

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA VIA URBANA
UBICADA EN LA CARRERA 64 ENTRE DIAGONAL 79 B Y CALLE 79 C EN LA
CIUDAD DE BOGOTÁ



PROYECTO DE APLICACIÓN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

Director de trabajo de grado:
Ing. José Luis Mercado Pérez

Presentado por:
Ing. Luis Felipe Támara Renza

Título profesional Obtenido
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
Bogotá D.C., Junio de 2019



**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA VIA URBANA
UBICADA EN LA CARRERA 64 ENTRE DIAGONAL 79 B Y CALLE 79 C EN LA
CIUDAD DE BOGOTÁ**

BOGOTÁ D.C. 2019

Nota de aceptación

Presidente de Jurados

Firma de Jurado

Firma de Jurado

Bogotá, Junio de 2019

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos y deseados títulos.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres

A mi hermana y novia por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mis Padres que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

También quiero agradecer a la Universidad Militar Nueva Granada, directivos y profesores por la organización del programa de Especialización en Pavimentos.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3	JUSTIFICACIÓN	5
4	OBJETIVOS	7
4.1	4.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
4.2	4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
5	DELIMITACION	8
5.1	MARCO TEÓRICO.....	9
5.2	Tránsito	9
5.3	La subrasante	10
5.3.1	Periodo de diseño del tránsito.....	10
5.3.2	Clasificación Vehicular.....	12
5.3.3	Determinación del TPD	16
5.3.4	Determinación de las características del suelo.....	17
5.3.5	Método AASHTO para diseño de pavimentos	19
5.3.5.1	Datos de Entrada y Utilización del método	19
6	METODOLOGIA.....	29
6.1	Tránsito de Diseño	29
6.2	Cálculo de Ejes Equivalentes.....	29
6.3	DISEÑO ESTRUCTURAL	32
7	RESULTADOS.....	34
7.1	Sub-Rasante	34
7.2	Tránsito	35

7.3	Diseño estructura de pavimento.....	36
7.3.1	Opción 1.....	36
7.3.2	Opción 2.....	40
8	CONCLUSIONES	42
9	RECOMENDACIONES.....	44
10	BIBLIOGRAFÍA	45

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación Vehicular	12
Figura 2. MR Base granular (Fonseca, 2002).....	22
Figura 3. MR estabilizada con cemento (Fonseca, 2002).....	23
Figura 4. Base estabilizada con Asfalto (Fonseca, 2002).....	24
Figura 5. Subbase (Fonseca, 2002).....	25
Figura 6. Interfaz Software AASHTO93	27
Figura 7. Selección Tipo de Pavimento.	28
Figura 8. Cálculo de espesores (AASHTO, 1993).....	33
Figura 9. Cálculo SN3.....	38
Figura 10. Cálculo SN2.....	38
Figura 11. Cálculo SN1.....	39
Figura 12. Espesores Opción 1	40
Figura 13. Espesores Finales Opción 2.....	41

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera	11
Tabla 2. Periodos de Diseño Para Carreteras según IDU.	11
Tabla 3. Peso Máximos por Eje.	15
Tabla 4. Dimensiones Máximas de Vehículos.....	15
Tabla 5. Formato de Registro de Volúmenes Vehiculares	17
Tabla 6. Niveles de Confiabilidad (AASHTO, 1993).....	20
Tabla 7. Índices de Serviciabilidad (AASHTO, 1993).....	20
Tabla 8. Valores Recomendados de So. (AASHTO, 1993).....	21
Tabla 9. Capacidad de Drenaje (AASHTO, 1993)	26
Tabla 10. Coeficientes de Drenaje (mi) (AASHTO, 1993)	26
Tabla 11. Factor Carril.....	27
Tabla 12. Valores de Confiabilidad	31
Tabla 13. Propiedades Sub-rasante.....	34
Tabla 14. TPD.....	35
Tabla 15. Datos de Entrada Transito.....	35
Tabla 16. Cálculo de Ejes Equivalentes 8,2 Ton	36
Tabla 17. Datos de Entrada Alternativa 1	37

Tabla 18. Espesores Estructura Opción 1	39
Tabla 19. Espesores Opción 2.....	41

1 INTRODUCCIÓN

Al momento de desarrollar un diseño de una vía, en este caso una vía urbana, siempre existirán factores y condiciones propias del terreno y el clima de la zona con las cuales tenemos que coexistir y entrar a indagar, con el presente documento se pretende establecer un diseño de estructura de vía en pavimento flexible que satisfaga con las características de serviciabilidad de la zona, la cual se ubica en la ciudad de Bogotá en localidad de BARRIOS UNIDOS, más exactamente en la Carrera 64 entre Diagonal 7 B y Calle 79 C, el diseño a abarcar se basa según la metodología propuesta por AASHTO, la cual rige todos los parámetros y consideraciones a tener en cuenta para el diseño de una estructura de pavimento flexible, dando como resultados varias opciones de diseño.

La vía urbana local en la ciudad de Bogotá de la localidad de Barrios Unidos, se considera una NT2¹ (Nivel de Tránsito 2), ya que posee un TPD (Tránsito Promedio Diario) alto, con paso de vehículos tipo camión, esto quiere decir que posee un tránsito de diseño de entre 500.000 a 5 millones de ejes equivalentes de 8.2 Ton.

Adicional a lo anterior nos basamos en los ensayos de laboratorio pertinentes y necesarios elaborados por la UMV, los cuales son fundamental para el diseño de la estructura y por

consiguiente son los solicitados por la normatividad, estos fueron valor del CBR en la subrasante, apiques, Cono Dinámico, Penetrometro Dinámico, límites de Atterberg, entre otros, para con esto partir de dicho valor y poder diseñar la estructura de pavimento flexible.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La malla vial de una ciudad, en este caso la ciudad de Bogotá, está constituida por una serie de tramos viales. Los cuales conectan y conforman la malla arterial principal y complementaria, sirviendo como alternativa de circulación a éstas, además permite el acceso y la fluidez de la ciudad a escala zonal.

La malla vial urbana de la ciudad de Bogotá está compuesta por la malla arterial, intermedia y local, dicha malla alcanzo aproximadamente 14.014,2 km/carril, de los cuales 1.114,5 km/carril corresponden a Troncales, 2.713,6 km/carril a malla vial arterial, 3.218 km/carril malla vial intermedia y 6.968,1 malla vial local y de los cuales el 23% se encuentra en estado malo y requieren intervención por parte del distrito. (IDU, 2018)

De lo anterior podemos deducir que aunque se realizan mantenimientos a los diferentes segmentos viales de las localidades de la ciudad de Bogotá, en algunas ocasiones no se tienen en cuenta cada una de las necesidades del pavimento y del tránsito al cual se expone, además de saber que algunos de estos mantenimientos son el su mayoría superficiales, por tal motivo los daños con el paso del tiempo se siguen reflejando hasta no intervenir de manera adecuada desde la subrasante.

