, particularmente las que son bien graduadas, y suelos libres de cantidades perjudiciales de materiales plásticos. Módulo resiliente = 170 MPa (25 000 psi), CBR = 17 %.

Las muestras del suelo de la subrasante son ensayadas en el laboratorio para determinar sus valores de resistencia. Los ensayos requeridos son:

- Módulo resiliente (MR): Es un ensayo triaxial cíclico que intenta reproducir los esfuerzos en las capas de un pavimento cuando está sometido a cargas móviles del tránsito.
- Valor soporte california (CBR): Este ensayo valora la capacidad o resistencia al corte del suelo. Es utilizado para analizar la resistencia de la subrasante, subbase y base en pavimentos flexibles.
- Módulo k de reacción de la subrasante: Se determina en un ensayo de placa, igual que el CBR se utiliza para valorar la capacidad o resistencia al corte del suelo. Es

utilizado para analizar la resistencia de la subrasante o subbase en pavimentos rígidos.

Para propósitos de diseño, AASHTO propone actualmente el uso del módulo resiliente (MR) para una mejor caracterización de los suelos de la subrasante. El módulo resiliente puede definirse como la relación entre el esfuerzo dinámico y la deformación, y puede determinarse de las siguientes maneras: ensayos de laboratorio, ensayos no destructivos y correlaciones.

La ausencia de equipos, o de tiempo para la ejecución de estos ensayos, se utilizan ecuaciones de correlación entre los valores de CBR y MR para obtener el valor requerido en el diseño de pavimentos. Así, por ejemplo, el método AASHTO propone la siguiente ecuación de correlación:

$$MR = 1500 \times CBR \text{ para } CBR < 10 \%$$

En otros países de Latinoamérica, como Venezuela, se han utilizado las siguientes ecuaciones de correlación:

$$MR = 1500 \times CBR \text{ para } CBR < 7.2$$

$$MR = 3000 \times CBR^{0.65} \text{ para } 7.2 < CBR < 20$$

En Ecuador se utilizan estas ecuaciones de correlación entre el módulo de resiliencia MR y el valor de CBR para obtener el parámetro solicitado por los procedimientos de diseño como el método AASHTO. En la figura 3.3 se observa la variabilidad de los valores de MR y su interdependencia con la ecuación de correlación utilizada.

Cabe destacar, que en la determinación del MR con ecuaciones de correlación, sigue siendo limitante la variabilidad de los valores de CBR debido a las condiciones del estado del suelo. El valor de CBR es diferente si se realiza el ensayo para un estado de suelo húmedo, saturado o seco-saturado que representaría las posibles condiciones del suelo a través de un período cíclico estacional de comportamiento del suelo.

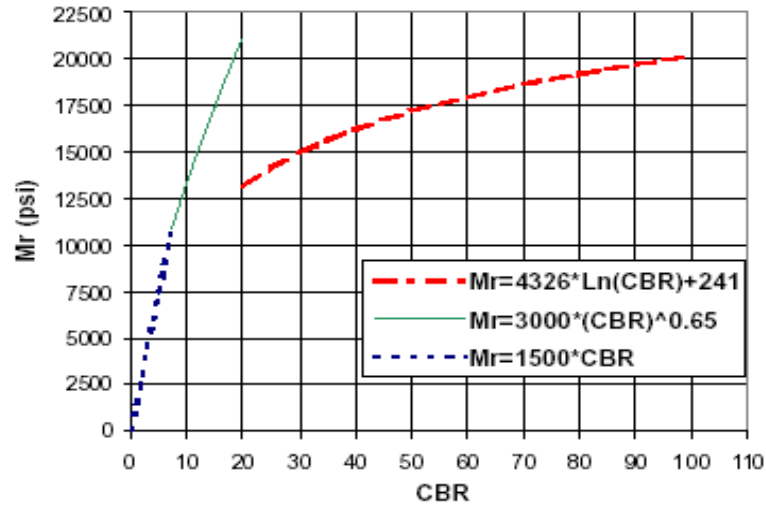


Figura 3.3 Módulo Resiliente vs CBR

(Morales, Técnicas de Rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005).

En la figura 3.4 hay correlaciones entre el MR y otros ensayos. Como precaución es necesario aclarar que estas correlaciones son empíricas y permiten relacionarlas con el MR, pero de ninguna manera entre sí. *Obtenido del artículo “Modelaje y caracterización del comportamiento de los materiales con fines de diseño de pavimentos”, publicado por el Instituto de la Construcción y Gerencia (ICG). Recuperado de (Farinango, 2014)

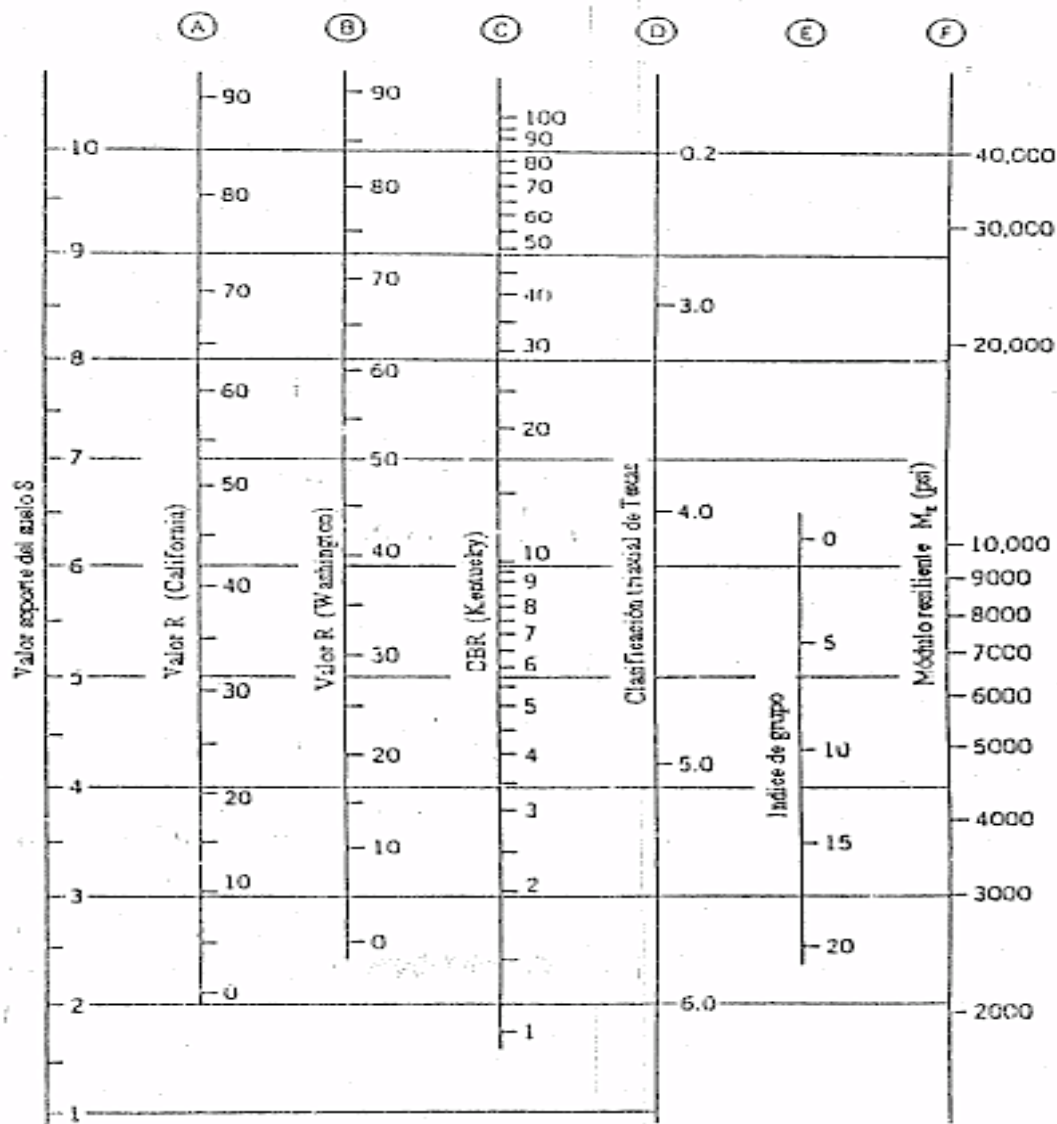


Figura 3.4 Correlaciones con el Módulo Resiliente

Fuente: "Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

3.10 Módulo de resiliencia de subrasante (Mr)

Se obtiene a partir de correlaciones con otros ensayos debido a que los equipos que nos ayudan a determinar el módulo de resiliencia son difíciles de adquirir.

Correlaciones entre el CBR de la subrasante y el módulo de resiliencia:

$M_r \text{ (psi)} = 1500 \times \text{CBR}$; para $\text{CBR} < 7.2\%$ sugerida por AASHTO.

$M_r \text{ (psi)} = 3000 \times \text{CBR}^{0.65}$, Para materiales de sub-rasante con CBR mayor de 7,2% pero menor o igual a 20,0%

3.11 Determinación del número estructural (S_m)

El procedimiento de diseño según el método AASHTO, se basa en un número estructural que representa la resistencia estructural de un pavimento con relación a los otros factores como son: valor soporte del suelo (CBR), carga total equivalente a ejes simples de 8018 Kg (W18) e índice de servicio (P_o y P_t). (Farinango, 2014)

3.12 Determinación de espesores.

Consiste en identificar un conjunto de capas cuyos espesores, convenientemente combinados, proporcionan la capacidad portante correspondiente a dicho SN. (Farinango, 2014)

La ecuación a utilizarse para obtener los espesores de cada capa; superficie de rodadura o carpeta asfáltica, base y subbase, es la siguiente.

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times m_2 \times d_2 + a_3 \times m_3 \times D_3$$

Dónde:

a_1 , a_2 y a_3 = Coeficientes estructurales de capas, representativos de carpeta, base y subbase respectivamente.

D_1 , D_2 y D_3 = Espesor de la carpeta, base y subbase respectivamente, en pulgadas.

m_2 y m_3 = Coeficientes de drenaje para base y subbase, respectivamente.

3.13 Coeficientes estructurales de capas (a_i).

Los materiales usados en cada una de las capas de la estructura de un pavimento flexible, de acuerdo a sus características, tienen un coeficiente estructural (a_i).

Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para

funcionar como parte de la estructura del pavimento y resistir las cargas solicitantes. Se presenta cinco categorías de estos coeficientes, de acuerdo con el tipo y función de la capa considerada: carpeta asfáltica, base granular, subbase granular, base tratada con cemento y base asfáltica. (Farinango, 2014)

3.14 Coeficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1)

El coeficiente estructural a_1 para carpetas asfálticas en caliente está en función de su Módulo de Elasticidad y a su vez de la Estabilidad Marshall.

La figura 3.5 proporciona un gráfico que puede emplearse para estimar a_1 , si se conoce el Módulo de Elasticidad del concreto asfáltico a 20°C (68°F), estando este módulo en psi, o a su vez la figura 3.6 si se conoce la Estabilidad Marshall en libras. (Farinango, 2014).

3.14.1 Coeficiente estructural de Bases Granulares (a2)

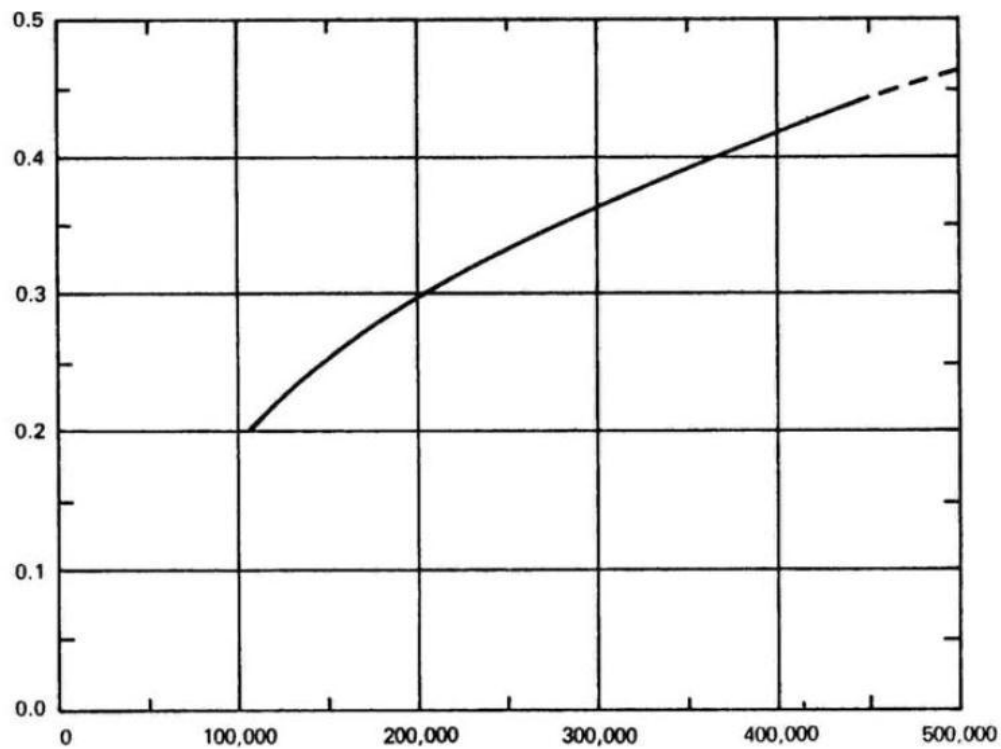
La figura 3.7 muestra un gráfico que puede emplearse para estimar el coeficiente estructural a_2 , a partir de uno de cuatro resultados de ensayos diferentes de laboratorio sobre un material granular de base, incluyendo el módulo elástico (resiliente) de la base. (Farinango, 2014).

3.14.2 Coeficiente estructural de Bases Granulares Estabilizadas (a2)

La figura 3.8 muestra el gráfico que puede ser empleado para hallar el coeficiente a_2 de una base de suelo cemento, a partir de su módulo elástico o de su resistencia a la compresión a los 7 días y la figura 3.9 presenta el ábaco para hallar el coeficiente a_2 correspondiente a las bases asfálticas, en función de su módulo elástico o su Estabilidad Marshall. (Farinango, 2014).

3.14.3 Coeficiente estructural de Subbase Granular (a_3)

En la figura 3.7 es posible determinar el coeficiente estructural a_3 para una subbase granular, en función de los mismos ensayos considerados para las bases granulares. (Farinango, 2014)



Módulo Elástico EAC (psi), del Concreto Asfáltico

Figura 3.5 Para hallar a_1 en función del módulo de elasticidad

Fuente: Farinango, D. (2014).

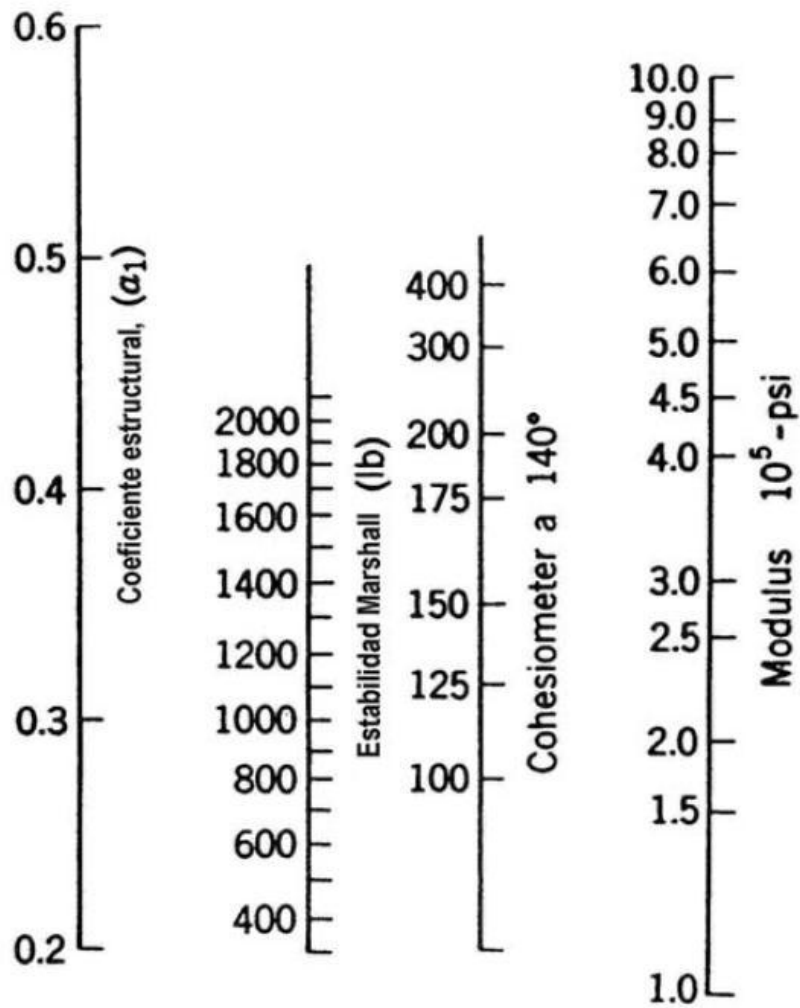


Figura 3.6 Nomograma para estimar a_1 en función de la estabilidad Marshall

Fuente: Farinango, D. (2014).

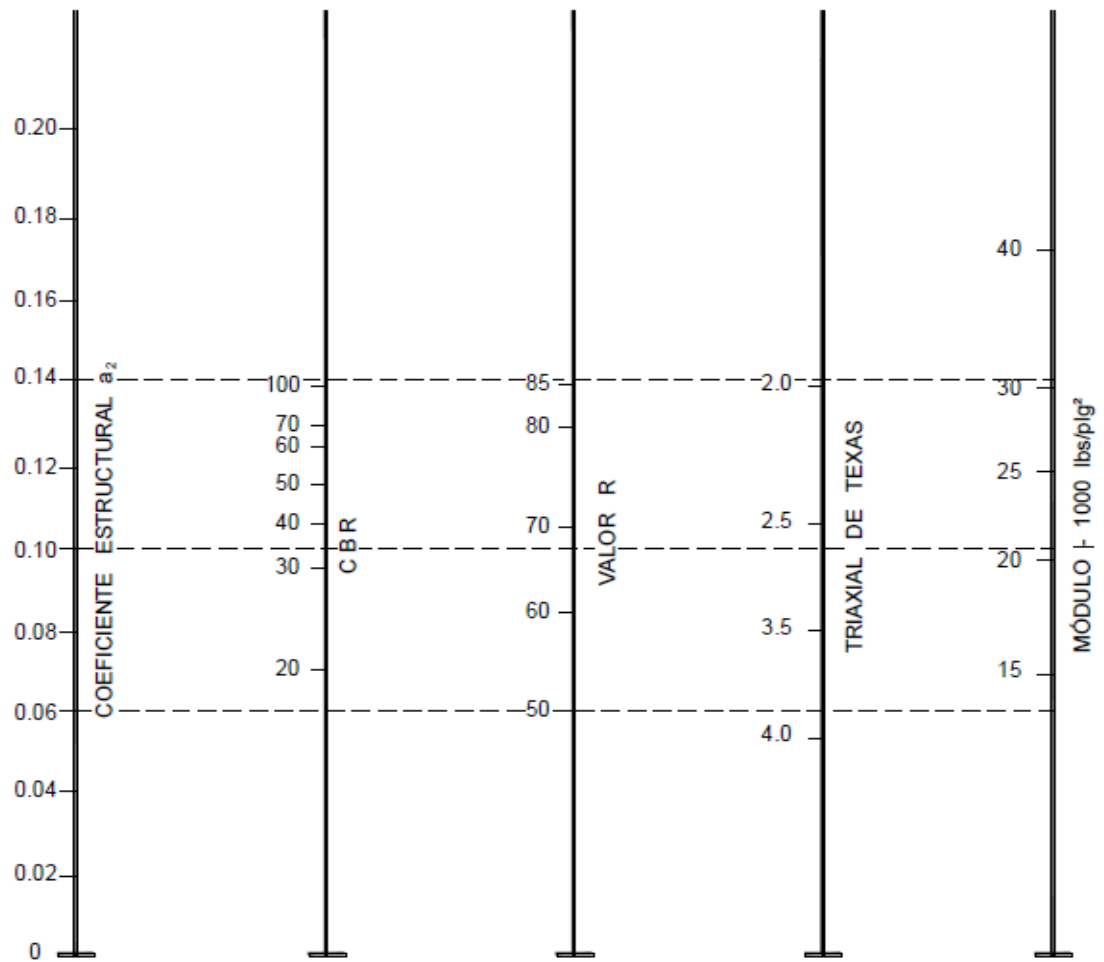


Figura 3.7 Variación del coeficiente a_2 con diferentes parámetros de resistencia de la base granular

Fuente: Farinango, D. (2014).

