

**“DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO VÍA
POTRERILLO VEREDA PUENTE HAMACA – MUNICIPIO DE SORACÁ-
BOYACÁ”**

ADRIANA ALEJANDRA HIGUERA GUTIÉRREZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2016

**“DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO VÍA
POTRERILLO VEREDA PUENTE HAMACA – MUNICIPIO DE SORACÁ-
BOYACÁ”**

ADRIANA ALEJANDRA HIGUERA GUTIERREZ

PROYECTO DE GRADO

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial
Para optar el título de Ingeniera Civil.**

Director: ING. Miguel Ángel Toledo Castellanos.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE AQUINO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2016

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Tunja, 02 de Febrero de 2016

Tabla de Contenido

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
1. OBJETIVOS.....	9
1.1 OBJETIVO GENERAL	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
2. MARCO DE ANTECEDENTES.....	10
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	10
2.2 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	10
3. MARCO TEÓRICO	11
3.1 PAVIMENTO.....	11
3.1.2. Clasificación de los Pavimentos	11
3.1.2.1 Pavimento Flexible.....	11
3.1.2.2 Pavimento Rígido.....	12
3.1.2.3 Pavimento Semirrígido.....	12
3.1.2.4 Pavimento Articulado	12
3.1.3 Funciones de las capas de un pavimento Flexible	13
3.1.3.1 Sub-base	13
3.1.3.2 Base.....	13
3.1.3.3 Carpeta Asfáltica	13
3.1.4 Factores influyentes en el diseño de un pavimento	14
3.1.5 Estabilización o mejoramiento de un material.....	14
3.1.6 Cálculo del tránsito	14
3.1.7 Distribución direccional (Fd) y por carril de vehículos pesados	15
3.1.8. Proyección del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes en el período de diseño.	15
3.1.9 Resistencia de la subrasante	16
3.1.9.1Módulo de reacción de la subrasante (K)	16
3.1.9.2 Penetrómetro dinámico de cono	17
3.2 Elementos esenciales del concepto de métodos de diseño pavimento flexible	19

3.2.1 Diseño de pavimentos flexibles por el método AASTHO 1993	19
3.2.1.1 Tránsito.....	19
3.2.1.2 Nivel de Confianza R (%).....	20
3.2.1.3 Error normal combinado So	21
3.2.1.4 El nivel de Servicialidad.	21
3.2.1.5 Módulo resiliente de la subrasante.	22
3.2.1.6 Número estructural del pavimento SN.	22
3.2.1.7 Calidad de drenaje Cd.	23
3.2.1.8 Módulos dinámicos de las diferentes capas de la estructura de pavimento.	25
3.2.2 Diseño de pavimentos flexibles por el método del Instituto Nacional de Vías.	30
3.2.3 Diseño de pavimentos flexibles por el método Racional.	34
3.2.3.1 Tránsito de diseño.	34
3.2.3.2 Velocidad de operación y tiempo de aplicación de las cargas.....	34
3.2.3.3 Condiciones climáticas y regionales.	34
3.2.3.4 Caracterización de los materiales.	34
3.2.3.5 Modelación de la estructura.	40
3.2.4 Chequeo de la estructura de pavimento y análisis de resultados.....	40
3.2.4.1 Criterio de fatiga recomendado por la Shell.....	41
3.2.4.2 Criterio de ahuellamiento o deformación recomendado por la Shell...	42
3.3. Aspectos esenciales del concepto de estabilización o mejoramiento de un material.....	44
3.3.1 Estabilización granulométrica.....	45
4. DIAGNÓSTICO	46
4.1 DETERMINACIÓN DEL LUGAR Y TIEMPO	46
4.1.1 Localización	46
4.1.2 Características de la vía	47
4.1.3 Climatología.....	48
4.1.4 Precipitación	48

4.1.5 Velocidad del Viento	48
4.1.6 Brillo Solar	49
4.1.7 Geología	49
4.1.8 Geomorfología	50
4.2. METODOLOGÍA.....	52
4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS	53
4.3.1 Toma de datos.....	53
4.3.2 Análisis en oficina de la información tomada en campo	53
4.3.3 Resultados.....	53
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN	53
4.5 DESARROLLO DE LOS INSTRUMENTOS	54
4.5.1 Exploración geotécnica.....	54
4.5.2 Reconocimiento hidráulico de la vía	55
4.6 RESULTADOS	58
4.6.1. Fuentes de materiales	58
4.6.2 Resultados ensayos de laboratorio.....	59
4.6.3 Estudio de Tránsito.	60
4.6.4 Cálculos de Oficina.	68
4.6.4.1 Diseño del pavimento método AASHTO 1993.	70
4.6.4.2 Diseño del pavimento método Invias para medios y altos volúmenes de tránsito.	74
4.6.4.3 Cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones admisibles.	75
4.7 ANALISIS DE RESULTADOS	80
4.7.1 Estructura método AASTHO.....	80
4.7.2 Estructura método INVIAS.....	82
4.7.3 Evaluación de alternativas de diseño.....	84
5. CONCLUSIONES	87
6. RECOMENDACIONES.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90

INFOGRAFÍA.....91

ANEXOS.....92

Lista de Figuras

FIGURA N° 1	CORTE TÍPICO PAVIMENTO FLEXIBLE	11
FIGURA N° 2	CORTE TÍPICO PAVIMENTO RÍGIDO	12
FIGURA N° 3	CORTE TÍPICO PAVIMENTO ARTICULADO	12
FIGURA N° 4	NOMOGRAMA DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES	24
FIGURA N° 5	ESTIMACIÓN COEFICIENTE ESTRUCTURAL A_1	26
FIGURA N° 6	VARIACIÓN DEL COEFICIENTE ESTRUCTURAL A_2 PARA BASES TRATADAS CON ASFALTO PARA DIFERENTES PARÁMETROS DE RESISTENCIA.....	27
FIGURA N° 7	VARIACIÓN DEL COEFICIENTE ESTRUCTURAL A_2 CON DIFERENTES PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA BASE GRANULAR.....	28
FIGURA N° 8	VARIACIÓN DEL COEFICIENTE ESTRUCTURAL A_3 CON DIFERENTES PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA SUBBASE GRANULAR	29
FIGURA N° 9	CARTA RT	36
FIGURA N° 10	NOMOGRAMA DE VAN DER POEL	38
FIGURA N° 11	NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL MODULO DINÁMICO DEL ASFALTO	39
FIGURA N° 12	CHEQUEO MODELO ESTRUCTURAL	40
FIGURA N° 13	LOCALIZACIÓN GENERAL MUNICIPIO DE SORACÁ	46
FIGURA N° 14	LOCALIZACIÓN GENERAL TRAMO ESPECÍFICO.....	47
FIGURA N° 15	PR0+000 INICIO DE LA VÍA.....	51
FIGURA N° 16	PR3+700 FIN DE LA VÍA	52
FIGURA N° 17	NÚMERO DE HABITANTES POR VEREDA MUNICIPIO DE SORACÁ.	54
FIGURA N° 18	SECCIÓN TÍPICA CUNETA A CONSTRUIR	56
FIGURA N° 19	ESTADO ACTUAL DE LA VÍA PR2+400	57
FIGURA N° 20	ESTADO ACTUAL DE LA VÍA PR1+800	57
FIGURA N° 21	AFOROS.....	61
FIGURA N° 22	COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO VEHICULAR.....	64
FIGURA N° 23	CÁLCULO CBR.....	69
FIGURA N° 24	CÁLCULO SN	71
FIGURA N° 25	MODELO ESTRUCTURAL	73
FIGURA N° 26	RESULTADOS CEDAP 3.0 ERADM	76
FIGURA N° 27	RESULTADOS CEDAP 3.0 EZADM.....	77
FIGURA N° 28	RESULTADOS CEDAP 3.0 Σ ZADM	78
FIGURA N° 29	RESULTADOS CEDAP 3.0 Δ ADM	79
FIGURA N° 30	EVALUACIÓN DEPAV MÉTODO AASTHO	80
FIGURA N° 31	EVALUACIÓN DEPAV ESTRUCTURA MÉTODO INVIAS.....	82
FIGURA N° 32	MODELO ESTRUCTURAL DEFINITIVO.....	84
FIGURA N° 33	EVALUACIÓN DEPAV ESTRUCTURA FINAL	85

Lista de Tablas

TABLA N° 1	FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL.....	15
TABLA N° 2	CORRELACIONES ENTRE CBR Y EL ÍNDICE DE PENETRACIÓN DN	18
TABLA N° 3	FACTORES DE EQUIVALENCIA EMPLEADOS EN COLOMBIA	20
TABLA N° 4	FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL.....	20
TABLA N° 5	NIVELES DE CONFIABILIDAD	21
TABLA N° 6	ERROR NORMAL COMBINADO So	21
TABLA N° 7	SERVICIALIDAD INICIAL Pi.....	21
TABLA N° 8	SERVICIALIDAD FINAL Pf	22
TABLA N° 9	CALIDAD DEL DRENAJE	23
TABLA N° 10	VALORES DE <i>MI</i> RECOMENDADOS PARA CORREGIR LOS COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE LAS BASES Y SUBBASES GRANULARES	25
TABLA N° 11	ESPESTORES MÍNIMOS RECOMENDADOS POR LA AASTHO	26
TABLA N° 12	RANGOS CONTEMPLADOS EN LAS CARTAS DE DISEÑO	30
TABLA N° 13	RANGOS DE TRÁNSITO	31
TABLA N° 14	REGIONES CLIMÁTICAS	31
TABLA N° 15	ENTORNOS DE LAS RESISTENCIAS.....	32
TABLA N° 16	CONVENCIONES IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES	32
TABLA N° 17	VALORES DE COEFICIENTES DE POISSON	37
TABLA N° 18	COEFICIENTES DE CALAGE.....	41
TABLA N° 19	LOCALIZACIÓN OBRAS HIDRÁULICAS	55
TABLA N° 20	LOCALIZACIÓN APIQUES	56
TABLA N° 21	CARACTERÍSTICAS MATERIALES DE LA ZONA	58
TABLA N° 22	RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO	60
TABLA N° 23	FORMATO PARA EL REGISTRO DE LOS VOLÚMENES VEHICULARES.	62
TABLA N° 24	RESULTADOS TRÁNSITO EN LOS DOS SENTIDOS	63
TABLA N° 25	DETERMINACIÓN FACTOR CAMIÓN.....	66
TABLA N° 26	OBTENCIÓN CBR DISEÑO	69
TABLA N° 27	TABLA COMPARATIVA ESTRUCTURA AASTHO.....	81
TABLA N° 28	TABLA COMPARATIVA ESTRUCTURA INVIAS	83
TABLA N° 29	TABLA COMPARATIVA ESTRUCTURA FINAL	86

RESUMEN

Soracá es un municipio colombiano, ubicado en la provincia centro del Departamento de Boyacá. El territorio del municipio se halla sobre el altiplano Cundiboyacense y es conocido por los cultivos de clima frío como la papa y el ganado vacuno. Dista solamente 7 km de la ciudad de Tunja, capital del departamento y conecta además pueblos aledaños como Chivatá y Siachoque.

El tramo de estudio corresponde a la vía “Potrerillo Vereda Puente Hamaca”, la cual se encuentra a nivel de afirmado, lo que genera que en época de invierno las condiciones de movilidad disminuyan por presencia de deformaciones y deterioros sobre la misma, ocasionando que el intercambio social y comercial sea mínimo, ya que de hecho la comercialización de dichos productos se realizan en vehículos de carga pesada, utilizados para transportar los productos derivados de las cosechas agrícolas y ganaderas hacia su punto de distribución, aumentando la fuente de desarrollo de la región.

En el presente documento se muestra inicialmente el estudio y los aspectos que definen el diseño de la estructura del pavimento tales como el tránsito y la resistencia de la subrasante, además las variables y características específicas de la región como clima y ubicación, cada uno de los aspectos son primordiales en la definición de estructuras óptimas para la región garantizando funcionalidad, seguridad y durabilidad. Posteriormente se presentan los diferentes métodos de diseño a emplear para la propuesta de una estructura adecuada y que cumpla con las normas y especificaciones de diseño.

Mediante el estudio de los aspectos descritos anteriormente se realizó un análisis de las alternativas viables para el mejoramiento de la vía, presentando un diseño de pavimento flexible definitivo a construir en el sector de Potrerillo vereda Puente Hamaca mediante las metodologías de la AASHTO e INVIAS, contribuyendo así, con el desarrollo económico del departamento y el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de Soracá y sus aledaños.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo comprende la elaboración y análisis de alternativas de diseño de pavimento flexible en la vía Potrerillo vereda Puente Hamaca en el Municipio de Soracá, así como también una evaluación a cada una de las alternativas donde posteriormente siguiendo los parámetros de diseño establecidos, se escogió la más óptima para su posible implementación.

Este trabajo tiene como fin mejorar la movilidad de los habitantes de los municipios de Soracá y Chivatá, ya que por este corredor vial se realiza la comunicación directa de productos agropecuarios y ganaderos, sustento principal de dicha región. De igual manera se ayudaría a reducir los índices de daño en los automotores que transitan por esta vía mejorando el estilo de vida de cada uno de los habitantes.

El proyecto estuvo basado en datos obtenidos directamente en la zona, mediante la información de campo, pruebas de laboratorio, realización de aforos de tránsito vehicular, ubicación, identificación y verificación de obras de drenaje existentes en el tramo de análisis, y una evaluación geotécnica mediante sondeos para así determinar las características del suelo de la subrasante que nos lleva a dar una descripción del estado de los materiales que conforman la vía. El procesamiento de dicha información permitió definir aspectos relevantes para el diseño del pavimento como lo son: la capacidad portante del suelo, el tipo de suelo que conforma la subrasante, la plasticidad, el nivel freático y tránsito promedio diario.

Mediante el empleo de software para la realización de los cálculos se procedió a componer el planteamiento de las diferentes alternativas teniendo en cuenta los materiales existentes en la región y los métodos a emplear para mejorar las características de la subrasante.

En el desarrollo del trabajo se lograron los objetivos propuestos, dando como resultado la elaboración y el análisis de las alternativas de diseño de pavimento flexible de la Vía Potrerillo vereda Puente Hamaca del Municipio de Soracá, Departamento de Boyacá mediante la metodología de la AASTHO e INVIAS, entregando el diagnóstico de la vía, determinando la composición del tránsito y definiendo las obras de drenaje necesarias para el buen funcionamiento de la estructura de pavimento propuesto.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar y analizar alternativas de diseño de pavimento flexible de la Vía Potrerillo vereda Puente Hamaca del Municipio de Soracá, Departamento de Boyacá

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diagnóstico de la estructura de la vía existente y las características de los materiales que conforman la subrasante mediante la metodología del INVIAS, determinando además la composición del tránsito.
- Analizar los materiales de la zona y el cumplimiento de las especificaciones y normas vigentes en Colombia.
- Presentar y comparar los resultados obtenidos del estado de la vía y plantear alternativas de diseño por el método de la AASHTO y método INVIAS para la estructura del pavimento.
- Definir las obras de drenaje necesarias para el buen funcionamiento de la estructura de pavimento propuesto.

2. MARCO DE ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Para la presente investigación se tuvo en cuenta la información existente en los diferentes archivos del Departamento de Boyacá y los proyectos presentados por el Municipio acerca de las condiciones de la Vía Potrerillo¹.

Esta vía conecta la movilidad de vehículos y camiones de carga de las veredas Alto Negro, Chaine, Cruz Blanca, El Salitre, Faitoque, Otro Lado, Puente Hamaca, Quebrada Grande, Quebrada Vieja, Rominguirá, Rosal, y además conecta de forma directa el municipio de Soracá con el municipio de Chivata sin tener que desplazarse hasta la ciudad de Tunja,² lo que mejora la movilidad de vehículos y camiones de carga del área rural especialmente de la Vereda Puente Hamaca que requieren comunicación con la capital del Departamento, demás municipios aledaños y el interior del país para comercializar sus productos. Al mejorar las condiciones de transitabilidad de los vehículos que transportan ganado vacuno y especialmente Cebada, papa, maíz, trigo y haba se verá reflejado el beneficio en el precio final de los productos y en las condiciones de vida de los habitantes de la zona.

2.2 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Se tomó fundamentalmente el libro del Ingeniero Carlos Hernando Higuera Sandoval “Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras”, el cual fue de vital importancia en el desarrollo del proyecto.

¹ Cfr. Plan de Desarrollo Municipal. Alcaldía de Soracá 2012-2015.

² Cfr. Soporte EOT General Municipio de Soracá. 2014

3. MARCO TEÓRICO

3.1 PAVIMENTO

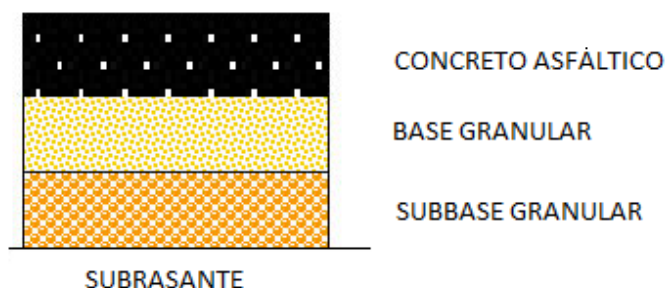
El pavimento es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados que se construyen técnicamente sobre la subrasante, y es capaz de resistir las cargas impuestas por el tránsito, la acción del medio ambiente, transmitir al suelo de apoyo esfuerzos y deformaciones tolerables y además proporcionar circulación a los vehículos con rapidez, comodidad, seguridad y economía³.

3.1.2. Clasificación de los Pavimentos

3.1.2.1 Pavimento Flexible

Formado por una capa bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase que transmiten esfuerzos al terreno de soporte mediante la disipación de tensiones que disminuyen con la profundidad.

FIGURA N° 1 Corte típico pavimento flexible



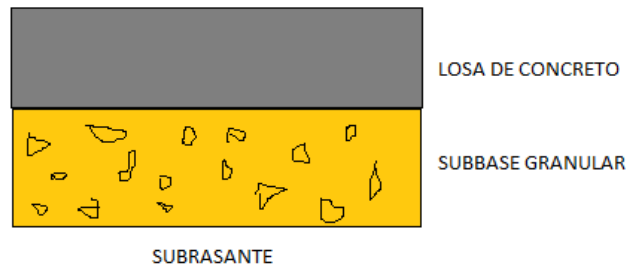
FUENTE: Autora

³Cfr. HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras volumen 1. Tunja: UPTC, 2009, p.4.

3.1.2.2 Pavimento Rígido

Constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o una capa de material seleccionado denominada subbase. Por la alta rigidez del concreto y su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de esfuerzos se produce en una zona muy amplia. La capacidad estructural depende de la resistencia de la losa, ejerciendo poca influencia la capa subyacente.

FIGURA N° 2 Corte típico pavimento rígido



FUENTE: Autora

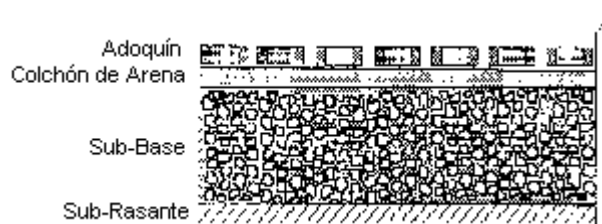
3.1.2.3 Pavimento Semirrígido

Es un pavimento flexible en el que una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con aditivos como asfalto, cemento, cal, químicos.