Para esto es necesario identificar ¿cuál sería el diseño de la estructura de pavimento más viable y que mejor se comporte para el segmento vial estudiado, teniendo en cuenta las condiciones de tránsito a las cuales se expone?, basándose en “GUÍA DE DISEÑO PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES” del IDU.” (IDU, 2013)

3 JUSTIFICACIÓN

En la ciudad de Bogotá se presentan varios tipos de vías locales, construidas en diferentes materiales y capas de rodadura, entre estas pavimento rígido, flexible, articulado, entre otros, es por ello que se ve la necesidad de hacer un seguimiento a algunos tipos de vías, las cuales según lo construido, no son aptas para las cargas de tránsito a las cuales son sometidos, por tal motivo el distrito invierte demasiado dinero en realizar mantenimientos rutinarios a estas vías, acarreando presupuestos demasiado altos para mantener una malla vial local en óptimas condiciones.

De tal manera que lo que se propone es realizar el diseño del segmento vial de la localidad de Barrios Unidos, ubicado la Carrera 64 entre Diagonal 7 B y Calle 79 C, teniendo en cuenta las condiciones de tránsito y climatológicas a las cuales se expone, se realizó un diseño de la estructura de pavimento flexible ideal, para con ello prolongar la vida del pavimento y con esto reducir de alguna manera los costos de mantenimientos rutinarios.

Es de vital importancia tener en cuenta las características urbanas, es decir, el requerimiento de drenajes superficiales y sumideros necesarios para mantener la vía en un estado drenante, ya que es bien sabido que el peor problema de los pavimentos es la percolación de las aguas que se infiltran en la estructura.

Según lo anterior los habitantes de la ciudad contarán con una mejor calidad de manejo y confort al momento de transitar por el segmento vial, ya que será una vía en óptimas condiciones de manejo, se alivianara el tráfico del sector puesto que no habrá embotellamiento por mala calidad de la capa de rodadura y los vehículos no sufrirán gastos mecánicos al momento de transitar.

4 OBJETIVOS

4.1 4.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar la estructura de pavimento flexible para la vía ubicada en la Carrera 64 desde Diagonal 79 B hasta la calle 79 C, de la localidad de barrios unidos en la ciudad de Bogotá, buscando mejorar el estado de la malla vial de dicha localidad.

4.2 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

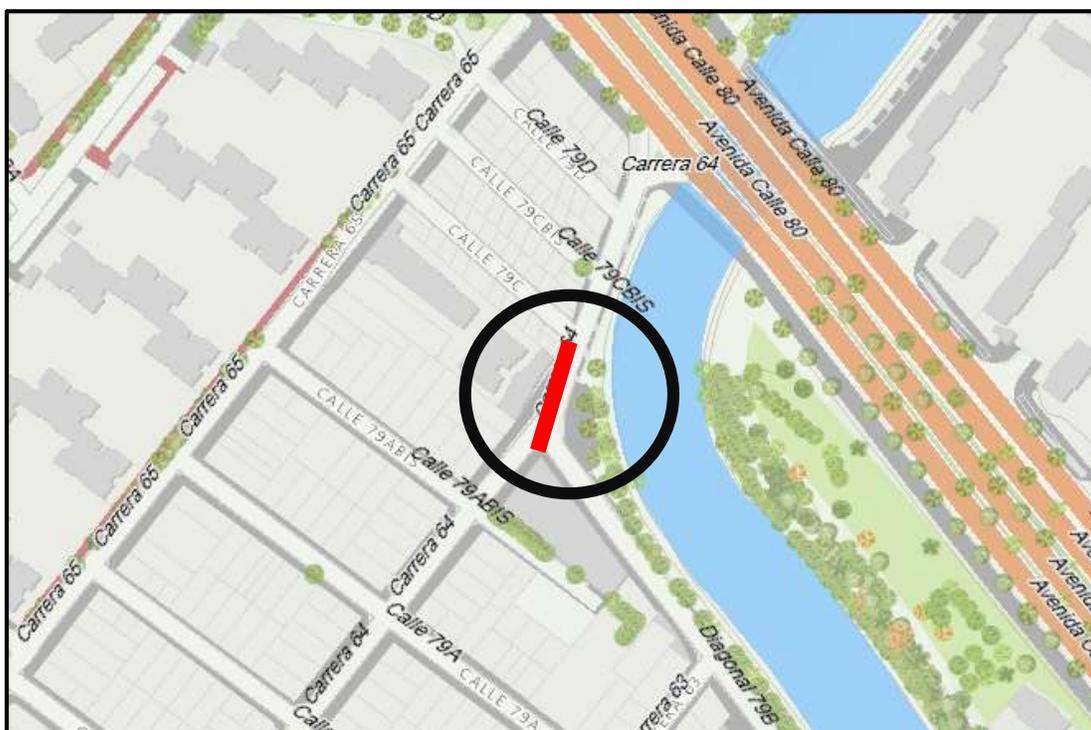
- Verificar y conocer el estado actual de la carpeta asfáltica de la vía intervenida.
- Conocer los espesores actuales de la estructura de pavimento en el segmento vial a estudiar.
- Identificar cual sería la estructura de pavimento más adecuada para implementar en la vía.
- Realizar el diseño de pavimentos flexible, basándose en los estudios de TPD obtenidos en campo.

5 DELIMITACION

La vía local de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá, localidad de Barrios Unidos, UPZ 22 Doce de Octubre, barrio Simón Bolívar en la dirección Carrera 64 entre Diagonal 7 B y Calle 79 C.

El proyecto se basa en diseñar una estructura de pavimento flexible, basándose en datos obtenidos de la UMV, puesto que el tiempo es un poco limitado no hay posibilidad de hacer ensayos de laboratorio, conteos de TPD, sabiendo de igual manera que no se cuentan con los recursos económicos para realizarlos, puesto que todo esto acarrea costos monetarios.

Figura 1 Ubicación Segmento Vial.



5.1 MARCO TEÓRICO

Los pavimentos se diseñan y construyen con el objetivo de prestar el servicio para el cual fue concebido, durante un periodo determinado, manteniendo unas condiciones de seguridad óptimas, con un costo apropiado. En el diseño del pavimento es necesario tener en cuenta varios elementos, de los cuales los más importantes son la capacidad de soporte del suelo, el tránsito que circulará sobre la estructura durante todo su periodo de diseño, las condiciones climáticas y los materiales con que se construirá

Una estructura de pavimento para una vía se fundamenta por el tránsito de esta y al cual estará sometida, para esto es importante conocer la capacidad de soporte del suelo CBR y de allí exponer una solución viable con una relación costo/beneficio deseable y coherente.

5.2 Tránsito

Interesan para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje (simple, tándem y tridem) esperadas en el carril de diseño (el más solicitado) que determinara la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo (Fonseca, 2002).

5.3 La subrasante

De la calidad de esta capa depende, en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito (Fonseca, 2002).