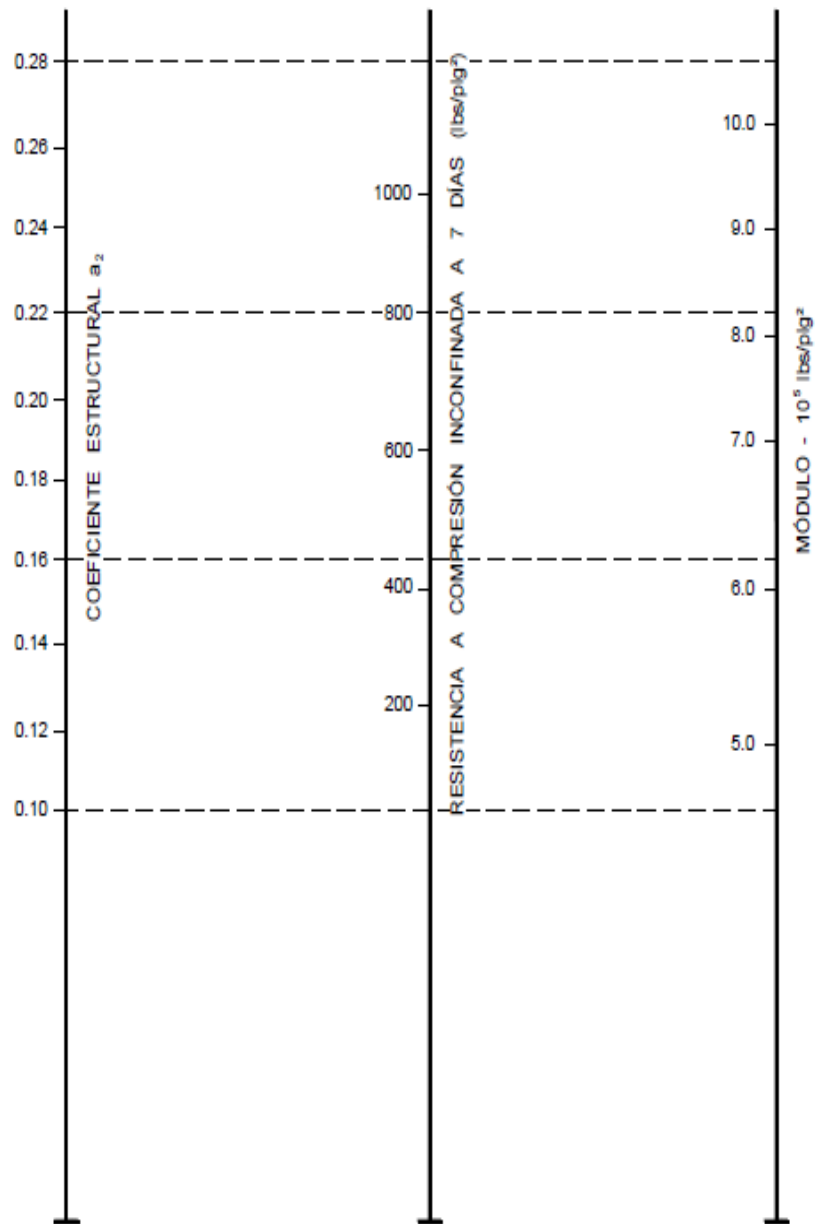


Figura 3.8 Variación del coeficiente a_2 en bases tratadas con cemento para diferentes parámetros de resistencia

Fuente: Farinango, D. (2014).

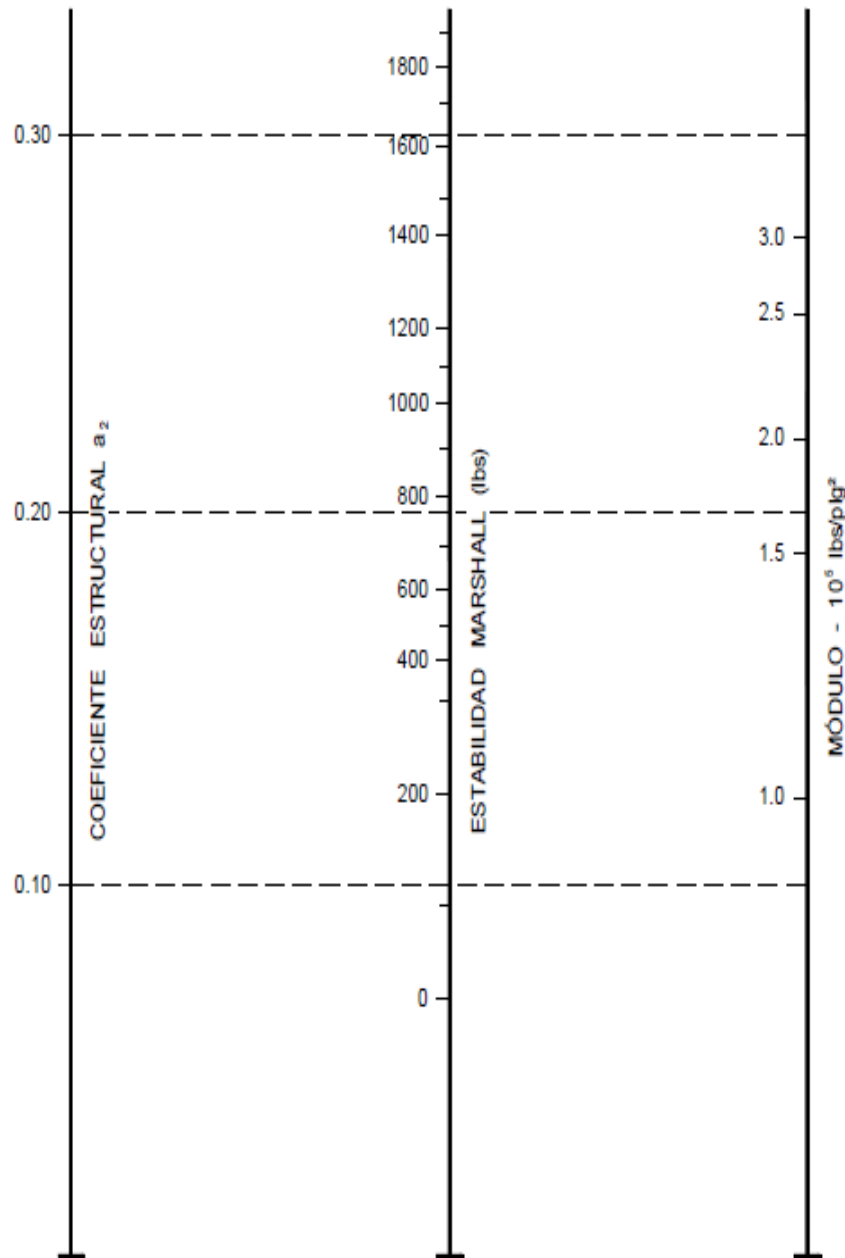


Figura 3.9 Variación del coeficiente a_2 en bases tratadas con asfalto para diferentes parámetros de resistencia

Fuente: Farinango, D. (2014).

3.15 Refuerzo de pavimentos flexibles.

Para (Farinango, 2014) el espesor de refuerzo a colocar es función de la capacidad estructural requerida para el tránsito futuro y la capacidad estructural del pavimento de concreto fracturado. El espesor se determina con la siguiente ecuación:

$$D_{ol} = \frac{SN_{ol}}{a_{ol}} = \frac{SN_f - SN_{ef}}{a_{ol}}$$

Donde:

SNol = Número estructural requerido para el refuerzo.

aol = Coeficiente estructural para el refuerzo de concreto asfáltico.

Dol = Espesor requerido del refuerzo.

SNf = Número estructural requerido para soportar el tránsito futuro.

SNef = Número estructural efectivo del pavimento luego del fracturado.

Este tipo de refuerzo sólo es aplicable en casos que el pavimento de concreto se encuentre muy deteriorado, ya que las técnicas de fracturado están más justificadas en éste tipo de pavimentos que en los poco deteriorados, dado que es más fácil lograr un buen fracturado en un pavimento muy roto.

Para calcular el espesor de refuerzo se debe determinar el número estructural requerido para el tránsito futuro, así como también el número estructural efectivo del pavimento existente como veremos a continuación:

A. Determinación del número estructural requerido para el tránsito futuro (SNf).

Para calcular el número estructural requerido para el tránsito futuro, el refuerzo se diseña como si se tratará de un pavimento flexible, donde la losa de concreto fracturada actúa como una “base granular”. Los pasos para determinar SNf se indican a continuación:

1. Determinar la cantidad de ESALs previstos durante el período de diseño. Se deben usar factores equivalentes de carga correspondientes a pavimentos flexibles. Si el tránsito futuro fue previsto para un pavimento rígido, el número de ESALs debe ser convertido en un número para pavimentos flexibles dividiendo por 1.5.

2. Determinar el módulo resiliente de la subrasante por cualquiera de los siguientes métodos:
 - Ensayos de laboratorio.
 - Ensayos no destructivos (NDT, por sus siglas en ingles).
 - Estimación mediante correlación.
3. Seleccionar la pérdida de serviciabilidad de diseño, que es la diferencia entre la serviciabilidad inmediatamente después de colocar el refuerzo y la serviciabilidad en el momento de la próxima rehabilitación. En el diseño del refuerzo, al igual que en el diseño de pavimentos, se deben elegir la serviciabilidad inicial y final, de acuerdo a los criterios vistos en la sección 3.5.
4. Seleccionar la confiabilidad R de diseño de la tabla 3.5, de acuerdo a los criterios vistos en la sección 3.8.
5. Seleccionar la desviación estándar (S0). Para el caso de pavimentos flexibles los valores de S0 varían entre 0.44 y 0.49.

Con estos datos se puede determinar SNf por cualquiera de los siguientes métodos:

- Empleo de la fórmula de diseño, procedimiento algo tedioso por lo complicado de la misma.
- Por el uso de ábacos de diseño (Figura 3.10), procedimiento no muy exacto.
- Mediante programas de computación, como es el caso del software P.A.S (Pavement Análisis Software), que es el programa que vamos a utilizar en la presente tesis para el cálculo del espesor de refuerzo.

La ecuación fundamental AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles es:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log (SN+1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{1094} + 2.32 \times \log M_R - 8.07$$

$$0.40 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}$$

Donde:

W18 = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

ZR = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S0 = Desvío estándar de todas las variables.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

MR = Módulo resiliente de la subrasante en psi.

SN = Número estructural indicativo del espesor total de pavimento requerido

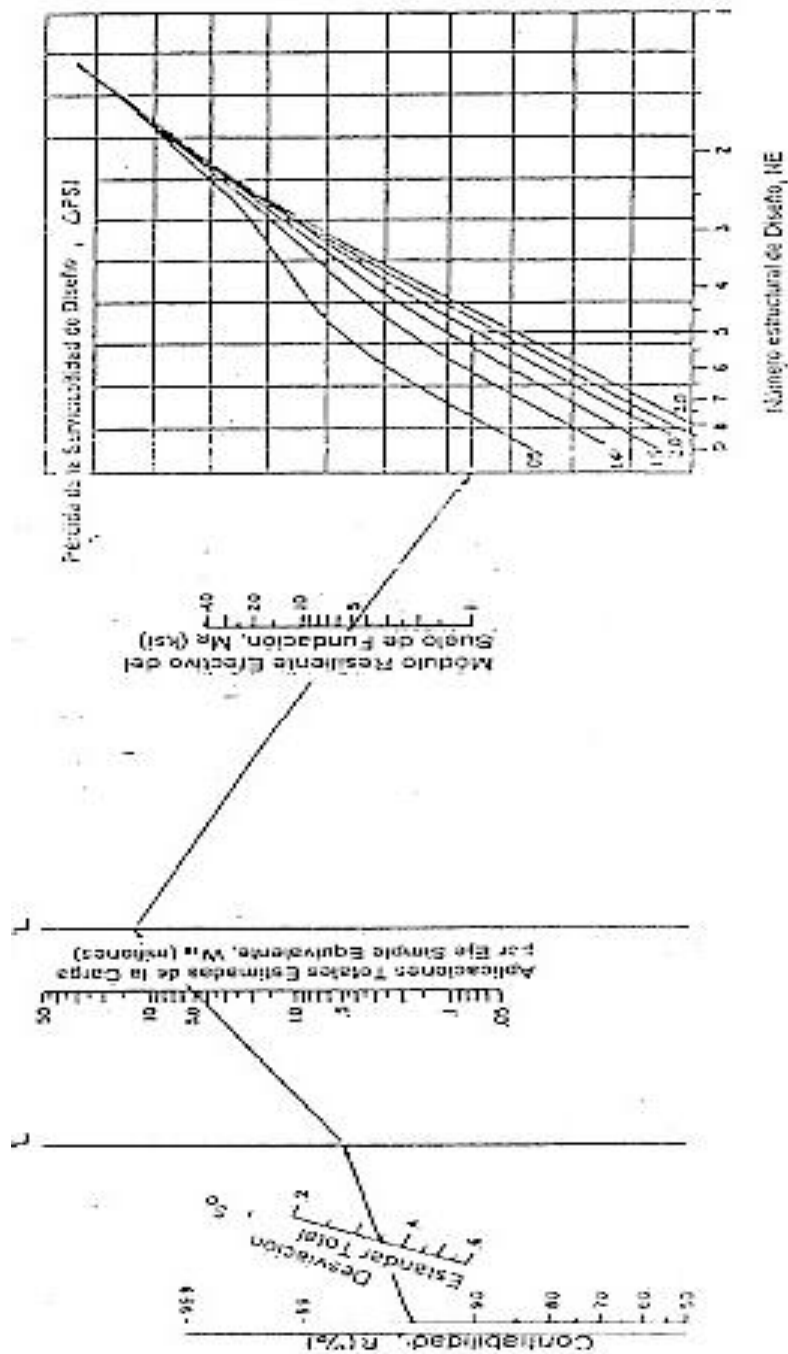


Figura 3.10 Ábaco de diseño para pavimentos flexibles.

Fuente: Farinango, D. (2014).

B. Determinación del número estructural efectivo del pavimento existente (SNef).

SNef se determina con la ecuación del número estructural:

$$SNef = a_2 D_2^{m_2} + a_3 D_3^{m_3}$$

Donde:

D_2 = Espesor de la losa fracturada.

D_3 = Espesor de la subbase.

a_2 = Coeficiente estructural para la losa fracturada. Se recomienda los valores sugeridos en la tabla 3.6, que dependen de la técnica de fracturado utilizada.

a_3 = Coeficiente estructural de la subbase. Se determina mediante correlación con otros parámetros resistentes como son: CBR, módulo resiliente, etc.

m_2 = Coeficiente de drenaje. Para m_2 AASHTO recomienda un valor igual a 1.0 debido a la falta de información de las características de drenaje de la losa fracturada.

m_3 = Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles. Los valores se seleccionan de acuerdo a los criterios vistos en la tabla 3.7.

Tabla 3.6 Valores sugeridos para coeficientes estructurales para losas fracturadas.

MATERIAL	ESTADO DE LA LOSA	COEFICIENTE
C°A° (concreto armado) con juntas Rotura y asentamiento	Trozos mayores de 0.30 m (1 pie) con armadura rota o por lo menos sin adherencia con el concreto	0.20 – 0.35
C°S° (concreto simple) Fisurado y asentamiento	Trozos entre 0.3 y 1.0 m (1 a 3 pie)	0.20 – 0.35
Triturado y compactado (válido para C°S°, C°A° c/juntas, C°A° continuo)	Losa completamente fracturada con trozos menores de 0.3 m (1 pie)	0.14 – 0.30
Base o subbase granular o estabilizada	Sin evidencia de degradación o intrusión de finos	0.10 – 0.14
	Alguna evidencia de degradación o intrusión de finos	0.00 – 0.14

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

Tabla 3.7 Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles

Coeficiente de drenaje	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación			
		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	2 horas	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1 día	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	Nunca	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

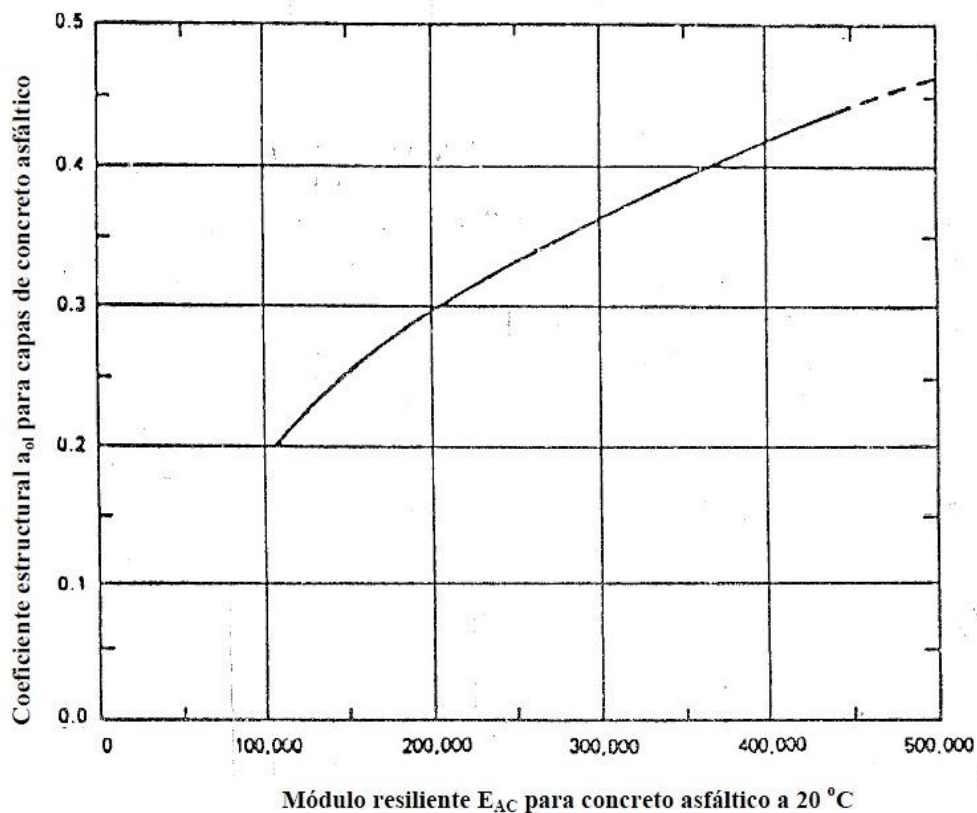
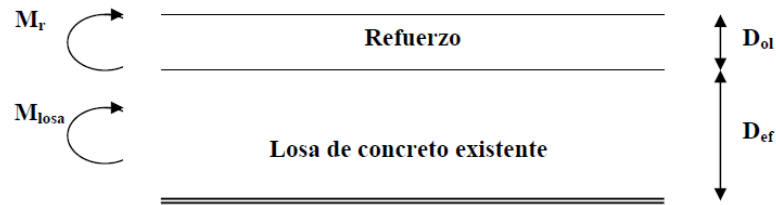


Figura 3.11 Carta para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente

Fuente: (Morales, Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto, 2005)

3.16 Refuerzo sobre pavimentos de concreto sin fracturar

Para (Morales., 2005) el espesor de refuerzo de concreto asfáltico se obtiene a partir del siguiente análisis. Se considera que el refuerzo y la losa existente actúan como un solo elemento y son del mismo material. De acuerdo al figura 3.12 los momentos máximos absorbidos por el refuerzo y la losa existente son, respectivamente, por metro de ancho de losa, en una dirección dada:

$$M_r = \frac{D_{ol}^2}{6} \sigma_{r_{adm}} \quad M_{losa} = \frac{D_{ef}^2}{6} \sigma_{l_{adm}}$$


The diagram illustrates a cross-section of a pavement structure. It consists of two main layers: a top layer labeled 'Refuerzo' (reinforcement) and a bottom layer labeled 'Losa de concreto existente' (existing concrete slab). The thickness of the reinforcement layer is denoted as D_{ol} , and the thickness of the concrete slab is denoted as D_{ef} . On the left side, two curved arrows represent bending moments: M_r for the reinforcement layer and M_{losa} for the concrete slab. The layers are shown as horizontal lines, with the reinforcement layer being thinner than the concrete slab.

Figura 3.12 Pavimento existente y refuerzo.

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

Donde, $\sigma_{r_{adm}}$ y $\sigma_{l_{adm}}$ son las tensiones admisibles a flexión del refuerzo y la losa respectivamente. Si D_f es el espesor de un pavimento de concreto monolítico requerido para soportar las cargas de tránsito futuras, con resistencia a la flexión equivalente a la del conjunto de refuerzo y losa, y M es el momento que es capaz de absorber ese pavimento por metro de ancho, sin sobrepasar su tensión admisible σ_{adm} , la condición de equivalencia antes mencionada exige que:

$$M_r + M_{losa} = M$$

$$\frac{D_{ol}^2}{6} \sigma_{r_{adm}} + \frac{D_{ef}^2}{6} \sigma_{l_{adm}} = \frac{D_f^2}{6} \sigma_{adm}$$

Si las tensiones admisibles a flexión son las mismas para el refuerzo, la losa y el pavimento equivalente; y ambas capas se comportan solidariamente frente al momento flector, la expresión resultante es:

$$\frac{(D_{ol} + D_{ef})^2}{6} \sigma_{adm} = \frac{D_f^2}{6} \sigma_{adm}$$

De donde resulta:

$$D_{ol} = D_f - D_{ef}$$

Pero éste resultado hay que afectarlo por un factor (A), que convierte la deficiencia en espesor del pavimento de concreto ($D_f - D_{ef}$) en un espesor de refuerzo de concreto asfáltico, quedando la ecuación de diseño de la siguiente manera:

$$D_{ol} = A(D_f - D_{ef})$$

Si se trabaja en pulgadas, A responde a la siguiente ecuación o puede obtenerse de la figura 3.13.

$$A = 2.2233 + 0.0099 (D_f - D_{ef})^2 - 0.1534 (D_f - D_{ef})$$

Para calcular el espesor del refuerzo se debe determinar el espesor de losa requerido para el tránsito futuro (D_f), así como también el espesor efectivo de la losa existente (D_{ef}). Este valor fuera igual al espesor de la losa existente, si ésta estuviera estructuralmente en buenas condiciones, es decir, sin fisura importantes, pero si la losa existente estuviera fisurada o agrietada, su capacidad para absorber esfuerzos de flexión estará disminuida y, por lo tanto, su contribución a la absorción del momento causado por las cargas de tránsito sería menor. Esta circunstancia se tiene en cuenta afectando dicho valor por unos factores de ajuste como se verá más adelante. Cabe resaltar que si el refuerzo se coloca a los efectos de satisfacer condiciones funcionales de la calzada bastará colocar un espesor mínimo. (Morales., 2005).