3.1.2.4 Pavimento Articulado

Pavimento formado por elementos prefabricados bloques o adoquines de pequeñas dimensiones sentados sobre una capa de arena, apoyada sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante.

FIGURA N° 3 Corte típico pavimento articulado



FUENTE: <http://www.trituradoselchocho.com.co/>

3.1.3 Funciones de las capas de un pavimento Flexible

3.1.3.1 Sub-base

Las funciones de esta va ligada con la economía, ya que reduce costos y ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base, impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad evitando que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante, dando como resultado una baja en la resistencia de la base, además transmite y distribuye las cargas a la subrasante.

3.1.3.2 Base

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre ella, porque la capacidad de carga del material friccionante es bajo en la superficie por falta de confinamiento, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base.

3.1.3.3 Carpeta Asfáltica

La Carpeta Asfáltica tiene como función proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, textura, color conveniente y resistir los efectos abrasivos del mismo, impedir el paso del agua al interior del pavimento y complementar la capacidad estructural del pavimento mediante su resistencia a la tensión⁴.

Respecto a la función de la sub-rasante, soporta las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad.

⁴Cfr. Ibid., p.4.

3.1.4 Factores influyentes en el diseño de un pavimento

Dichos factores a la hora de diseñar un pavimento se dividen en: Estructurales, que se refieren al terreno de fundación y al mismo pavimento. El tránsito, que depende del tipo de vehículo, peso del vehículo, clase de ejes, cargas por eje, presión y área de contacto de las llantas, velocidad de aplicación de la carga, impacto y numero de aplicaciones de carga.

El Clima y condiciones regionales, como las lluvias, temperatura, topografía e índices regionales como: Humedad, Presión atmosférica, etc. Los Costos en construcción y mantenimiento, y por último, Factores Intrínsecos, que se deben a la resistencia estructural, deformabilidad y durabilidad.

3.1.5 Estabilización o mejoramiento de un material

La estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico logrando así que se modifiquen las características de los suelos. Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad. Las tres formas de lograrlo son las físicas, químicas y mecánicas.

3.1.6 Cálculo del tránsito

Es necesario calcular el número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 Toneladas (N) que circulan por el carril de diseño en el periodo de diseño. Para las configuraciones típicas de los vehículos se consideran tres categorías: autos, buses y camiones, tomados de la tabla 3.1 del libro Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. INVIAS. 1998, p.14.⁵

⁵ Cfr. INVIAS. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Popayán 1998 p.14.

3.1.7 Distribución direccional (Fd) y por carril de vehículos pesados

Se puede adoptar una distribución de 50% en cada dirección, luego se corrige el número de vehículos comerciales en cada dirección por un factor de distribución de carril (Fca) en función del número de carriles en cada sentido. De acuerdo a la AASTHO se tiene:

TABLA N° 1 Factor de distribución por carril

Número de Carriles en cada Dirección	Factor de Distribución para el carril de diseño (Fca)
1	1.0
2	0.90
3	0.75

Fuente: Manual de diseño de Pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. INVIAS. 1998

3.1.8. Proyección del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes en el período de diseño.

Se tiene dos niveles para el cálculo del tránsito:

NIVEL 1

Cuando no se cuenta con series históricas, se debe calcular el número de ejes equivalentes acumulados en el periodo de diseño como expansión del número de ejes equivalentes en el año base, mediante fórmulas. Es necesario conocer el tránsito promedio diario, el porcentaje de vehículos comerciales y el factor de equivalencia de carga global para el año inicial y la definición de la tasa de crecimiento. Se puede emplear información de conteos de una semana y tendencias representativas de crecimiento. En donde no sea posible realizar conteos se hará encuestas de origen destino del área de influencia del proyecto. Referirse a las ecuaciones existentes en el libro Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. INVIAS. 1998, p.19.⁶.

⁶ Cfr. Ibid.,p.19.

NIVEL 2

Se dispone de datos históricos de tránsito. Se establece la serie histórica de los últimos 10 años. Se convierte el TPDS de cada año a ejes equivalentes acumulados para ese año, en el carril de diseño. Referirse a las ecuaciones existentes en el libro Manual de diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos Volúmenes de Tránsito. INVIAS. 1998, p.23.⁷

3.1.9 Resistencia de la subrasante

Las pruebas para determinar la resistencia de la subrasante son de dos métodos In situ y de laboratorio. Se encuentra en el cuadro 86 del Libro Higuera Sandoval, Carlos Hernando, Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras volumen 1. Tunja; UPTC, 2009, p.142⁸.

3.1.9.1 Módulo de reacción de la subrasante (K)

Relaciona la presión necesaria para producir una deformación dada, que se obtiene al someter al suelo a diferentes ciclos de carga y descarga, registrando la magnitud de las deformaciones.

$$K = \frac{\text{Presión aplicada sobre el terreno (P/A)}}{\text{Deformación } (\Delta)}$$

Ecuación 1

Dónde:

K=Módulo de Reacción de la Subrasante

A= Área de la placa

P= Carga Aplicada

Δ = Deformación

El valor de K se emplea para: Diseño de Pavimentos Rígidos y de suelo-cemento, diseño de cimentaciones y diseño de pavimentos para aeropuertos.

⁷ Cfr. INVIAS. Manual de diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos Volúmenes de Tránsito. Op.cit, p.23.

⁸ Cfr. HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras volumen 1. Op.cit, p.142.

Existen correlaciones empíricas entre K y el CBR

Para valores de CBR < 10%

$$K_{(Mpa/m)}=2.55+52.5\log(CBR) \text{ ó } K_{(Kg/cm^3)}=0.25+5.15\log(CBR)$$

Ecuación 2

Para valores de CBR >= 10%

$$K_{(Mpa/m)}=46+9.08[\log(CBR)]4.34 \text{ ó } K_{(Kg/cm^3)}=4.51+0.89[\log(CBR)]4.34$$

Ecuación 3

Dónde:

K=Módulo de Reacción de la Subrasante

CBR= Capacidad de Soporte de la Subrasante

La AASTHO 1993 da la siguiente correlación:

Para valores de CBR < 10%

$$K_{(Mpa/m)}=2.03Mr_{(Mpa)} \text{ ó } K_{(Lb/pul^3)}=\frac{Mr_{(Lb/pul^2)}}{19.4}$$

Ecuación 4

La PCA (Portland Cement Association) utiliza la figura 8.1 del libro de Montejo Fonseca, Alfonso, Ingeniería de pavimentos, Bogotá, Panamericana formas e impresos, s.a. 3 edición. 2008, p.419⁹

3.1.9.2 Penetrómetro dinámico de cono

Basado en el principio de desarrollar esfuerzos de corte en el suelo y medir la resistencia a la penetración. Se emplea para inspección preliminar de suelo, en construcciones y evaluación estructural de pavimentos existentes¹⁰.

⁹ Cfr. MONTEJO FONSECA, Alfonso., Bogotá. Op. cit. ,p 419

¹⁰ Cfr. HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras volumen 1. Op.cit, p.151.

Existen algunas correlaciones del Índice de Penetración DN (mm/golpe) y el CBR (%).

CBR de suelos Compactados en el Laboratorio y sobre muestra inalterada (INV E-148)

La Relación de Soporte de California CBR es una medida indirecta de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Existen varias maneras de determinar el CBR:

- CBR de laboratorio (**INV E-148**)
- CBR con muestra inalteradas
- CBR en Situ (**INV E-169**)

TABLA N° 2 Correlaciones entre CBR y el índice de Penetración DN

Autor	Modelo
Colombia-UPTC (suelos finos)	$CBR=30.52(DN)^{-0.62}$
Colombia-Bateman (suelos finos)	$CBR=37.9(DN)^{-0.69}$
Colombia-(suelos granulares)	$CBR=567(DN)^{-1.4}$
Kleyn y Van Heerden	$CBR=428.5(DN)^{-1.28}$
Overseas Road Note	$CBR=307(DN)^{-1.057}$
Ponce, Guzmán y Guzmán (Chile)	$CBR=777.2(DN)^{-1.46}$
Estados Unidos	$CBR=405.5(DN)^{-1.295}$
Israel	$CBR=288.4(DN)^{-1.120}$
Norma INVIAS INV. E-172	$CBR=292/((DN)^{1.12})$

Fuente: HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras volumen 1. Tunja; UPTC, 2009, P.151

3.2 Elementos esenciales del concepto de métodos de diseño pavimento flexible

3.2.1 Diseño de pavimentos flexibles por el método AASTHO 1993

$$\log W_{18} = (z_r)(S_o) + (9.36)(\log(SN + 1)) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta ISP}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (2.32)(\log M_r) - 8.07$$

Ecuación 5

Fuente: HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras volumen 21. Tunja; UPTC, 2009, p.79

Dónde:

W_{18} ($N_{8.2 \text{ Ton}}$) = Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Z_r =Desviación normal estándar.

S_o = Error normal combinado, de la previsión del tránsito y del comportamiento.

ΔIPS = Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial P_o y final P_t .

M_r = Módulo resiliente de la subrasante. Lb/pulg²

SN = Número estructural requerido para el tránsito futuro del pavimento.

Los parámetros de diseño que considera el Método AASTHO son:

3.2.1.1 Tránsito. El tránsito (número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño en el periodo de diseño).

TABLA N° 3 Factores de equivalencia empleados en Colombia

Tipo de Vehículo		Factor de Equivalencia
BUSES	Bus	0.4
	Bus Metropolitano	1.0
C2P	C2P	1.14
C2G	C2G	3.44
C3 Y C4 FE PONDERADO 3.74	C3	3.76
	C2S1	3.37
	C4	6.73
	C3S1	2.22
	C2S2	3.42
C5	C3S2	4.40
>C5	>C5	4.72

Fuente: Manual de diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos Volúmenes de Tránsito. INVIAS.1996

Los factores de distribución de flujo vehicular por carril de acuerdo a la AASTHO son:

TABLA N° 4 Factor de distribución por carril

Número de Carriles de Cada Dirección	% de Ejes equivalentes de 8.2 Ton en el Carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: AASTHO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p II-9

3.2.1.2 Nivel de Confianza R (%). Con este se calcula la desviación estándar Zr con que se desea diseñar el pavimento

TABLA N° 5 Niveles de confiabilidad

Tipo de Carretera	Nivel de Confiabilidad R (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0-99.9	80.0-99.0
Arterias principales	80.0-99.0	75.0-95.0
Colectoras	80.0-95.0	75.0-95.0
Locales	50.0-80.0	50.0-80.0

Fuente: AASTHO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p II-9

3.2.1.3 Error normal combinado S_o . Tiene en cuenta el error o desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales, la variación de las propiedades de la subrasante, la variación de la estimación del tránsito, la variación de las condiciones climáticas y la variación en la calidad de la construcción

TABLA N° 6 Error normal combinado S_o

Proyecto de Pavimento	Desviación estándar S_o	
	Flexible	Rígido
	0.40-0.50	0.30-0.40
Construcción Nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

Fuente: AASTHO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p I-62

3.2.1.4 El nivel de Servicialidad. Se parte de un valor inicial para pavimentos flexibles de $P_o=4.2$ y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento $P_t=2.2$

TABLA N° 7 Servicialidad inicial P_i

Tipo de Pavimento	Servicialidad Inicial P_i
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Fuente: AASTHO. Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p I-10

TABLA N° 8 Servicialidad final Pf

Tipo de Vía	Servicialidad Final Pf
Autopista	2.5-3.0
Carretera	2.0-2.5
Zonas Industriales	
Pavimento Urbano principal	1.5-2.0
Pavimento Urbano secundario	1.5-2.0

Fuente: AASTHO. Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p I-10

3.2.1.5 Módulo resiliente de la subrasante. Se obtiene mediante el retro cálculo utilizando las deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto, o con ensayos o correlaciones con el CBR para valores menores 10%

$$\begin{aligned}
 Mr_{(N/m^2)} &= 10^7 \text{ CBR} \quad \text{ó} \\
 Mr_{(Kg/cm^2)} &= 100 \text{ CBR} \quad \text{ó} \\
 Mr_{(Lb/pul^2)} &= 1500 \text{ CBR} \quad \text{ó} \\
 Mr_{(Mpa)} &= 10 \text{ CBR}
 \end{aligned}$$

Ecuación 6

3.2.1.6 Número estructural del pavimento SN. Es un número abstracto que representa la resistencia total del pavimento para unas determinadas condiciones de subrasante, tránsito, índice de servicio y condiciones ambientales.

El SN se calcula mediante un nomograma de diseño para pavimentos flexibles.

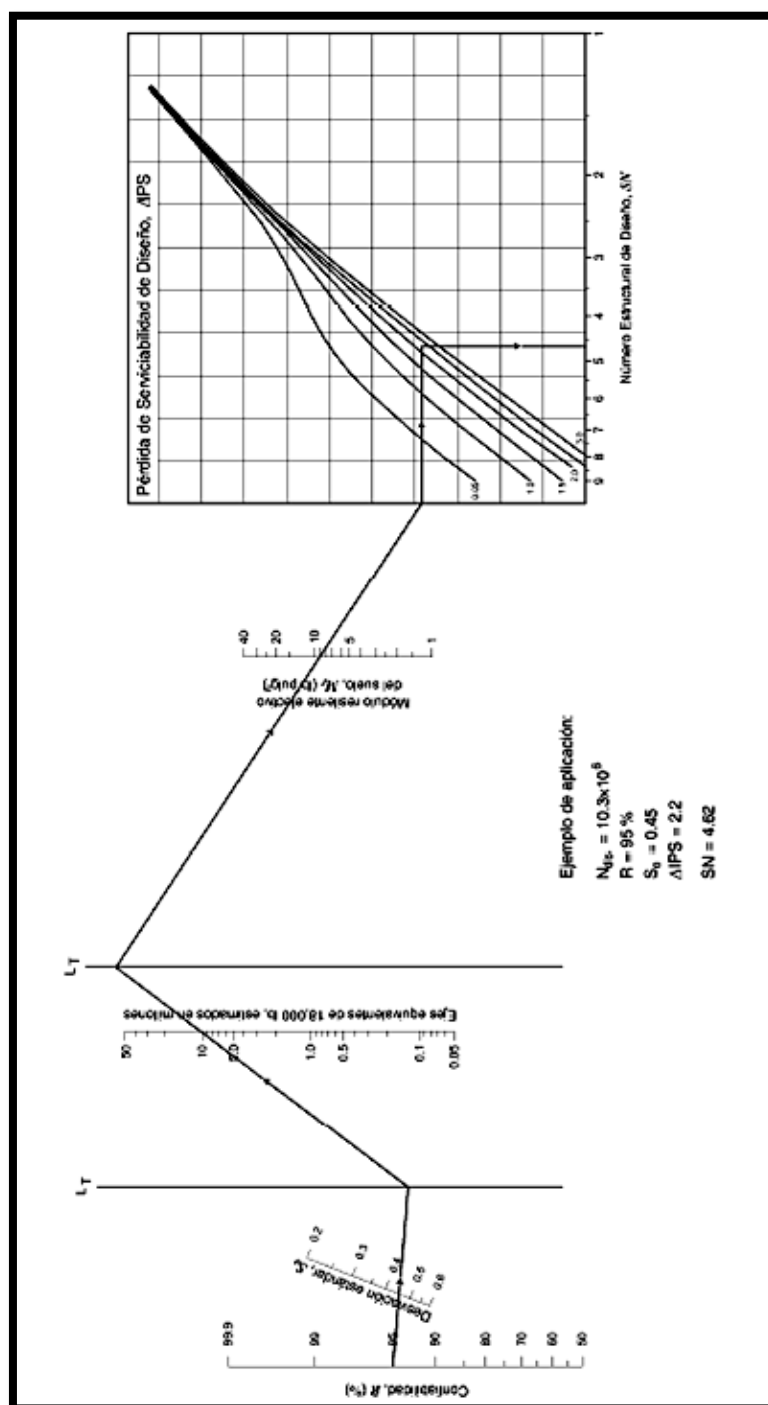
3.2.1.7 Calidad de drenaje Cd. Comprende los coeficientes de drenaje m^2 y m^3 para las capas de base y subbase de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximas a la saturación

TABLA N° 9 Calidad del drenaje

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 Horas
Bueno	1 Día
Regular	1 Semana
Pobre	1 Mes
Muy malo	El agua no evacua

Fuente: AASTHO. Guide for design of pavement structures. Washington D.C.

FIGURA N° 4 Nomograma de diseño para pavimentos flexibles



Fuente: AASTHO Guía para Diseño de estructuras de pavimentos. Washington D.C., 1993. p II-32

TABLA N° 10 Valores de *mi* recomendados para corregir los coeficientes estructurales de las bases y subbases granulares

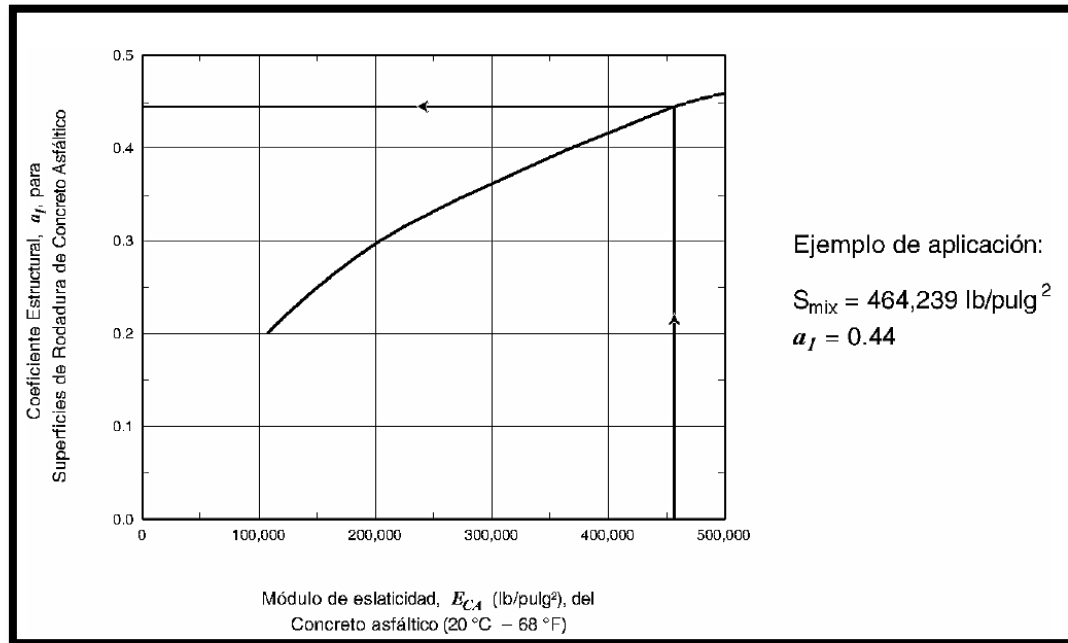
Características del drenaje	Porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más de 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy malo	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: AASTHO. Guide for design of pavement structures. Washington D.C.

3.2.1.8 Módulos dinámicos de las diferentes capas de la estructura de pavimento. Con los módulos dinámicos se obtuvieron los coeficientes estructurales de cada capa con los nomogramas de las AASTHO.