5.3.1 Periodo de diseño del tránsito.

El periodo de diseño de un pavimento se define como el tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento, evaluando su comportamiento para distintas alternativas a largo plazo, con el fin de satisfacer las exigencias del servicio durante el periodo de diseño elegido, a un costo razonable.

Los periodos de diseño recomendados por la AASHTO se muestran en la tabla 2.

Para determinar el periodo de diseño de la vía en estudio se verificara aparte del tránsito que abarca, el tipo de suelo sobre el cual estará apoyada la estructura, ya que si se tiene suelos posiblemente expansivos, se recomendará usar periodos de diseño cortos, puesto que se tendrán en cuenta la necesidad de mantenimientos periódicos.

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) determina que el periodo de diseño para las estructuras de pavimentos al que se debe proyectar el tránsito corresponde al descrito en la tabla 2 (IDU, 2013), sin embargo se debe tener en cuenta que según la guía AASHTO propone unos tiempos más prolongados, estos datos son simplemente de proyección en las mejores condiciones, aunque es de vital importancia que estos valores se rigen directamente por el número de ejes equivalentes de 8,2 Ton al cual estará sometida nuestra estructura.

Tabla 1. Periodos de Diseño en Función del Tipo de Carretera

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño (Años)
Urbana de tránsito elevado.	30 – 50
Interurbana de tránsito elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15 – 25
De baja intensidad de tránsito, pavimentación con grava	10 – 20

Fuente: (AASHTO, 1993)

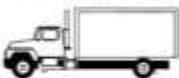
Tabla 2. Periodos de Diseño Para Carreteras según IDU.

Tipo de Pavimento	Periodo de Diseño (años)
Flexible	10
Rigido	20
Articulado	10

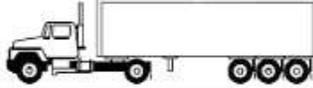
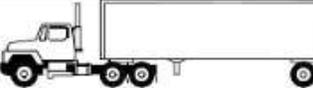
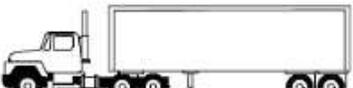
5.3.2 Clasificación Vehicular

La clasificación vehicular esta dictaminada por la resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004 (ministerio de transporte, 2004), en la cual se muestra los pesos y dimensiones máximas de cada tipo de vehículo como se muestra a continuación.

Figura 1. Clasificación Vehicular

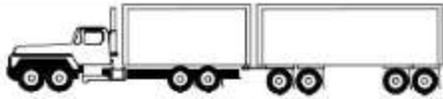
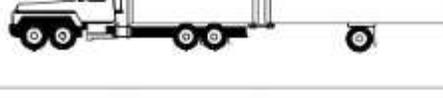
Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión Sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
4		Camión de cuatro ejes
2S1		Tractocamión de dos ejes con semirremolque de un eje

(IDU, 2013)

Designación	Configuración	Descripción
2S3		Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes
3S1		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes
R2		Remolque de dos ejes
2 R2		Camión de dos ejes con remolque de dos ejes
2R3		Camión de dos ejes con remolque de tres ejes
3 R2		Camión de tres ejes Dobletroque con remolque de dos ejes

3 R3		Camión de tres ejes Dobletroque con remolque de tres ejes
4 R2		Camión de cuatro ejes con remolque de dos ejes

(IDU, 2013)

4R4		Camión de cuatro ejes con remolque de cuatro ejes
2 B1		Camión de dos ejes con remolque balancín de un eje
2B2		Camión de dos ejes con remolque balancín de dos ejes
2B3		Camión de dos ejes con remolque balancín de tres ejes
3 B1		Camión de tres ejes. Dobletroque con remolque balancín de un eje
3B2		Camión de tres ejes. Dobletroque con remolque balancín de dos ejes
3B3		Camión de tres ejes. Dobletroque con remolque balancín de tres ejes
4B1		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de un eje
4B2		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de dos ejes
4B3		Camión de cuatro ejes con remolque balancín de tres ejes

(IDU, 2013)

A continuación se muestran los pesos máximos por eje y dimensiones máximas según la resolución 4100 de 2004:

Tabla 3. Peso Máximos por Eje.

Tipo de eje	Peso máximo por eje, kg
<i>Eje sencillo</i>	
Dos llantas	6.000
Cuatro llantas	11.000
<i>Eje tandem</i>	
Cuatro llantas	11.000
Seis llantas	17.000
Ocho llantas	22.000
<i>Eje tridem</i>	
6 llantas	16.500
8 llantas	19.000
10 llantas	21.500
12 llantas	24.000

Tabla 4. Dimensiones Máximas de Vehículos

Designación	Dimensiones		
	Ancho máximo, m	Altura máxima, m	Longitud máxima, m
2	2,60	4,40	10,80
3	2,60	4,40	12,20
4	2,60	4,40	12,20
2S1	2,60	4,40	18,50
2S2	2,60	4,40	18,50
2S3	2,60	4,40	18,50
3S1	2,60	4,40	18,50
3S2	2,60	4,40	18,50
3S3	2,60	4,40	18,50
2R2	2,60	4,40	18,50
3R2	2,60	4,40	18,50
4R2	2,60	4,40	18,50
2R3	2,60	4,40	18,50
3R3	2,60	4,40	18,50
4R3	2,60	4,40	18,50
4R4	2,60	4,40	18,50
2B1	2,60	4,40	18,50
2B3	2,60	4,40	18,50
3B1	2,60	4,40	18,50
3B2	2,60	4,40	18,50
3B3	2,60	4,40	18,50
4B1	2,60	4,40	18,50
4B2	2,60	4,40	18,50
4B3	2,60	4,40	18,50
Remolque (R) y remolque balanceado (B)	2,60	4,40	10,00
Semirremolque (S)	2,60	4,40	13,00

5.3.3 Determinación del TPD

El TPD se define como Tránsito promedio diario, obtenido de un conteo de una semana, de los vehículos que pasan por una sección de la vía., dicho conteo se realizara durante una semana continua en periodos de 12 horas.

Para el diligenciamiento de estos conteos es necesario diligenciar un formato especial donde se muestra la siguiente información:

- Movimiento.
- Hora del conteo.
- Discriminación de tipo de vehículos.
- Hora.
- clima.
- aforador.
- proyecto.

- Límites de Atterberg.
- Análisis granulométrico.
- Peso específico de los agregados.
- Ensayo de placas.
- Determinación de la densidad del suelo.
- **Ensayo de CBR**

Aunque los nombrados anteriormente son los ensayos más usuales utilizados al omento de realizar una caracterización del suelo, cabe resaltar que existen varios ensayos de laboratorio, los cuales muestran un mejor panorama al momento de caracterizar la subrasante.

Para verificar la estratificación del suelo es necesario emplear apiques según como lo determina (Fonseca, 2002), verificando la selección de unidades típicas de diseño, además del espaciamiento y la profundidad con que estos deben realizarse.