A. Determinación del espesor requerido de losa para el tránsito futuro (Df).

En base a lo que nos dice (Morales., 2005) acerca de los datos para determinar Df son función del pavimento existente y de las propiedades de la subrasante. Es necesario recalcar que las propiedades del pavimento existente de concreto (módulo elástico, módulo de rotura y transferencia de cargas) van a controlar el comportamiento del refuerzo de concreto asfáltico. Los datos para determinar Df son:

1. Determinar la cantidad de ESALs previstos durante el período de diseño, o en todo caso, determinar el número de ESALs acumulados en el carril de diseño (Np), si se desea calcular Df por el método de la vida remanente.

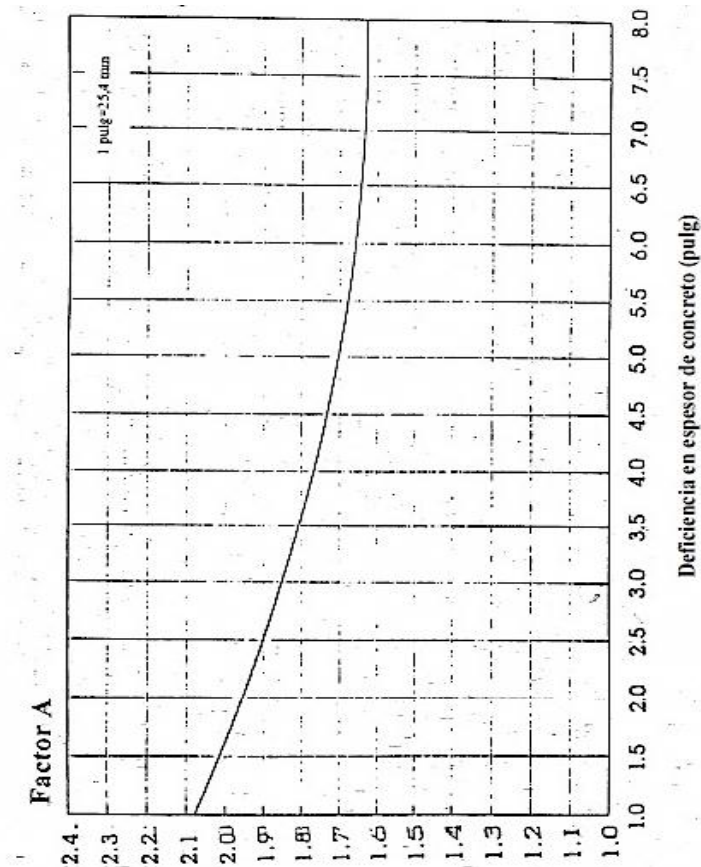


Figura 3.13 Factor que convierte la deficiencia en espesor del pavimento de concreto en un espesor de refuerzo de concreto asfáltico.

Fuente: (Morales, Técnicas de Rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

2. Determinar el módulo de reacción de la subrasante (k) por cualquiera de los siguientes métodos:

- Ensayo de plato de carga.
- Ensayos no destructivos (NDT, por sus siglas en ingles).
- Estimación mediante correlación.

3. Determinar el coeficiente de transferencia de carga, a través de pruebas o ensayos de deflexión. Éstas tienen como objetivo medir la respuesta de un pavimento a una carga específica. Las mediciones se hacen a lo largo del borde de la losa de concreto, usando equipos tales como la viga Benkelman, el dynaflect, el road rater o el Fallin Weight Deflectometer (FWD).

Para carreteras de dos carriles, las mediciones de las deflexiones se hacen sobre el borde exterior, a ambos lados de la línea central. Para carreteras divididas, las deflexiones solo deben medir en el borde más exterior, tomando adicionalmente medidas de las deflexiones en las esquinas, juntas, grietas y en áreas de pavimento deterioradas, para determinar la capacidad de transferencia de carga.

En el caso que se emplee el FWD, es conveniente hacer las mediciones a temperatura ambiente menor a 27 grados centígrados, para obtener los resultados correctos. Para determinar la deflexión, el plato de carga se ubica, de tal manera que uno de sus bordes se encuentre tocando la junta. Se mide la deflexión en el centro de la carga y a 12 pulg. (30 cm) del centro. El porcentaje de transferencia de cargas por deflexión es:

$$\Delta LT = 100 \frac{\Delta u_l}{\Delta l} B$$

Donde:

Δu_l = Deflexión del lado no cargado (pulg).

Δl = Deflexión del lado cargado (pulg).

B = Factor correctivo por flexión de losa.

Se aplica el factor correctivo B porque la deflexión en el centro de la carga (d_0) y la deflexión a 12 pulg del centro (d_{12}) no serían las mismas que se medirían en el centro de la losa. B puede determinarse así:

$$B = \frac{d_0}{d_{12}}$$

B varía entre 1.05 y 1.15.

En base al porcentaje de transferencia de cargas puede determinarse el coeficiente de transferencia de cargas como se indica en la tabla 3.8.

Tabla 3.8 valores de J de acuerdo al porcentaje de transferencia de carga.

Porcentaje de transferencia de cargas	Coeficiente J
> 70	3.2
50 – 70	3.5
< 50	4.0

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

Para pavimentos de concreto armado continuo J varía entre 2.2 y 2.6.

4. Módulo elástico del pavimento de concreto existente. Para ello puede usarse alguno de estos métodos:

- Cálculo a partir de medidas de deflexiones.
- A partir de la resistencia a compresión simple del concreto (f_c').

$$E = 57.000(F_c')^{0.57}$$

5. Módulo de rotura del pavimento existente de hormigón. Este puede ser determinado por alguno de los siguientes métodos:

- Estimación a través de la resistencia a la tracción indirecta.
- A partir de la resistencia a compresión simple del concreto (f_c').

$$S_c' = k (f_c')^{0.5} \quad 7 < k < 12$$

6. Pérdida de soporte de la losa existente. Las juntas de esquina que tienen una pérdida importante de soporte pueden ser identificadas mediante ensayos FWD. Las pérdidas de soporte en pavimentos de concreto armado continuo pueden ser determinados graficando la deflexión del borde de la losa o de la zona usada por las ruedas de los vehículos e identificando puntos con deflexiones excesivas. Toda falta de soporte debe ser corregida con estabilización de la losa. Para el diseño del espesor del refuerzo se debe considerar $LS=1$.

7. Seleccionar la pérdida de serviciabilidad de diseño, que es la diferencia entre la serviciabilidad inmediatamente después de colocar el refuerzo y la serviciabilidad en el momento de la próxima rehabilitación.

En el diseño del refuerzo, al igual que en el diseño de pavimentos, se deben elegir la serviciabilidad inicial y final, de acuerdo a los criterios vistos en la sección 3.5.

8. Seleccionar la confiabilidad R de diseño de la tabla 3.5, de acuerdo a los criterios vistos en la sección 3.8.

9. Seleccionar la desviación estándar (S_0). Para el caso de pavimentos rígidos los valores se muestran en la sección 3.8.1.

Con estos datos se puede determinar D_f por cualquiera de los siguientes métodos:

- Empleo de la fórmula de diseño para pavimentos rígidos, según AASHTO.
- Por el uso de ábacos de diseño (figura 3.14), procedimiento no muy exacto.
- Mediante programas de computación.

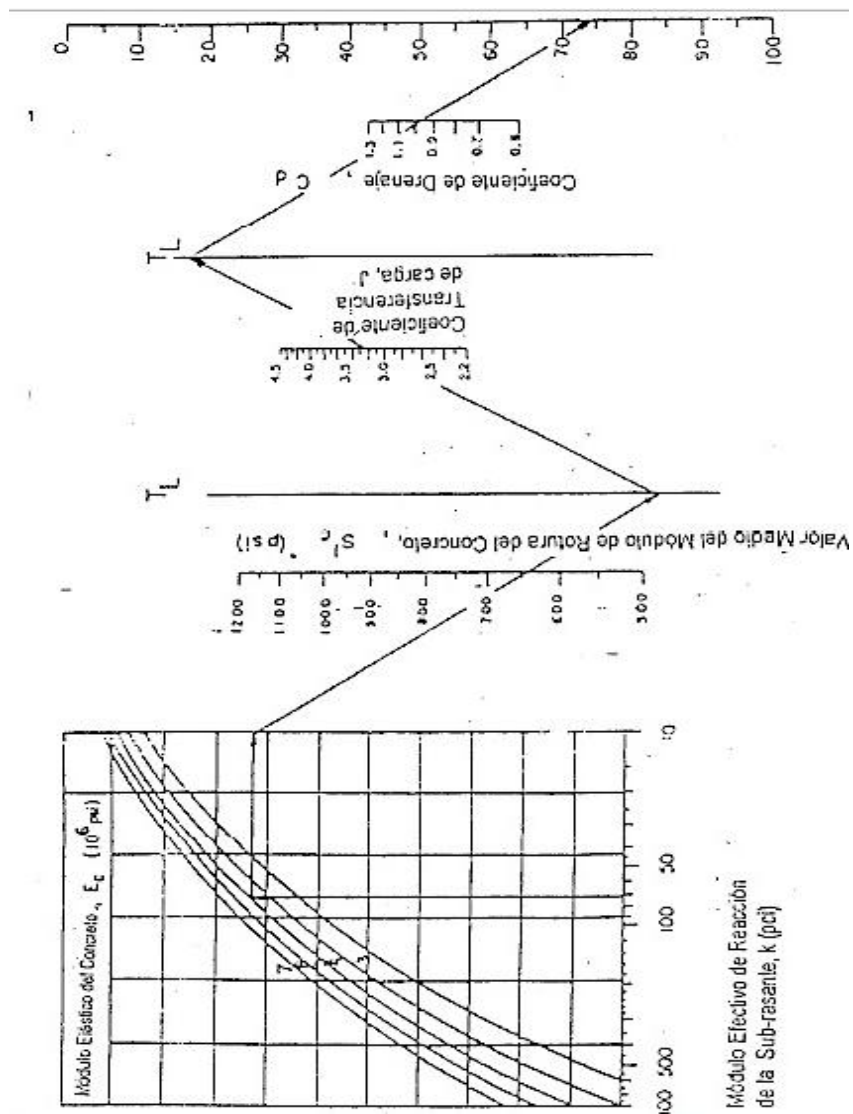


Figura 3.14 A Ábaco para el diseño de pavimentos rígidos.

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

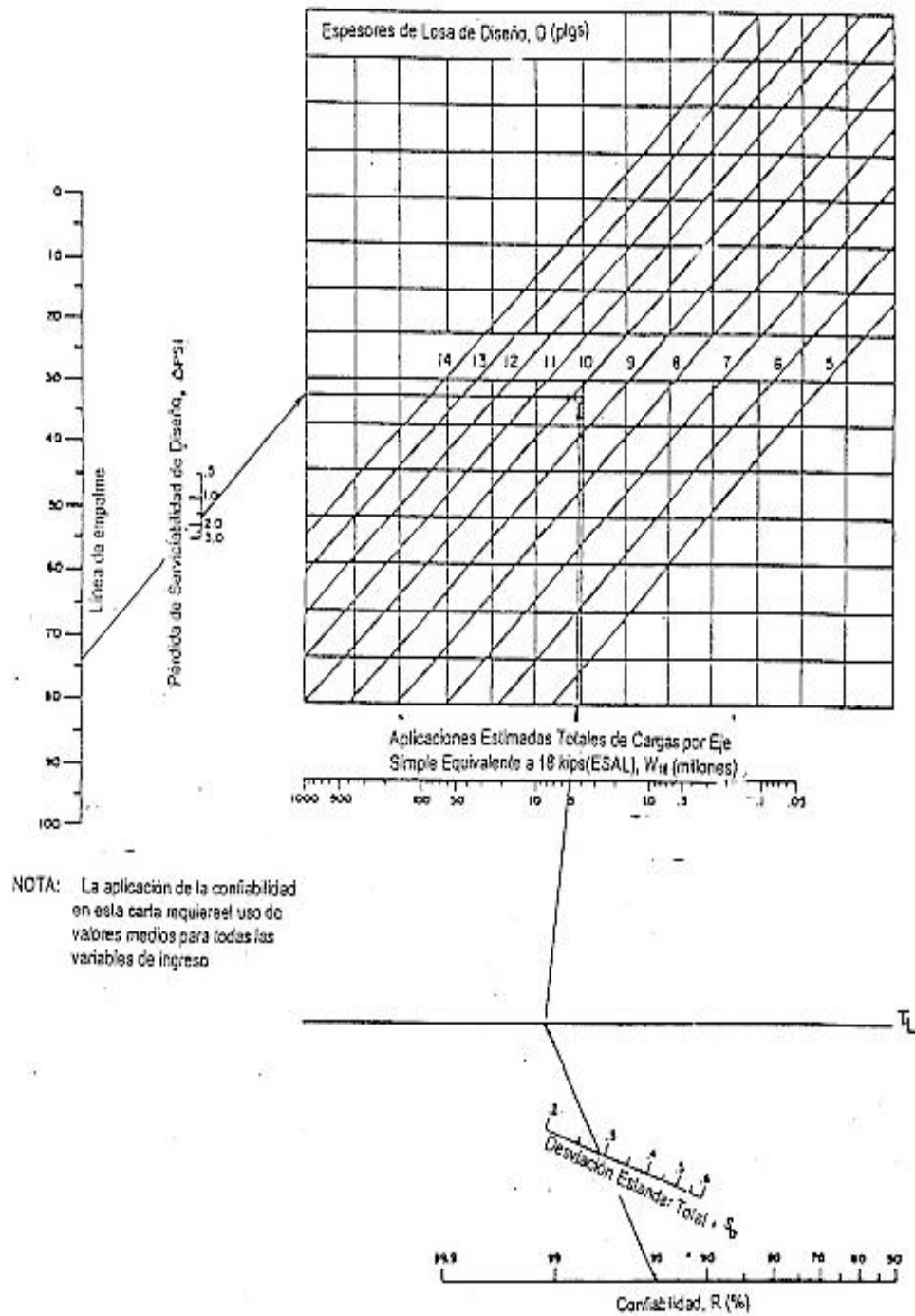


Figura 3.14 B Continuación del ábaco para el diseño de pavimentos rígidos.

Fuente: (Morales, Técnicas de Rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

B. Determinación del espesor efectivo de losa del pavimento existente (Def).

Hay dos métodos para encarar el cálculo de Def:

1. Observación del estado del pavimento existente. El espesor efectivo de la losa existente es:

$$Def = F_{jc} * F_{dur} * F_{fat} * D$$

Siendo:

D = Espesor de la losa existente de concreto

Los factores F son factores de ajuste:

a) Factor de ajuste por juntas y fisuras F_{jc} . Este factor hace un ajuste por una pérdida extra de serviciabilidad causada por fisuras reflejadas y deterioradas en el refuerzo que son el resultado de juntas o fisuras no reparadas y otros tipos de discontinuidades en el pavimento existente previo al refuerzo. Una junta deteriorada o una fisura se reflejarán rápidamente en el refuerzo con la consecuente pérdida de serviciabilidad. Es por eso que se recomienda que todas las juntas deterioradas, fisuras y cualquier otro tipo de discontinuidades en la losa existente sean reparadas en todo su espesor con concreto vinculado (pasadores y barras de unión) al pavimento existente. Si no es posible reparar todas las áreas deterioradas, con la siguiente información se puede determinar F_{jc} :

Pavimentos con ausencia de fisuras de durabilidad y ausencia de problemas de reacción álcali-agregado.

- Número de juntas deterioradas no reparadas por milla.
- Número de fisuras deterioradas no reparadas por milla.
- Número de punzonados no reparados por milla.
- Número de juntas de expansión, excepcionalmente juntas anchas (>2,5 mm) y parches de concreto asfáltico en todo el espesor, por milla.
- En función del número de juntas deterioradas no reparadas, fisuras, baches, etc., se determina el F_{jc} mediante el gráfico de la figura 3.15

b) Factor de ajuste por durabilidad. Este factor tiene en cuenta la pérdida de serviciabilidad que puede tener el pavimento existente cuando hay fisuras de durabilidad o fallas debidas a reacción álcali-agregado. Los valores a adoptar para F_{dur} son mostrados en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Valores para F_{dur}

1.00	No hay problemas de durabilidad
0.96 – 0.99	Hay fisuras de durabilidad, pero sin descascaramiento
0.88 – 0.95	Fisuras importantes y algo de descascaramiento
0.80 – 0.88	Gran extensión de fisuras y descascaramiento severo

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

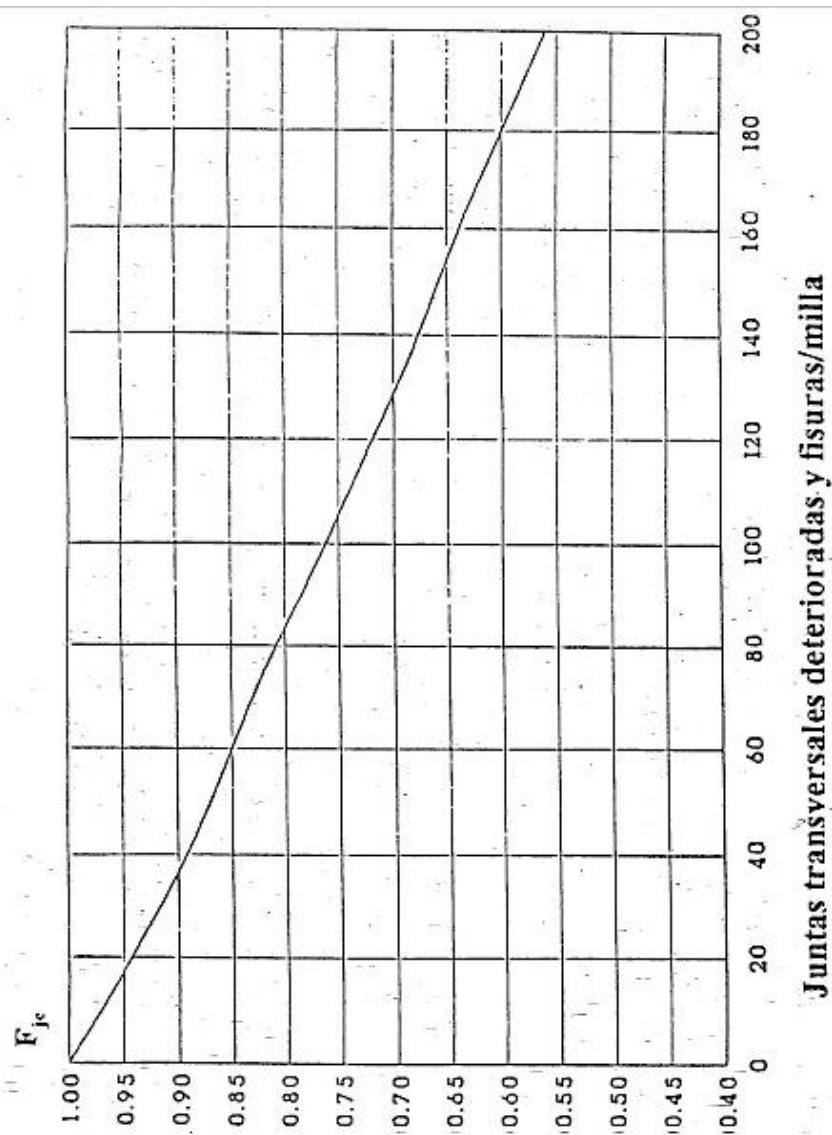


Figura 3.15 Factor de ajuste por juntas y fisuras.

Fuente: (Morales, Técnicas de Rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

c) Factor de ajuste por fatiga. Este factor considera un ajuste por daños de fatiga que pueden existir en la losa. Se determina observando la extensión de fisuras transversales (en pavimentos de C°S° o C°A° con juntas) o punzonados (C°A° continuo) que pueden haber sido causados por repetición de cargas. Como guía se dan los valores que puede adoptar F_{fat} en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Valores para Ffat

0,97 – 1,00	Pocas juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: > 5% de losas fisuradas C°A° con juntas: < 25% de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : < 4% de punzonados, por milla
0,94 – 0,96	Hay un número significativo de juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: 5-15 % de losas fisuradas C°A° con juntas: 25-75 % de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : 4-12 % de punzonados, por milla
0,90 – 0,93	Hay un número significativo de juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: 5-15 % de losas fisuradas C°A° con juntas: 25-75 % de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : 4-12 % de punzonados, por milla

Fuente: (Morales, Tecnicas de Rehabilitacion de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

2. A partir de la vida remanente

La vida remanente del pavimento responde a esta ecuación:

$$RL = 100 \left(1 - \frac{N_p}{N_{1.5}} \right)$$

Donde:

N_p = Número de ESALs hasta la fecha

$N_{1.5}$ = Número de ESALs para llevar el pavimento a la rotura

$N_{1.5}$ se puede obtener a partir de la ecuación de diseño o mediante ábacos, suponiendo una serviciabilidad final $P_t=1.5$ y una confiabilidad $R=50\%$.