El coeficiente estructural para capas asfálticas a_1 (MDC-MDF) se determinó partiendo del módulo dinámico de la mezcla y con este se entró en el nomograma obteniendo a_1 .

FIGURA N° 5 Estimación coeficiente estructural a_1



Fuente: AASTHO. Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p II-18

Existen espesores mínimos recomendados por la AASTHO:

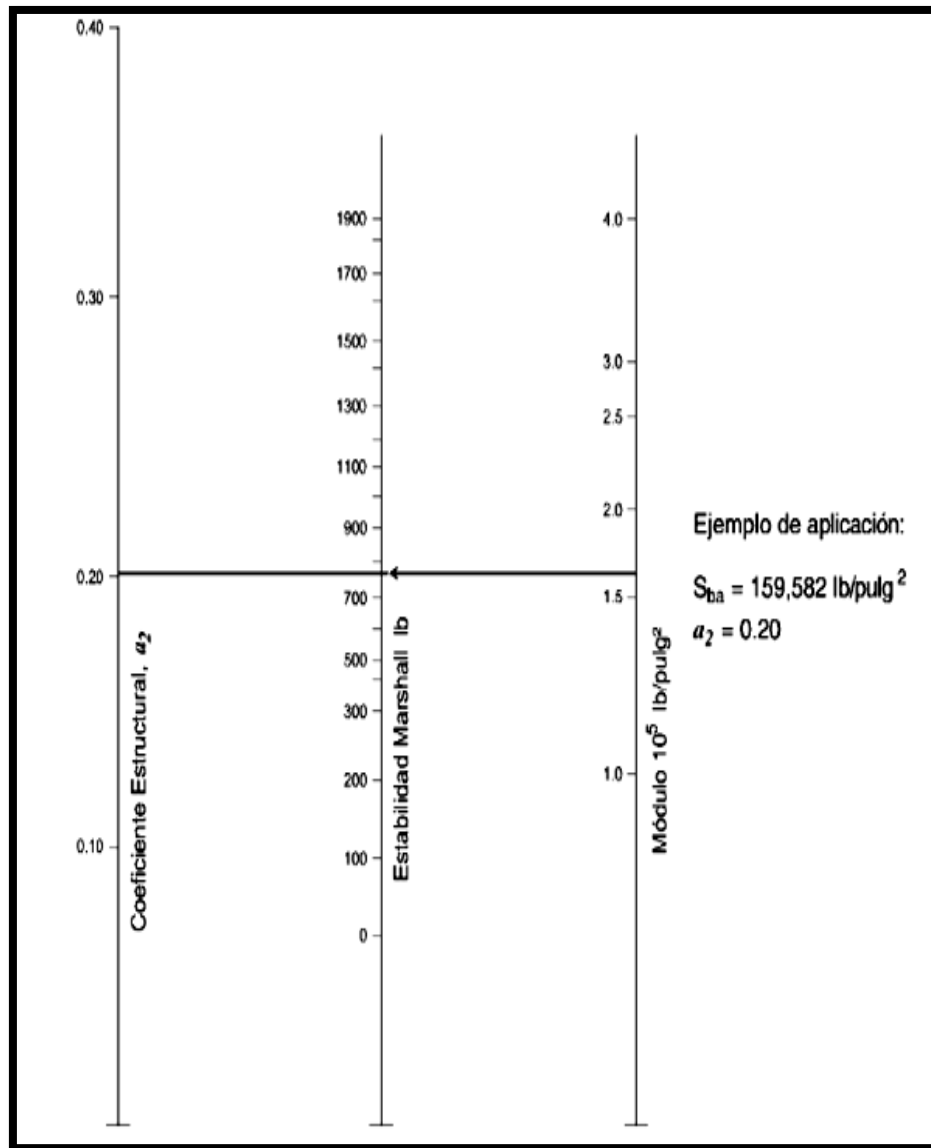
TABLA N° 11 Espesores mínimos recomendados por la AASTHO

$N_{8.2}$ toneladas x 10^6	Concreto Asfáltico (Pulg)	Base Granular (Pulg)
<0.05	1 o TSD	4.0
0.05-0.15	2.2	4.0
0.15-0.50	2.5	4.0
0.50-2.00	3.0	6.0
2.00-7.00	3.5	6.0
>7.00	4.0	6.0

Fuente: AASTHO. Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.P II-

El Coeficiente estructural para bases estabilizadas a_2 (Asfalto y Cemento) BEE-BEC se calcula mediante el nomograma:

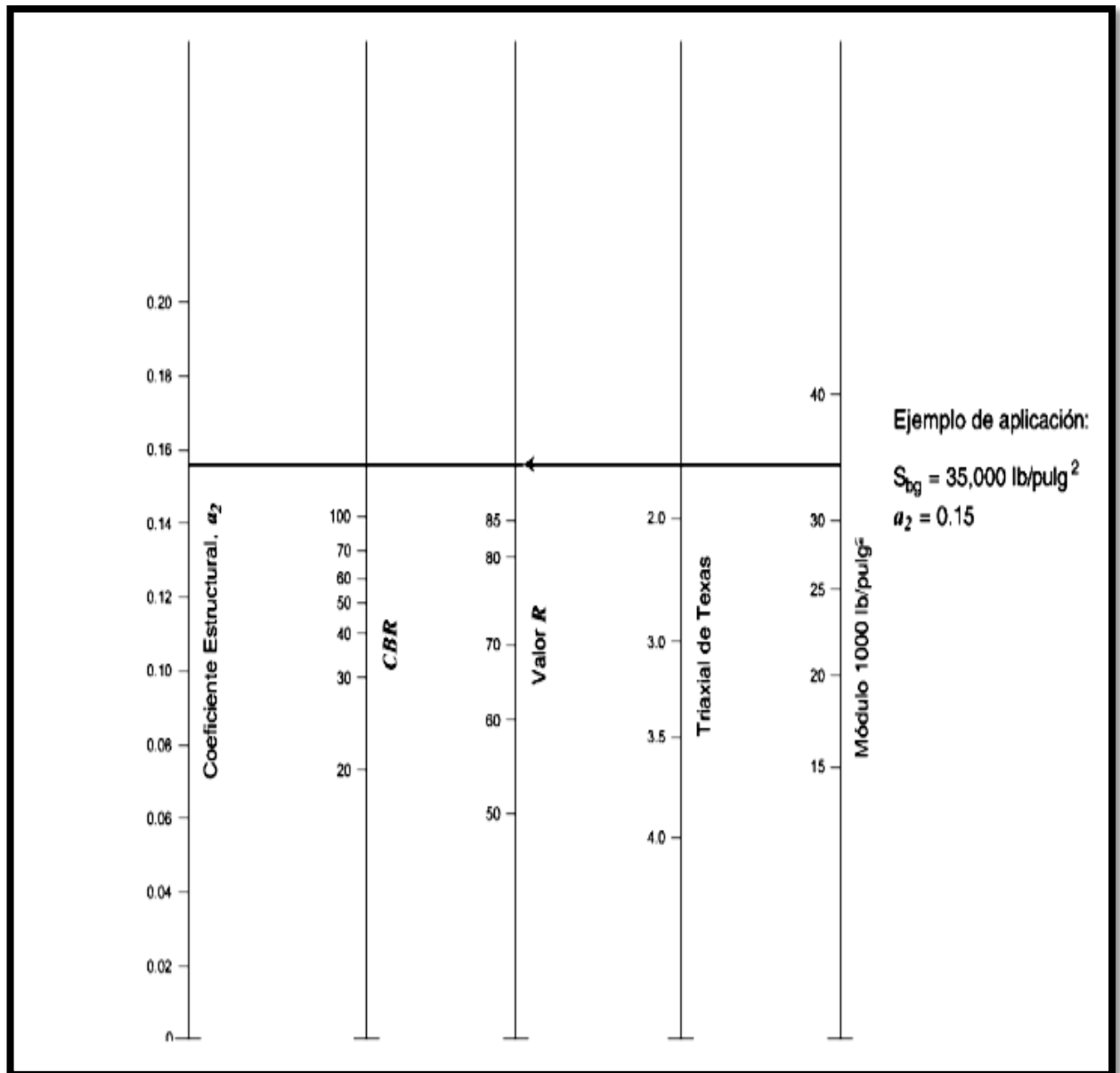
FIGURA N° 6 Variación del coeficiente estructural a_2 para bases tratadas con asfalto para diferentes parámetros de resistencia



Fuente: AASTHO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p II-24

El coeficiente de la base granular a_2 se calcula empleando el Módulo de la base y su CBR con ayuda del nomograma

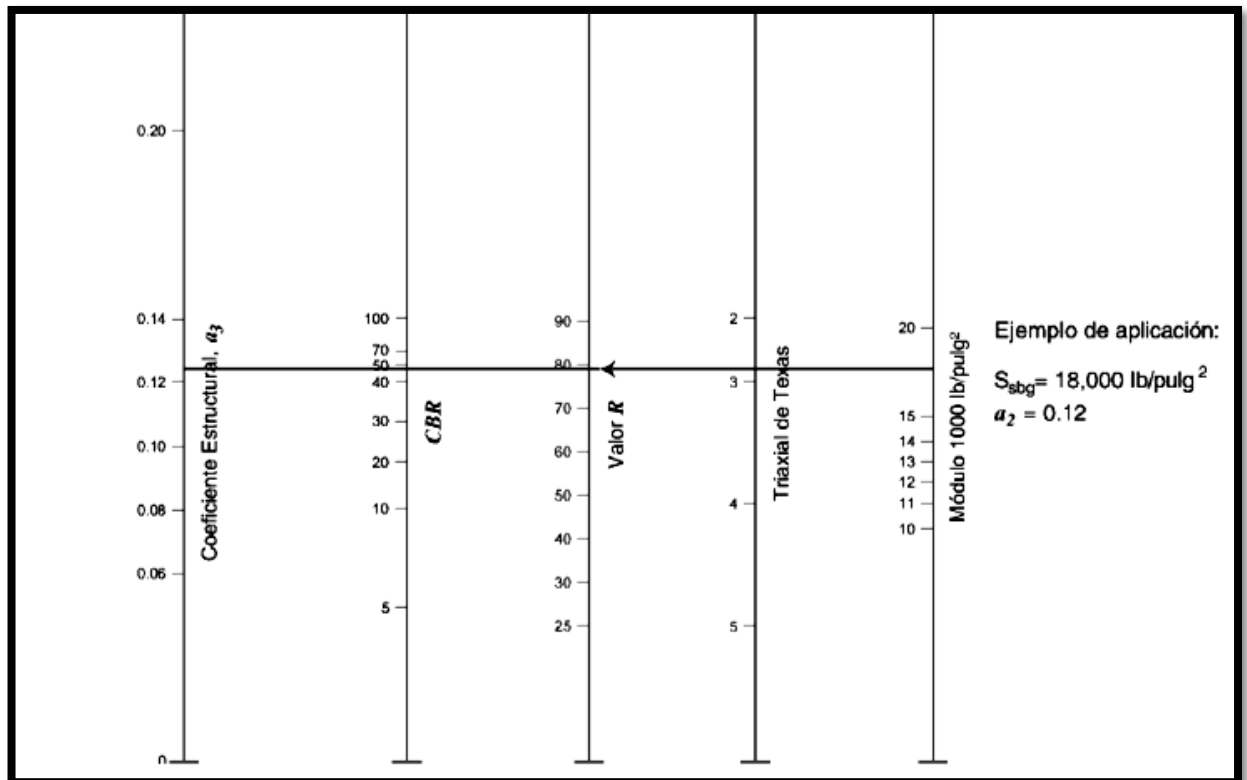
FIGURA N° 7 Variación del coeficiente estructural a_2 con diferentes parámetros de resistencia de la base granular



Fuente: AASTHO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p II-19

El coeficiente de la subbase granular a_3 se calcula empelando el Módulo de la subbase y su CBR con ayuda del nomograma:

FIGURA N° 8 Variación del coeficiente estructural a_3 con diferentes parámetros de resistencia de la subbase granular



Fuente: AASHTO. Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993.p II-21

El número estructural del pavimento se calcula mediante la ecuación que tiene en cuenta los coeficientes estructurales, los espesores y los coeficientes de drenaje de cada una de las capas:

$$SN = a_1 h_1 + a_2 h_2 m_2 + a_3 h_3 m_3$$

Ecuación 7

Dónde:

SN= Número estructural del pavimento

a_i = Coeficiente estructural de la capa i

h_i =Espesor de la capa i en pulgadas

m_i = Coeficiente de drenaje de las capas granulares

Debe cumplirse que el número estructural SN (Tránsito) para el tránsito de diseño (Ecuación básica de la AASHTO) sea menor al SN (estructura) Ecuación 7, entonces los espesores adoptados son adecuados y se busca la optimización de la estructura.

3.2.2 Diseño de pavimentos flexibles por el método del Instituto Nacional de Vías.

El INVIAS tiene un manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito partiendo desde un tránsito de diseño de 0.5×10^6 ejes equivalentes hasta 40×10^6 ejes equivalentes. Basado en cartas de diseño preestablecidas teniendo en cuenta la siguiente información: condiciones climáticas (R), niveles de tránsito (T), condiciones de resistencia de los suelos de subrasante (S), y características de materiales definidos para cada capa. Se establecen seis (6) cartas de diseño de acuerdo a los siguientes rangos:

TABLA N° 12 Rangos contemplados en las cartas de diseño

Carta No.	Región Climática	Resistencia de la subrasante (S)	Rango de Tránsito
1	R1	De S1 a S5	De T1 a T9
2	R2	De S1 a S5	De T1 a T9
3	R3	De S1 a S5	De T1 a T9
4	R4	De S1 a S5	De T1 a T9
5	R5	De S1 a S5	De T1 a T9
6	R6	De S1 a S5	De T1 a T9

Fuente: Manual de diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos Volúmenes de Tránsito. INVIAS.1996

TABLA N° 13 Rangos de tránsito

TRANSITO	Rangos de Tránsito acumulado en el carril de Diseño
T1	0.5-1X10 ⁶
T2	1-2X10 ⁶
T3	2-4X10 ⁶
T4	4-6X10 ⁶
T5	6-10X10 ⁶
T6	10-15X10 ⁶
T7	15-20X10 ⁶
T8	20-30X10 ⁶
T9	30-40X10 ⁶

Fuente: Manual de diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos
Volúmenes de Tránsito. INVIAS.1996

TABLA N° 14 Regiones climáticas

No.	Región	Temperatura TMAP (°C)	Precipitación media anual (mm)
R1	Fría seca y fría semihúmeda	<13	<2000
R2	Templado seco y templado semihúmedo	13-20	<2000
R3	Cálido seco y cálido semihúmedo	20-30	<2000
R4	Templado húmedo	13-20	2000-4000
R5	Cálido húmedo	20-30	2000-4000
R6	Cálido muy húmedo	20-30	>4000

Fuente: Manual de diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos
Volúmenes de Tránsito. INVIAS.1996

TABLA N° 15 Entornos de las resistencias

Categoría	Intervalo Modulo Resiliente E (Kg/cm ²)	Intervalo CBR %
S1	300-500	3<=CBR<5
S2	500-700	5<=CBR<7
S3	700-1000	7<=CBR<10
S4	1000-1500	10<=CBR<15
S5	>1500	CBR>=15

Fuente: Manual de diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos Volúmenes de Tránsito. INVIAS.1996

Las cartas de diseño del método INVIAS (Diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito) se encuentran en el Anexo A

Las Convenciones de identificación de los materiales son:

TABLA N° 16 Convenciones identificación de materiales

<i>SIMBOLO</i>	<i>CODIGO</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>
		Sub-base INV 320	
	SBG-1	Agregado grueso	T _{MAX} 50 mm, % Pasa #4 = 30 a 70%, Pasa # 200 = 4 a 20%, D ≤ 50%, P ≤ 12%-18%, EA ≥ 25%, IP ≤ 6 , CBR > 20-30-40 , 95% de Proctor Modificado.
		Base granular INV 330	Tr ≥ 50%, D ≤ 40%, P ≤ 12%-18%, I _a ≤ 35%, CBR ≥ 80%
.....	BG-1	Triturado	T _{MAX} 37,5 mm, % Pasa #4 = 30 a 60%, Pasa # 200 = 5 a 15%, IP = ≤ 3 , Compactación 100% de Proctor Modificado.
.....	BG-2	Triturado	T _{MAX} 25 mm, % Pasa #4 = 35 a 65%, Pasa # 200 = 5 a 15%, IP = ≤ 3 , Compactación 100% de Proctor Modificado.
		Base estabilizada con emulsión asfáltica INV 340	Emulsión: CRL-1 ó CRL-1h Agua : Ph 5.5 a 8.0, SO ₄ ≤ 1 g/l Aditivos: INV 400 y 412

	BEE-1	Suelo grueso	T_{MAX} 37,5 mm, % Pasa #4 = 30 a 60%, Pasa # 200 = 3 a 15%, IP < 7, D ≤ 50%, Compactación 95% de Proctor Modificado.
	BEE-2	Suelo grueso	T_{MAX} 25 mm, % Pasa #4 = 30 a 60%, Pasa # 200 = 3 a 15%, IP < 7, D ≤ 50%, Compactación 95% de Proctor Modificado.
	BEE-3	A-1-b ó A-2-4	EA ≤ 90% A-1-b y 20 ≤ E.A. ≤ 40% A-2-4 T_{MAX} 4,75 mm, % Pasa #200 = 5 a 25%, CBR sin Estabilizar ≥ 15, IP ≤ 7, Compactación 95% de Proctor Modificado
		Base estabilizada con cemento INV 341	Cemento Portland: NTC 121 y 321 Agua : Ph 5.5 a 8.0, SO ₄ ≤ 1 g/l Suelo : SO ₄ ≤ 0.5%
.....	BEC	Granular Grueso: A-1, A-2-4, A-2-5 ,A-3 Granular Fino: A-2-6, A-2-7, A-4, A-5 A-6, A-7	T_{MAX} ≤ 75 mm y < ½ del espesor de la capa compactada Pasa #4 ≥ 50%, Pasa #200 ≤ 50% LL≤35, IP<15, % en peso de SO ₄ ≤ 0,5.
		Mezcla densa en frío INV 440	Emulsión: CRL-1 ó CRL-1h Agua: Ph 5.5 a 8.0, SO ₄ ≤ 1 g/l Agregado: Tr ≥ 75%, D ≤ 40%Base, D≤30%Rodadura, P ≤ 12%- 18%, Rc ≥ 75%, Ia≤ 35%, Coef.P≥0.45,EA≥50%, NP
	MDF-1	Triturado	T_{MAX} 37,5 mm, % Pasa # 4 = 45 a 60, % Pasa # 200 = 3 a 8
	MDF-2	Triturado	T_{MAX} 25 mm, % Pasa # 4 = 47 a 62 , % Pasa # 200 = 3 a 8
	MDF-3	Triturado	T_{MAX} 19 mm, % Pasa # 4 = 50 a 65 , % Pasa # 200 = 3 a 8
		Mezcla densa en caliente INV 450	Cemento Asfáltico : 60 - 70 ú 80 – 100 Agregado: Tr ≥ 75%, D ≤ 40%Base, D≤30%Rodadura, P ≤ 12%- 18%,Rc≥75%, Ia≤ 35%, Coef.P≥0.45, EA≥50%, NP
.....	MDC-1	Triturado	T_{MAX} 25 mm, % Pasa # 4 = 43 a 54 , % Pasa # 200 = 4 a 8
.....	MDC-2	Triturado	T_{MAX} 19 mm, % Pasa # 4 = 51 a 68, % Pasa # 200 = 4 a 8
.....	MDC-3	Triturado	T_{MAX} 9,5 mm, % Pasa # 4 = 65 a 87,% Pasa # 200 = 5 a 10

Fuente: Manual de diseño de Pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos
Volúmenes de Tránsito. INVIAS

3.2.3 Diseño de pavimentos flexibles por el método Racional.

Dentro de este método las variables que se tienen en cuenta son:

3.2.3.1 Tránsito de diseño. Se cuantifica con fines de diseño, expresándola en ejes equivalentes de una carga de referencia, normalmente 8.2 toneladas que circulan por una vía en el carril de diseño, durante el período de diseño.