Uno de los ensayos más importantes para la caracterización del suelo es la capacidad de soporte del mismo, determinado por el CBR, el cual consiste básicamente en compactar un terreno en unos moldes normalizados, sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado, está regido por la norma INVIAS E-148-07. (Fonseca, 2002)

5.3.5 Método AASHTO para diseño de pavimentos

El método AASHTO tiene por objeto identificar un número estructural (SN) para el pavimento, que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el número estructural, el método se apoya en una ecuación que relaciona los coeficientes, con sus respectivos números estructurales, los cuales se calculan con ayuda de un software, (AASHTO, 1993) el cual requiere unos datos de entrada como son (Monsalve, 2012):

- ✓ número de ejes equivalentes,
- ✓ serviciabilidad.
- ✓ Confiabilidad.
- ✓ módulo resiliente de la capa a analizar.

5.3.5.1 Datos de Entrada y Utilización del método

Para el empleo del método se requieren los datos de entrada anteriormente descritos y que corresponden a la información ya suministrada de ensayos y pruebas de campo.

Transito: el tránsito se calculó de acuerdo al TPD suministrado y corresponde a **2.109.602 ejes equivalentes de 8.2 ton** en el periodo de diseño, clasificándose como un nivel de transito **NT2** según el INVIAS.

Confiabilidad: Hace referencia al grado de incertidumbre o seguridad de una determinada alternativa de diseño, determinando así la probabilidad de que el pavimento pueda soportar el número de repeticiones de la carga que sea aplicada durante su vida útil. Para nuestro caso de diseño se tomó una confiabilidad final de **95%** según como lo indica AASHTO (AASHTO, 1993) en la siguiente tabla.

Tabla 6. Niveles de Confiabilidad (AASHTO, 1993)

Clasificación funcional	Nivel de Confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Serviciabilidad: Es la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento (PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA, 2011), se evalúa según la siguiente tabla:

Tabla 7. Índices de Serviciosibilidad (AASHTO, 1993)

Índice de Serviciosibilidad (p)	Calificación
0 - 1.	Muy mala
1 - 2.	Mala
2 - 3.	Regular
3 - 4.	Buena
4 - 5.	Muy buena

Se evalúa de 0 a 5, siendo 0 muy mala y 5 muy buena, y según (AASHTO, 1993) se evalúan valores iniciales de 4.2 y 2.2 como valor final.

Desviación estándar del sistema So: El valor de la desviación estándar (So) que se seleccione debe, por otra parte, ser representativo de las condiciones locales. Se recomienda para uso general, en nuestro caso adoptaremos **0.45**, pero estos valores pueden ser ajustados en función de la experiencia para uso local (PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA, 2011).

Tabla 8. Valores Recomendados de So. (AASHTO, 1993)

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0,35 — 0,50

Módulo Resiliente de Subrasante: Es el módulo Resiliente promedio o correlacionado con el valor del CBR medido en campo, para nuestro caso se tomó un valor de **3,8% de CBR**.

- Para materiales de sub-rasante con **CBR ≤ 7,2%. MR = 1.500* CBR.**
- Para materiales de sub-rasante con mayo de **7,2% ≤ CBR ≤ 20,0%. (AASHTO, 1993)**

Módulo Resiliente para la sub-base, base y concreto asfáltico: dichos valores son tomados de la norma AASHTO 93, y se correlacionan basándose en los coeficientes de aporte de cada capa.

Figura 2. MR Base granular (Fonseca, 2002)

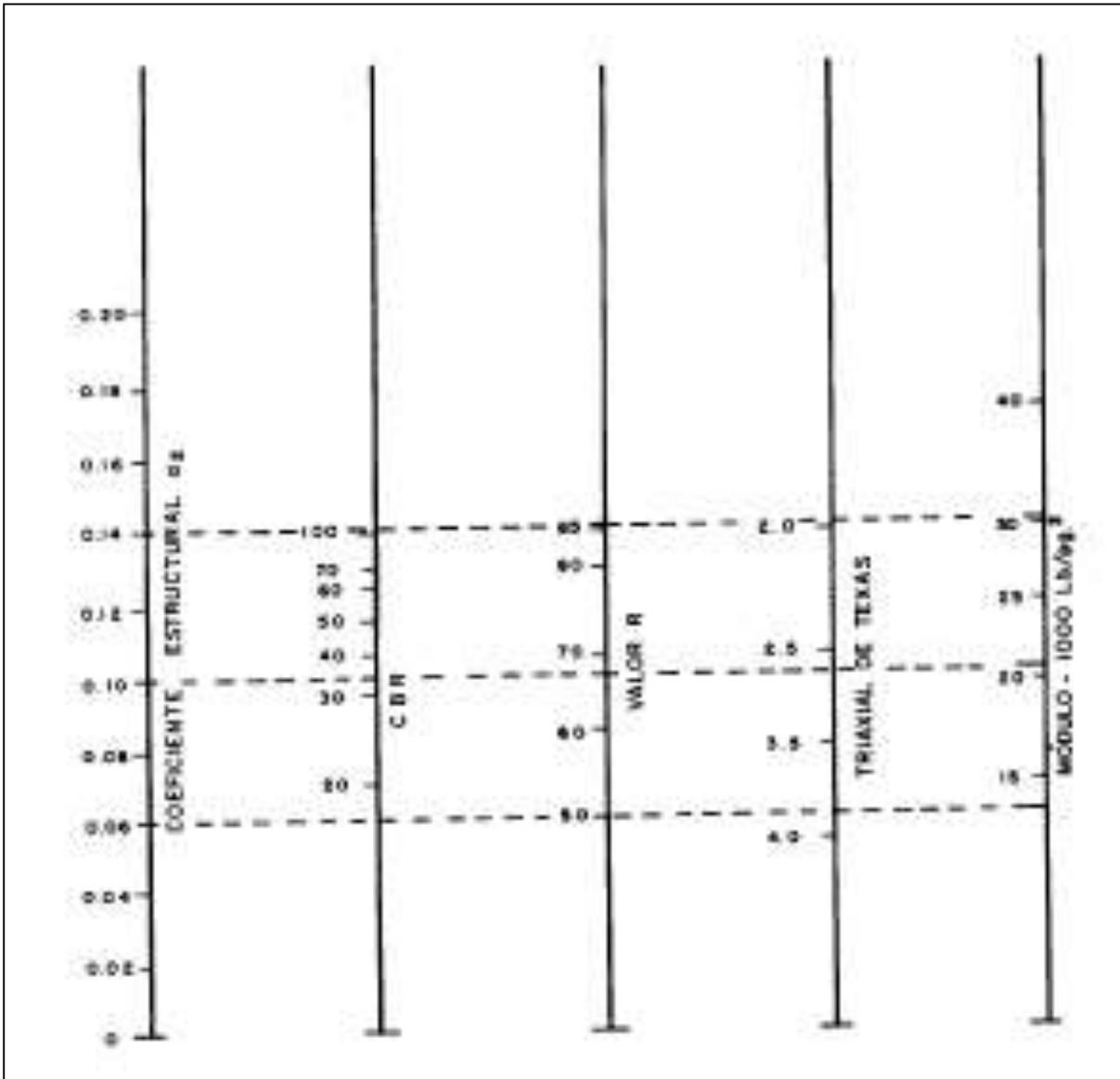


Figura 3. MR estabilizada con cemento (Fonseca, 2002)