Def se determina con la ecuación:

$$Def = C F D$$

CF es el factor de condición, función de RL como se puede apreciar en la figura 3.16.

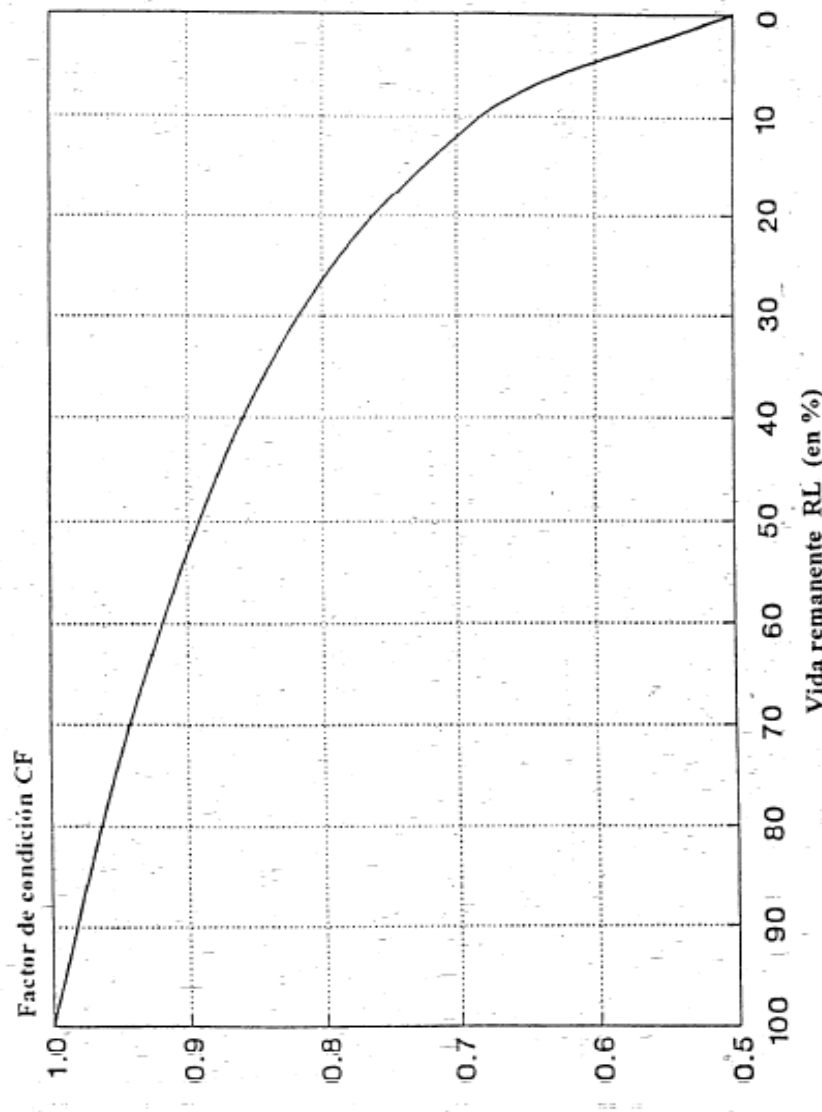


Figura 3.16 Entre el factor de condición y la vida remanente.

Fuente: (Morales, Técnicas de Rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo., 2005)

CAPÍTULO 4

DESARROLLO PRÁCTICO

4 DESARROLLO PRÁCTICO.

Estudios para la evaluación funcional y estructural - determinación del IRI y la macrotextura, medición de deflexiones, espesores de las capas del pavimento y nivel de fisuración de las losas del pavimento rígido.

Tabla 4.1 Identificación del tramo

No.	DESCRIPCIÓN		DESDE				HASTA				Longitud (m)
	DESDE	HASTA	Abscisa	Zona	UTM	Altura	Abscisa	Zona	UTM	Altura	
3	Campo Alegre	Biblian	47+509	17M	733571 9704833	2956.51	53+019	17M	734388 9700576	2669.41	5510.00

Fuente: ECUATEST (2014).

Los métodos efectuados para la Evaluación Funcional corresponden al IRI, La Macrotextura, Hidrodeslizamiento y Fisuración; y para la Evaluación Estructural se basará en la determinación de los Espesores y de Deflexiones.

4.1 Evaluación funcional

4.1.1 Índice de regularidad internacional (IRI)

La unidad de medición estándar es el IRI (Índice de Regularidad Internacional) se expresa en metros por kilómetro, siendo este un factor principal para determinar el nivel de servicio de una vía.

El equipo empleado para la captura de la información es un Perfilómetro láser dinámico de alta repetitividad y rendimiento, provisto de rayos láser y acelerómetro. La unidad de láser detecta la distancia desde un nivel de referencia en el instrumento a un blanco usando geometría del haz de láser reflejado, la posición del haz de láser reflejado a lo largo de la placa se mide y se procesa por el sistema. La referencia inercial es proporcionada por un acelerómetro el cual mide la aceleración vertical. Las lecturas del láser y el acelerómetro se compensan para extraer un perfil real del cual mediante una ecuación se convierten en IRI. (ECUATEST, 2014)

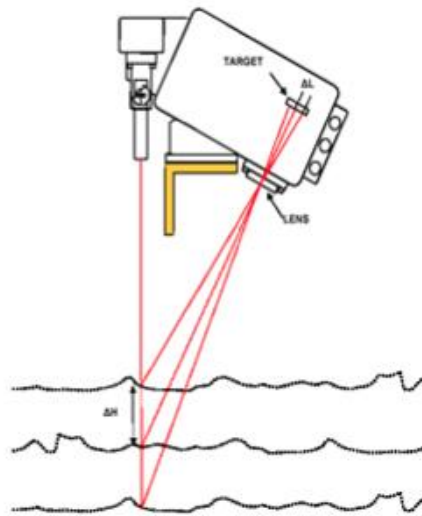


Figura 4.1 Diagrama de funcionamiento del Perfilómetro láser dinámico

Fuente: ECUATEST (2014).

Los valores del IRI han sido capturados cada 10 m en cada carril (derecho e izquierdo) y el promedio se lo calculó cada 100 m carril.

Los resultados se presentan tabulados y graficados en el Anexo correspondiente. A continuación, se en los resultados por segmentos con sus promedios respectivos.

Tabla 4.2 Resultados de IRI

TRAMO	IRI CARRIL DERECHO (m/Km)	IRI CARRRIL IZQUIERDO (m/Km)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	4.74	4.76

Fuente: ECUATEST (2014).

Según (ECUATEST, 2014) las Especificaciones generales para la Construcción de Caminos y Puentes MTOP -001-F- 2002, no especifica valoración admisible para la recepción de pavimentos con capa de rodadura de hormigón, sin embargo y a manera de contraste, los valores medidos difieren con un incremento de hasta el 100% con los establecidos como límite aceptable para asfalto (2.5 m/Km).

Con el fin de sugerir mejores criterios a la administración para el análisis de este parámetro, a continuación, presentamos valores optados por distintos países para su control, en los cuales en su mayoría no se hace una diferenciación entre asfalto y hormigón.

España es uno de los países que cuenta con continuos proyectos de investigación en materia de evaluación funcional y estructural de pavimentos. Se fija como umbral para recibir una carretera un IRI de 2.5 m/Km en todo el tramo, siempre que en el 80% del tramo se alcance como máximo un IRI de 2 y debiendo comenzar además el IRI de 1.5 en

la mitad del tramo. Actualmente se fija un valor de 1.85 de IRI para recibir nuevas carreteras. Para carreteras en servicio con una Intensidad Media Diaria (IMD) mayor de 2,000 vehículos fijan un porcentaje de la longitud de calzada con un valor mínima de 3.5 m/Km. y para valores de $IMD < 2,000$ vehículos el IRI mínima de 4.5 m/Km. Otro aporte importante dado por España, es el control del IRI en las diferentes capas constructivas, debido a la comprobación de que la homogeneidad de las capas anteriores a la superficie de rodadura, afectan de gran manera la regularidad de la misma, a continuación, se presenta la tabla con los valores empleados:

Tabla 4.3 Valores de IRI empleados en España para cada capa de pavimento

CAPA	PORCENTAJE DE TRAMO		
	50%	80%	100%
SUPERFICIE DE RODADURA	1,5	2,0	2,5
1a CAPA BAJO RODADURA	2,5	3,5	4,5
2a CAPA BAJO RODADURA	3,5	5,0	6,5

Fuente: ECUATEST (2014).

En Chile, se considera un valor del IRI entre 0 y 3 m/Km como un camino bueno, entre 3 y 4 como uno regular y para un IRI mayor que 4 m/K como un camino malo. Mientras que en Honduras su clasificación es la siguiente: para $IRI < 3.5$ m/Km se considera el camino como bueno, entre 3.5 y 6 como regular y finalmente cuando el IRI es mayor que 6 m/Km indica que el camino es malo. (ECUATEST, 2014)

En los Estados Unidos, la Federal Highway Administración ha reportado que los rangos típicos del IRI evaluados en diferentes tramos de carreteras están entre 0.8 a 4.7 m/Km. Los tramos de pavimentos con valores menores de 2.4 m/Km son considerados como superficies en buen estado y confortables, mientras que los valores de 4.7 m/Km o más, son considerados como rugosos y no confortables. (ECUATEST, 2014)

También se cuenta con las nuevas especificaciones de Portugal, en donde se hace una diferenciación entre los umbrales de pavimentos de hormigón y de asfalto:

Tabla 4.4 Valores de IRI empleados en Portugal

TIPO DE PAVIMENTO	% de longitud con IRI (subtramo cada 100m)				
	50%	75%	80%	90%	100%
ASFALTO	1,5 m/km	---	2,5 m/km	3,0 m/km	---
HORMIGÓN	2,0 m/km	2,5 m/km	---	---	3,0 m/km

Fuente: ECUATEST (2014).

Si bien la regularidad del perfil en pavimentos con hormigón se ve afectada por las juntas entre losas, el empleo de equipo de última tecnología en la construcción, así como personal entrenado y experimentado, hoy en día permiten construir pavimentos de hormigón con regularidad comparable a la de pavimentos asfálticos de alta calidad. (ECUATEST, 2014)

Tablas 4.5 de comparación de Valores de IRI con diferentes normativas

<i>Zhud - Biblian</i>					<i>Mtop-001-F-2002</i>	
Tramo	Abscisa	Abscisa	Lado	IRI Promedio (m/Km)	Limite (m/Km)	CUMPLE
1	0+000	9+124	Derecho	4,36	2,5	NO
1	9+124	0+000	Izquierdo	4,87	2,5	NO
2	24+609	46+069	Derecho	3,74	2,5	NO
2	46+069	24+609	Izquierdo	4,52	2,5	NO
3	47+509	53+019	Derecho	4,74	2,5	NO
3	53+019	47+509	Izquierdo	4,76	2,5	NO

<i>Zhud - Biblian</i>					<i>Normativa de España</i>	
Tramo	Abscisa	Abscisa	Lado	IRI Promedio (m/Km)	Limite (m/Km)	CUMPLE
1	0+000	9+124	Derecho	4,36	2,5	NO
1	9+124	0+000	Izquierdo	4,87	2,5	NO
2	24+609	46+069	Derecho	3,74	2,5	NO
2	46+069	24+609	Izquierdo	4,52	2,5	NO
3	47+509	53+019	Derecho	4,74	2,5	NO
3	53+019	47+509	Izquierdo	4,76	2,5	NO

Fuente: ECUATEST (2014).

<i>Zhud - Biblian</i>					<i>Normativa de Chile</i>	
Tramo	Abscisa	Abscisa	Lado	IRI Promedio (m/Km)	Limite (m/Km)	CATEGORIA
1	0+000	9+124	Derecho	4,36	0 - 3 BUENO 3 - 4 REGULAR > 4 MALO	Malo
1	9+124	0+000	Izquierdo	4,87		Malo
2	24+609	46+069	Derecho	3,74		Regular
2	46+069	24+609	Izquierdo	4,52		Malo
3	47+509	53+019	Derecho	4,74		Malo
3	53+019	47+509	Izquierdo	4,76		Malo

<i>Zhud - Biblian</i>					<i>Normativa de Honduras</i>	
Tramo	Abscisa	Abscisa	Lado	IRI Promedio (m/Km)	Limite (m/Km)	CATEGORIA
1	0+000	9+124	Derecho	4,36	< 3.5 BUENO 3.5 - 6 REGULAR > 6 MALO	Regular
1	9+124	0+000	Izquierdo	4,87		Regular
2	24+609	46+069	Derecho	3,74		Regular
2	46+069	24+609	Izquierdo	4,52		Regular
3	47+509	53+019	Derecho	4,74		Regular
3	53+019	47+509	Izquierdo	4,76		Regular

Fuente: ECUATEST (2014).

<i>Zhud - Biblian</i>					<i>Normativa de Uruguay</i>	
Tramo	Abscisa	Abscisa	Lado	IRI Promedio (m/Km)	Limite (m/Km)	CATEGORIA
1	0+000	9+124	Derecho	4,36	< 2.8 MUY BUENO 2.8 - 3.5 BUENO 3.6 - 4.3 REGULAR > 4.3 MALO	Malo
1	9+124	0+000	Izquierdo	4,87		Malo
2	24+609	46+069	Derecho	3,74		Regular
2	46+069	24+609	Izquierdo	4,52		Malo
3	47+509	53+019	Derecho	4,74		Malo
3	53+019	47+509	Izquierdo	4,76		Malo

<i>Zhud - Biblian</i>					<i>Normativa de EE. UU.</i>	
Tramo	Abscisa	Abscisa	Lado	IRI Promedio (m/Km)	Limite (m/Km)	CATEGORIA
1	0+000	9+124	Derecho	4,36	< 2.4 BUEN ESTADO Y CONFORTABLES > 4.7 RUGOSOS NO CONFORTABLES	Rugoso No Confortable
1	9+124	0+000	Izquierdo	4,87		Rugoso No Confortable
2	24+609	46+069	Derecho	3,74		Rugoso No Confortable
2	46+069	24+609	Izquierdo	4,52		Rugoso No Confortable
3	47+509	53+019	Derecho	4,74		Rugoso No Confortable
3	53+019	47+509	Izquierdo	4,76		Rugoso No Confortable

Fuente: ECUATEST (2014).

4.1.2 Macrotextura

Para (ECUATEST, 2014) la macrotextura se refiere a la textura como las desviaciones de la superficie del pavimento respecto a una superficie plana menor o igual a 0,5 metros, esta a su vez se subdivide en Microtextura, Macrotextura y Megatextura.

La microtextura se define como la irregularidad superficial de los componentes individuales de la superficie de la carretera. La microtextura se considera particularmente importante en la valoración de la resistencia al deslizamiento (fricción) de la superficie; un exceso de pulimento en los áridos disminuye la fricción en la superficie. Una forma indirecta de medir la microtextura es determinando el coeficiente de fricción o rozamiento.

La macrotextura incluye longitudes de ondas mayores, desde el tamaño del árido hasta la huella del neumático. Tiene relación con la parte vertical y lateral del drenaje y con los áridos de la capa superficial. La macrotextura influye en muchos aspectos del funcionamiento de la carretera. (ECUATEST, 2014)

La megatextura señala los aspectos de las características superficiales que se repiten con longitudes de ondas entre medio centímetro y medio metro. Los baches son un ejemplo de megatextura elevada. (ECUATEST, 2014)

Longitudes de onda mayores a 101,5 mm resultan indeseables al momento de evaluar, aunque hasta cierto límite aceptable; sin embargo, longitudes menores son necesarias para una adecuada interacción vehículo – carretera, entre microtexturas, macrotexturas y algunas megatexturas, vale señalar que la huella del neumático tiene una longitud de 102mm. Los defectos de regularidad superficial influyen en la resistencia y comodidad de la rodadura, estabilidad en marcha, cargas dinámicas, desgaste del vehículo y ruido durante el contacto neumático – pavimento. (ECUATEST, 2014)

El equipo empleado para la determinación de la Macrotextura fue un Perfilómetro laser de alta velocidad, que mide la profundidad media de perfil a partir del promedio de las profundidades medidas en las dos mitades de un segmento de 10 cm. Los datos de Macrotextura han sido capturados cada 10 m en cada carril (derecho e izquierdo) y el promedio se lo calculó cada 100 m carril.

Tabla 4.6 Resultados de Macrotextura

TRAMO	MACROTEXTURA CARRIL DERECHO (mm)	MACROTEXTURA CARRIL IZQUIERDO (mm)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	0.97	0.81

Fuente: ECUATEST (2014).

El ministerio de transporte y obras públicas para construcción de caminos y puentes MTOP -001-F- 2002, especifica un valor mínimo para la Macrotextura de 0.5mm, es evidente que en los ensayos realizados éstos cumplen en su totalidad. En la normativa española la profundidad de textura superficial en Pavimentos de Hormigón varía entre 0.60mm - 0.90mm; valores mayores a los indicados producen un desgaste mayor de los neumáticos. (ECUATEST, 2014)

4.1.3 Hidrodeslizamiento

El ensayo de Hidrodeslizamiento es un parámetro que está representado por el coeficiente de rozamiento que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento. El valor del coeficiente de rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de los neumáticos del vehículo) o de la meteorología (lluvia, nieve o hielo sobre la calzada, etc.). La demanda de rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la carretera. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento. (ECUATEST, 2014)

La fricción en carreteras es muy importante para la seguridad del tránsito, pero es difícil particularizar el efecto de una pobre (o baja) fricción como causa del riesgo de accidente. En condiciones de invierno, los caminos con características similares pueden tener diferentes valores de fricción; por otra parte, las carreteras con características diferentes pueden tener las mismas condiciones de fricción. En ambos casos, el conductor principalmente se adapta a las condiciones de clima y no a las condiciones de fricción. (ECUATEST, 2014)

Está comprobado que las necesidades de adherencia y de capacidad de evacuación de agua en los "huecos" del neumático y del pavimento se pueden asegurar razonablemente con pavimentos que tengan determinados valores de microtextura (fricción) y de macrotextura. Es decir, la microtextura influye en la fricción y la macrotextura en la capacidad de evacuar agua rápidamente, impidiendo o dificultando los fenómenos de hidroplaneo, lo que también ayuda a mejorar la fricción. (ECUATEST, 2014)

Para el Hidrodeslizamiento el equipo utilizado para su medición es un acelerómetro de precisión, además cabe recalcar que mediante su medición se precisó la utilización de un taquero de agua.

Los ensayos se realizaron cada 500 m intercalados a tres bolillos.

Tabla 4.7 Resultados de Hidrodeslizamiento

TRAMO	COEFICIENTE ROZAMIENTO CARRIL DERECHO	COEFICIENTE ROZAMIENTO CARRIL IZQUIERDO
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	0.81	0.76

Fuente: ECUATEST (2014).

Tabla 4.8 Cumplimiento Normativa MTOP-001-F-2002

			MTOP -001-F-2002		
Tramo	Desde	Hasta	SRV Promedio	Limite	Cumplimiento
3	47+509	53+019	0.79	> 0.5	SI

Fuente: ECUATEST (2014).

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas MTOP – 0001 – F – 2002, especifica un valor admisible mínimo de 0.5, los resultados arrojan cumplimiento en su totalidad.

El coeficiente de rozamiento longitudinal es un parámetro básico de seguridad vial que asegura una buena adherencia pavimento neumático.

Considerar un coeficiente de fricción para un pavimento nuevo entre 0.70 – 0.80.

4.1.4 Fisuración

Las Fisuración en la capa del pavimento refleja una mala actuación de dicha capa ante las cargas recibidas diariamente, existiendo así algunos factores que se destacan.

- El clima
- El tránsito
- Tipo de carpeta de rodadura, etc.

La aparición de fisuras es el primer aviso de una carretera con problemas, es indicio de tensiones que han sobrepasado los límites de la resistencia de la estructura del pavimento que inclusive puede comprometer a la estructura del pavimento llegando hasta la subrasante.

Cuando se realiza el diseño de un pavimento a determinados años, normalmente se magnifican las cargas de tránsito, para prever futuros desarrollos automotrices, pero debido a la mala regulación de pesos de los camiones, estas cargas generalmente son sobresaturadas por el parque automotriz, siendo este uno de los factores que produce aceleradamente la aparición de fisuras.

Las fisuras no representan necesariamente características de tramos largos de pavimento, sino manifestaciones de cambios locales de corto plazo en la superficie del pavimento.

La medición del nivel de fisuración de las losas se realizó mediante la toma de imágenes digitales de fisuración, utilizando un vehículo multifunción provisto de equipos de video que permiten la obtención de imágenes georeferenciadas y debidamente posicionadas en relación al abscisado de la vía. (ECUATEST, 2014).

Este equipo es calibrado mediante metodología estándar y aplicada dentro de los procedimientos de colección de información. A continuación, se detallan las fallas reportadas:

- Desportillamiento de Juntas
- Baches
- Levantamiento Localizado
- Parches

Las longitudes de daño son encontradas en sub-tramos de 400m² de Área, a lo largo de todo el proyecto, identificándolas en los 9 tipos de fallas descritos anteriormente, además de la severidad respectiva. (ECUATEST, 2014)

Tabla 4.9 Resultados de la Identificación de Fallas por calzada (Bajo, Media y Alta Severidad) en cada tramo.