3.2.3.2 Velocidad de operación y tiempo de aplicación de las cargas. La velocidad de operación se requiere para determinar el tiempo de aplicación de la carga y su frecuencia permitiendo calcular los módulos del asfalto y de la mezcla empleando la Metodología Shell o de lo contrario disponer de ensayos dinámicos o curvas maestras.

3.2.3.3 Condiciones climáticas y regionales. Se requiere saber temperatura media mensual durante los últimos 10 años. Permite calcular temperatura media anual ponderada (TMAP), precipitación media anual durante los últimos 10 años determinando la precipitación media anual (PMA mm/año), número de días con lluvia en el año.

3.2.3.4 Caracterización de los materiales. El módulo Resiliente del suelo y de los materiales granulares no tratados se pueden obtener mediante Ensayos de laboratorio o relaciones empíricas de uso general.

Las Correlaciones más comunes empleadas son:

- Subrasante: por medio de la Ecuación 6
- Subbase: empleando la Metodología Shell

$$Mr_{sbg}=0.206 \times h_{sbg}^{0.45} \times Mr$$

Ecuación 8

Dónde:

Mr_{sbg} = Módulo de elasticidad de la capa granular subbase kg/cm²

h_{sbg} = espesor de la capa de subbase mm

Mr = Módulo resiliente de la subrasante

- Base: empleando la metodología Shell

$$Mr_{bg}=0.206 \times h_{bg}^{0.45} \times Mr_{sb}$$

Ecuación 9

Dónde:

Mr_{sb} = Módulo de elasticidad de la capa granular base kg/cm^2

h_{bg} = espesor de la capa de base mm

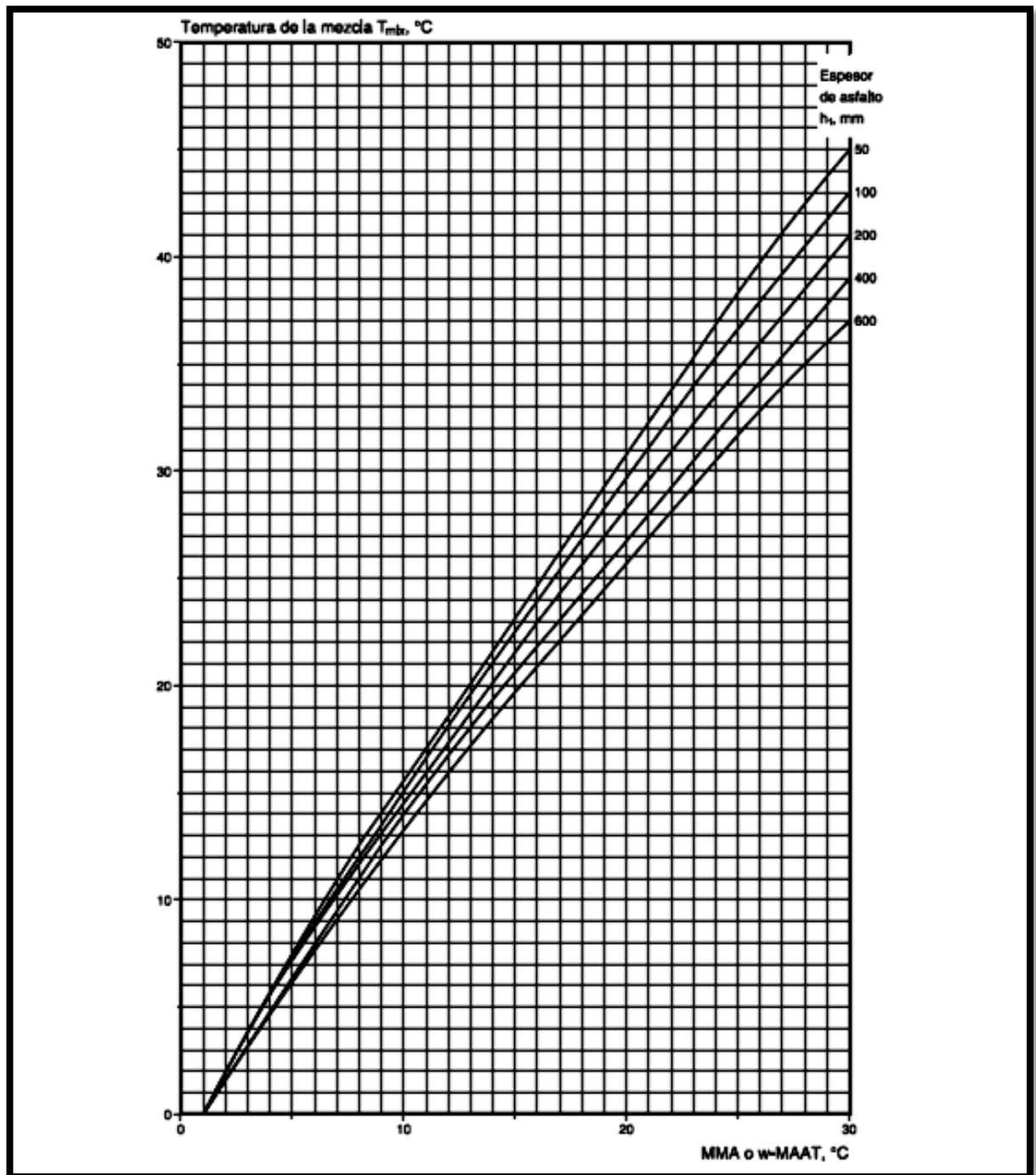
Mr_{sb} = Módulo de elasticidad de la capa granular subbase kg/cm^2

- Capas asfálticas:

Empleando el método de la Shell (Van der Poel y Heukelom) se puede obtener la rigidez del asfalto y de las mezclas asfálticas. Para calcular el Módulo Dinámico del asfalto **Sb** se sigue el siguiente procedimiento:

Se calcula la temperatura de la mezcla T_{mix} en función de TMAP en °C y el espesor supuesto de la capa asfáltica h_{asf} , con ayuda de la carta RT (Figura 9)

FIGURA N° 9 Carta RT



Fuente: Shell International Petroleum Company Limited. Shell pavement desing manual- asphalt pavements and overlays for road traffic. Londres, 1978.P.37

Se calcula la diferencia de temperaturas para la cual la penetración es de 800 1/10 mm y la temperatura de la mezcla en °C

$$\Delta T (^{\circ}\text{C}) = T_{800(^{\circ}\text{C})} - T_{mix(^{\circ}\text{C})}$$

Ecuación 10

Van der Poel encontró que el módulo de rigidez en una frecuencia f se relaciona

$$f = 1/2\pi t$$

Ecuación 11

Con un tiempo de carga de 0.02 seg correspondiente a $f=8\text{Hz}$, ΔT e Índice de Penetración IP empleando el nomograma de Van der Poel se determina el Módulo de Rigidez del asfalto en N/m^2 o Stiffness S_b .

Con los datos del Módulo Dinámico del asfalto, el volumen de asfalto de la mezcla y el volumen de agregados de la mezcla se entra en la Figura 9 y se determina el Módulo Dinámico de la Mezcla

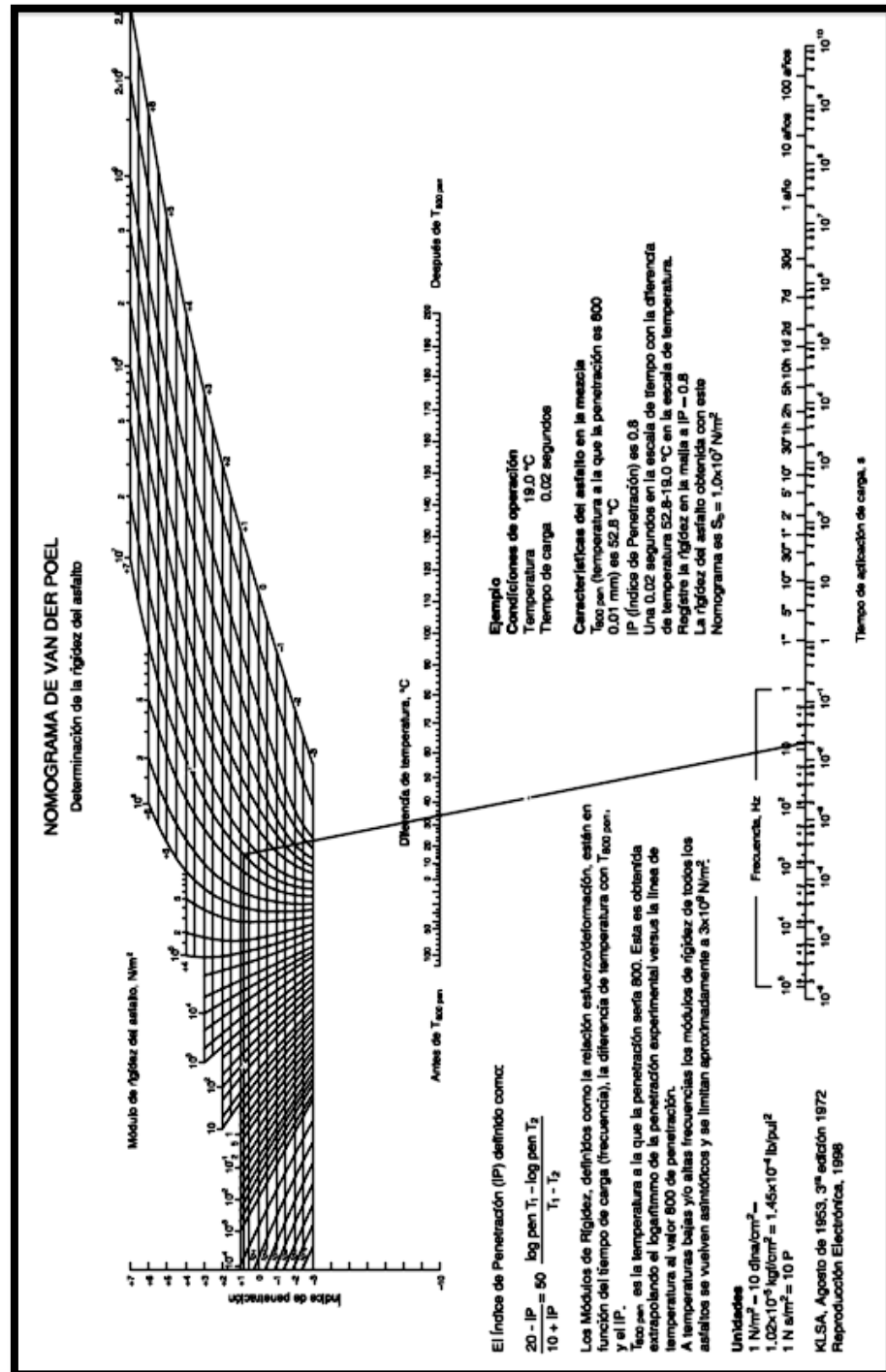
Con respecto a las relaciones de Poisson se puede asumir los siguientes valores:

TABLA N° 17 Valores de coeficientes de Poisson

Material	Rango	Valor típico
Concreto asfáltico	0.35-0.40	0.35
Base granular o subbase	0.30-0.40	0.40
Material granular tratado con cemento	0.10-0.20	0.15
Suelo fino granular tratado con cemento	0.15-0.35	0.25
Suelo calcáreo-arena-asfalto	0.35	0.35
Arcilla blanda saturada	0.40-0.50	0.45
Suelos finos con granulares	0.30-0.50	0.40
Arcilla normal	0.42	0.42
Arena densa	0.30-0.45	0.35
Material estabilizado con cal	0.10-0.25	0.20
Hormigón, cemento portland	0.12-0.20	0.15

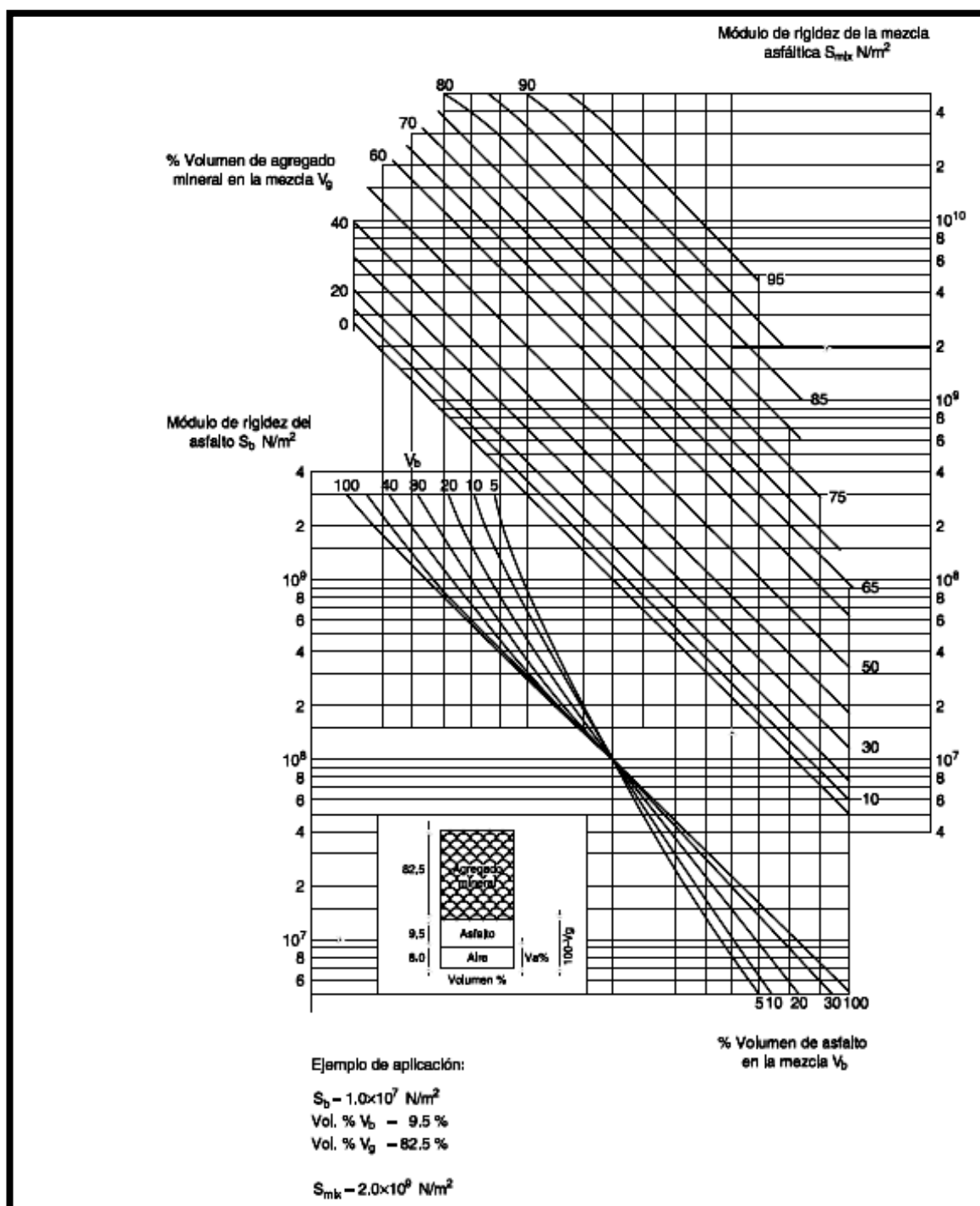
Fuente: BENAVIDES BASTIDAS Carlos Alberto y CHAPARRO BARRETO, Eugenio. Caracterización dinámica de materiales viales y su aplicación al diseño racional de pavimentos flexibles. Universidad del Cauca. Popayán, 1993

FIGURA N° 10 Nomograma de Van der Poel



Fuente: Shell International Petroleum Company Limited. Shell pavement desing manual- asphalt pavements and overlays for road traffic. Londres, 1978.P.A-2

FIGURA N° 11 Nomograma para determinar el módulo dinámico del Asfalto

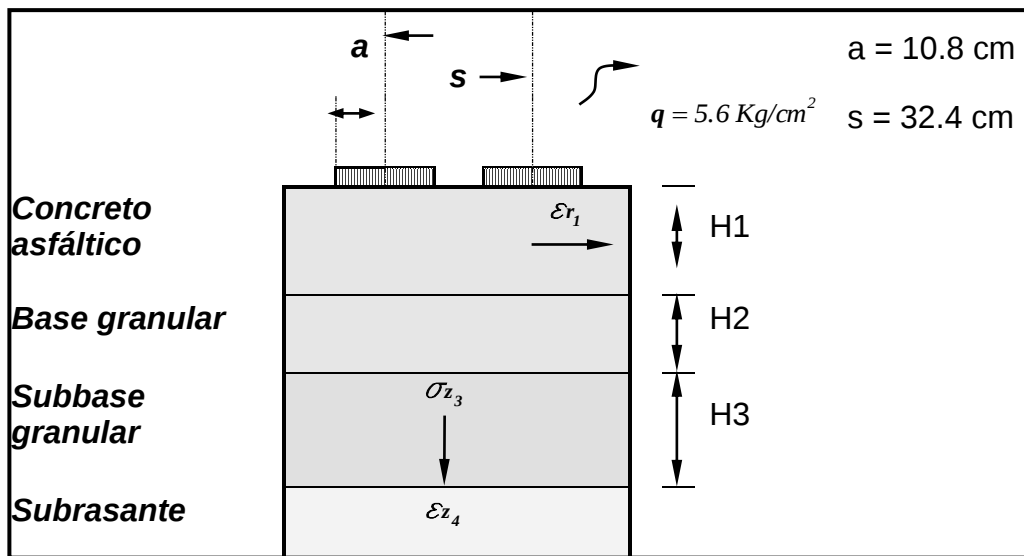


Fuente: Shell International Petroleum Company Limited. Shell pavement desing manual- asphalt pavements and overlays for road traffic. Londres, 1978.P.A-4

3.2.3.5 Modelación de la estructura. La modelización del pavimento contempla los módulos, relaciones de Poisson de los materiales, espesores supuestos de las diferentes capas y las características de eje de carga de referencia, esfuerzos y deformaciones en los sitios de interés, esfuerzos y deformaciones admisibles empleando los criterios de las leyes de fatiga que relacionan la deformación de tracción en las capas asfálticas, la deformación de compresión vertical en la subrasante o la deflexión en la superficie.