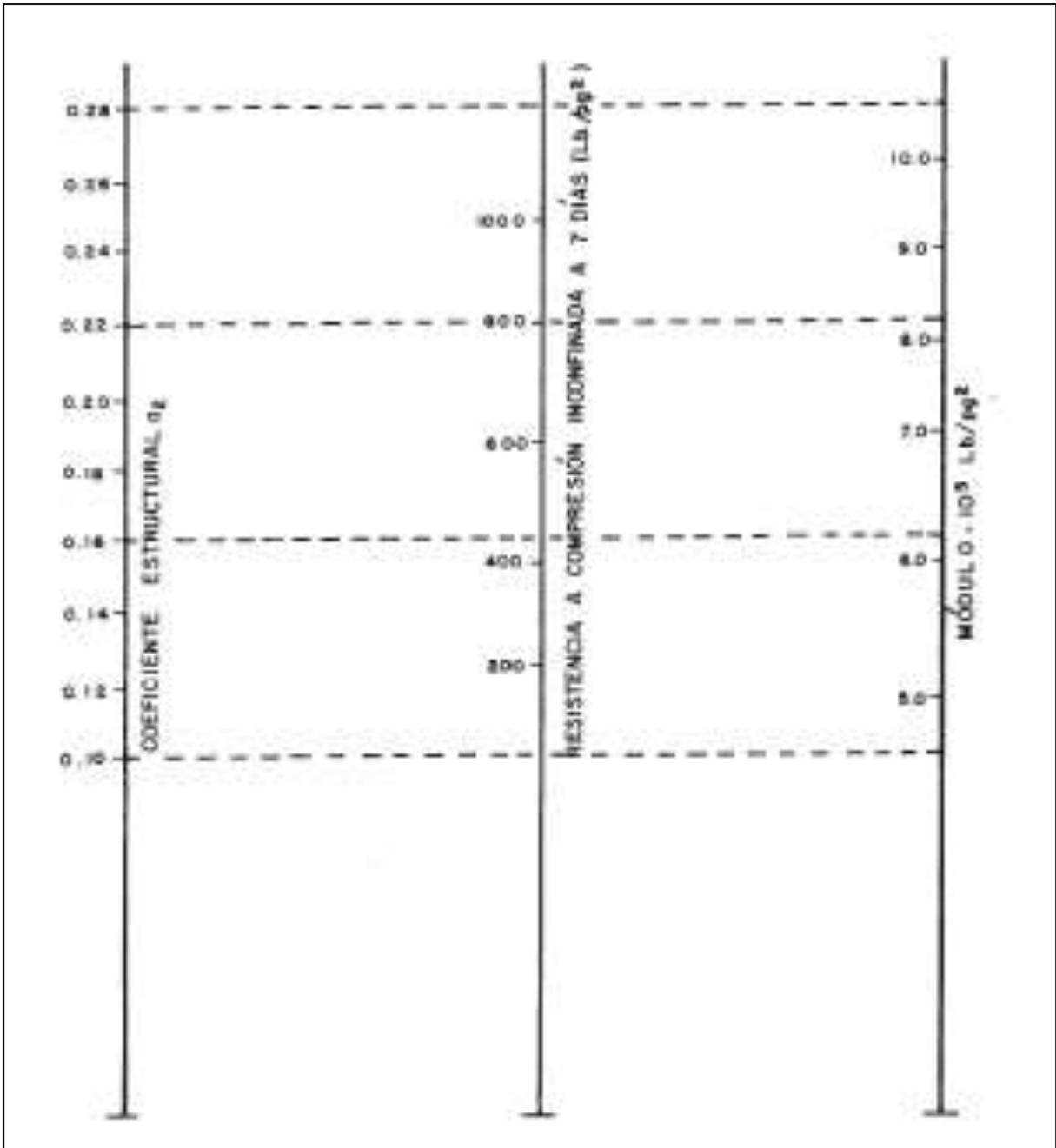


Figura 4. Base estabilizada con Asfalto (Fonseca, 2002)