Tramo	Desportillamiento de Juntas	Baches
Campo Alegre - Biblián	0.32%	0.01%

Fuente: ECUATEST (2014).

Tramo	Levantamiento Localizado	Parches
Campo Alegre – Biblián	0.00%	2.78%

Fuente: ECUATEST (2014).

Tramo	Grietas de Esquina	Grietas Longitudinales
Campo Alegre - Biblián	0.26%	19.41%

Fuente: ECUATEST (2014).

Tramo	Grietas Transversales	Descascaramiento
Campo Alegre - Biblián	0.66%	0.00%

Fuente: ECUATEST (2014).

4.2 Evaluación estructural

4.2.1 Espesores

El pavimento en estudio está conformado por varias capas, las mismas que son esenciales para una correcta evaluación del mismo.

Las pruebas se realizaron utilizando un equipo Radar de Penetración Terrestre, mejor conocido como GPR por sus siglas en inglés, provisto de un sistema electromagnético de alta frecuencia que determina límites de estratos, llegando así a determinar los espesores de cada capa.

Estos métodos de medición permiten obtener medidas de los diferentes estratos del subsuelo hasta profundidades entre 1.50 y 3.00m. (ECUATEST, 2014).

Tabla 4.10 Resultados de la Identificación de Espesores de Capas del Pavimento

Pefil Promedio - Determinación Espesores					
Todas las líneas En funcion del promedio					
Tramo:	CAMPO ALEGRE - BIBLIAN	Desde:	47509	Hasta:	53019
		Zona:	17 M	Zona:	17 M
		UTM:	733571 9704833	UTM:	734359 9700633
		Altura:	2956.514	Altura:	2674.066
		Espesor (cm)		Profundidad (cm)	
Capa		Promedio	Per 85	Promedio	Per 85
Pavimento Rígido		21.30	22.40	-21.30	-22.40
Granular		33.67	33.80	-83.76	-84.60

Fuente: ECUATEST (2014).

Este equipo es calibrado mediante metodología estándar y aplicada dentro de los procedimientos de colección de información.

4.3 Escaneo de barras de transferencias de carga

La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir las fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura de pavimento, mientras mejor sea la transferencia de las cargas, mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

Para una mejor efectividad en la transferencia de carga entre losas, se emplean pasadores (barras). Con el fin de conocer la alineación de las barras de transferencia de carga, se

procedió a realizar un escaneo del 10% de las losas relevadas con FWD, mediante electromagnetismo de alta frecuencia con un equipo especializado para este tipo de análisis.

Las losas fueron seleccionadas al azar dentro de las ensayadas en junta con el equipo FWD. El objetivo principal de este estudio es la determinación de pasadores de transferencias en las losas, posteriormente y mediante la utilización de los ensayos de FWD realizados en juntas, se comprobó la efectividad de la transferencia de carga. (ECUATEST, 2014)

Tabla 4.11 Resultados de escáner de barras de transferencia

Junta #	Abscisa	Lado	Estado de Junta	% Transferencia de Carga
7	48+603	LD	Solo se divisan los pasadores en un lado de la junta.	70
8	52+397	LD	12 pasadores con más de 1 cm de diferencia, 1 solo se divide en un lado de la junta.	66
18	50+101	LI	5 pasadores con más de 1 cm de diferencia.	71
19	52+099	LI	12 pasadores con más de 1 cm de diferencia, 1 se divide en un solo lado.	68

Tabla obtenida de ECUATEST (2014). Evaluación Estructural.

Los resultados arrojan dispersión tanto en la cantidad como en la alineación de los pasadores.

4.4 Transferencia de carga

En todo pavimento rígido, para entender la esencia de su funcionamiento, se debe conocer la forma como trabaja el concreto hidráulico, materia prima de este tipo de estructuras. Es bien sabido que el proceso de hidratación del cemento en la mezcla genera fisuras por retracción y simplemente en la obra el constructor induce dichas fisuras espaciadas a cierta

distancia constante, que se conocen como juntas transversales.

La eficiencia de la transferencia de carga se logra con un correcto diseño de las juntas y una mejor construcción del pavimento.

Existen básicamente tres formas para lograr una buena transferencia de cargas que son: la trabazón de agregados, la instalación de un sistema de transferencia de cargas y elevar el módulo de reacción de la subrasante colocando una base estabilizada.

Cada tipo de junta provee una capacidad diferente de transmitir las cargas entre las losas. Esta capacidad es la llamada eficiencia de la transferencia de carga. (ECUATEST, 2014).

En la gráfica se observa como ambos lados de la junta se deflectan de manera uniforme cuando existe un 100% de eficiencia.

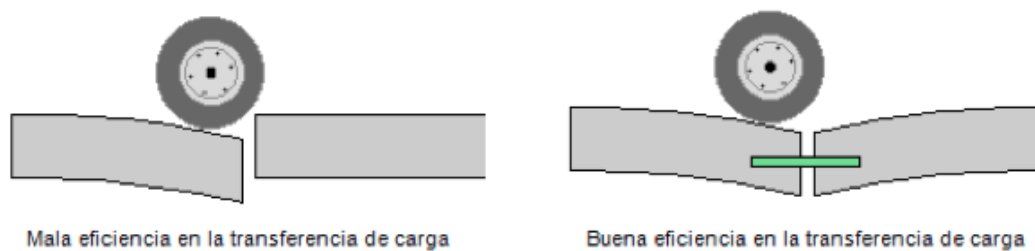


Figura 4.2 Eficiencia en la transferencia de carga

Fuente: ECUATEST (2014).

La eficiencia en la transferencia de carga en la junta basada en las deflexiones se representa mediante la siguiente ecuación:

$$LTE = \frac{D_{ul}}{D_l} * 100$$

Donde:

LTE es la eficiencia de la transferencia de carga en la junta,

D_{ul} es la deflexión a 15 cm de la junta en la losa no cargada y

D_l es la deflexión a 15 cm de la junta en la losa cargada.

Para determinar la eficacia en la transferencia de carga con nuestro equipo FWD, el plato de carga de diámetro 30 cm se colocó al borde de la junta a evaluar midiéndose la deflexión en la zona cargada (D_l) con el geófono 1 (D1), la deflexión en la zona no cargada (D_{ul}) es la correspondiente al geófono 3 (D3), existiendo una distancia asimétrica entre los geófonos y la junta de 15 cm. (ECUATEST, 2014).

Tabla 4.12 Calificación de Transferencia de Carga

CALIFICACIÓN	LTE (%)
Excelente	90 - 100
Bueno	75 - 89
Regular	50 - 74
Pobre	25 - 49
Muy pobre	0 - 24

Fuente: GUÍA AASHTO

La transferencia de carga es importante para la longevidad del pavimento. La mayoría de los problemas de comportamiento en los pavimentos de concreto son el resultado de un mal desempeño de las juntas. Destrucciones, tales como escalonamientos en juntas, erosión por bombeo y grietas de esquina se producen en las juntas con una mala transferencia de carga. Todos estos problemas empeoran cuando las deflexiones bajo las cargas en la zona de juntas son de gran magnitud.

Los pasadores o dovelas proporcionan una conexión mecánica entre las losas sin restringir el movimiento de la junta horizontalmente. También mantienen a las losas alineadas horizontal y verticalmente.

Cuando circulan vehículos pesados, los pasadores permiten una menor deflexión en la junta y menores esfuerzos en las losas, reduciendo el potencial de problemas en las juntas debido al aumento de la eficiencia en la transferencia de carga.

Cuando los pasadores no se utilizan, las juntas dependen únicamente de la trabazón de los agregados para la transferencia de carga. La trabazón del agregado es el entrecruzamiento mecánico que se produce entre sus caras fracturadas a lo largo de la grieta y por debajo de la junta cortada con sierra. (ECUATEST, 2014).

Tabla 4.13 Resultados promedio de Transferencia de Carga por carril y por tramo

TRAMO	CARRIL	LTE	CALIFICACION
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	DERECHO	68	REGULAR
	IZQUIERDO	72	REGULAR

Fuente: ECUATEST (2014).

Para vías de tránsito medio y pesado se recomienda que la eficiencia de la transferencia sea del 75% o más, es decir de bueno a excelente. Con el fin de disponer de un criterio adicional en la interpretación de resultados, se ha realizado un trabajo de identificación de fallas en las mediciones de deflexión. (ECUATEST, 2014)

Tabla 4.14 Determinación de Fallas en losas estudiadas con FWD

TRAMO 3 CAMPO ALEGRE - BIBLIAN 47+509 - 53+019 CARRIL DERECHO				
Abscisa	SITIO	LTE (%)	CALIFICACIÓN	TIPO DE FALLA
48+200	JUNTA	78	BUENO	no
48+603	JUNTA	70	REGULAR	no
49+001	JUNTA	61	REGULAR	GRIETA LONGIYUDINAL Y TRANSVERSAL

Fuente: ECUATEST (2014).

49+396	JUNTA	70	REGULAR	no
49+796	JUNTA	71	REGULAR	no
50+198	JUNTA	69	REGULAR	GRIETAS LONGITUDINALES
50+600	JUNTA	61	REGULAR	no
51+001	JUNTA	72	REGULAR	GRIETAS LONGITUDINALES
51+400	JUNTA	69	REGULAR	no
51+800	JUNTA	55	REGULAR	GRIETAS LONGITUDINALES
52+397	JUNTA	66	REGULAR	no
52+602	JUNTA	76	BUENO	GRIETAS LONGITUDINALES
52+800	JUNTA	57	REGULAR	no
53+200	JUNTA	77	BUENO	no
53+602	JUNTA	67	REGULAR	no

Fuente: ECUATEST (2014).

TRAMO 3 CAMPO ALEGRE - BIBLIAN 47+509 - 53+019 CARRIL IZQUIERDO				
Abscisa	SITIO	LTE (%)	CALIFICACIÓN	TIPO DE FALLA
48+481	JUNTA	75	BUENO	no
48+901	JUNTA	76	BUENO	no
49+302	JUNTA	74	REGULAR	no
49+701	JUNTA	79	BUENO	no
50+101	JUNTA	71	REGULAR	no
50+503	JUNTA	74	REGULAR	no
50+900	JUNTA	67	REGULAR	no
51+300	JUNTA	71	REGULAR	no
51+702	JUNTA	70	REGULAR	no
52+099	JUNTA	68	REGULAR	GRIETAS LONGITUDINALES
52+500	JUNTA	68	REGULAR	si
52+898	JUNTA	68	REGULAR	GRIETAS TRANSVERSALES
53+299	JUNTA	80	BUENO	si
53+700	JUNTA	72	REGULAR	no

Fuente: ECUATEST (2014).

4.5 Deflexiones

La deflexión es el valor del desplazamiento vertical en superficie del firme al aplicarle una carga normalizada de referencia; comprende los defectos de la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir de una o más de las capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de sollicitaciones que impone el tránsito y el conjunto de factores climáticos regionales. (ECUATEST, 2014).

Teniendo en cuenta que un pavimento es una estructura con cierta capacidad para absorber energía elástica potencial el trabajo de deformación impuesto por cada carga circulante durante su vida útil; retirada la carga, dicha energía es la determinante de la recuperación elástica o cuasi elástica de las deformaciones producidas, la que será tanto más completa cuanto menor relajación de la energía elástica se ha producido durante el tiempo que ha actuado la carga. La falla de la estructura se deriva de dos causas fundamentales:

- Si la capacidad mencionada es excedida más allá del valor que determinan las deformaciones recuperables por elasticidad instantánea y retardada, se desarrollan deformaciones permanentes en cada aplicación de las cargas y pueden provocar el colapso de la estructura.
- Si la capacidad mencionada no es excedida pero las deformaciones recuperables son elevadas, los materiales sufren el fenómeno denominado fatiga cuando el número de aplicaciones de las cargas pesadas es elevado, que se traduce en reducción de sus características mecánicas, dando inicio al proceso de fisuramiento.

El equipo de medición utilizado para las deflexiones es un FWD modelo PRIMAX 2100. El principio general de funcionamiento es la generación de un impulso de carga sobre el firme, el cual se consigue mediante el impacto provocado por la caída libre de una masa sobre un sistema de amortiguación instalado sobre una placa circular segmentado en cuatro partes de 30 cm de diámetro, que se apoya en la carretera. Una serie de sensores

llamados geófonos miden las deflexiones verticales máximas del firme bajo el centro de la placa de carga y en línea recta radialmente a distancias de 0, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 milímetros desde el centro del plato. (ECUATEST, 2014).

Las deflexiones son medidas en μmm , el valor máximo de la carga de impacto en KN, las temperaturas del aire, superficie y pavimentos en $^{\circ}\text{C}$. Los dispositivos de medida, como geófonos, celda de carga, odómetro, GPS, termómetros y procesos de cronometrización están debidamente controlados y calibrados.

Los ensayos se realizaron a tresbolillo cada 100 m calzada, en cada kilómetro carril se realizaron 10 pruebas, distribuidas para contrastar los valores de las deflexiones medidas en el centro y esquina de la losa, así como la transferencia de carga entre dos losas consecutivas.

La norma aplicada para la medición de las deflexiones, fue la norma española NLT-338/07 “Medida de Deflexiones en Firmes y Pavimentos con Deflectómetro de Impacto”, por lo cual la carga aplicada en los ensayos fue de 63,77 KN con una dispersión del orden de ± 5 KN, valor equivalente a una simulación de carga de 13 Ton. Posteriormente y con el fin de realizar los cálculos de acuerdo a lo establecido en la metodología AASHTO 93, se procedió con la correlación de las deflexiones a una carga de 40 KN, correspondiente a una simulación de 8.2 Ton.

En cada ensayo se realizaron tres golpes, el primero de ellos para ajuste del plato, el cual fue descartado para los procesos de cálculo pertinentes.

Se presentan resultados graficados y tabulados, que contienen los siguientes procesamiento:

- Registro de los valores obtenidos de las deflexiones en los 9 sensores.
- Corrección de datos por carga.
- Determinación e Identificación de Secciones Homogéneas mediante el método de la diferencia acumulada.
- Análisis de deflexión característica.
- Deflectogramas con deflexión Característica.

Tabla 4.15 Deflexión promedio en el Plato de Carga (D1) capturada en campo

TRAMO	SENTIDO	Centro (um)	Esquina (um)	Junta (um)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	DERECHO	116	107	103
	IZQUIERDO	111	119	102

Fuente: ECUATEST (2014).

Para la obtención de la deflexión característica se tramificó según los siguientes criterios de la Norma Española 6.3-IC “Rehabilitación de Firmes”:

“En un tramo homogéneo que tenga un comportamiento uniforme, sus deflexiones se distribuirán aleatoriamente alrededor de la media (m), siguiendo una distribución normal con una desviación típica muestral (s). La experiencia acumulada en España sobre el tratamiento de las deflexiones medidas con cualquiera de los equipos de auscultación indica que es frecuente encontrar, en este tipo de tramos, unos coeficientes de (s/m) comprendidos entre 0,20 y 0,30. En tramos muy uniformes se dan valores inferiores a éstos. Valores entre 0,30 y 0,40 indican menor uniformidad, pero se considera todavía aceptable. Si el coeficiente de variación de las deflexiones supera ampliamente el valor

de 0,40, no podrá considerarse que el tramo tenga un comportamiento uniforme.

Como consecuencia de todo lo expuesto, la tramificación deberá hacerse, entre otros, con los criterios siguientes:

1. En los tramos homogéneos de comportamiento uniforme, los valores de las deflexiones variarán aleatoriamente en torno al valor medio (m).
2. Del orden del 95% de los valores de las deflexiones de cada tramo estarán comprendidos dentro del intervalo cuyo extremo superior sea vez y media el valor medio de las deflexiones, y cuyo extremo inferior sea la mitad de dicho valor medio (es decir, entre 0,5 m y 1,5 m).
3. Se considerarán distintos los tramos con valores medios diferentes.
4. Dos tramos con los mismos valores medios, pero con diferentes amplitudes de variación de las deflexiones (o sea, diferentes), serán asimismo distintos.
5. El coeficiente de variación de las deflexiones será inferior a 0,40.
6. La longitud de los tramos estará, en general, comprendida entre 200 y 1.000 m, diferenciando en el caso de autopistas, autovías y carreteras de calzadas separadas ambas calzadas a los efectos de tramificación de las deflexiones y cálculo de la rehabilitación estructural.” (ECUATEST, 2014).

La lógica matemática utilizada para resolver la evaluación consta de recursos de procesamiento estadístico simples y relativamente complejos.

Utilizando la misma lógica matemática y los mismos algoritmos en los dos carriles de prueba, se obtienen los siguientes valores absolutos de deflexión recuperable de impacto, en el punto de aplicación de la carga D (1), corregida para carga estándar de 40 KN: (ECUATEST, 2014)

Tabla 4.16 Deflexión en el Plato de Carga (D1) Corregida a 40 KN en centro y esquina.

TRAMO	SENTIDO	SECCIÓN	Centro (um)	Esquina (um)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	DERECHO	48+399-53+773	76	71
	IZQUIERDO	48+302-53+500	74	80

Fuente: ECUATEST (2014).

Tabla 4.17 Deflexión en el Plato de Carga (D1) Corregida a 40 KN en junta.

TRAMO	SENTIDO	SECCIÓN	Junta (um)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	DERECHO	48+200-53+602	64
	IZQUIERDO	48+480-53+700	61

Fuente: ECUATEST (2014).

Secciones homogéneas por deflexión característica.

Tabla 4.18 No. Secciones Homogéneas por Deflexión Características

TRAMO	Nº SECCIONES LD DEFLEXION CARACTERÍSTICA	Nº SECCIONES LI DEFLEXION CARACTERÍSTICA
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN	3	5

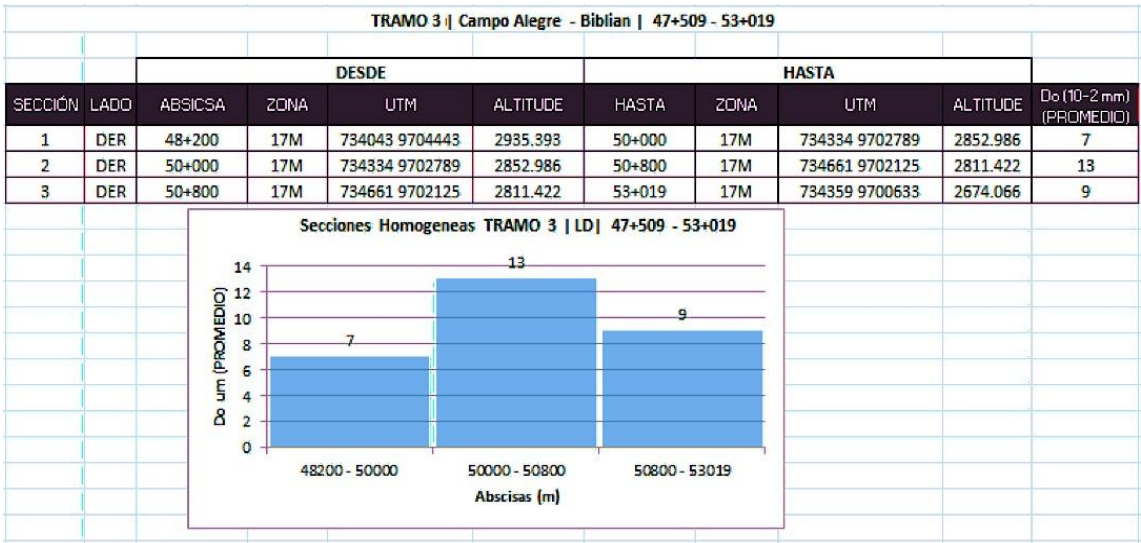
Fuente: ECUATEST (2014).

Tabla 4.19 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica por Tramo.

TRAMO III	
48+200 – 50+000	48+300 – 50+299
50+000 – 50+800	50+299 – 51+097
50+800 – 53+777	51+097 – 51+299
	51+299 – 52+298
	52+298 – 53+700

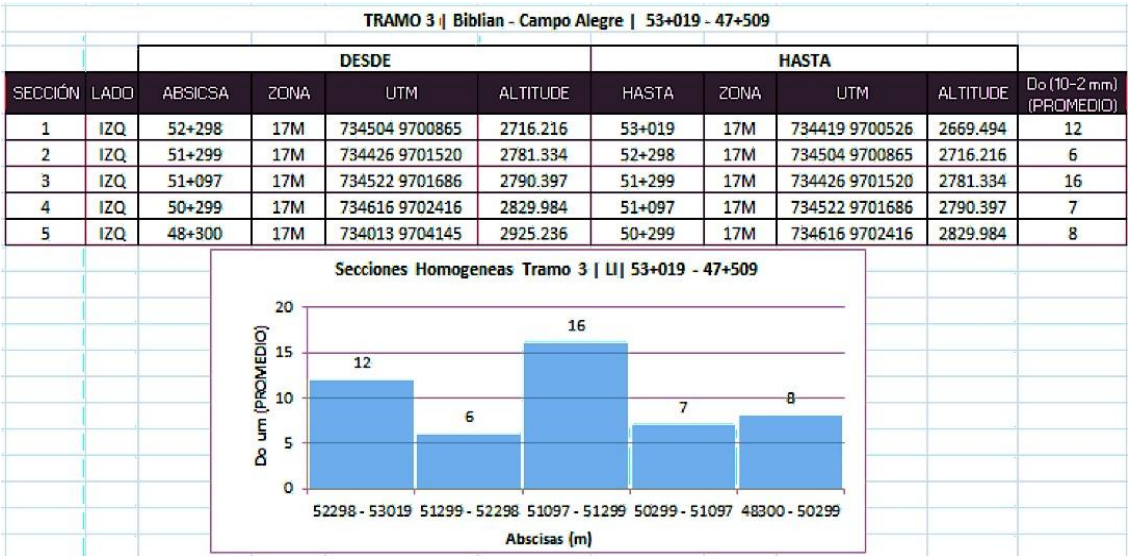
Fuente: ECUATEST (2014).