3.2.4 Chequeo de la estructura de pavimento y análisis de resultados

FIGURA N° 12 Chequeo Modelo estructural



Fuente: Comportamiento de las variables del Método AASTHO para el diseño de Pavimentos flexibles. Ing. Carlos Hernando Higuera Sandoval Msc. 2009

El chequeo de la estructura se realiza por el método Racional, con el fin de cumplir los criterios de control de fatiga, control de ahuellamiento y control de deflexión. Se verifican los esfuerzos, deformaciones y deflexión actuantes o de servicio con respecto a los valores admisibles.

3.2.4.1 Criterio de fatiga recomendado por la Shell.

Deformación admisible de tracción en la base de la capa de asfáltica: La deformación radial de tracción actuante en la capa bituminosa ϵ_r debe ser menor a la deformación radial de tracción admisible $\epsilon_{r_{adm}}$, con el fin de controlar la fatiga de la capa bituminosa ante las sollicitaciones de carga impuestas por el tránsito, es decir los daños estructurales.

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

$$\xi r_{adm} = (0.856 * V_b + 1.08) E_1^{-0.36} (N/K)^{-0.20}$$

Ecuación No. 12

Dónde:

$\epsilon_{r_{adm}}$ = Deformación de tracción admisible de la capa asfáltica

V_b = Porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla

E_1 = Módulo dinámico de la capa asfáltica en Kg/cm^2

N = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño

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

TABLA N° 18 Coeficientes de Calage

Auto reparación de fisuras pequeñas	k_1	Mezclas abiertas con bajos porcentajes de asfalto	Mezclas densas con altos porcentajes de asfalto
		2.0	10.0
Distribución lateral de cargas	k_2	2.5	
Diferentes temperaturas de trabajo de la mezcla por día por año	k_3	Espesores pequeños Temperaturas bajas	Espesores altos Temperaturas altas
		1.00	0.33

Fuente: Universidad del Cauca. Curso de especialización en vías terrestres. Popayán, 1985

3.2.4.2 Criterio de ahuellamiento o deformación recomendado por la Shell.

Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante (Shell):

La deformación vertical de compresión ϵ_z presente sobre la capa de subrasante deberá ser menor a la deformación vertical de compresión admisible ϵ_{zadm} , con el fin de controlar el ahuellamiento y la deformación de la estructura del pavimento, es decir los daños funcionales

$$\xi_z < \xi_{z adm}$$

$\xi_{z adm} = 2.8 * 10^{-2} N^{-0.25}$	NC = 50%
$\xi_{z adm} = 2.1 * 10^{-2} N^{-0.25}$	NC = 85%
$\xi_{z adm} = 1.8 * 10^{-2} N^{-0.25}$	NC = 95%

Ecuación No. 13

Dónde:

NC= Nivel de Confianza

Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante

La determinación del esfuerzo admisible de compresión sobre la subrasante se puede calcular según los criterios de Dormon - Kerhoven y de la CRR de Bélgica. Las expresiones de cálculo son las siguientes:

Criterio de Dormon - Kerhoven $\sigma_z < \sigma_{z adm}$

$$\sigma_{z adm} = \frac{0.007 E_{sub}}{(1 + 0.7 \log N)}, Kg/cm^2$$

Ecuación No.14

Criterio de la CRR de Bélgica

$$\sigma_z < \sigma_{z \text{ Adm}}$$

$$\sigma_{zadm} = \frac{0.9607 \text{ CBR}^{1.2}}{N^{0.229}}, \text{ Kg/cm}^2$$

Ecuación No.15

Dónde:

σ_{zadm} = Esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante, kg/cm^2

E_{sub} = Módulo resiliente de la subrasante, kg/cm^2

N = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño

CBR = Capacidad de Soporte del suelo de la subrasante %

Criterio de deflexión: Las medidas de la deflexión son un criterio de deformabilidad que permiten evaluar el estado y la capacidad estructural de un pavimento en función del número de aplicaciones de carga que este es capaz de soportar antes de alcanzar la falla. La Deflexión vertical admisible en la superficie de la estructura de pavimento se calcula con la expresión propuesta por Yang H. Huang.

$$\Delta_{adm} = 26.32202 * N^{-0.2438}, \text{ mm}$$

Ecuación No.16

Dónde

Δ_{adm} = Deflexión vertical admisible, mm

N = Tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño

3.3. Aspectos esenciales del concepto de estabilización o mejoramiento de un material.

La estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico logrando así que se modifiquen las características de los suelos. Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad. Por tanto cualquier proceso de estabilización busca, fundamentalmente, aumentar la capacidad portante del material y hacerlo menos sensible a la acción del agua¹¹.

Las tres formas de lograrlo son las siguientes:

Físicas. Se lleva a cabo mediante mezclas de suelos (común), empleo de geotextiles (común), vibro-flotación (mecánica de suelos), consolidación previa.

Químicas. Se hace mediante la utilización de aditivos químicos como cal. económica para suelos arcillosos (disminuye plasticidad), Cemento portland para arenas o gravas finas (aumenta la resistencia), productos asfálticos para material triturado sin cohesión (emulsión, muy usada), cloruro de sodio para arcillas y limos (impermeabilizan y disminuyen los polvos), escorias de fundición comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil, polímeros utilizados comúnmente en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil, hule de neumáticos en carpetas asfálticas, dan mayor resistencia, impermeabilizan y prolongan la vida útil.

Mecánicas. Compactación

¹¹ HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Op cit, p.7.

3.3.1 Estabilización granulométrica.

Mezcla de dos o más materiales para obtener otro cuya granulometría y plasticidad lo hagan adecuado para la construcción de una capa de un terraplén, afirmado subbase, base o capa de rodadura¹². Permite usar materiales de diferentes fuentes de materiales para obtener mezclas que cumplan especificaciones de construcción.

Hay mezclas binarias (lo más normal) y terciarias. Sólo suelen ser viables mezclas binarias por el valor. Se busca una combinación de material granular y limo-arcilloso. Si hay exceso de material limo-arcilloso hay problemas por entumecimiento. Si hay exceso de material granular hay una falta de cohesión y la única interacción es el rozamiento. Se llegó a la conclusión de que la capacidad de compactación (mayor o menor posibilidad de compactar un suelo, es decir, conseguir mayor o menor densidad) tiene relación con la granulometría de la mezcla. Una buena compactación va a implicar que sea mayor la densidad seca, con lo que la permeabilidad es menor, lo mismo que la sensibilidad al agua. Además aumentamos el rozamiento interno de las partículas y hay mayor capacidad cementante de la arcilla. Cuánto más compactado está un material la capacidad de la arcilla es mayor.

El tamaño máximo de las partículas de la mezcla tiene importancia ya que tamaños demasiado grandes son difíciles de trabajar y producen superficies rugosas y conduce a mezclas segregables. La presencia de finos menores al tamiz No. 40, hace difícil lograr características de resistencia y de deformabilidad y puede conducir a superficies lisas y fangosas en estado húmedo y pulverulento en estado seco.

¹² SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Estabilización de Suelos. Universidad de Cauca, Popayán, 1996. P.7.

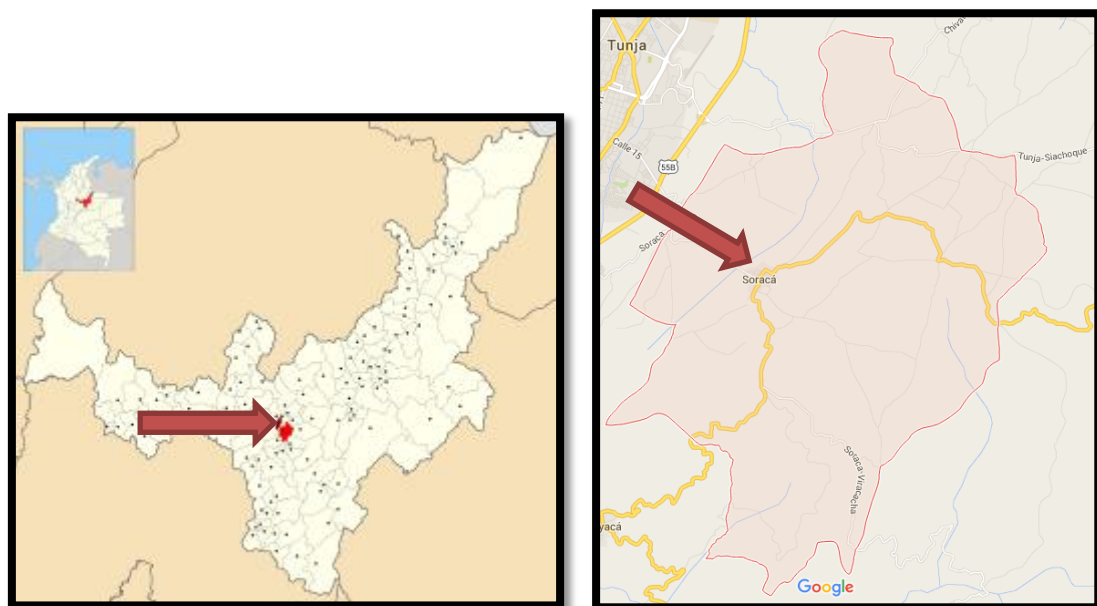
4. DIAGNÓSTICO

4.1 DETERMINACIÓN DEL LUGAR Y TIEMPO

4.1.1 Localización

El tramo en estudio está localizado en la provincia Centro del Departamento de Boyacá en el municipio de Soracá, vía importante dentro del contexto Departamental por cuanto se convierte en una alternativa que conduce hacia el municipio de Siachoque y conecta directamente con el municipio de Chivatá.

FIGURA N° 13 Localización general Municipio de Soracá



Fuente: Google Maps

FIGURA N° 14 Localización general Tramo Específico



Fuente: Google Maps

4.1.2 Características de la vía

Segmento: Longitud 3,7 Km

Tipo de superficie: Se encuentra en toda su totalidad en afirmado en regular estado con presencia de huecos.

Ancho de calzada: +/-4 m promedio

Ancho de berma: sin berma

Número de carriles: 2

4.1.3 Climatología

Presenta un clima unimodal y una temperatura que oscila entre los 11°C y los 14°C, la clasificación climática da origen a las zonas de tipo climático, las cuales corroboran la abundancia o escasez de precipitación para la región, o su uniformidad a través de los respectivos años analizados que arrojan datos de una zona climática que es, zona climática B1RB1, que se refiere a la zona denominada húmeda microtermal con índices hídricos un poco menores de 40mm, y se ubica en la mayoría del territorio municipal, como lo son las veredas Puente Hamaca, Chaine, Centro, Otro Lado, Rominguirá, encontrándose deficiencias de agua, donde se encuentra la zona de estudio.¹³

Los meses que registran incremento en la temperatura son: Febrero, marzo y abril, octubre y noviembre; mientras que los meses que registran bajas temperaturas son mayo, junio, julio, agosto y septiembre. El piso térmico de paramo se extiende desde los 3000 hasta los 4000 m.s.n.m. en Colombia, según varios autores Soracá posee parte de esta región hacia el sur entre los 3000 y 3100 m.s.n.m. cuyas temperaturas oscilan entre 0° y 12 °C de las horas de la tarde al amanecer.

4.1.4 Precipitación

El promedio mensual de valores medios de precipitación es de 35,7mm, en el mes de Agosto, máximos en el mes de marzo con 141mm y mínimo mes de enero con 0,5mm, de acuerdo al patrón de distribución de lluvias es de tipo bimodal con un periodo de concentración de aproximadamente de 3 meses de duración. El valor máximo se alcanza en octubre, más húmedo, el más seco es enero y febrero con 0,5 y 11,8mm.

4.1.5 Velocidad del Viento

La velocidad del viento alcanza un tope máximo entre junio de 2,7 m/seg a 3,1 m/seg en Agosto. Los vientos alisios que soplan hacia la convergencia tropical, representan un fenómeno típico durante la época seca. Esta época seca es conocida localmente como verano, aunque en realidad coincide con el periodo de sol bajo, o invierno en el sentido astronómico. Es importante, ya que el viento actúa desfavorablemente para el desarrollo de las plantas a si mismo del trasporte

¹³ Cfr. Soporte EOT General Municipio de Soracá. 2014

y propagación de agentes contaminantes del medio ambiente como las partículas en suspensión, ruido, gases, malos olores, etc. Los vientos del N-E soplan durante todo el año pero tienen predominancia en los meses de agosto a septiembre, en los meses de junio y agosto, la dirección predominante es N-W, con alternancias de los vientos N-E.

4.1.6 Brillo Solar

Es uno de los factores que influyen en la evaporación, en el área de estudio los valores promedios multianuales están entre 1600 y 1931,1 horas sol/años.

4.1.7 Geología

Soracá se ubica en la cordillera oriental y hace parte de la meseta Cundiboyacense. Las formaciones presentes se han depositado en el transcurso del tiempo geológico y lo conforman rocas de origen sedimentario del cretácico, terciario y cuaternarios. Las formaciones presentes en el área son: Formación Conejo, Grupo Guadalupe, Formación Guaduas, Formación Cacho y Cuaternario.¹⁴ La sucesión estratigráfica comprende edades cretáceas cuaternarias. La formación se presenta en forma de bancos de areniscas intercaladas con niveles de sales grises oscuros a amarillentos, en su parte superior presenta esporádicos estratos de caliza.

La formación Guaduas se presenta aflorando a lo largo de veredas de Puente Hamaca y Otro Lado, conformando una estructura de incidencia local anticlinal de Puente Hamaca, generando un cambio de pendiente considerable, además hacia su parte más norte se adelantan en la actualidad explotaciones de carbón térmico de muy buena calidad.

La formación Tilatá formada de gredas, capas arenosas y cascajos con unos 100m de espesores visibles, presentan niveles de arcillolitas casi horizontales de color blanco a amarillo con unos niveles casi planos, se presentan haciendo parte de la vereda Puente Hamaca extendiéndose hacia los municipios de Oicatá y Chivata.

¹⁴ Cfr. Soporte EOT General Municipio de Soracá. Op cit 2014

En el Cuaternario se encuentran depósitos fluvio-lacustre, que son de material homogéneos con variación en partículas y se han originado por los diferentes procesos de erosión y depositación en partes más bajas. Se encuentra formado parte del valle que acompaña la quebrada de Puente Hamaca presentando una morfología de relieve suave a plano con depósitos de baja consolidación y variación en composición lateralmente. Los materiales que lo conforman son limos con intercalación de arena y arcilla de color carmelita y óxidos férricos.¹⁵

4.1.8 Geomorfología

Presenta una estructura asimétrica de nivel regional pero que abarca gran parte del municipio de Soracá por ser flanco oriental del Sinclinal de Tunja con las formaciones Cacho en el sector de la vereda Otro Lado y la formación Guaduas y grupo Guadalupe haciendo parte de las veredas Quebrada Vieja, Alto Negro y Puente Hamaca respectivamente. Su flanco oriental se encuentra afectado por varias fallas locales que han dislocado la continuidad en sus estratos, y se caracterizan por la variación en buzamientos y cambios en topografía.¹⁶

El sinclinal de Ricaya, pequeña estructura de poca continuidad se ubica en la zona de llanos pardos del municipio de Chivata y Puente Hamaca municipio de Soracá, lo conforman areniscas de la formación Cacho y materiales de la formación Tilatá, de edad terciaria, se observa por la carretera Tunja-Chivata al este del anticlinal de Puente Hamaca.

Falla la cascada es de tipo direccional, lleva una dirección de rumbo NW-SE. En la vereda Puente Hamaca se encuentra cubierta por un cuaternario fluvio lacustre y se cree que es la culpable del alineamiento de la Quebrada la Cascada sobre las formaciones terciarias y el corte de las mismas formaciones sobre el flanco oriental del Sinclinal de Puente Hamaca.

Las cuestas, su principal característica lo conforma la baja pendiente la cual no supera el 20 a 25% y lo conforman en su mayoría materiales arcillosos-limos y lutitas presentes en las diferentes formaciones. Es típico de la vereda Chaine, Quebrada Vieja y Puente Hamaca.

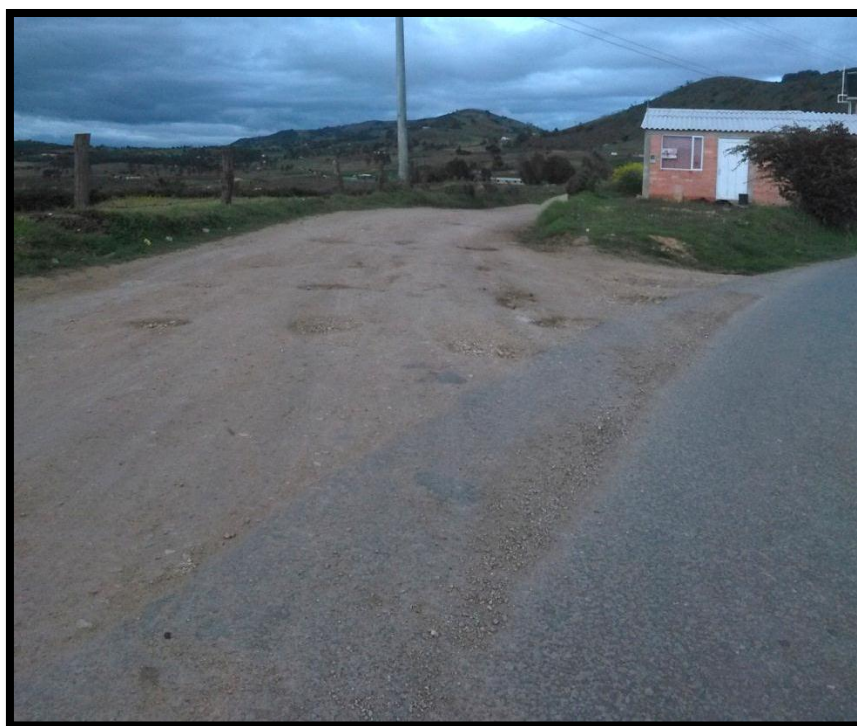
¹⁵ Cfr. Soporte EOT General Municipio de Soracá. Op cit 2014

¹⁶ Cfr. Ibid.

Además, los valles fluviales presentan variación en espesor que oscila entre 5 y 15 m y se encuentran en la parte occidental de Soracá, haciendo parte del valle de la quebrada Puente Hamaca.

La vía objeto del presente proyecto, Soracá - Puente Hamaca, cuenta con una extensión de aproximados 4 km, tiene un ancho medio de 4 m, esta vía intercomunica las vías Tunja – Chivatá y Soracá – Siachoque, lo cual la hace bastante fluida de tráfico automotor. A lo largo de la vía se presentan tres pasos naturales de agua los cuales han sido hechos en piedra por los habitantes de la vereda.

FIGURA N° 15 PR0+000 Inicio de la Vía



Fuente: Autora

FIGURA N° 16 PR3+700 Fin de la Vía



Fuente: Autora

4.2. METODOLOGÍA

La metodología de investigación que se utilizó fue de tipo Cuantitativo, ya que se trabajó con medición de datos para el proceso de obtención, representación, simplificación, análisis, interpretación y proyección de las características y variables del estudio de los pavimentos, además, descriptiva ya que prepara el paso a la explicación aclarando y comprendiendo la información recolectada, y explicativa determinando los factores que la producen, de donde vienen y como se transforman. Todo esto con el fin de tener una mejor comprensión de la realidad y una optimización en la toma de decisiones.¹⁷

¹⁷ Cfr. SANABRIA, Angélica. Metodologías a usar en Trabajos de Grado.2014

4.3 DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS

4.3.1 Toma de datos

Consiste en el trabajo de campo que se realiza para la obtención de los datos. Apoyados en muestras que se usan en las pruebas de laboratorio, levantamiento topográfico, toma de datos necesarios, toma de registro fotográfico, levantamiento de inventario existente.