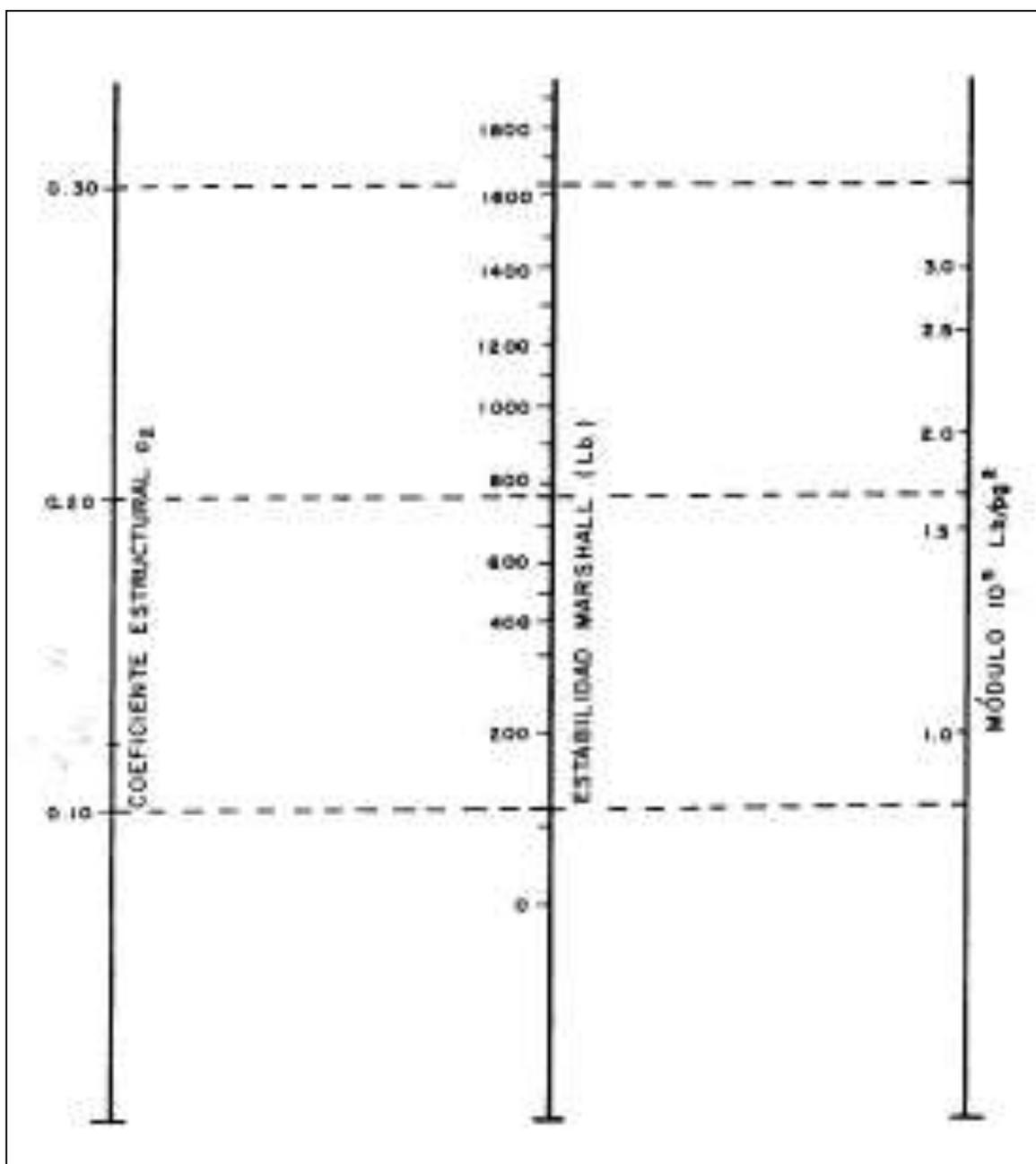
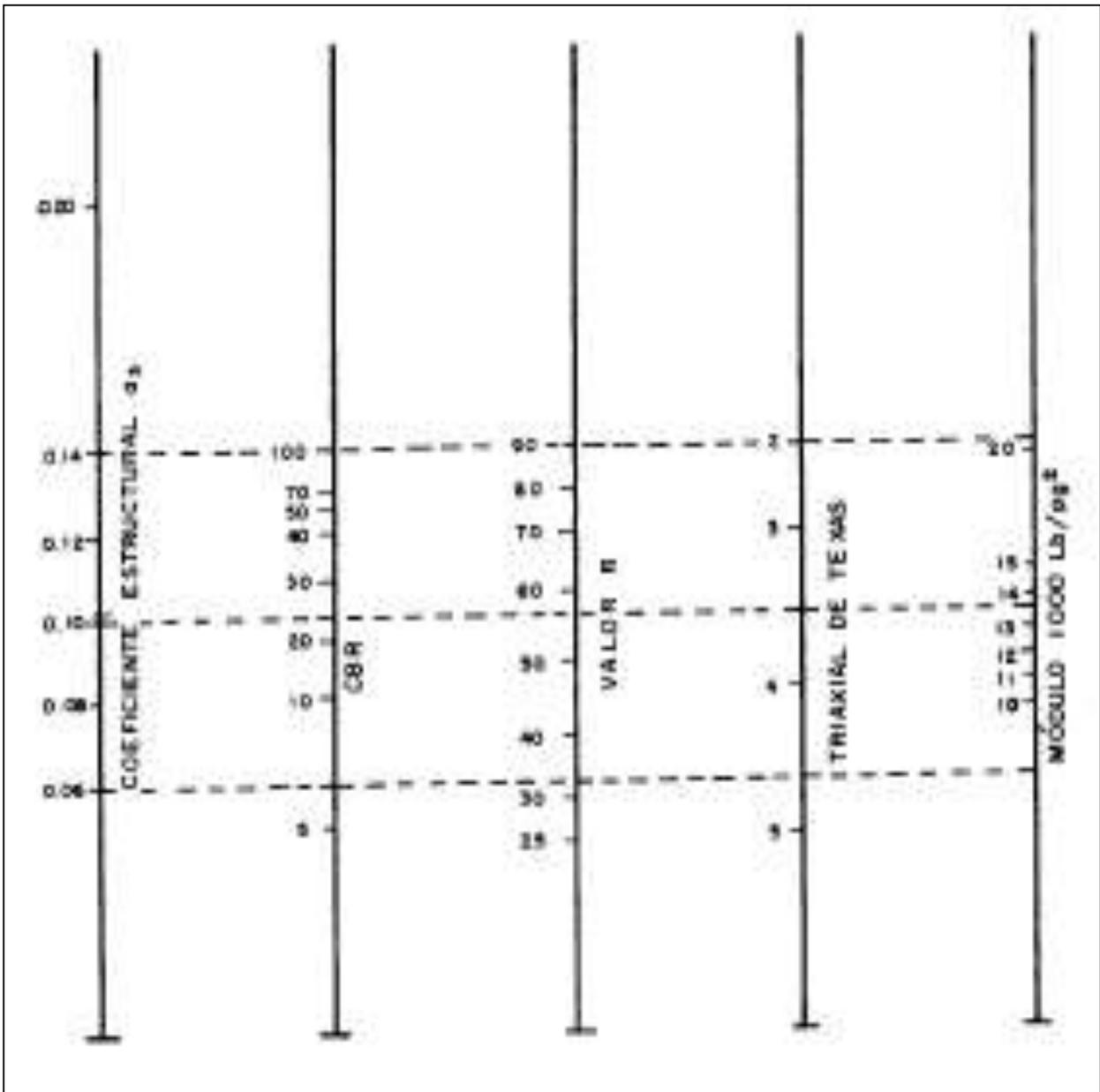


Figura 5. Subbase (Fonseca, 2002)



Coefficientes estructurales (a_i): se determinan basándose en lo indicado en la norma AASHTO 93, los valores promedio de tales coeficientes son los siguientes (AASHTO, 1993):

- Mezcla asfáltica densa en caliente: 0.44 pulgadas
- Base granular: 0.14 pulgadas
- Sub-base granular: 0.11 pulgadas

Drenaje: El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran a continuación (Mejia, 2014):

Tabla 9. Capacidad de Drenaje (AASHTO, 1993)

Calidad del Drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser Evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drena

Tabla 10. Coeficientes de Drenaje (mi) (AASHTO, 1993)

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la nueva estructura de pavimentos está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Deficiente	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

Tabla 11. Factor Carril

Número Total de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (Fca.)
1	1.00
2	0.90
3	0.60
4 o más	0.45

De lo anterior se puede deducir que con esta metodología podemos encontrar el número estructural **SN**, el cual es la finalidad del método y se basa en soportar el nivel de carga solicitado, el cual se convierte en un espesor efectivo, en nuestro caso el de diseño.

El número estructural se halla con ayuda del software (AASHTO93), el cual requiere datos de entrada ya mencionados y explicados, la interfaz del software se muestra a continuación:

Figura 6. Interfaz Software AASHTO93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It contains several input sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu for 'Reliability (R)' and a text box for 'So'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' and 'PSI final'.
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' followed by 'psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. A text box for 'W18 =' is present.
- Número Estructural:** A text box for 'SN ='.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir' buttons at the bottom.