Tabla 4.20 Identificación de las secciones homogéneas por el método de deflexión característica Lado Derecho:



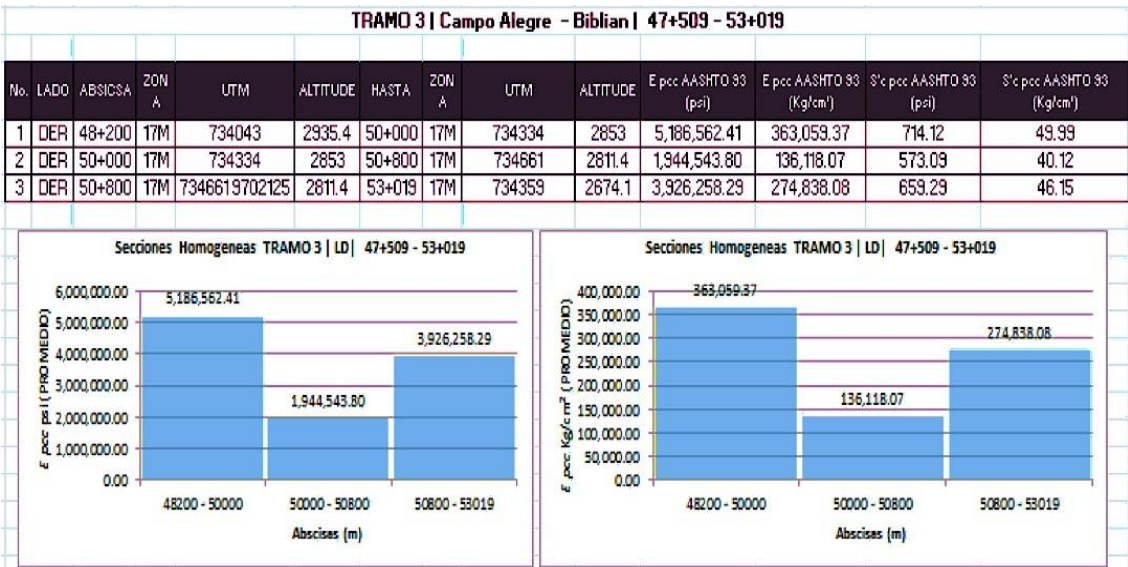
Fuente: ECUATEST (2014).

Tabla 4.21 Identificación de las secciones homogéneas por el método de deflexión característica Lado Izquierdo:



Fuente: ECUATEST (2014).

Tabla 4.22 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica, Módulo de Elasticidad y Módulo Rotura del Concreto Lado Derecho:



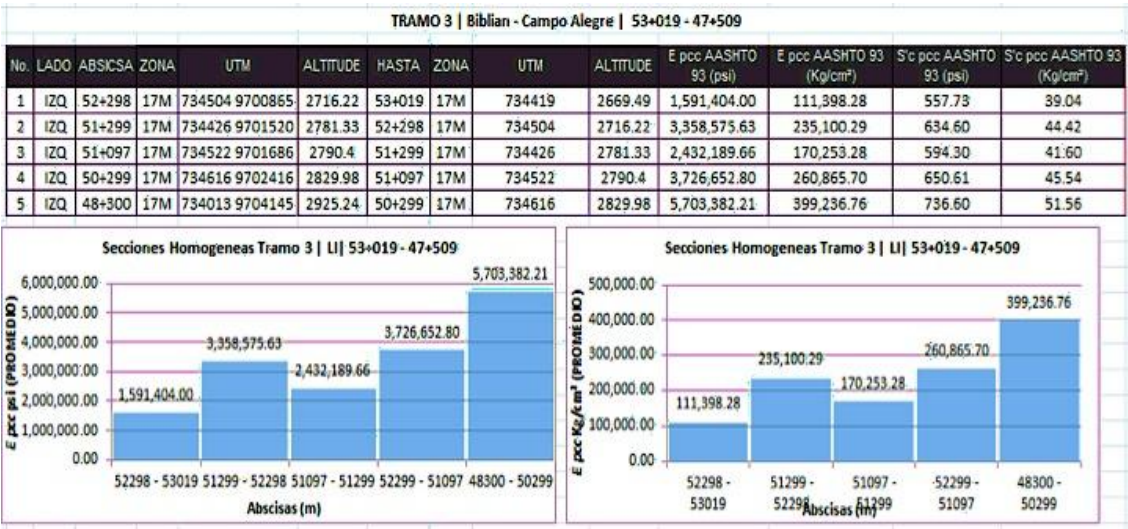


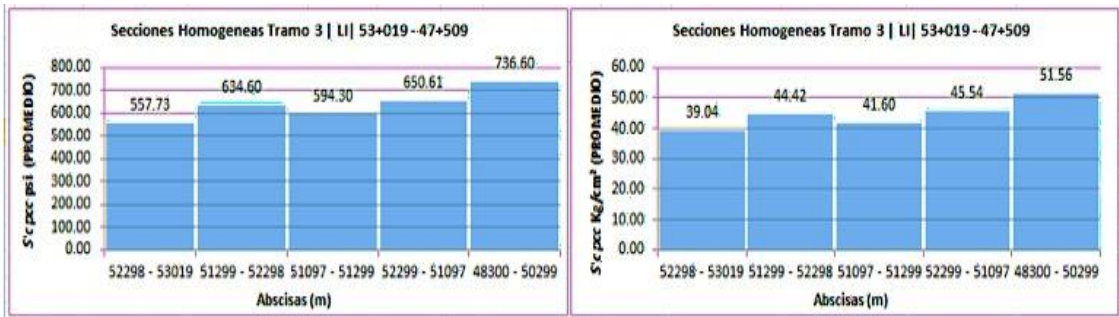
Fuente: ECUATEST (2014).

E_{pcc} = Módulo Elástico AASHTO 93.

$S'c_{pcc}$ = Módulo de Rotura del Pavimento.

Tabla 4.23 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica, Módulo de Elasticidad y Módulo Rotura del Concreto Lado Izquierdo:





Fuente: ECUATEST (2014).

Epcc = Módulo Elástico AASHTO 93.

S'cpcc = Módulo de Rotura del Pavimento.

Tabla 4.24 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica, Módulo De Reacción Del Soporte K Y Módulos Elásticos De Las Capas Del Pavimento Lado Derecho:

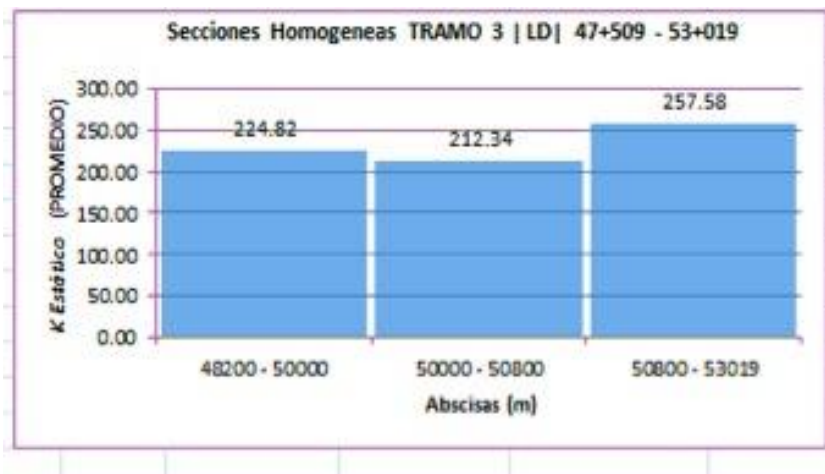
No.	LADO	ABSICS A	ZONA	UTM	ALTITUDE	HASTA	ZONA	UTM	ALTITUDE	Modulo Hormigón (PSI)	Módulo Capa Soporte (PSI)
1	DER	48+200	17M	734043 9704443	2935.393	50+000	17M	734334 9702789	2852.986	3,815,266.44	637,171.01
2	DER	50+000	17M	734334 9702789	2852.986	50+800	17M	734661 9702125	2811.422	3,621,749.00	657,448.08
3	DER	50+800	17M	734661 9702125	2811.422	53+019	17M	734359 9700633	2674.066	3,528,786.00	675,372.83

No.	LADO	ABSICS A	ZONA	UTM	ALTITUDE	HASTA	ZONA	UTM	ALTITUDE	KESTATICO (psi)
1	DER	48+200	17M	734043 9704443	2935.393	50+000	17M	734334 9702789	2852.986	224.82
2	DER	50+000	17M	734334 9702789	2852.986	50+800	17M	734661 9702125	2811.422	212.34
3	DER	50+800	17M	734661 9702125	2811.422	53+019	17M	734359 9700633	2674.066	257.58

Fuente: ECUATEST (2014).



Fuente: ECUATEST (2014).



Fuente: ECUATEST (2014).

K = Modulo de Reacción de Soporte K

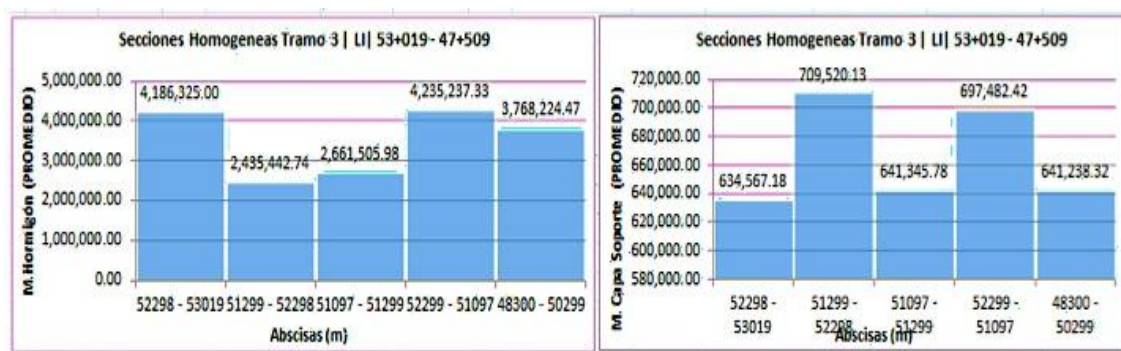
Tabla 4.25 Secciones Homogéneas por Deflexión Característica, Módulo De Reacción Del Soporte K Y Módulos Elásticos De Las Capas Del Pavimento Lado Izquierdo:

TRAMO 3 Biblian - Campo Alegre 53+019 - 47+509											
No.	LADO	ABSCISA	ZONA	UTM	ALTITUDE	HASTA	ZONA	UTM	ALTITUDE	Módulo Hormigón (PSI)	Módulo Capa Soporte (PSI)
1	IZQ	52+298	17M	734504	2716.22	53+019	17M	734419	2669.49	4,186,325.00	634,567.18
2	IZQ	51+299	17M	734426	2781.33	52+298	17M	734504	2716.22	2,435,442.74	709,520.13
3	IZQ	51+097	17M	734522	2790.4	51+299	17M	734426	2781.33	2,661,505.98	641,345.78
4	IZQ	50+299	17M	734616	2829.98	51+097	17M	734522	2790.4	4,235,237.33	697,482.42
5	IZQ	48+300	17M	734013	2925.24	50+299	17M	734616	2829.98	3,768,224.47	641,238.32

Fuente: ECUATEST (2014).

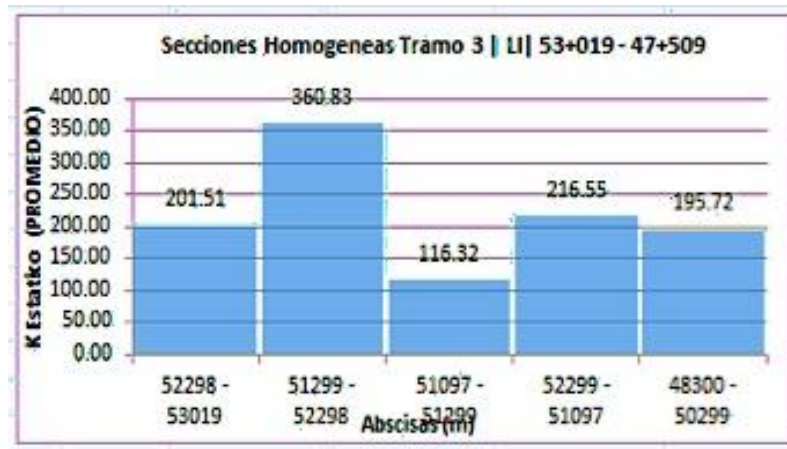
No.	LADO	ABSCISA	ZONA	UTM	ALTITUDE	HASTA	ZONA	UTM	ALTITUDE	K ESTÁTICO (psi)
1	IZQ	52+298	17M	734504	2716.22	53+019	17M	734419	2669.49	201.51
2	IZQ	51+299	17M	734426	2781.33	52+298	17M	734504	2716.22	360.83
3	IZQ	51+097	17M	734522	2790.4	51+299	17M	734426	2781.33	116.32
4	IZQ	50+299	17M	734616	2829.98	51+097	17M	734522	2790.4	216.55
5	IZQ	48+300	17M	734013	2925.24	50+299	17M	734616	2829.98	195.72

Fuente: ECUATEST (2014).



Fuente: ECUATEST (2014).

K = Modulo de Reacción de Soporte K



Fuente: ECUATEST (2014).

La evaluación de la capacidad estructural de un pavimento es posible mediante las mediciones de deflexión; a partir de dichas mediciones se obtienen las variables para el análisis y/o diseño de rehabilitación de la estructura de pavimento existente. (ECUATEST, 2014).

El análisis estructural de pavimentos puede realizarse ágilmente y con mayor confiabilidad mediante la utilización del equipo Deflectómetro de impacto FWD que permite aplicar una carga estandarizada sobre la estructura y determinar el cuenco completo de deflexiones. Mediante la evaluación de dicha información y con el empleo de metodologías AASHTO se pueden determinar las variables estructurales del pavimento existente como son:

- En pavimentos rígidos: módulo de reacción del soporte “K”, la eficiencia de la transferencia de carga entre juntas y el módulo de rotura del concreto en las losas.

Evidentemente, estos parámetros permiten realizar con seguridad análisis y diseños de

rehabilitación de pavimentos, bien sea empleando criterios de AASHTO u otras metodologías. (ECUATEST, 2014)

4.6 Módulo de reacción de soporte

Para la determinación del módulo de reacción del soporte de una losa de concreto a partir de la medición con Deflectómetro de impacto (FWD), se requiere conocer las deflexiones producidas por una carga estándar a las siguientes distancias a partir del punto de aplicación de la carga: 0, 12, 24 y 36 pulgadas (o sea: 0, 30, 60 y 90 cm). La carga estándar recomendada es de 40 KN. El procedimiento de cálculo es como sigue:

- Como primera medida, se calcula el parámetro AREA para el cuenco de deflexiones, a partir de la ecuación que se muestra. El parámetro AREA es un índice de la forma de dicho cuenco, que resulta de dividir el área de un corte de dicho cuenco (desde el punto de aplicación de carga hasta una distancia de 36 pulgadas o 90 cm) entre la deflexión máxima medida bajo la carga (d_0). Así el parámetro AREA es el lado mayor de un rectángulo donde el lado menor es d_0 :

$$AREA \text{ (pulg.)} = 6 * \left[1 + 2 \frac{d_{12}}{d_0} + 2 \frac{d_{24}}{d_0} + \frac{d_{36}}{d_0} \right]$$

Formula tomada de ECUATEST (2014). Evaluación Estructural.

Donde:

d_0 : Deflexión en el centro del plato de carga, en pulgadas

d_i : Deflexión a 12, 24 y 36 pulgadas a partir del centro del plato de carga, en pulgadas.

- A continuación, se debe determinar el radio de rigidez relativa (ℓ) asumiendo una losa de dimensiones infinitas, empleando la siguiente ecuación:

$$l_k \text{ (pulg)} = \left[\frac{\ln \left[\frac{36 - AREA}{1812,279133} \right]}{-2,559340} \right]^{4,387009}$$

Formula tomada de ECUATEST (2014). Evaluación Estructural.

- A partir del resultado anterior, se determina el módulo de reacción dinámico, asumiendo una losa de dimensiones infinitas:

$$k = \left(\frac{P}{8 d_o l_k^2} \right) \left(1 + \left(\frac{1}{2\pi} \right) * \left[\ln \left(\frac{a}{2l_k} \right) + \gamma - 1,25 \right] \left(\frac{a}{l_k} \right)^2 \right)$$

Formula tomada de ECUATEST (2014). Evaluación Estructural.

Donde:

P: Carga en libras

a: radio del plato de carga, pulgadas

γ: Constante de Euler, 0.57721566490

- Finalmente, se calcula el valor del K estático, dividiendo para 2, el valor del K dinámico hallado.

Tabla 4.26 Módulos de Reacción del Soporte “K”

	K ESTATICO C. DERECHO (PSI)	K ESTATICO C. IZQUIERDO (PSI)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	240.60	218.27

Fuente: ECUATEST (2014).

Valor promedio de Área determinado en cada tramo.

Tabla 4.27 Valores de Área por Tramo y Sentido.

	SENTIDO	Área (mm)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	DERECHO	728
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	IZQUIERDO	733

Fuente: ECUATEST (2014).

El rango de Área para Pavimento de Hormigón es de 610 a 840 mm, si bien en promedio se cumple este parámetro, existen casos puntuales en el carril izquierdo, en donde el valor del área es menor al rango aceptable.

Para el caso de pavimentos rígidos no existe un estudio o norma que especifique umbrales para los valores de la Deflexión Máxima, los cuales de por sí solos no inducen ningún criterio sobre la capacidad estructural del pavimento.

4.7 ESAL'S

Para la determinación de los Ejes Equivalentes (Esal's), el MTOP proporcionó información del TPDA de dos estaciones ubicadas en el entorno del proyecto, así como las tasas de crecimiento anuales previstas para la zona, en el cálculo se empleó adicionalmente un conjunto de factores de cargas para pavimento rígido y la configuración de ejes normada por la Comunidad Andina para vehículos pesados.

De la información proporcionada se optó por la estación con generación de mayor cantidad de vehículos pesados, aquellas que generan un mayor factor de daño sobre el pavimento. A continuación, se resumen los TPDA utilizados, con la respectiva tasa de crecimiento. (ECUATEST, 2014)

Tabla 4.28 Resumen de los TPDA utilizados

TPDA₂₀₁₂	4503			Estación E2: Chunchuín Garaje			
	L	B	C2E	C3E	C5E	C6E	TOTAL
Dos Sentidos	2792	378	847	126	94	266	4503

TASAS DE CRECIMIENTO-CAÑAR			
PERIODO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
2010 - 2015	4,42	1,68	2,72

Fuente: ECUATEST (2014).

Los números de ejes equivalentes de 8.2 Ton a 10 años de estudio del proyecto, es de 16'752 535. Se emplearon los datos de espesores para los tres tramos de estudio totalmente determinados, extrapolando estos espesores a la totalidad de los tramos. (ECUATEST, 2014).

Tabla 4.29 Módulos Elásticos de las capas del Pavimento

	Modulo Hormigón (PSI)	Modulo Capa Soporte (PSI)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	3.642.657	659.430

Fuente: ECUATEST (2014).

A manera de comprobación se ha efectuado el cálculo del módulo de rigidez del

hormigón, así como otros parámetros necesarios para el diseño de pavimentos en hormigón. Para su obtención se realizó el procedimiento indicado en el Numeral 5.6 de la Parte III de la guía de diseño AASHTO 93 páginas III 117 a III 121. Las ecuaciones correspondientes aparecen desarrolladas en el Apéndice L de dicha normativa, Numeral L 4.2, páginas L 13 y L 14.

Empleando la fórmula del radio de rigidez relativa (ℓ) en pulgadas, y conociendo además de este valor el módulo de soporte (K) en pci, el espesor de losa (D) en pulgadas y asumiendo un coeficiente de Poisson (μ) para el concreto de 0.15, se puede despejar el valor del módulo elástico EPCC en psi. (ECUATEST, 2014)

$$\ell = \left[\frac{Epcc D^3}{12 (1 - \mu^2) K} \right]^{\frac{1}{4}}$$

El cálculo del módulo de rotura ($S'c$) se puede realizar a partir de la expresión:

$$S'c \text{ (psi)} = 43.5 \left(\frac{Epcc \text{ (psi)}}{1000000} \right) + 488.5$$

Esta ecuación es la recomendada por AASHTO.

A continuación, se presentan los resultados del módulo elástico del pavimento y Módulo de rotura por tramos con sus promedios respectivos, determinados mediante la metodología AASHTO 93.

Tabla 4.30 Módulos Elásticos con AASHTO 93

	Epcc C. DERECHO (PSI)	Epcc C. IZQUIERDO (PSI)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	4.082.131	3.677.512

Fuente: ECUATEST (2014).