4.3.2 Análisis en oficina de la información tomada en campo

Reuniendo los datos obtenidos en campo y aplicando cada metodología de cálculo contenida en el marco teórico.

4.3.3 Resultados

Consiste en la elaboración de estructuras de diseño del pavimento y su chequeo.

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

Según los datos del DANE, correspondientes al Censo 2005, el total de la población departamental es de 1.210.982 habitantes, en donde el municipio de Soracá le correspondían 6.986 habitantes, porcentualmente el 2.79% respecto a la provincia y el 0.48% del total del departamento, existe un aumento debido a la amplia oferta de suelo urbano, mostrando así, fortaleza para la proyección de nuevos proyectos dentro del perímetro urbano.¹⁸

La población de Soracá es homogénea, es decir que en todas las edades existe aproximadamente la misma cantidad de gente, no es tan notoria la diferencia. En la siguiente imagen se observa el número de habitantes por vereda dentro del municipio de Soracá.

¹⁸ Cfr. DANE, Departamento de Boyacá. 2005

FIGURA N° 17 Número de habitantes por vereda Municipio de Soracá.

VEREDA	NUMERO DE HABITANTES	NUMERO DE FAMILIAS	NUMERO DE PERSONAS POR FAMILIA
ALTO NEGRO	565	112	5
CENTRO	586	178	3
CRUZ BLANCA	358	73	5
CHAIÑE	802	136	6
FAITOQUE	296	50	6
OTRO LADO	451	105	4
PUENTE HAMACA	482	91	5
QUEBRADA GRANDE	481	100	5
QUEBRADA VIEJA	1100	225	5
ROMINGUIRA	720	116	6
ROSAL	699	159	4
SALITRE	446	70	6
TOTAL	6986	1415	

Fuente: Alcaldía Soracá

El proceso de urbanización del municipio de Soracá ha sido notable, como consecuencia de una migración motivada tanto por actividad urbana como rural donde se concentran en especial el día Domingo, en torno generalmente a oficios religiosos, actividades deportivas, lúdicas y sociales desarrolladas generalmente en el parque. En general la población Soraquense gran parte de sus actividades son de tipo social y económico y son realizadas en la ciudad de Tunja, desplazándose los días martes y viernes días de mercado a comercializar los productos agropecuarios así como a desarrollar otro tipo de actividades comerciales y adquisición de insumos diariamente.

4.5 DESARROLLO DE LOS INSTRUMENTOS

4.5.1 Exploración geotécnica

La vía está ubicada en una zona de sabana en la cual las pendientes longitudinales y transversales no superan el 1%, todo el tramo en estudio, construido en secciones de terraplén.

El suelo predominante es arcilloso, sin embargo los terraplenes que oscilan entre 1.5 y 2.0 m de altura están contruidos en material granular tipo afirmado.

4.5.2 Reconocimiento hidráulico de la vía

La estructura de la vía se encuentra a nivel de afirmado, con algunas alcantarillas y carencia de filtros, lo que ha conducido a la presencia de hundimientos y genera incidencia en factores que determinan alteraciones sobre la superficie de rodamiento de los pavimentos que afectan la seguridad, comodidad y velocidad con que debe circular el tránsito vehicular presente y futuro.

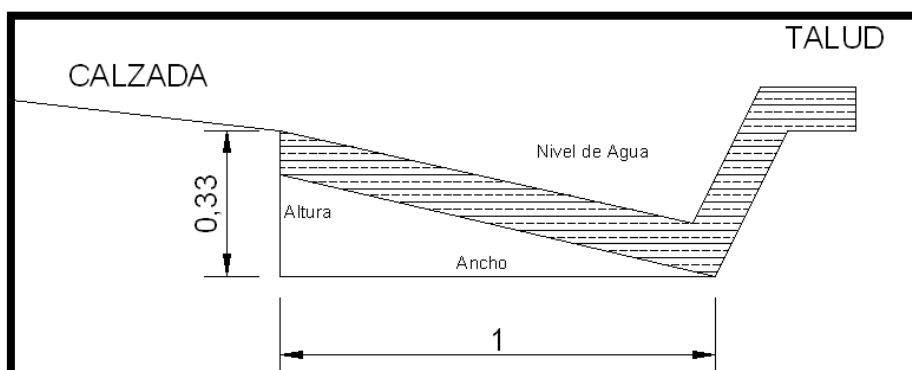
En la vía existen algunas obras de drenaje, no obstante por tratarse de terrenos tan planos el agua no fluye normalmente lo que ocasiona que en época de invierno los terraplenes permanezcan sumergidos. Por lo general a lado y lado de la vía están ubicados potreros, sin que existan especies o árboles que generen contenciones y se forman especies de lagunas a los lados de la vía. Es necesario ubicar algunas obras de drenaje que permitan equilibrar las presiones a ambos los lados del terraplén. En atención a esto se propone la construcción de cunetas revestidas en concreto a ambos lados de la vía.

TABLA N° 19 Localización obras hidráulicas

Localización general de obras de drenaje			
Filtro	Cuneta*	Alcantarilla – box	Observaciones
		PR 000+220	Alcantarilla existente en regular estado, es necesario mantenimiento
		PR 000+380	Alcantarilla existente bien ubicada, solo requiere mantenimiento
		PR 000+620	Alcantarilla existente bien ubicada, solo requiere mantenimiento
		PR 001+070	Alcantarilla existente en mal estado, requiere mantenimiento y obra de drenaje
		PR 001+210	Alcantarilla existente bien ubicada, solo requiere mantenimiento
		PR 001+360	Alcantarilla existente en buen estado
		PR 001+510	Alcantarilla existente bien ubicada, requiere mantenimiento y obra de drenaje
		PR 001+730	Alcantarilla existente en buen estado
		PR 002+300	Alcantarilla existente bien ubicada, solo requiere mantenimiento
		PR 002+420	Alcantarilla existente en regular estado, es necesario mantenimiento y obra de drenaje
		PR 002+650	Alcantarilla existente en buen estado
		PR 003+030	Alcantarilla existente bien ubicada, solo requiere mantenimiento
		PR 003+580	Alcantarilla existente en buen estado

Fuente: Autora.

FIGURA N° 18 Sección típica cuneta a construir



Fuente: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/diseoyconstruccindecaminos.com>

Localización de apiques y sondeos en la vía

Se realizaron sondeos cada 500 metros distribuidos de la siguiente manera:

TABLA N° 20 Localización apiques

Ubicación apique	Profundidad	Tipo de suelo	
		U.S.C	AASHTO
PR0+000	1.2 A1.8 m	CL	A-6
PR0+500	1.2 A1.8 m	CL	A-6
PR1+000	1.2 A1.8 m	CL	A-6
PR1+500	1.2 A1.8 m	CL	A-6
PR2+000	1.2 A1.8 m	CL	A-6
PR2+500	1.2 A1.8 m	CL	A-4
PR3+000	1.2 A1.8 m	CL	A-4
PR3+500	1.2 A1.8 m	CL	A-6

Fuente: Autora

FIGURA N° 19 Estado actual de la Vía PR2+400



Fuente: Autora

FIGURA N° 20 Estado actual de la Vía PR1+800



Fuente: Autora.

4.6 RESULTADOS

4.6.1. Fuentes de materiales

En la región existen dos fuentes de suministro de material pétreo de base, subbase y afinado, ubicadas dentro del municipio de Soracá en la parte Oriental vía Boyacá, donde se encuentra la formación Plaeners, fuente principal de agregados o materiales de recebo, la cual genera gran parte de materia prima para el mantenimiento de la malla vial del municipio y cerca de esta se encuentra la formación Areniscas de Labor y tierna que presentan niveles arenosos de media calidad pero fuente básica para vías en pavimentación o afinado a tan solo unos 150 km del sitio a intervenir.

La caracterización de estos materiales es la siguiente:

TABLA N° 21 Características materiales de la zona

CAPA	GRANULOMETRÍA	CARAS FRACTURADAS	EQUIVALENTE DE ARENA	ÍNDICES DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO	C. B. R.	I. P.
Norma INVIAS	E-123	E-227	E-133	E-230	E-148	E-125 y E-126
BASE GRANULAR CLASE C NT1 (ANTERIOR NORMA BG-1)	BG38	50 % mín.	30	35 % máx.	>=80 %	3
CUMPLE	SI	SI (78%)	SI	SI(30%)	SI(148 %)	SI(NP)
SUBBASE GRANULAR CLASE C NT1 (ANTERIOR NORMA SBG-1)	SBG50		25		>=30 %	6
CUMPLE	SI		SI		SI(45 %)	SI(5,8 %)

Fuente: Autora

4.6.2 Resultados ensayos de laboratorio.

Sobre una cantidad representativa de los diferentes tipos de suelo encontrados, se realizaron las pruebas de laboratorio requeridas para clasificar y determinar las propiedades In-situ, así:

- Clasificación

Granulometría por tamizado (INV E 123) (ver anexo B)

Límites de consistencia:

Límite líquido (INV E 125)

Límite plástico (INV E 126)

Índice de plasticidad

(ver anexo B)

- Propiedades "in situ"

Humedad natural (I.N.V.E. 122)

Ensayo de valor relativo de soporte CBR (INV E 148)

Compactación en laboratorio - proctor modificado (INV E 141)

Características geotécnicas de la subrasante-zonificación.

Los registros de los apiques muestran una conformación longitudinal que se puede considerar homogénea; criterios que se consideraron para determinar el sector como una zona de comportamiento homogéneo. La investigación de laboratorio abarca de todos los ensayos y clasificación necesarios para identificar las condiciones del suelo a lo largo del corredor del proyecto. No se registró nivel freático en ninguna de las perforaciones, las humedades son moderadas y se encuentran aproximada y levemente por encima de la humedad de equilibrio, por ello se prefirió en el sector bajo usar el valor de CBR más bajo.

La vía presenta una capacidad de soporte (CBR) bajo en promedio de 5%, con pendientes bajas, el clima es frío y húmedo y los suelos son permeables y tienen expansividad por lo cual se recomienda hacer obras de drenaje adecuadas. La precipitación anual es media, en general los suelos de este sector son de origen residual, presentándose en su gran mayoría arcillas y arenas de baja compresibilidad. Con base en el análisis de la caracterización geológica y los resultados de los ensayos de campo y laboratorio se realizó un resumen de las características físicas y mecánicas de los suelos de subrasante, cuyas características son las siguientes:

TABLA N° 22 Resultados ensayos de laboratorio

Tipo de muestra	PR	CBR	
		Sumergido	
		0.1"	0.2"
Inalterada	1+000	6,6	7.71
Inalterada	1+250	3,00	4.05
Inalterada	1+500	7,2	8.77
Inalterada	1+750	4,6	6.16
Inalterada	2+000	8,3	9.79
Inalterada	2+250	8,5	9.23
Inalterada	2+500	2,7	3.73
Inalterada	2+750	4,8	5.59
Inalterada	3+000	8,2	9.68
Inalterada	3+250	4,00	5.24
Inalterada	3+500	4,9	6.56

Fuente: Autora

Perfiles estratigráficos

El perfil del suelo tiene origen en procesos de meteorización sin transporte, corresponde a suelos que se encuentran por encima de su roca parental y están constituidos principalmente por arcillas de baja plasticidad y resistencia al corte favorables mientras no se encuentren alterados por la humedad.

4.6.3 Estudio de Tránsito.

Basado en la metodología del INVIAS.

- Análisis de tránsito

Se realizó mediante el reconocimiento directo de campo sobre el área de influencia del proyecto, se identificaron los puntos sobre el corredor vial para la medición de los volúmenes vehiculares en el sector. El sitio elegido corresponde al PR0+000.

- Método de medición

Método manual empleando 2 aforadores en diferentes turnos correspondientes a las horas de mayor volumen de tránsito cada día. La medición se realizó para cada sentido de la vía.

- Período de conteo.

Los periodos de conteo corresponden a conteos durante los días de mayor actividad comercial, siendo los días martes y viernes los de más fluidez debido a la compra y venta del mercado regional, y el día domingo debido a actividades lúdicas, por recreación, actividades religiosas entre otras entre el municipio de Soracá y sus alrededores durante un periodo determinado.

FIGURA N° 21 Aforos



Fuente: Autora

TABLA N° 23 Formato para el registro de los volúmenes vehiculares.

[illegible]

Fuente: Autora

El formato de campo que se empleó para la medición de los volúmenes vehiculares, contiene la siguiente información:

- Fecha. Información del día, mes y año, en el cual se está registrando la información de campo.
- Día. Corresponde al día de la semana en el cual se está tomando la información.
- Esquema. En este espacio se traza el croquis de la intersección o tramo que se está aforando en donde se indica los sentidos o flujos que se están aforado a través de ese formato.
- Condiciones climáticas. Se anotan las condiciones climáticas que existen en la intersección o tramo vial en estudio (soleado, nublado o lluvioso).
- Hora inicial. Es la hora inicial correspondiente al formato que en ese momento se está diligenciando.
- Hora final. Es la hora final correspondiente al formato que en ese momento se está diligenciando.

En el formato, aparece un cuadro cuyas columnas representan la siguiente información:

- Período. Corresponde al período de 15 minutos durante el cual se está registrando la información de campo en días normales, y continuo para los días de mayor fluidez.

En las demás columnas se registra el respectivo conteo por tipo de vehículo.

- Tipo de Vehículo. Los vehículos se han clasificado de la siguiente manera:

Autos: corresponden a todos los vehículos livianos (de cuatro ruedas).

Buses: incluyen los buses y busetas.

Camiones: corresponden a todos los vehículos de carga de más de cuatro ruedas. Se han clasificado de acuerdo con el número de ejes así:

Camión C2: Camión de dos (2) ejes.

Camión C3: Camión de tres (3) ejes.

Camión C4: Camión de cuatro (4) ejes.

Camión C5: Camión de cinco (5) ejes.

Camión >C5: Camión de más de cinco (5) ejes.

- Finalmente se anotan las observaciones necesarias relacionadas con el aforo y se registra el nombre de la persona que registra la información y el visto bueno de la persona que proyecta y supervisa la labor.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL

Tránsito vehicular en los dos sentidos

TRÁNSITO SEMANAL = $\sum$ TTOS DIARIOS

TPDS = TRÁNSITO SEMANAL / 7

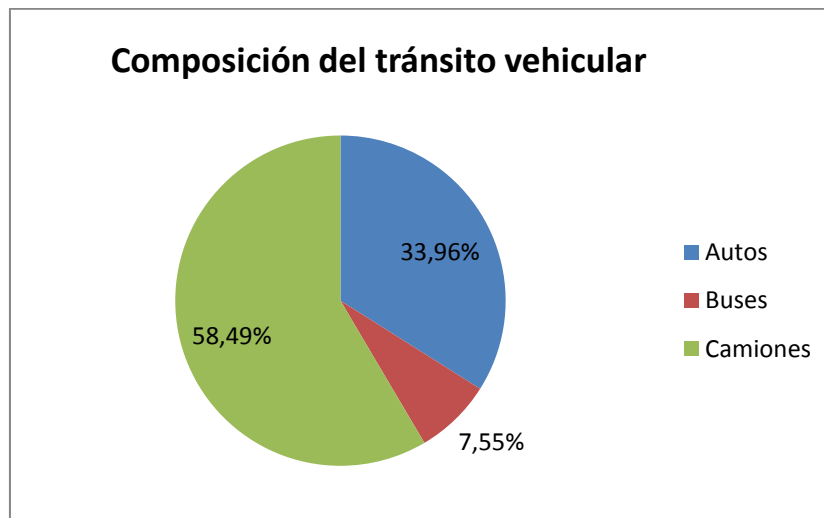
TABLA N° 24 Resultados tránsito en los dos sentidos

TPDS 53		
Autos	Buses	Camiones
18	4	31
33,96%	7,55%	58,49%

BUSES	CAMIONES								
	C2 P	C2 G	C3	C4	C2-S1	C2-S2	C3-S1	C5	>C5
4	0	31	0	0	0	0	0	0	0
100%	0	100%	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autora

FIGURA N° 22 Composición del tránsito vehicular



Fuente: Autora

Cálculo del tránsito para la vía

- Datos sobre la vía

Vía de tercer orden, por lo tanto se clasifica la vía como **categoría III**

Período de diseño = 10 - 30 años se toma para **20 años***

*Dentro del rango recomendado para vías de categoría tipo III por el INVIAS.

- Tránsito

TPDS = 53 vehículos/día

Composición general del tránsito:

Autos = 33,96 % Buses = 7,55 % Camiones = 58,49 %

- **Distribución de los Buses**

Buses = 7,55%

- **Distribución de los Camiones**

Camión C2-P = 0%

Camión C2-G = 100,00%

Camión C3 = 0%

Camión C4 = 0%

Camión C5 = 0%

Camión C6 = 0%

Σ = 100%

- **Distribución direccional**

Fd = 50% (Ancho de calzada = 4 m)

- **Distribución por carril**

Fca = 1

- **Otros datos**

Tránsito atraído estimado = 25% y Tránsito Generado estimado = 25%
(Expresados como % del tránsito normal durante todo el periodo de diseño estructural.)

El tránsito atraído corresponderá a parte del existente en otras vías aledañas

- **Tránsito estimado durante la construcción**

Tránsito por carril y por día durante la construcción, estimado:

TABLA N° 25 Determinación factor camión

Camión	F.D¹⁹
C2P	1,14
C3	3.74
C4	6,73
C5	4.40
>C5	4.72

Determinación del factor daño (camiones)

Factor Camión	FD	%	FD * %
C2P	1,14	0	0
C2G	3,44	100,00	344,00
C3	3,76	0	0
C4	6,73	0	0
C5	4,4	0	0
>C5	4,72	0	0

Fuente: Universidad del Cauca. (Manual de diseño de altos y medios volúmenes). 1996

Crecimiento anual del tránsito

Crecimiento entre el diseño y la construcción =4,5%

Crecimiento normal del tránsito durante el periodo de diseño = 4,5%

Cálculo del tránsito.

Cálculo del número de ejes equivalentes

$$N_o = (N_i + N_a + N_g) * F_d * F_{ca} + N_c \quad N = (N_o - N_c) * \frac{(1+r)^{n-1}}{r} + N_c$$

¹⁹ FD Tomados de UNICAUCA. Obtenidos a nivel nacional en 1996. (Manual de diseño de altos y medios volúmenes)

Cálculo de ni.