El software es muy sencillo de manipular como se muestra en la ilustración 6, se deben ingresar datos de serviciabilidad inicial y final, confiabilidad, desviación estándar, módulo resiliente de la capa, numero de ejes equivalentes (W18).

Para el manejo del software se debe elegir el tipo de pavimento a diseñar, en nuestro caso, flexible.

Figura 7. Selección Tipo de Pavimento.

The image shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93". The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Two radio buttons are present: "Pavimento flexible" (which is selected and circled in red) and "Pavimento rígido".
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu for "Reliability (R)" and a text input field for "So".
- Serviciabilidad inicial y final:** Two text input fields labeled "PSI inicial" and "PSI final".
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text input field labeled "Mr" followed by the unit "psi".
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four text input fields: "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - (J)", and "Coeficiente de drenaje - (Cd)".
- Tipo de Análisis:** Two radio buttons: "Calcular SN" (selected) and "Calcular W18". To the right of these is a text input field labeled "W18 =".
- Número Estructural:** A text input field labeled "SN =".
- Buttons:** "Calcular" and "Salir" buttons are located at the bottom of the window.

Seguido de esto introducir los valores de confiabilidad, desviación estándar, serviciabilidad, módulo resiliente de la SRS y número de ejes equivalentes (transito).

6 METODOLOGIA

RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

6.1 Tránsito de Diseño

- **Datos de Entrada**

1. Se realizó un conteo manual para hallar el tránsito promedio diario (TPD), dando un total de vehículos de 5.513, además de esto se muestran los siguientes valores:
 - tasa de crecimiento generada es el 0,87%.
 - factor de crecimiento del 5,11% a 5 años.
 - Factor carril 0.90.
 - Factor direccional del 50%.

6.2 Cálculo de Ejes Equivalentes

El diseño de la estructura de pavimento se debe realizar conociendo cual es el tránsito de la vía y por ende los pesos de los vehículos, para convertirlos en ejes equivalentes de 8,2 Ton como lo solicita la norma AASHTO 93, con esto garantizar la vida útil de la vía, dichos datos

pueden hallarse ya sea por series históricas de los vehículos que han transitado por la vía en periodos de 10 años o por conteo manual como es nuestro caso.

Ya que se tiene el conteo del TPD, se realizara el cálculo de los ejes equivalentes de 8,2 Ton mediante la siguiente ecuación, propuesta por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS):

$$N = \frac{n}{2} * (2 * N_0 + (n - 1) * d)$$

(AASHTO, 1993)

Donde:

N: Número de ejes equivalentes de 8,2 Ton que circulan por el carril de diseño durante el periodo de diseño.

No: Número de ejes equivalentes de 8,2 Ton que circulan por el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.

r: tasa de crecimiento anual del tránsito de vehículos comerciales.

d: diferencia común= No*r.

n: número de años del periodo de diseño.

Una vez obtenidos los cálculos de los ejes equivalentes de 8,2 Ton, se debe realizar una corrección por confiabilidad, y en este caso es del 95%, ya que se cuenta con datos reales de campo, dicha corrección corresponde a la siguiente ecuación:

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

(AASHTO, 1993)

Donde:

N': tránsito equivalente corregido.

Zr: valor del coeficiente correspondiente a una distribución normal y a la confiabilidad deseada.

El valor de la confiabilidad se determina dependiendo del nivel al cual se expone la vía y de los datos reales que se obtienen, a continuación se muestra la tabla de valores según él (IDU, 2013).

Tabla 12. Valores de Confiabilidad

Confiabilidad	Zr
50	0
85	-1.037
90	-1.282
95	-1.645
99	-2.327

6.3 DISEÑO ESTRUCTURAL

Número estructural

Para determinar el número estructural (SN), la metodología realiza una ecuación que relaciona los coeficientes de aporte estructurales, estos son calculados mediante el software (AASHTO 93), el cual nos solicita unos datos de entrada como lo son:

- número de ejes equivalentes.
- rango de serviciabilidad.
- la confiabilidad.
- módulo resiliente de la capa a analizar.

La ecuación empleada por AASHTO 93 es la siguiente:

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

(AASHTO, 1993)

Donde:

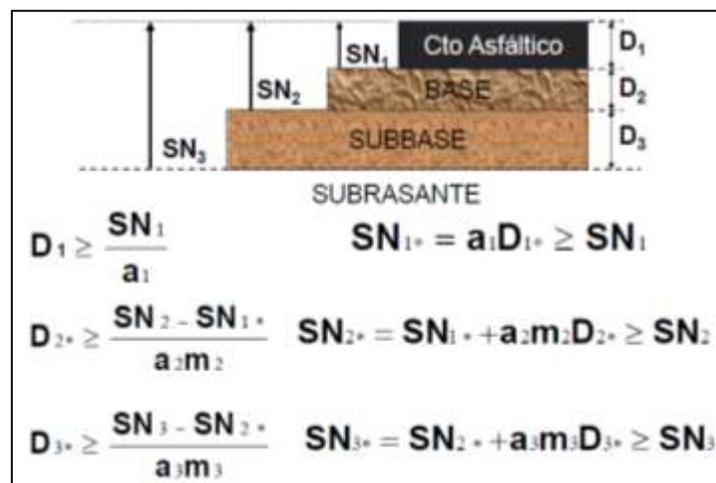
a: coeficiente estructural.

D: espesor en pulgadas.

m: coeficiente de drenaje.

Una vez obtenidos los valores de los números estructurales (SN) de cada capa de la estructura de pavimento, se procede a calcular los espesores requeridos para que la estructura no falle, la suma de los números estructurales de cada capa debe ser mayor al número estructural de la subrasante, a continuación se muestra el orden de cada SN:

Figura 8. Cálculo de espesores (AASHTO, 1993)



7 RESULTADOS

7.1 Sub-Rasante

Una vez realizados los ensayos de laboratorio pertinentes, se obtuvieron los siguientes valores de sub-rasante.

Tabla 13. Propiedades Sub-rasante

CIV	DIRECCION	APIQUE	LIMITE LIQUIDO (%)	LIMITE PLASTICO (%)	INDICE DE PLASTICIDAD (%)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)	CLASIFICACION AASHTO	CLASIFICACION USCS	CBR (%)
50009020	Cra. 64 entre Diagonal 79b y Calle 79 c	1	63	24	39	12	A-7-6	CH	3,8

El material encontrado basándose en los apiques y ensayos de laboratorio presenta una clasificación CH, la cual quiere decir arcilla de alta plasticidad, la cual al tener contacto con el agua puede generar inconvenientes en la estructura de pavimento

Además se encuentra un valor CBR de 3,8%, con el cual es aceptable y se puede trabajar sin tener que mejorar el terreno o estabilizarlo, ya que la norma INVIAS nos exige un valor mínimo de 3%.