Tabla 4.31 Módulo de Rotura del Pavimento

	S'Pcc C. DERECHO (PSI)	S'Pcc C. IZQUIERDO (PSI)
CAMPO ALEGRE – BIBLIAN (47+509 – 53+019)	666.1	648.5

Fuente: ECUATEST (2014).

4.8 Resumen de resultados

Con la finalidad de tener una mejor interpretación de los resultados obtenidos del pavimento, a continuación, damos a conocer el resumen:

Tabla 4.32 Resumen de Parámetros Evaluados y Calculados

Tramo	Carril	IRI	TXT	SRV
Campo Alegre - Biblián	DER	4.74	0.97	0.81
	IZQ	4.76	0.81	0.76

Fuente: ECUATEST (2014).

Tramo	Carril	%FIS	H1	H2
Campo Alegre - Biblián	DER	17.39	21.30	33.67
	IZQ	34.60		

Fuente: ECUATEST (2014).

Tramo	Carril	D1 C (umm)	D1 D (umm)	D1 J (umm)	KE (PSI)
Campo Alegre - Biblián	DER	76	71	64	241
	IZQ	74	80	61	218

Fuente: ECUATEST (2014).

Tramo	Carril	MH (PSI)	E'Pcc (PSI)	S'Pcc	LTE
Campo Alegre - Biblián	DER	3.642.657	4.082.131	666.1	68
	IZQ	3.642.657	3.677.512	648.5	72

Fuente: ECUATEST (2014).

4.9 NOMENCLATURA:

IRI: INDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (m/Km)

TXT: MACROTEXTURA (mm)

SRV: COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

IFI: INDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL

% FIS: PORCENTAJE DE FISURACIÓN

H1: ESPESOR DE HORMIGÓN (cm)

H2: ESPESOR DE CAPA GRANULAR (cm)

D1 C: DEFLEXIÓN MÁXIMA EN CENTRO DE LOSA (umm)

D1 E: DEFLEXIÓN MÁXIMA EN ESQUINA DE LOSA (umm)

D1 J: DEFLEXIÓN MÁXIMA EN JUNTA DE LOSA (umm)

KE: MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (PSI)

MH: MÓDULO DEL HORMIGON CALCULADO CON RETROCALCULO

E_{pcc}: MÓDULO ELÁSTICO DEL HORMIGÓN CALCULADO CON AASHTO 93 (PSI)

S'P_{cc}: MÓDULO DE ROTURA DEL HORMIGÓN MEDIANTE AASHTO 93 (PSI)

LTE: EFICIENCIA DE LA TRANSFERENCIA DE CARGA EN JUNTA

4.10 Diseño de sobrecapa con refuerzo flexible sobre pavimento rígido

Calcular el espesor de refuerzo de concreto asfáltico para un pavimento conformado por una losa de concreto de hormigón armado (losas con juntas) de 210,30mm (8pulg. Aproximadamente), un espesor de base y sub-base granular de 336,7mm (13pulg). El pavimento presenta un porcentaje bajo de fisuración y escasez de grietas transversales y longitudinales, lo losa no ha sido fracturada y el pavimento está parcialmente deteriorado.

- Del análisis de tránsito se obtuvo un número de ejes equivalente ESALS de Diseño de: 16´ 752 535
- Módulo de Reacción de la Subrasante K estático:
Carril derecho= 240.60 PSI
Carril Izquierdo= 218.27 PSI
- La confiabilidad se determinó de acuerdo a las tablas de la AASHTO 93, tabla 3.4
R=85% Para rutas interestatales y autopistas en zona rural.

- Desviación Estándar según la guía AASHTO.
-

Tabla 4.33 Valores de la desviación Estándar

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S_0)	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”

$S_0 = 0.34$ Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito.

- Como propósitos de diseño según lo estudiado en las clases de Diseño de Pavimentos, la serviciabilidad inicial= 4.2 y serviciabilidad final= 2.5.
- El módulo de rotura del concreto S'_{Pcc} :
Carril derecho= 666.1 PSI
Carril Izquierdo= 648.5 PSI
- El coeficiente de transferencia de carga se escogió de acuerdo a tabla de la Guía AASHTO, tabla 3.8.
Carril Derecho LTE (promedio)= 68, nos da un coeficiente de carga de 3.5
Carril Izquierdo LTE (promedio)= 72 nos da un coeficiente de carga de 3.2
- Coeficiente de drenaje según la tabla del MTOP
Carpeta: 1.1 – 1.2
Base: 1 – 1.1
Sub-base: 1 – 1.1
Mejoramiento: 0.8 – 0.9
Para el diseño se escogió un coeficiente de drenaje de 1 a nivel de sub-base.
- Las fisuras serán reparadas por lo que el factor de ajuste por juntas y fisuras será igual a 1, según figura 3.15.

- El pavimento presenta fisuras de durabilidad sin Descascaramiento, según tabla de la Guía AASHTO; $F_{dur} = 0.96 - 0.99$; para el diseño se optó un valor de 0.98.
-

Tabla 4.34 Valores para F_{dur}

1.00	No hay problemas de durabilidad
0.96 – 0.99	Hay fisuras de durabilidad, pero sin descascaramiento
0.88 – 0.95	Fisuras importantes y algo de descascaramiento
0.80 – 0.88	Gran extensión de fisuras y descascaramiento severo

Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimento 1993”

- El porcentaje de juntas transversales punzonadas es menor, así según tabla de la Guía AASHTO; $F_{fat} = 0.97 - 1.00$; para el diseño se optó un valor de 0.99.

Tabla 4.35 Valores para F_{fat}

0,97 – 1,00	Pocas juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: > 5% de losas fisuradas C°A° con juntas: < 25% de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : < 4% de punzonados, por milla
0,94 – 0,96	Hay un número significativo de juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: 5-15 % de losas fisuradas C°A° con juntas: 25-75 % de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : 4-12 % de punzonados, por milla
0,90 – 0,93	Hay un número significativo de juntas transversales/punzonados (ninguna causada por problemas de durabilidad) C°S°: 5-15 % de losas fisuradas C°A° con juntas: 25-75 % de fisuras de trabajo, por milla C°A° continuo : 4-12 % de punzonados, por milla

Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimento 1993”

Con los datos obtenidos y mediante el programa “Ecuación AASHTO 93”, se obtuvo los siguientes resultados:

Espesor requerido lado derecho

Ecuación AASTHO 93

Tipo de Pavimento
☐ Pavimento flexible ☒ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 80 % Zr=-0.841 So 0.34

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.2 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante
 k 240.6 pci

Información adicional para pavimentos rígidos
 Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) 4082131
 Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) 666.1
 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 3.5
 Coeficiente de drenaje - [Cd] 1.2

Tipo de Análisis
☒ Calcular D **W18 =** 16752535
☐ Calcular W18

Espesor de losa (plg)
D = 9.7

Calcular Salir

Pantalla del programa Ecuación AASTHO 93 con los datos de entrada y resultado final.

- Se determina el espesor efectivo de la losa existente:

$$D_{ef} = F_{jc} \cdot F_{dur} \cdot F_{fat} \cdot D$$

Siendo:

D: espesor de la losa de concreto existente.

F: factores de ajuste antes mencionados.

- Se calcula la vida remanente del pavimento con la siguiente ecuación:

$$RL = 100 \left(1 - \frac{N_p}{N_{1.5}} \right)$$

N_p : Número de ESAL'S hasta la fecha.

N_{15} : Número de ESAL'S para llevar el pavimento a la rotura.

- Para determinar N_{15} se supone una serviciabilidad final $P_t=1.5$ y una confiabilidad $R=50\%$; dando como resultado un $N_{15}= 55'587\ 217$. Así RL:

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' window with the following data:

Tipo de Pavimento		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
☐ Pavimento flexible	☒ Pavimento rígido	50 % $Z_r=-0.000$	S_o 0.34
Serviciabilidad inicial y final		Módulo de reacción de la subrasante	
PSI inicial 4.2	PSI final 1.5	k	240.6 pci
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi)	4082131	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	3.5
Módulo de rotura del concreto - S_c (psi)	666.1	Coefficiente de drenaje - (Cd)	1.2
Tipo de Análisis		Ejes de 18 kips	
☐ Calcular D	D = 9.7	W18 = 55587217	
☒ Calcular W18			

Buttons: Calcular, Salir

Pantalla del programa Ecuación AASTHO 93 con los datos de entrada y resultado final.

- $RL = 69.85$;

Ahora de determina el factor de condición CF según la figura 3.16 de AASHTO de “Relación entre el factor de condición y la vida remanente”.

$CF=0.94$:

- El espesor efectivo sería igual a:

$Def = CF \cdot D$

$$Def = 0.94 * 8 = 7.52 \text{ pulgadas.}$$

- Espesor de la sobrecapa de refuerzo = 7.52 pulgadas.

Espesor requerido lado izquierdo

The screenshot shows the 'Ecuación AASTHO 93' window with the following data:

- Tipo de Pavimento:** ☒ Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 80 % $Z_r = -0.841$, $S_o = 0.34$
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.5
- Módulo de reacción de la subrasante:** $k = 218.27$ pci
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) = 3677512
 - Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) = 648.5
 - Coefficiente de transmisión de carga - (J) = 3.2
 - Coefficiente de drenaje - (C_d) = 1.2
- Tipo de Análisis:** ☒ Calcular D, $W_{18} = 16752535$
- Espesor de losa (plg):** $D = 9.4$

Buttons: Calcular, Salir

Pantalla del programa Ecuación AASTHO 93 con los datos de entrada y resultado final.

- Se determina el espesor efectivo de la losa existente:

$$Def = F_{jc} * F_{dur} * F_{fat} * D$$

Siendo:

D: espesor de la losa de concreto existente.

F: factores de ajuste antes mencionados.

- Se calcula la vida remanente del pavimento con la siguiente ecuación:

$$RL = 100 \left(1 - \frac{N_p}{N_{1.5}} \right)$$

N_p : Número de ESAL'S hasta la fecha.

$N_{1.5}$: Número de ESAL'S para llevar el pavimento a la rotura.

- Para determinar N_{15} se supone una serviciabilidad final $P_t=1.5$ y una confiabilidad $R=50\%$; dando como resultado un $N_{15}= 58' 069 771$. Así RL:

The screenshot shows the 'Ecuación AASTHO 93' software window. It contains several input fields and buttons. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento rígido' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '50 % Zr=-0.000' and 'So = 0.34'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 1.5'. The 'Módulo de reacción de la subrasante' section shows 'k = 218.27 pci'. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section shows 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) = 3677512', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) = 648.5', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J) = 3.2', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd) = 1.2'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular W18' selected, and the 'Ejes de 18 kips' section shows 'W18 = 58069771'. At the bottom are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Pantalla del programa Ecuación AASTHO 93 con los datos de entrada y resultado final.

- $RL = 71.15$;

Ahora de determina el factor de condición CF según la gráfica 3.16 de AASTHO de “Relación entre el factor de condición y la vida remanente”.

CF=0.95:

- El espesor efectivo sería igual a:

$$Def = CF * D$$

$$Def = 0.95 * 8 = 7.6 \text{ pulgadas.}$$

- Espesor de la sobrecapa de refuerzo = 7.6 pulgadas.

4.11 Diseño de sobrecapa con refuerzo flexible sobre pavimento flexible

Diseñar el espesor de refuerzo de concreto asfáltico, sobre un pavimento flexible con porcentaje de fisuración promedio del 17% y una capa granular de 284.6 mm (11pulg). Siguiendo el análisis del pavimento rígido en la evaluación funcional y estructural, el pavimento flexible arrojó los siguientes datos:

Tramo Zhud – El Juncal

Carril	IRI (m/km)	TXT (mm)	SRV
Derecho	4.36	1.03	0.76
Izquierdo	4.87	0.78	0.79

IRI: Índice de regularidad internacional.

TXT: Macrotextura

SRV: Coeficiente de rozamiento

H granular: Espesor de la capa granular

H carpeta asfáltica: Espesor de la carpeta asfáltica

MCS: Módulo de la capa de soporte involucra a la capa de asfalto y capa granular.

MSR: Módulo de la subrasante.

4.11.1 Macrotextura del pavimento flexible

La megatextura señala los aspectos de las características superficiales que se repiten con longitudes de ondas entre medio centímetro y medio metro. Los baches son un ejemplo de megatextura elevada.

En el pavimento estudiado se presentaron las siguientes fallas:

- Grietas de esquina.
- Grietas longitudinales.
- Grietas transversales.
- Descascaramiento.
- Baches.

Tabla 4.36 Fallas en el tramo Zhud – El Juncal

Tramo	Grietas de Esquina	Grietas Longitudinales
Zhud - El Juncal	1.83%	12.04%

Tramo	Grietas Transversales	Descascaramiento
Zhud - El Juncal	1.08%	0.66%

Fuente: ECUATEST (2014).

4.11.2 Espesores

La vía en estudio está conformada por varias capas, es necesario saber el espesor de las mismas para una correcta evaluación y posterior rehabilitación.

El equipo utilizado por ECUATEST para la obtención de resultados, fue un Radar de Penetración Terrestre GPR, el cual permite obtener estratos del subsuelo hasta profundidades entre 1.50 m y 3.00 m.

H granular (cm)	H carpeta asfáltica (cm)	MCS (PSI)	MSR (PSI)
28.46	28.20	631 341	9 955

4.11.3 Deflexiones

En el análisis de deflexiones para la obtención de la deflexión característica y del Módulo de la Subrasante en el tramo Zhud – El Juncal, los datos son los siguientes:

Para el lado derecho se hicieron 11 sub-tramos y en el lado izquierdo 5 sub-tramos.

Tabla 4.37 Deflexión Característica Promedio y Módulo de la Subrasante

Lado derecho

Subtramos	Abscisa	Deflexión característica promedio (10-2mm)	MSR (PSI)
1	0+006 - 1+202	13	11494.49
2	1+202 - 2+596	14	10421.89
3	2+596 - 2+802	37	10243.54

4	2+902 - 3+000	14	7348.93
5	3+000 - 3+198	26	5122.45
6	3+198 - 5+399	10	1010.99
7	5+399 - 5+801	18	11937.50
8	5+801 - 7+203	13	10596.21
9	7+203 - 8+003	48	5812.39
10	8+003 - 8+815	42	11267.83
11	8+815 - 9+105	44	6739.09

Fuente: ECUATEST (2014).

Lado Izquierdo

Subtramos	Abscisa	Deflexión característica promedio (10-2mm)	MSR (PSI)
1	0+298 - 2+502	26	10147.59
2	2+502 - 3+294	15	7883.28
3	3+294 - 7+100	12	10352.51
4	7+100 - 8+301	25	7311.80
5	8+301 - 9+100	11	11034.80

Fuente: ECUATEST (2014).

- Del análisis del número de ejes equivalente, ESAL'S de diseño: $W_{18} = 16'908$ 480.

Para el cálculo de las sobrecapas se hicieron promedios de los módulos de la subrasante, así, estos nos dieron dos espesores por carril:

- MSR Lado derecho No.1= 10853.2043 PSI
- MSR Lado derecho No.2= 6255.715 PSI
- MSR Lado izquierdo No.1= 10511.6333 PSI
- MSR Lado izquierdo No.2= 7597.54 PSI
- La confiabilidad $R = 75 - 95$ % en vías colectoras de zona rural; para el cálculo escogimos una confiabilidad $R = 85\%$, tabla 3.4
- Desviación Estándar $S_o = 0.44$
- Índice de serviciabilidad inicial y final:

$P_t = 4.5$

$P_E = 2.5$

- Ecuación para determinar el espesor de la carpeta: $SN = a * E * m$ (1)
“Dictada en clases de Diseño de Pavimentos por el Ing. Franklin Ordoñez.”

SN: Número estructural.

a: coeficiente estructural.

m: Coeficiente de drenaje.

E: Espesor de la carpeta asfáltica.

- a para carpeta según el Ministerio de transporte y obras públicas = 0.36 – 0.385, para el diseño de la sobrecapa se optó por $a = 0.385$

- m para carpeta según el Ministerio de transporte y obras públicas = 1.1 – 1.2. para el diseño de la sobrecapa se optó por m = 1.2

Determinación del número estructural con el programa “**Ecuación AASHTO 93**”, Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela

Espesor No. 1 lado derecho:

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The interface is divided into several sections for input and output:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu for '85 % Zr=-1.037' and a text box for 'So' with the value '0.44'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.5) and 'PSI final' (2.5).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '0853.2043 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'.
- W18 =** A text box containing the value '16908480'.
- Número Estructural:** A text box showing the result 'SN = 4.35'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

Pantalla del programa Ecuación AASTHO 93 con los datos de entrada y resultado final.

- Reemplazando SN en la ecuación (1), nos da el siguiente espesor:

$$4.35 = 0.385 * E * 1.2$$

E = 9.42 pulgadas. Se escogería un espesor de 10 pulgadas.

Espesor No. 2 lado derecho:

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' window with the following data:

Tipo de Pavimento		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
☒ Pavimento flexible	☐ Pavimento rígido	85 % Z _r =-1.037	So = 0.44

Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante
PSI inicial = 4.5	PSI final = 2.5	Mr = 6255.715 psi

Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - E _c (psi)		Coefficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - S _c (psi)		Coefficiente de drenaje - (Cd)	

Tipo de Análisis	Número Estructural
☒ Calcular SN	SN = 5.20
☐ Calcular W ₁₈	

Below the analysis type, the calculated values are shown:

W₁₈ = 16908480

Buttons: **Calcular** and **Salir**

Pantalla del programa Ecuación AASTHO 93 con los datos de entrada y resultado final.

- Reemplazando SN en la ecuación (1), nos da el siguiente espesor:

$$5.20 = 0.385 * E * 1.2$$

E = 11.26 pulgadas. Se escogería un espesor de 12 pulgadas.

Espesor No. 1 lado izquierdo:

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 85 % Zr=-1.037 So 0.44

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.5 PSI final 2.5

Módulo resiliente de la subrasante
 Mr 0511.6333 psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis
☒ Calcular SN **W18 =** 16908480 **Número Estructural**
☐ Calcular W18 **SN =** 4.40

Calcular Salir

Pantalla del programa Ecuación AASTHO 93 con los datos de entrada y resultado final.

- Reemplazando SN en la ecuación (1), nos da el siguiente espesor:

$$4.40 = 0.385 * E * 1.2$$

E = 9.524 pulgadas. Se escogería un espesor de 10 pulgadas.

Espesor No. 2 lado izquierdo:

The screenshot shows the 'Ecuación AASTHO 93' window with the following data:

Tipo de Pavimento		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)	
☒ Pavimento flexible	☐ Pavimento rígido	85 % Zr=-1.037	So = 0.44
Serviciabilidad inicial y final		Módulo resiliente de la subrasante	
PSI inicial = 4.5	PSI final = 2.5	Mr = 7597.54 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)		Coeficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)		Coeficiente de drenaje - (Cd)	
Tipo de Análisis		Número Estructural	
☒ Calcular SN	W18 = 16908480	SN =	4.89
☐ Calcular W18			

Buttons: Calcular, Salir

Pantalla del programa Ecuación AASTHO 93 con los datos de entrada y resultado final.

- Reemplazando SN en la ecuación (1), nos da el siguiente espesor:

$$4.80 = 0.385 * E * 1.2$$

$E = 10.58$ pulgadas. Se escogería un espesor de 11 pulgadas.