Despreciando el tiempo entre el diseño y la construcción:

$$N_{dis} = 53 * 365 = 19.345 \text{ Vehículos}$$

Factor camión global:

$$FC \text{ Global} = (3,44 * 58,49 + 1 * 7,55) / 66,04$$

$$FC \text{ Global} = 3,16$$

$$N_i = 19.345 * 0,6604 * 3,16 = 40.370,38 \text{ ejes equiv/año}$$

Cálculo del número de ejes equivalentes atraídos:

$$N_a = 0,25 * N_i = 0,25 * 40.370,38 = 10.092,60 \text{ ejes/año}$$

Cálculo del número de ejes equivalentes generados:

$$N_g = 0,25 * N_i = 0,25 * 40.370,38 = 10.092,60 \text{ ejes/año}$$

Cálculo del número de ejes durante la construcción. (por carril)

$$N_c = 15 \text{ camiones/día} * 365 \text{ días/año} * 3,44 * 0,25 \text{ años} = 4708,5 \text{ ejes equivalentes.}$$

Cálculo de número de ejes equivalentes al año base

$$N_o = (N_i + N_a + N_g) * F_d * F_{ca} + N_c$$

$$N_o = (40.370,38 + 10.092,60 + 10.092,60) * 0,5 * 1 + 4708,5$$

$$N_o = 34.986,29 \text{ ejes equivalentes de 8,2 Toneladas}$$

Proyección del tránsito durante el período de diseño

Tasa de crecimiento $r = 4,5\%$ Periodo de diseño $n = 10$ o 20 años

$$N = (N_o - N_c) * \frac{(1+r)^n - 1}{r} + N_c$$

Para $n = 10$ Años.

$$N = 376.768,32 \text{ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el carril de diseño}$$

Para $n = 20$ Años.

$N = 954.565,85$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el carril de diseño

$N = 0.95 * 10^6$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el carril de diseño

Confiabilidad en la estimación del tránsito

$$N' = 10^{0.05Z_r} * N$$

Dónde:

N' : Es el tránsito equivalente corregido para proporcionar un determinado nivel de confianza

Z_r : Corresponde a una distribución normal y a la confiabilidad deseada

Nivel de confianza = 90 % (Nivel de confianza)

$Z_r = 1.282$

Para $n = 10$ Años:

$N' = 436.691,14$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño

Para $n = 20$ Años

$N' = 1.106.384,02$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño

$N' = 1.11 * 10^6$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño

4.6.4 Cálculos de Oficina.

Se estableció la unidad de diseño mediante el método del Instituto del Asfalto, definiendo uno solo a lo largo del tramo a evaluar.

Se definió el CBR de diseño así:

TABLA N° 26 Obtención CBR diseño

Resultados de ensayos (de menor a mayor)	Numero de resultados mayores o iguales	Porcentaje de resultados mayores o iguales
2,7	11	100,00
3,00	10	90,91
4,00	9	81,82
4,6	8	72,73
4,8	7	63,64
4,9	6	54,55
6,6	5	45,54
7,2	4	36,36
8,2	3	27,27
8,3	2	18,18
8,5	1	9,09

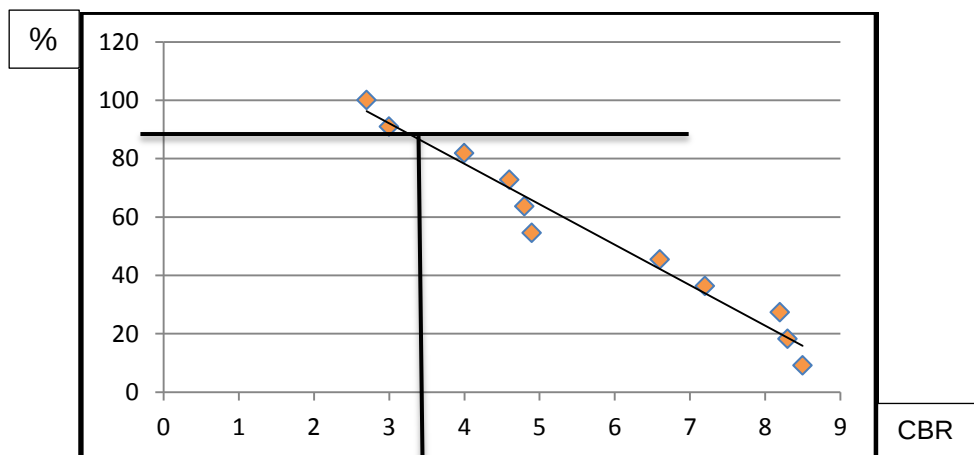
Fuente: Autora

Con un Percentil (tráfico pesado) = 87,5% por medio del criterio del Instituto del Asfalto.

Se obtiene:

CBR de diseño = 3,5 %

FIGURA N° 23 Cálculo CBR



Fuente: Autora

$$MR = 100 * CBR$$

Módulo Resiliente: 350 Kg/cm^2

$N = 1,11 * 10^6$ ejes equivalentes de 8,2 ton en carril de diseño en el periodo de diseño

$n = 20$ años

4.6.4.1 Diseño del pavimento método AASHTO 1993.

Determinación número estructural SN

Tránsito de diseño (Ndis): $N = 1,11 * 10^6$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño.

Pérdida de serviciabilidad (ΔIPS): Se parte de un valor inicial para pavimentos flexibles de $P_o = 4.2$ y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento $P_t = 2.2$. Tabla 7 y Tabla 8.

$$\Delta IPS = P_o - P_t$$

$$\Delta IPS = 4.2 - 2$$

$$\Delta IPS = 2.2$$

Nivel de confianza (R): Se toma un nivel de confianza del 90% es decir la Desviación Normal Estándar que utilizaremos para este diseño es $Z_r = -1.282$

Error normal combinado (So): Para este diseño se utilizará un error normal combinado de $S_o = 0.44$

Módulo Resiliente (Mr): Se utiliza la correlación de $MR = 100 * CBR(\%) (\text{Kg/cm}^2)$ o $MR = 1500 * CBR(\%) (\text{lb/pul}^2)$

$$Mr = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$Mr = 5250 \text{ lb/pul}^2$$

Número estructural: Empleando la Ecuación básica (Ecuación 5):

$$SN = 3,79$$

FIGURA N° 24 Calculo SN

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento:
☒ Pavimento flexible ☐ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):
 90 % $Z_r = -1.282$ So = 0.44

Serviciabilidad inicial y final:
 PSI inicial = 4.2 PSI final = 2

Módulo resiliente de la subrasante:
 Mr = 5250 psi

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

Tipo de Análisis:
☒ Calcular SN ☐ Calcular W18
 W18 = 1100000

Número Estructural:
 SN = 3.79

Calcular Salir

Fuente: ECUACIÓN AASHTO 93 - Cálculo del Número Estructural

Determinación de espesores

Coeficientes estructurales de las capas del pavimento

DETERMINACIÓN DE ESPESORES			
MATERIAL	COEFICIENTE ESTRUCTURAL		DE ACUERDO A
ASFALTO NUEVO	0,4	$E = 350.000$ Lb/pul ²	FIGURA N°5
BASE GRANULAR	0,14	CBR=100%	FIGURA N°7
SUBBASE GRANULAR	0,12	CBR=40%	FIGURA N°8

RELACIONES DE POISSON DE ACUERDO TABLA N° 17	
MATERIAL	VALOR
ASFALTO NUEVO	0,35
BASE GRANULAR	0,4
SUBBASE GRANULAR	0,4

CONDICIONES DE DRENAJE DE ACUERDO TABLA N° 10	
MATERIAL	VALOR
BASE GRANULAR	1
SUBBASE GRANULAR	1

ESPESORES MÍN. AASTHO DE ACUERDO TABLA N° 11	
MATERIAL	VALOR
ASFÁLTICA	3,0pulg
BASE GRANULAR	6 pulg

Se despeja el espesor de subbase granular de la ecuación 7

$$SN = a_1 h_1 + a_2 h_2 m_2 + a_3 h_3 m_3$$

$$3,79 = (0.4 * 3.0 \text{pulg}) + (0.14 * 6.0 \text{pulg} * 1.0) + (0.12 * h_{sbg} * 1.0)$$

$$h_{sbg} = 15 \text{ pulgadas}$$

Chequeo del número estructural

$$SN \text{ (Estructura)} = (0.4 * 3.0 \text{pulg}) + (0.14 * 6.0 \text{pulg} * 1.0) + (0.12 * 15 \text{pulg} * 1.0)$$

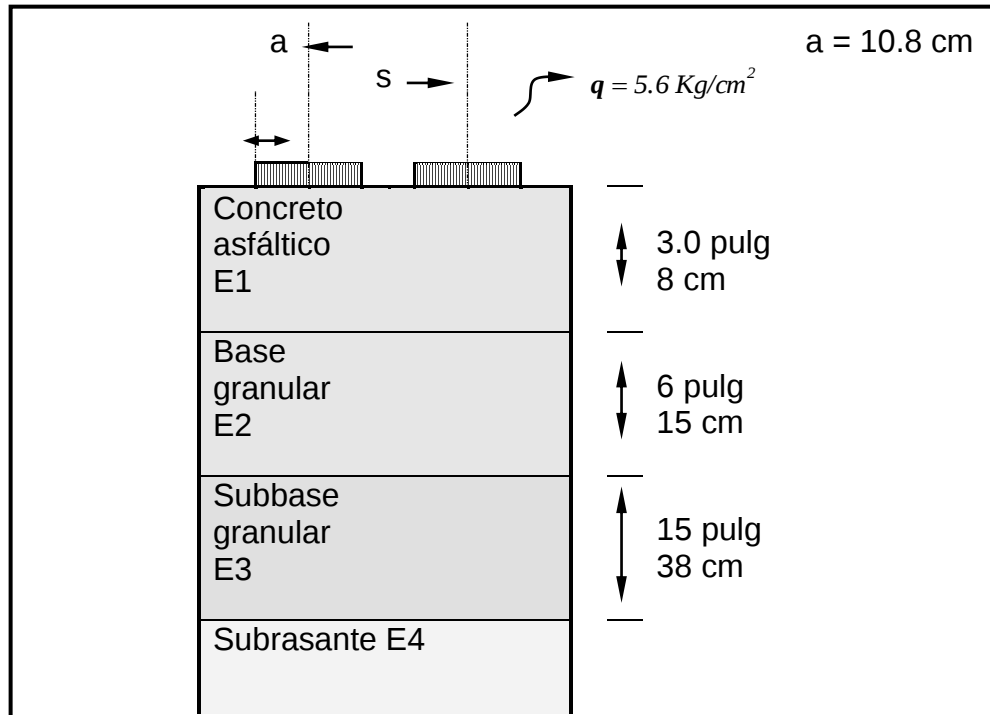
$$SN \text{ (Estructura)} = 3.84$$

$$SN \text{ (Tránsito)} = 3.79 \leq SN \text{ (Estructura)} = 3.84 \text{ Cumple la Condición}$$

Por ende se trabaja con $h_{sbg} = 15 \text{ pulgadas} = 38 \text{ centímetros}$

Luego la estructura seria:

FIGURA N° 25 Modelo estructural



Fuente: Autora

Formulación multicapa para el cálculo de E2, E3 a partir de E4 (SHELL)

$$E2 = 0,206 h^{0,45} E3^{20}$$

$$E3 = 0,206 h^{0,45} E4$$

$$E4 = 350 \text{ Kg/cm}^2 \text{ Subrasante}$$

$$E3 = 1046 \text{ Kg/cm}^2; h \text{ Subbase (15 pulg=381 mm)}$$

$$E2 = 2066 \text{ Kg/cm}^2; h \text{ base (6 pulg= 152 mm)}$$

²⁰ Diseño Racional de Pavimentos, Freddy Reyes. Escuela Colombiana de ingeniería. p. 182

4.6.4.2 Diseño del pavimento método Invias para medios y altos volúmenes de tránsito.

Factores ambientales y climáticos: La zona presenta una precipitación anual de 700mm/año, con una temperatura de 12° C, localizada dentro de la región Fría seca y fría semihúmeda, es decir corresponde según la tabla 14 al rango R1.

Estimación del tránsito de diseño: De acuerdo a la Tabla 13 está en un rango T2 ($1-2 \times 10^6$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el carril de diseño).

Entorno de la resistencia: De acuerdo a la tabla 15 y según el CBR=3,5% se encuentra en la categoría S1

Con los datos anteriores se ubica en la carta de diseño correspondiente según los rangos:

T = T2

R = R1

S = S1

Para determinar la estructura de pavimento se utiliza la Carta de Diseño No.1 – Región 1 (R1) y tenemos como resultado dos alternativas de estructura de pavimentos:

MDC-2: 10 cm

BG-2: 20 cm

SBG-1: 35 cm.

Formulación multicapa para el cálculo de E2, E3 a partir de E4 (Shell)

E4 = 350 Kg/cm² Subrasante

E3 = 1006 Kg/cm²; h Subbase (350 mm)

E2 = 2249 Kg/cm²; h base (200 mm)

MDC-2: 7.5 cm

BEE-1=10 cm

BEE-2: 10 cm

SBG-1: 35 cm.

4.6.4.3 Cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones admisibles.

Deformación radial admisible de tracción en la base de la capa asfáltica:

$\epsilon_{r_{adm}}$:

Empleando la ecuación 12 con el criterio de la Shell la ley de comportamiento de la deformación radial de tracción en la base de la capa asfáltica, se tienen los siguientes datos

Vb = porcentaje de volumen de asfalto en la mezcla (Marshall 10,8%)

E1 = Modulo dinámico de la mezcla asfáltica = 4.000 MPa.*

*Criterio Shell para hallar el módulo de la mezcla densa en caliente para diseño:

Datos:

Asfalto (Datos de Ecopetrol)

Mezcla: Método Marshall. Datos reales de la planta de asfalto de Emiliano Vargas Mesa.

IP: -1,4, $P_{15^{\circ}C}$ = 94 MM/10,

T_{800} = 43°C (Nomograma de penetración), T_{carga} = 0,02 seg (Shell) = 50-60 km/h,

T_{MA} = 14 °C, T_{MIX} = 22°C/10 CM (Grafico RT)

$\Delta T = 43^{\circ} - 22^{\circ} = 21^{\circ}C$, IP; $tc = \epsilon = 2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ (Grafica Van Der Poel)

Marshall = $V_g = 85,03\%$, $V_b = 11,3\%$, $V_a = 3,67\%$

Modulo Dinámico de Mezcla (E)

$E = 5 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

$E = 5,09 \times 10^8 \text{ kg.f/m}^2$

$E = 50,968 \text{ kg/cm}^2$

Para efectos de diseño se tomara un módulo dinámico típico menor al encontrado por si algunas características del asfalto cambian en la construcción.

$E = 4 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

$E = 4,0 \times 10^8 \text{ kg.f/m}^2$

$E = 40,000 \text{ kg/cm}^2$

$N' = 1,11 \cdot 10^6$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño.

K = coeficiente de calage ($k_1 \times k_2 \times k_3$)

K1=auto reparación de fisuras pequeñas, mezcla densa con altos porcentajes de asfalto =10

K2= distribución lateral de carga= 2.5

K3= espesores altos= 0,33

K=8.25

Apoyados además en el programa Cedap 3.0 se tiene:

$$\epsilon_{adm} = 3,405 \times 10^{-4}$$

FIGURA N° 26 Resultados ϵ_{adm} . Cedap 3.0

Deformación de Tracción Admisible

Archivo Resultados Acerca de CEDAP

☒ Deformación de Tracción Admisible ☐ Tránsito

Parámetros de Entrada:

Tránsito: 1100000 Ejes de 8.2 Ton.

Rigidez de Mezcla: 4000 MPa

Vol. de Asfalto: 10,8 %

Factor de Calage: 8,25 ¿K?

Reporte Calcular

Deformación de Tracción Admisible:

Shell International: 3,405E-04 strain

Instituto del Asfalto: 5,968E-05 strain

TRRL: 2,192E-04 strain

CRR de Bélgica: 8,618E-05 strain

Universidad Nottingham: 2,038E-04 strain

Illinois DOT: 1,657E-04 strain

CEDEX de España: 1,456E-04 strain

Salir

Fuente: Cedap 3.0.

Deformación vertical admisible de compresión sobre la subrasante.

De acuerdo a la ecuación 13 con el criterio de la Shell la ley de comportamiento de la deformación vertical de compresión sobre la subrasante, para un nivel de confianza del 85%

Dónde:

$N' = 1,11 \cdot 10^6$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño.

Apoyados además en el programa Cedap 3.0 se tiene:

$$\epsilon_{zadm} = 6,48 \times 10^{-4}$$

FIGURA N° 27 Resultados ϵ_{zadm} . Cedap 3.0

The screenshot shows the 'Deformación Vertical Admisible' window in Cedap 3.0. The window has a menu bar with 'Archivo', 'Resultados', and 'Acerca de CEDAP'. Below the menu bar, there are two radio buttons: 'Deformación Vertical Admisible' (selected) and 'Tránsito'. The 'Parámetros de Entrada' section includes a 'Tránsito' input field with the value '1100000' and the text 'Ejes de 8.2 Ton.'. To the right, there is a 'Shell' section with three radio buttons: 'NC = 50%', 'NC = 85%' (selected), and 'NC = 95%'. Below these are 'Reporte' and 'Calcular' buttons. The 'Deformación Vertical Admisible' section contains a list of values for different organizations, with 'Shell International' circled in blue. The values are as follows:

Organización	Deformación Vertical Admisible (strain)
Shell International	6,484E-04
Instituto del Asfalto	4,720E-04
TRRL	4,431E-04
CRR de Bélgica	4,486E-04
Universidad Nottingham	4,394E-04
Dornon y Metcalf	6,248E-04
Chevron	4,591E-04
LCPC de Francia	7,452E-04

A 'Salir' button is located at the bottom right of the window.

Fuente: Cedap 3.0.

Esfuerzo vertical de compresión admisible sobre la subrasante, σ_{zadm} .

El esfuerzo vertical admisible de compresión sobre la subrasante se determina de acuerdo a los criterios de Dormon – Kerhoven y la CRR de Bélgica, de acuerdo a las ecuaciones 14 y 15 se tiene:

Criterios de Dormon – Kerhoven

$N = 1,11 * 10^6$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño.

$E_{sub} = 350 \text{ Kg/cm}^2$

Apoyados además en el programa Cedap 3.0 se tiene: **$\sigma_{zadm} = 0.46 \text{ Kg/cm}^2$.**

Criterio de la CRR de Bélgica.

Apoyados además en el programa CedaP 3.0 se tiene:

$\sigma_{zadm} = 0.173 \text{ Kg. /cm}^2$.

FIGURA N° 28 Resultados σ_{zadm} . Cedap 3.0

Esfuerzo Vertical Admisible

Archivo Resultados Acerca de CEDAP

☒ Esfuerzo Vertical Admisible ☐ Tránsito

Parámetros de Entrada:

Tránsito: 1100000 Ejes de 8.2 Ton.

CBR: 3.5 %

Reporte Calcular

Esfuerzo Vertical Admisible:

CRR de Bélgica: 1,730E-02 MPa

Kerhoven y Dormon: 4,595E-02 MPa

Salir

Fuente: Cedap 3.0.

Determinación de la deflexión admisible de la estructura del pavimento.

De acuerdo a la ecuación 16 y apoyados en el programa Cedap 3.0 se tiene:

FIGURA N° 29 Resultados Δ_{adm} . Cedap 3.0

The screenshot shows the 'Deflexión Admisible' window in Cedap 3.0. The window has a menu bar with 'Archivo', 'Resultados', and 'Acerca de CEDAP'. Below the menu bar, there are two radio buttons: 'Deflexión Admisible' (selected) and 'Tránsito'. Under 'Parámetros de Entrada:', there is a text box for 'Tránsito' containing '1100000' and the label 'Ejes de 8.2 Ton.'. Below this are 'Reporte' and 'Calcular' buttons. Under 'Deflexión Admisible:', there is a list of criteria with corresponding values in text boxes. The 'Criterio de Huang' value '8,860E-01 mm' is circled. The 'Salir' button is at the bottom right.

Criterio	Deflexión Admisible (mm)
Criterio de Huang	8,860E-01
Instituto del Asfalto	9,317E-01
AASHTO Road Test (Pt = 2.5)	8,892E-01
CGRA de Canadá	1,934E+00
RTAC de Canadá	9,873E-01
Criterio de Ivanov	9,886E-01
Criterio Checoslovaco	8,677E-01
Criterio Belga	2,323E+00

Fuente: Cedap 3.0.

$$\Delta_{adm} = 0.886 \text{ mm}$$

4.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.7.1 Estructura método AASTHO

Realizando la modelación utilizando Depav²¹

FIGURA N° 30 Evaluación Depav método AASTHO

Trabajo <0001>					
Número de Capas [2..6] 4					
Radio de Carga [cm]				10.8	
Presión de Contacto [Kg/cm²]				5.6	
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]				32.4	
Capas	E [Kg/cm²]	μ []	H [cm]	Ligada ó No	
1ª	40000	0.35	8	L	
2ª	2066	0.40	15	L	
3ª	1046	0.4	38	L	
4ª	350	0.5			
5ª					
6ª					

Título del Trabajo : DISEÑO VIA SORACA					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1ª	0.00	3.2400E-04 B	2.1312E+01 B	-2.0600E-04 B	5.5982E+00 A
	8.00	-2.9700E-04 B	-1.5805E+01 B	2.9800E-04 B	1.8457E+00 B
2ª	8.00	-2.9700E-04 B	3.0081E-01 B	7.5000E-04 B	1.8457E+00 B
	23.00	-3.7900E-04 C	-6.2202E-01 C	5.7100E-04 C	7.8007E-01 C
3ª	23.00	-3.7900E-04 C	-5.8021E-02 C	7.4300E-04 C	7.8007E-01 C
	61.00	-2.6200E-04 C	-3.1305E-01 C	4.1500E-04 C	1.9170E-01 C
Deflexión =		80.890 mm/100			
Radio de Curvatura =		120.000 m			

Fuente: Depav.

²¹ SOLANO FAJARDO, Efraín y Otros. Diseño estructural de pavimentos Depav. Popayán. 1994

Título del Trabajo : DISEÑO VIA SORACA					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
4ª	61.00	-2.6200E-04 C	1.5601E-02 C	4.9400E-04 C	1.9170E-01 C
5ª					
6ª					
Deflexión = 80.890 mm/100					
Radio de Curvatura = 120.000 m					

Fuente: Depav.

TABLA N° 27 Tabla comparativa estructura AASTHO

Capa	Parámetro	Valor de servicio	Valor admisible	Vservicio /Vadmisible (%)
Capa asfáltica	ϵ_{adm}	$2,97 \times 10^{-4}$	$3,405 \times 10^{-4}$	87%
Subrasante	ϵ_{zadm}	$4,94 \times 10^{-4}$	$6,48 \times 10^{-4}$	76%
Subrasante	σ_{zadm}	0,197	0.4594	43%
Subrasante	σ_{zadm}	0,197	0.173	110%
Estructura	Δ_{adm}	0,80	0.886	90%

Fuente: Autora

Se comprobó que la estructura presentada cumple con los criterios de deformaciones y esfuerzos admisibles, excepto σ_{zadm} por el criterio de K y D no cumple. Pero algunos criterios no cuentan con reserva mínima del 15%, por lo que es necesario replantear el modelo.

4.7.2 Estructura método INVIAS

Realizando la modelación utilizando Depav

FIGURA N° 31 Evaluación Depav Estructura Método INVIAS

Número de Capas [2..6] 4				
Radio de Carga [cm]			10.8	
Presión de Contacto [Kg/cm²]			5.6	
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]			32.4	
Capas	E [Kg/cm²]	μ []	H [cm]	Ligada ó No
1ª	40000	0.35	10	L
2ª	2249	0.40	20	L
3ª	1006	0.4	35	L
4ª	350	0.5		
5ª				
6ª				

Título del Trabajo : DISEÑO VIA SORACA					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1ª	0.00	2.5500E-04 B	1.7437E+01 B	-1.6400E-04 C	5.5982E+00 A
	10.00	-2.4000E-04 B	-1.2746E+01 B	2.3900E-04 B	1.4786E+00 B
2ª	10.00	-2.4000E-04 B	1.6825E-01 B	5.7400E-04 B	1.4786E+00 B
	30.00	-2.7800E-04 C	-6.0672E-01 C	4.2300E-04 C	5.1801E-01 C
3ª	30.00	-2.7800E-04 C	-8.0454E-02 C	5.5600E-04 C	5.1801E-01 C
	65.00	-2.1300E-04 C	-2.4371E-01 C	3.4300E-04 C	1.5703E-01 C
Deflexión = 71.010 mm/100					
Radio de Curvatura = 175.160 m					

Fuente: Depav.

Título del Trabajo : DISEÑO VIA SORACA					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
4ª	65.00	-2.1300E-04 C	1.2134E-02 C	4.0600E-04 C	1.5703E-01 C
5ª					
6ª					
Deflexión = 71.010 mm/100					
Radio de Curvatura = 175.160 m					

Fuente: Depav

TABLA N° 28 Tabla comparativa estructura INVIAS

Capa	Parámetro	Valor de servicio	Valor admisible	Vservicio /Vadmisible (%)
Capa asfáltica	ϵ_{adm}	$2,40 \times 10^{-4}$	$3,405 \times 10^{-4}$	70%
Subrasante	ϵ_{zadm}	$4,06 \times 10^{-4}$	$6,48 \times 10^{-4}$	63%
Subrasante	σ_{zadm}	0,157	0.4594	34%
Subrasante	σ_{zadm}	0,157	0.173	91%
Estructura	Δ_{adm}	0,71	0.886	80%

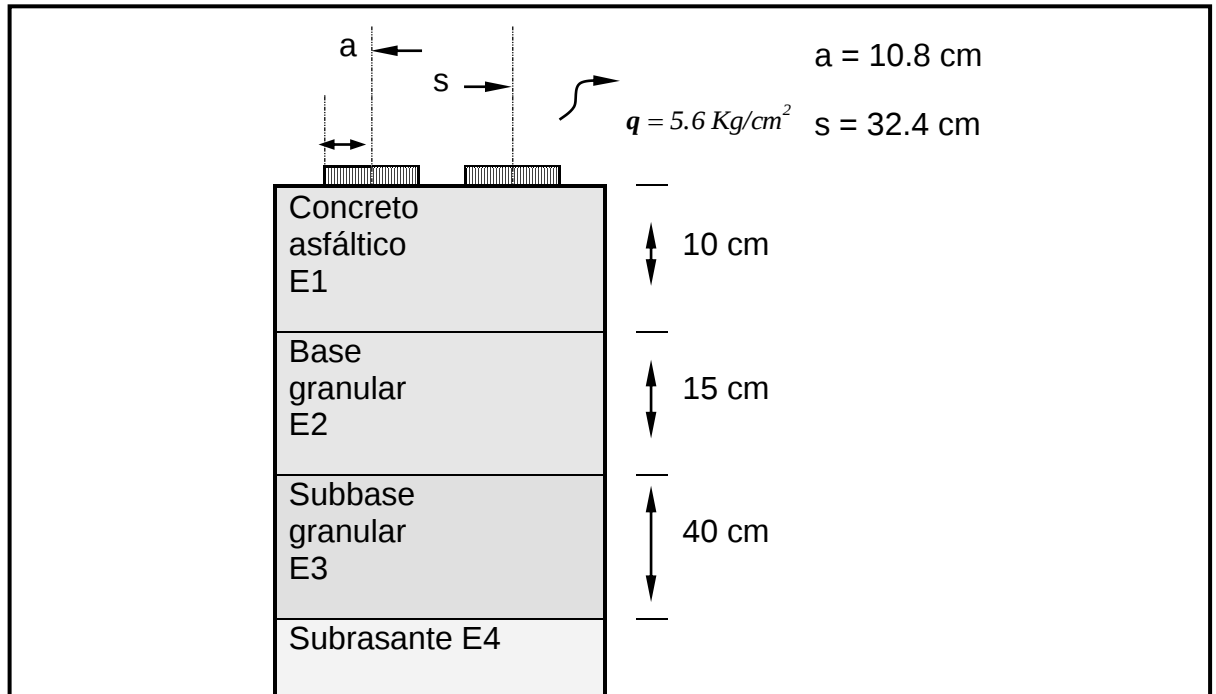
Fuente: Autora

Se comprobó que la estructura presentada cumple con los criterios de deformaciones y esfuerzos admisibles, además que se tiene un amplio rango de reserva. Permite replantear el modelo mejorando espesores.

4.7.3 Evaluación de alternativas de diseño.

Al hacer varios chequeos se toma la siguiente estructura:

FIGURA N° 32 Modelo estructural definitivo



Fuente: Autora

Formulación multicapa para el cálculo de E2, E3 a partir de E4 (Shell)

E4 = 350 Kg/cm^2 Subrasante

E3 = 1069 Kg/cm^2 ; h Subbase (400 mm)

E2 = 2099 Kg/cm^2 ; h base (150 mm)

FIGURA N° 33 Evaluación Depav Estructura Final

Número de Capas [2..6] 4				
Radio de Carga [cm]			10.8	
Presión de Contacto [Kg/cm²]			5.6	
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]			32.4	
Capas	E [Kg/cm²]	μ []	H [cm]	Ligada ó No
1ª	40000	0.35	10	L
2ª	2099	0.40	15	L
3ª	1069	0.4	40	L
4ª	350	0.5		
5ª				
6ª				

Título del Trabajo : DISEÑO VIA SORACA					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1ª	0.00	2.6500E-04 B	1.7947E+01 B	-1.6900E-04 C	5.5982E+00 A
	10.00	-2.5300E-04 B	-1.3460E+01 B	2.4900E-04 B	1.4072E+00 B
2ª	10.00	-2.5300E-04 B	1.3664E-01 B	5.9400E-04 B	1.4072E+00 B
	25.00	-3.0100E-04 C	-5.1087E-01 C	4.7000E-04 C	6.4547E-01 C
3ª	25.00	-3.0100E-04 C	-4.9252E-02 C	6.0900E-04 C	6.4547E-01 C
	65.00	-2.1800E-04 C	-2.6920E-01 C	3.4700E-04 C	1.6213E-01 C
Deflexión		= 73.010 mm/100			
Radio de Curvatura		= 166.900 m			

Fuente: Depav.

Título del Trabajo : DISEÑO VIA SORACA					
Número de Capas : 4			Alternativa : 1		
Capa Nº	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm ²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm ²)
4ª	65.00	-2.1800E-04 C	1.4378E-02 C	4.1500E-04 C	1.6213E-01 C
5ª					
6ª					
Deflexión = 73.010 mm/100					
Radio de Curvatura = 166.900 m					

Fuente: Depav.

TABLA N° 29 Tabla comparativa estructura final

Capa	Parámetro	Valor de servicio	Valor admisible	Vservicio /Vadmisible (%)
Capa asfáltica	ϵ_{adm}	$2,53 \times 10^{-4}$	$3,405 \times 10^{-4}$	74%
Subrasante	ϵ_{zadm}	$4,15 \times 10^{-4}$	$6,48 \times 10^{-4}$	64%
Subrasante	σ_{zadm}	0,162	0.4594	35%
Subrasante	σ_{zadm}	0,162	0.173	94%
Estructura	Δ_{adm}	0,73	0.886	82%

Fuente: Autora

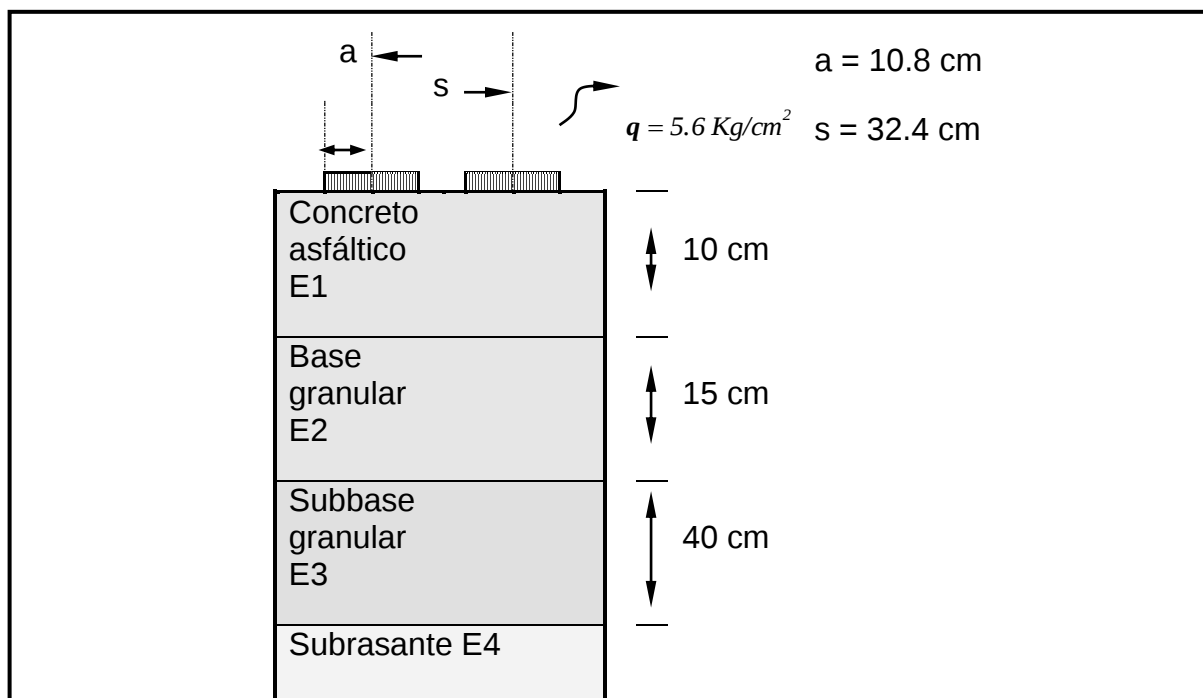
Se comprobó que la estructura presentada cumple con los criterios de deformaciones y esfuerzos admisibles, además que se tiene un rango mínimo de reserva del 15% según lo requerido.

5. CONCLUSIONES

Finalizado el proyecto se pudo concluir que:

- ✓ Analizados cada uno de los factores propios de la región que influyen directamente en el estado de la red vial del Departamento, se pudo definir que la estructura a construir en el tramo estudiado cumple con los valores admisibles de esfuerzos y deformaciones y se constituye con espesores de 10 cm de Carpeta asfáltica, 15 cm de base granular y 40 cm de subbase granular, siendo esta la más óptima de las alternativas realizadas por el método de la AASTHO y el método del INVIAS, como se observa a continuación.

MODELO ESTRUCTURAL DEFINITIVO



Fuente: Autora

- ✓ Después de realizado el análisis de la vía en estudio, se pudo entregar diferentes alternativas de diseño de pavimento flexible, escogiendo la que cumple con cada uno de los parámetros establecidos en la normatividad que rige estos diseños, gracias al método de revisión de esfuerzos por medio del programa DEPAV, el cual permitió realizar simplificaciones, explorando diferentes alternativas para así encontrar una que permita optimizar los

materiales, dando como diferencia en cada uno de los métodos el espesor de cada una de las capas con valores un poco similares.

- ✓ De acuerdo a los apiques realizados a lo largo del tramo analizado, se puede inferir que la subrasante está conformada por arcillas inorgánicas de baja plasticidad con un índice plástico máximo del 15% de mediana resistencia, con un CBR de 3.5%, además no se registró nivel freático, lo cual significa que no se verá afectada la estructura planteada.
- ✓ La vía Potrerillo Vereda Puente Hamaca es una vía de tercer orden, cuya composición general del tránsito es cerca del 34% de autos, 7% de buses y 58% de camiones, con un tránsito promedio diario de 53 vehículos. Lo anterior indica que aunque es bajo el TPD el porcentaje de camiones es alto, lo cual afecta notablemente la estructura vial.
- ✓ Después del análisis realizado a los materiales disponibles en la zona, se puede concluir que dichos materiales cumplen con las especificaciones del INVIAS, y que además los métodos constructivos, así como las especificaciones técnicas que deben cumplir las capas de pavimento a conformar, están basados en la normatividad del Instituto Nacional de Vías INVIAS.
- ✓ Con la realización de este proyecto, mejoraría la movilidad del sector al intervenir la conectividad de los municipios aledaños y permitir un mejor flujo vehicular. Además, se espera mejorar la infraestructura local e imagen vial que contribuya al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes beneficiados.

6. RECOMENDACIONES

- ✓ En el tramo estudiado, es necesario el mantenimiento y/o construcción de alcantarillas, ya que las existentes son mínimas y no se encuentran en buen estado con el fin de buscar la óptima funcionalidad de la vía, además se propone la construcción de cunetas en concreto a ambos lados de la vía permitiendo un adecuado manejo de las aguas de escorrentía.
- ✓ Se recomienda utilizar materiales para base y subbase de buena calidad, cumpliendo las especificaciones correspondientes a las mismas. La base granular debe construirse en lo posible con un sobre ancho superior de la vía de tal forma que la cuneta se apoye sobre dicho material bien compactado donde sea necesario. Es decir, donde se requiera la construcción de nuevas estructuras.
- ✓ Es necesario realizar filtros perimetrales para evitar que el agua ocasione daños a la estructura, los cuales deben ser ubicados en la parte que recibe las filtraciones por pendiente.

BIBLIOGRAFÍA

AASTHO. Guide for desing of Paviment Structures. *Washington, D.C* : American Association of State Hihgway and Transportation Officials. 1993.

HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. 2009. *Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras.* Tunja : Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. UPTC, 2009. Vol. 1.

HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. 2009. *Nociones sobre métodos de diseño de estructura de pavimentos para carreteras.* Tunja : Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. UPTC, 2009. Vol. 2.

HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. *Manual práctico para la utilización del programa Bisar 3.0 y Depav para el cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones en estructuras de pavimento. Guías de clase.* Tunja : Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería.UPTC, 2007

INVIAS. *Normas y Especificaciones generales de construcción de Carreteras.* 2012

INVIAS. *Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. p.14.* Popayán : s.n., 1998.

Montejo Fonseca, Alfonso. 2008. *Ingeniería de pavimentos.* 3. Bogotá : Panamericana formas e impresos s.a., 2008.

Sanabria, Angélica. 2014. *Metodologías a usar en Trabajos de Grado..* Bogotá : s.n., 2014.

SANCHEZ, FERNANDO SABOGAL. 1996. *Estabilización de Suelos.* Popayán : Universidad del Cauca, 1996.

UNICAUCA. 1996. *Manual de diseño de altos volúmenes.* 1996.

INFOGRAFÍA

<http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq>

<http://www.mintransporte.gov.co>

<http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>

ANEXOS

ANEXO A. CARTAS DE DISEÑO DEL MÉTODO INVIAS

ANEXO B. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

ANEXO C. ESTUDIO DE TRANSITO