4.12 Análisis comparativo de precios unitarios

Determinar el presupuesto referencial de los trabajos a realizarse para la rehabilitación de pavimentos

Oferente:

Ubicación: Zhud - El Juncal y Campo Alegre - Biblian

Fecha: 22/04/2016

PRESUPUESTO						
Item	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P.Unitario	P.Total
001		Rehabilitación de vía Campo Alegre -Biblian				3.219.949,90
1.001		Limpieza de vías				85.375,00
1.001.001	502026	Limpieza manual de cunetas	ml	11.020,00	0,79	8.705,80
1.001.002	503035	Picado y limpieza sobre pavimento existente	m2	10.000,00	1,65	16.500,00
1.001.003	502003	Limpieza de vía	m2	71.630,00	0,84	60.169,20
1.002		Tendido de carpeta asfáltica				3.095.132,30
1.002.001	529004	Capa ligante para asfalto	m2	71.630,00	0,57	40.829,10
1.002.002	529019	Tendido de Carpeta Asfáltica e = 2"	m2	286.520,00	10,66	3.054.303,20
1.003		Demolición de estructura existente				7.705,00
1.003.001	503002	Demolición de losa de pavimento de hormigón	m3	250,00	26,66	6.665,00
1.003.002	506002	Cargado de material con cargadora	m3	325,00	1,76	572,00
1.003.003	500017	Transporte de materiales distancia hasta 6 km	m3-km	1.950,00	0,24	468,00
1.004		Pintura en vías				31.737,60
1.004.001	531005	Pintura para señalización de tráfico con equipo line lazer, franja	ml	22.040,00	1,44	31.737,60
2		Rehabilitación de vía Zhud - El Juncal				7.394.806,34
2.001		Limpieza de vías				143.405,15
2.001.001	502026	Limpieza manual de cunetas	ml	18.248,00	0,79	14.415,92
2.001.002	503035	Picado y limpieza sobre pavimento existente	m2	17.791,00	1,65	29.355,15
2.001.003	502003	Limpieza de vía	m2	118.612,00	0,84	99.634,08
2.002		Tendido de carpeta asfáltica				7.198.846,95
2.002.001	529004	Capa ligante para asfalto	m2	118.612,00	0,57	67.608,84
2.002.002	529019	Tendido de Carpeta Asfáltica e = 2"	m2	668.971,68	10,66	7.131.238,11
2.003		Pintura en vías				52.554,24
2.003.001	531005	Pintura para señalización de tráfico con equipo line lazer, franja	ml	36.496,00	1,44	52.554,24
SUBTOTAL						10.614.756,24
IVA						1.273.770,75
TOTAL						11.888.526,99

Son: ONCE MILLONES OCHOCIENTOS OCHENTA Y OCHO MIL QUINIENTOS VEINTE Y SEIS CON 99/100 DOLARES

Análisis de Precios Unitarios

25-mar-16

Item: 1.001.001
Código: 502026
Descrip.: Limpieza manual de cunetas
Unidad: ml

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
104003	Camioneta desde 2200 hasta 3500	Hora	1,0000	8,00	0,0083	0,07
112001	Herramientas varias	Hora	1,0000	0,80	0,0500	0,04
Subtotal de Equipo:						0,11
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		3,0000	3,26	0,0500	0,49
427003	CHOFER Para camioneta sin acoplados (Estr. Oc. C3)		1,0000	4,67	0,0083	0,04
404011	Maestro mayor en ejecución de obras civiles		1,0000	3,66	0,0083	0,03
Subtotal de Mano de Obra:						0,56
Costo Directo Total:						0,67
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,12
Precio Unitario Total						0,79

Análisis de Precios Unitarios

25-mar-16

Item: 1.001.002
Código: 503035
Descrip.: Picado y limpieza sobre pavimento existente
Unidad: m2

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	1,0000	0,80	0,0500	0,04
113004	Martillo hidráulico	Hora	1,0000	20,00	0,0500	1,00
Subtotal de Equipo:						1,04
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		1,0000	3,26	0,0500	0,16
403001	Albañil		1,0000	3,30	0,0500	0,17
405006	Técnico obras civiles		1,0000	3,48	0,0100	0,03
Subtotal de Mano de Obra:						0,36
Costo Directo Total:						1,40
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,25
Precio Unitario Total						1,65

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 1.001.003
Código: 502003
Descrip.: Limpieza de via
Unidad: m2

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	4,0000	0,80	0,0400	0,13
Subtotal de Equipo:						0,13
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		4,0000	3,26	0,0400	0,52
405006	Técnico obras civiles		1,0000	3,48	0,0160	0,06
Subtotal de Mano de Obra:						0,58
Costo Directo Total:						0,71
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,13
Precio Unitario Total						0,84

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 1.002.001
 Código: 529004
 Descripción: Capa ligante para asfalto
 Unidad: m2

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
102019	Tanquero distribuidor de asfalto	Hora	1,0000	30,00	0,0028	0,08
102020	Escoba mecánica	Hora	1,0000	10,00	0,0028	0,03
Subtotal de Equipo:						0,11
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
215001	Asfalto	gal	0,1500	1,58		0,24
228001	Diesel	gl	0,0700	1,03		0,07
Subtotal de Materiales:						0,31
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		4,0000	3,26	0,0028	0,04
424022	Operador de Distribuidor de asfalto		1,0000	3,48	0,0028	0,01
424017	Operador de barredora autopropulsada		1,0000	3,48	0,0028	0,01
Subtotal de Mano de Obra:						0,06
Costo Directo Total:						0,48
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,09
Precio Unitario Total						0,57

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 1.002.002
 Código: 529019
 Descripción: Tendido de Carpeta Asfáltica e = 2"
 Unidad: m2

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
102002	Minicargadora	Hora	1,0000	15,00	0,0175	0,26
102039	Rodillo Liso > 5 Ton	Hora	1,0000	20,00	0,0175	0,35
102008	Volqueta 8 m3	Hora	1,0000	20,00	0,0175	0,35
112001	Herramientas varias	Hora	1,0000	0,80	0,0175	0,01
Subtotal de Equipo:						0,97
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
215010	Hormigon Asfáltico	m3	0,0690	94,00		6,49
Subtotal de Materiales:						6,49
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
302005	Transporte de mezcla asfáltica	m3/km	0,0690	14,95	1,0000	1,03
Subtotal de Transporte:						1,03
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
424017	Operador de barredora autopropulsada		1,0000	3,48	0,0175	0,06
403002	Operador de equipo liviano		1,0000	3,30	0,0175	0,06
427011	Chofer volquetas (Estr. Oc. C1)		1,0000	4,79	0,0175	0,08
402015	Peón		6,0000	3,26	0,0175	0,34
405006	Técnico obras civiles		1,0000	3,48	0,0010	0,00
Subtotal de Mano de Obra:						0,54
Costo Directo Total:						9,03
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	1,63
Precio Unitario Total						10,66

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 1.003.001
Código: 503002
Descrip.: Demolición de losa de pavimento de hormigón
Unidad: m3

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	2,0000	0,80	0,6000	0,96
102030	Minicargadora con martillo hidráulico	Hora	1,0000	25,00	0,6000	15,00
Subtotal de Equipo:						15,96
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		2,0000	3,26	0,6000	3,91
424020	Operador de martillo punzón neumático		1,0000	3,48	0,6000	2,09
405006	Técnico obras civiles		1,0000	3,48	0,1800	0,63
Subtotal de Mano de Obra:						6,63
Costo Directo Total:						22,59
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	4,07
Precio Unitario Total						26,66

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 1.003.002
Código: 506002
Descrip.: Cargado de material con cargadora
Unidad: m3

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
102001	Cargadora	Hora	1,0000	23,00	0,0500	1,15
Subtotal de Equipo:						1,15
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		1,0000	3,26	0,0500	0,16
423010	Operador de cargadora frontal (Payloader sobre ruedas)		1,0000	3,66	0,0500	0,18
Subtotal de Mano de Obra:						0,34
Costo Directo Total:						1,49
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,27
Precio Unitario Total						1,76

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 1.003.003
Código: 500017
Descrip.: Transporte de materiales distancia hasta 6 km
Unidad: m3-km

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
102008	Volqueta 8 m3	Hora	1,0000	20,00	0,0080	0,16
Subtotal de Equipo:						0,16
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
427011	Chofer volquetas (Estr. Oc. C1)		1,0000	4,79	0,0080	0,04
Subtotal de Mano de Obra:						0,04
Costo Directo Total:						0,20
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,04
Precio Unitario Total						0,24

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 1.004.001
Código: 531005
Descripción: Pintura para señalización de tráfico con equipo line lazer, franja de 12.5cm
Unidad: ml

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	1,0000	0,80	0,0300	0,02
112010	Implementos de señalización provi	Hora	1,0000	0,30	0,0300	0,01
113002	Hidrolavadora	Hora	1,0000	0,80	0,0300	0,02
113003	Equipo de señalización vial- line la	Hora	1,0000	25,00	0,0030	0,08
Subtotal de Equipo:						0,13
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
270001	Pintura de tráfico (acrílica)	galon	0,0140	35,48		0,50
270003	Microesferas de sílice	kg	0,0430	5,70		0,25
270021	Disolvente para pintura de tráfico	galón	0,0020	15,00		0,03
2EA073	Agua	lt	2,0000	0,05		0,10
Subtotal de Materiales:						0,88
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		1,0000	3,26	0,0300	0,10
403003	Pintor		1,0000	3,30	0,0300	0,10
424013	Operador de tractor de ruedas (barredora, cegadora, rod		1,0000	3,48	0,0030	0,01
Subtotal de Mano de Obra:						0,21
Costo Directo Total:						1,22
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,22
Precio Unitario Total						1,44

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 2.001.001
Código: 502026
Descrip.: Limpieza manual de cunetas
Unidad: ml

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
104003	Camioneta desde 2200 hasta 3500	Hora	1,0000	8,00	0,0083	0,07
112001	Herramientas varias	Hora	1,0000	0,80	0,0500	0,04
Subtotal de Equipo:						0,11
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		3,0000	3,26	0,0500	0,49
427003	CHOFER Para camioneta sin acoplados (Estr. Oc. C3)		1,0000	4,67	0,0083	0,04
404011	Maestro mayor en ejecución de obras civiles		1,0000	3,66	0,0083	0,03
Subtotal de Mano de Obra:						0,56
Costo Directo Total:						0,67
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,12
Precio Unitario Total						0,79

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 2.001.002
Código: 503035
Descrip.: Picado y limpieza sobre pavimento existente
Unidad: m2

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	1,0000	0,80	0,0500	0,04
113004	Martillo hidráulico	Hora	1,0000	20,00	0,0500	1,00
Subtotal de Equipo:						1,04
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		1,0000	3,26	0,0500	0,16
403001	Albañil		1,0000	3,30	0,0500	0,17
405006	Técnico obras civiles		1,0000	3,48	0,0100	0,03
Subtotal de Mano de Obra:						0,36
Costo Directo Total:						1,40
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,25
Precio Unitario Total						1,65

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 2.001.003
Código: 502003
Descrip.: Limpieza de via
Unidad: m2

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	4,0000	0,80	0,0400	0,13
Subtotal de Equipo:						0,13
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
Subtotal de Materiales:						0,00
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		4,0000	3,26	0,0400	0,52
405006	Técnico obras civiles		1,0000	3,48	0,0160	0,06
Subtotal de Mano de Obra:						0,58
Costo Directo Total:						0,71
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,13
Precio Unitario Total						0,84

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 2.002.001
 Código: 529004
 Descripción: Capa ligante para asfalto
 Unidad: m2

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
102019	Tanquero distribuidor de asfalto	Hora	1,0000	30,00	0,0028	0,08
102020	Escoba mecánica	Hora	1,0000	10,00	0,0028	0,03
Subtotal de Equipo:						0,11
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
215001	Asfalto	gal	0,1500	1,58		0,24
228001	Diesel	gl	0,0700	1,03		0,07
Subtotal de Materiales:						0,31
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		4,0000	3,26	0,0028	0,04
424022	Operador de Distribuidor de asfalto		1,0000	3,48	0,0028	0,01
424017	Operador de barredora autopropulsada		1,0000	3,48	0,0028	0,01
Subtotal de Mano de Obra:						0,06
Costo Directo Total:						0,48
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,09
Precio Unitario Total						0,57

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 2.002.002
 Código: 529019
 Descripción: Tendido de Carpeta Asfáltica e = 2"
 Unidad: m2

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
102002	Minicargadora	Hora	1,0000	15,00	0,0175	0,26
102039	Rodillo Liso > 5 Ton	Hora	1,0000	20,00	0,0175	0,35
102008	Volqueta 8 m3	Hora	1,0000	20,00	0,0175	0,35
112001	Herramientas varias	Hora	1,0000	0,80	0,0175	0,01
Subtotal de Equipo:						0,97
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
215010	Hormigon Asfáltico	m3	0,0690	94,00		6,49
Subtotal de Materiales:						6,49
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
302005	Transporte de mezcla asfáltica	m3/km	0,0690	14,95	1,0000	1,03
Subtotal de Transporte:						1,03
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
424017	Operador de barredora autopropulsada		1,0000	3,48	0,0175	0,06
403002	Operador de equipo liviano		1,0000	3,30	0,0175	0,06
427011	Chofer volquetas (Estr. Oc. C1)		1,0000	4,79	0,0175	0,08
402015	Peón		6,0000	3,26	0,0175	0,34
405006	Técnico obras civiles		1,0000	3,48	0,0010	0,00
Subtotal de Mano de Obra:						0,54
Costo Directo Total:						9,03
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	1,63
Precio Unitario Total						10,66

Análisis de Precios Unitarios

28-mar-16

Item: 2.003.001
Código: 531005
Descripción: Pintura para señalización de tráfico con equipo line lazer, franja de 12.5cm
Unidad: ml

COSTOS DIRECTOS						
Equipo y herramienta						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Rendim.	Total
112001	Herramientas varias	Hora	1,0000	0,80	0,0300	0,02
112010	Implementos de señalización provi	Hora	1,0000	0,30	0,0300	0,01
113002	Hidrolavadora	Hora	1,0000	0,80	0,0300	0,02
113003	Equipo de señalización vial- line la	Hora	1,0000	25,00	0,0030	0,08
Subtotal de Equipo:						0,13
Materiales						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio		Total
270001	Pintura de tráfico (acrílica)	galon	0,0140	35,48		0,50
270003	Microesferas de sílice	kg	0,0430	5,70		0,25
270021	Disolvente para pintura de tráfico	galón	0,0020	15,00		0,03
2EA073	Agua	lt	2,0000	0,05		0,10
Subtotal de Materiales:						0,88
Transporte						
Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Distancia	Total
Subtotal de Transporte:						0,00
Mano de Obra						
Código	Descripción		Número	S.R.H.	Rendim.	Total
402015	Peón		1,0000	3,26	0,0300	0,10
403003	Pintor		1,0000	3,30	0,0300	0,10
424013	Operador de tractor de ruedas (barredora, cegadora, rod		1,0000	3,48	0,0030	0,01
Subtotal de Mano de Obra:						0,21
Costo Directo Total:						1,22
COSTOS INDIRECTOS						
					18 %	0,22
Precio Unitario Total						1,44

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Las vías en estudio fueron construidas en el año 2012, así el número de ejes equivalentes de diseño (ESAL'S) fueron calculados para 10 años, es decir, para el año 2022; año en el que se debería hacer la rehabilitación con el espesor calculado.

Tramo Campo Alegre – Biblián

- El deterioro de la vía esta evaluado por el IRI, nos dice que presenta un mayor desgaste en el carril izquierdo con respecto al carril derecho. Según tablas expuestas por el MTOP el promedio por tramo en la calzada, determina un índice superior a lo reglamentado, por lo que concluimos que en general el pavimento presenta una superficie Rugosa y no comfortable a los usuarios.
- Para la analizar el valor de la macrotextura el MTOP también nos presenta tablas de valores mínimos a cumplirse, pero notablemente el carril derecho presenta un coeficiente mayor a 90 mm, lo cual estimula a que los neumáticos se vean desgastados con mayor rapidez y por ende aumenten los costos de circulación a los usuarios.
- El coeficiente de Rozamiento cumple con la normativa del MTOP.
- Debido a la fisuración, que son aquellas roturas que se presentan sobre la superficie de la calzada, el porcentaje del mismo es alto para ser un pavimento con construcción reciente. Estas fisuras atraviesan el espesor de la losa la cual lo convierte en grieta. El análisis arroja un porcentaje de fisuración mayor en el carril izquierdo.

- Con respecto a la deflexión, el tramo no sobrepasa los micrómetros mínimos.
- Las deflexiones de centro son menores que las de juntas y estas a su vez menores que las de esquina.
- Los módulos elásticos del hormigón en general presentan valores aceptables, lo cual conduciría a suponer que la mezcla fue conformada por buenos materiales y con la dosificación adecuada.
- La eficiencia de la transferencia de carga en promedio es regular, siendo que solo el 25% de las juntas estudiadas, cumplen con la exigencia de buena a excelente.
- El pavimento de hormigón presente en la vía acusa de varias y distintas fallas funcionales y estructurales.

En general la transferencia de carga entre las losas está calificada como regular, la cual no es aconsejable para la correcta operación de la vía, esto produce mayores esfuerzos a soportar en las losas, al no haber un sistema efectivo de traspaso de carga.

Tramo Zhud – El Juncal

- Al igual que en el tramo Campo Alegre – Biblián la macrotextura es mayor a 90 mm lo cual estimula a que los neumáticos se vean desgastados con mayor rapidez y por ende aumenten los costos de circulación a los usuarios.
- Este tramo también presenta un alto porcentaje de fisuración, con calificación pobre y presencia de grietas longitudinales en algunos sub-tramos.
- En sub-tramos específicos, la vía presenta Módulos de la Subrasante bajos.
- En la selección de los módulos de la subrasante, para la determinación de los espesores de la sobrecapa, se hicieron promedios tomando en cuenta que en muchos sub-tramos el valor del módulo de la subrasante era similar; así el número de espesores calculados son dos por carril derecho y dos en el carril izquierdo.
- En la determinación de las sobrecapas de refuerzo flexible, los espesores calculados para el correcto funcionamiento del pavimento serían:

Tramo Campo Alegre – Biblián

Lado derecho: 8 pulgadas

Lado izquierdo: 8 pulgadas.

Tramo Zhud – El Juncal

Lado derecho:

Subtramos	Abscisa	MSR (PSI)	Espesor (pulgadas)
1	0+006 - 1+202	11494,49	12
2	1+202 - 2+596	10421,87	12
3	2+596 - 2+802	10243,54	12
4	2+902 - 3+000	7348,93	10
5	3+000 - 3+198	5122,45	10
6	3+198 - 5+399	10010,99	12
7	5+399 - 5+801	11937,50	12
8	5+801 - 7+203	10596,21	12
9	7+203 - 8+003	5812,39	10
10	8+003 - 8+815	11267,83	12
11	8+815 - 9+105	6739,09	10

Lado Izquierdo:

Subtramos	Abscisa	MSR (PSI)	Espesor (pulgadas)
1	0+298 - 2+502	10147,59	11
2	2+502 - 3+294	7883,28	10
3	3+294 - 7+100	10352,51	11
4	7+100 - 8+301	7311,80	10
5	8+301 - 9+100	11034,80	11

- Una vez determinado el Análisis de precios unitario (APU), nos da como resultados cerca de 12 millones de dólares rehabilitar 15 Km de vía, aproximadamente, lo cual claramente nos resulta más económico rehabilitar la vía, que destrozar o fracturar el pavimento para construir uno nuevo.

Recomendaciones:

- En el Ecuador existen pocos métodos de rehabilitación debido a la falta de tecnología adecuada. La presencia de equipos como el Perfilómetro Láser de alto rendimiento, Perfilómetro Pivotante, Rugosímetro, etc., harían que el estado de los pavimentos puedan ser controlados más a menudo, actualmente ECUATEST presenta algunos equipos aprobadas por normas internacionales como Radar de Penetración Terrestre, FWD, los cuales han hecho posible la evaluación de pavimentos mediante el IRI, Macrotextura, Deflexiones Características entre otros. Estos equipos reducirían los costos en todas las etapas previas a una rehabilitación, desde la evaluación estructural y funcional, hasta el diseño de la sobrecapa de refuerzo. No es descabellado pedir la inclusión de estos equipos a las entidades públicas, las cuales deben desarrollar un análisis previo en el mercado y en el que deben incluir capacitación especializada para un correcto manejo de los equipos.
- Para reducir el valor del IRI obtenido en los diferentes tramos, existe una técnica llamada “DIAMOND GRINDING”, este método consiste en cepillar las losas en sub-tramos de 200 metros, en cinco secciones consecutivas, efectuando un nivel de servicio de la vía confortable para el usuario.

Aclaratoria.

Yo Diego Esteban Mendieta Quito con el número de cedula 0105116651 mediante la presente otorgo el crédito merecido a los autores de las tesis: Morales, J. (2005). *Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo*. Perú: Repositorio digital Pirhua. (Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú), Monsalve, L., Giraldo, L., & Maya, J. (2012). *Diseño de pavimentos rígido y flexible*. Armenia: Universidad de Quindío, Farinango, D. (2014). *Análisis comparativo de costos entre el pavimento rígido y el pavimento flexible*. Quito: Universidad Central del Ecuador. De manera especial a ECUATEST, por medio del Ministerio de Transporte y Obras Públicas por haberme brindado el proyecto “Evaluación estructural Zhud-Biblián” en las cuales me guie para realizar mi trabajo de titulación como Ingeniero Civil con la Tesis “Aplicación de una metodología para rehabilitación de pavimentos mediante sobrecapas de refuerzo, utilizando AASTHO 93”.

BIBLIOGRAFÍA

- Construmática Servicios de Información Profesional, S. (23 de Febrero de 2009). *CONSTRUMATICA*. Obtenido de CONSTRUMATICA: http://www.construmatica.com/construpedia/Perfil%C3%B3metro_Pivotante
- Construmática Servicios de Información Profesional, S.L. (23 de Febrero de 2009). *Construmática Servicios de Información Profesional, S.L.*. Obtenido de Construmática Servicios de Información Profesional, S.L.: <http://www.construmatica.com/>
- Farinango, D. (2014). ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS ENTRE EL PAVIMENTO RÍGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE. Quito, Quito, Ecuador.
- Ing Vasquez, L. (2000). *AASHTO RIGIDOS COLOMBIA*. Colombia, Colombia.
- MONSALVE, L., GIRALDO, L., & MAYA, J. (2012). DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RIGIDO. Quindio , Armenia, Colombia.
- Montejo Fonseca, A. (1998). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogota, D.C: Agora, Editores.
- Morales, J. (5 de Enero de 2005). Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto. Piura, Piura, Perú.
- Morales, J. (2005). *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto*. Piura, Perú: Universidad de Piura.

- Morales, J. (2005). *Técnicas de Rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo*. Piura: Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura.
- Morales., J. P. (05 de Enero de 2005). TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO UTILIZANDO SOBRECAPAS DE REFUERZO. *TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO UTILIZANDO SOBRECAPAS DE REFUERZO*, 160. Piura, Peru.
- Olivares, J. P. (2005). TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO UTILIZANDO SOBRECAPAS DE REFUERZO. En J. P. Olivares, *TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO UTILIZANDO SOBRECAPAS DE REFUERZO* (pág. 38). Piura: Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura.
- Paredes, R. (2011). *La capa de rodadura y su influencia en la circulación vehicular de la Av. Tamihurco en la zona norte del canton Tena provincia del Napo*. Ambato.
- Vásquez, L. (26 de 05 de 2015). *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento de la AASHTO (1993)*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.