7.2 Tránsito

Se realizaron conteos manuales por un periodo de doce horas, dichos valores fueron multiplicados por un factor de ajuste de conteo para simular las 12 horas faltantes del día, dando como resultado los siguientes datos:

Tabla 14. TPD

TPD	
autos	3375
campero -camioneta	1198
van pasajeros	624
buses	92
C2	112
C3	112
C4	0
2S1	0
2S2	0
TOTAL	5513

Con este valor total de TPD, se procede al cálculo total de ejes equivalentes de 8,2 Ton, para un periodo de diseño de 10 años, a continuación se muestran los datos:

Tabla 15. Datos de Entrada Tránsito

tránsito diario	5.513	tasa de crecimiento %	0.87
factor sentido	0,9	factor carril	0,5
Confiabilidad	95 %	periodo de diseño (años)	10

Tabla 16. Calculo de Ejes Equivalentes 8,2 Ton

TIPO DE VEHICULO	CANT.	PORCEN.	PESO MÁXIMO (Ton)				FACTOR VEHICULAR DE DETERIORO		
			DD (4)	DC (5)	TPD _i (6)	Factor deterioro (7)	NESE (8)	NESE _{n-5}	
(TIPO) (1)	(veh/día) (2)	(%) (3)							
Automóvil	3375	61%	52%	1	1760				
Campero - Camioneta	1198	22%	61%	1	726				
Van Pasajeros	624	11%	100%	1	624				
Buses	92	2%	100%	1	92	1	92,00	33.580,00	
C2	112	2%	100%	1	112	2,15	240,80	87.892,00	
C3	112	2%	63%	1	70	3,15	220,50	80.483,00	
C4	0	0%	0%	1	0	0	0,00	0,00	
2S1	0	0%	0%	1	0	3,13	0,00	0,00	
2S2	0	0%	0%	1	0	2,27	0,00	0,00	
Σ	5513	100%			3384		553,30	201.955,00	

VC (veh/día)	5.513,00
Tasa de crecimiento (%)	0,87%
Factor de crecimiento (5 Años)	5,11
EALS _{(8,2ton)5 años}	1.031.962,00
Factor de crecimiento	10,45
EALS _{(8,2ton)10 años}	2.109.602,00

Nota: La tasa de crecimiento esta basada en la Formulación del Plan Maestro de Movilidad y Reformulación del Plan Vial y de Transporte del POT y DAPD. Steer Davies Gleave (2006).

Años	NESE
0	200,000,00
1	210,000,00
2	220,000,00
3	230,000,00
4	240,000,00
5	250,000,00
6	260,000,00
7	270,000,00
8	280,000,00
9	290,000,00
10	2,109,602,00

7.3 Diseño estructura de pavimento

7.3.1 Opción 1

Para el cálculo de los SN (números estructurales) nos apoyamos del software AASHTO 93, el cual nos pide los siguientes datos de entrada:

Tabla 17. Datos de Entrada Alternativa 1

Subrasante		Subbase	Base	Carpeta Asfáltica
CBR	3,8	19,3	50	N/A
N8,2	2.109.602	2.109.602	2.109.602	2.109.602
PSI	4,2	4,2	4,2	4,2
PSF	2,2	2,2	2,2	2,2
Mr (PSI)	6.004	17.000	30.000	N/A
R	95%	95%	95%	95%
So	0,45	0,45	0,45	0,45
ai	N/A	0,11	0,14	0,44
mi	N/A	0,9	0,9	1

Con base en los anteriores datos de introdujeron al software, dando los siguientes resultados:

- Calculo SN3

Figura 9. Calculo SN3

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is configured for flexible pavement calculation. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '95 % Zr=-1.645' and 'So = 0.45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section has 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.2'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section has 'Mr = 6004 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 2109602' and 'Número Estructural = 4.32'. The 'Calcular' button is highlighted.

- Calculo SN2

Figura 10. Calculo SN2

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is configured for flexible pavement calculation. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '95 % Zr=-1.645' and 'So = 0.45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section has 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.2'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section has 'Mr = 17000 psi'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 2109602' and 'Número Estructural = 3,00'. The 'Calcular' button is highlighted.

- Calculo SN1

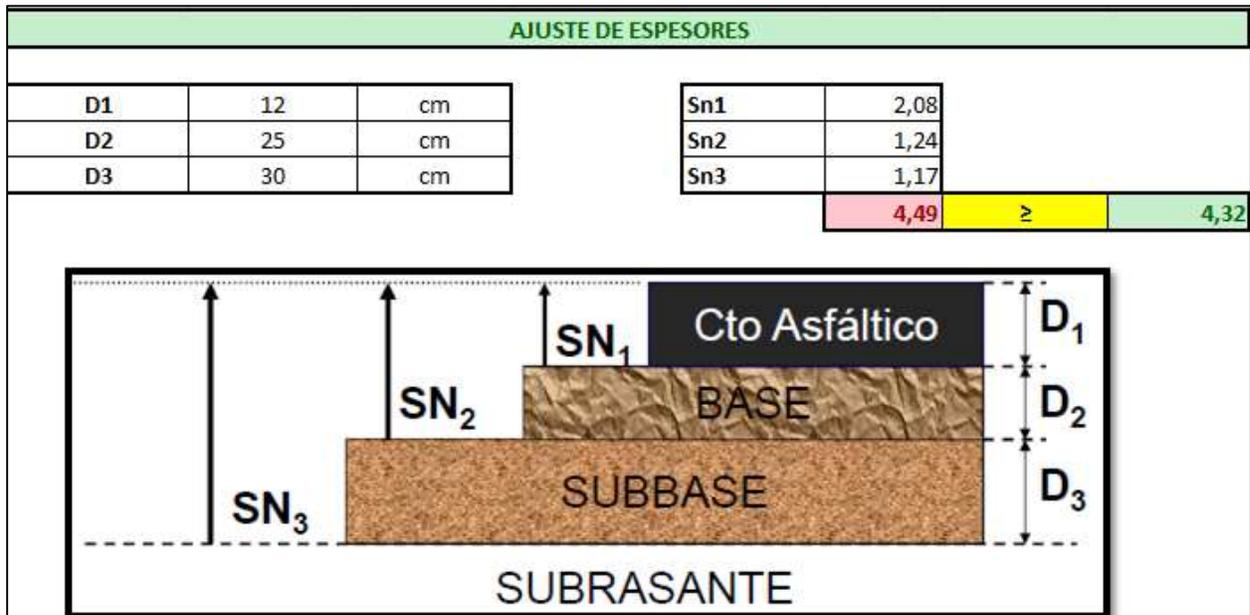
Figura 11. Calculo SN1

Una vez calculados los valores de SN (numero estructural), se calculan los espesores requeridos, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 18. Espesores Estructura Opción 1

Capa	Centímetros	Pulgadas	SN
D1 (CA)	12	4,72	2,08
D2 (BG)	25	9,84	1,24
D3 (SBG)	30	11,81	1,17
TOTAL			4,49

Figura 12. Espesores Opción 1



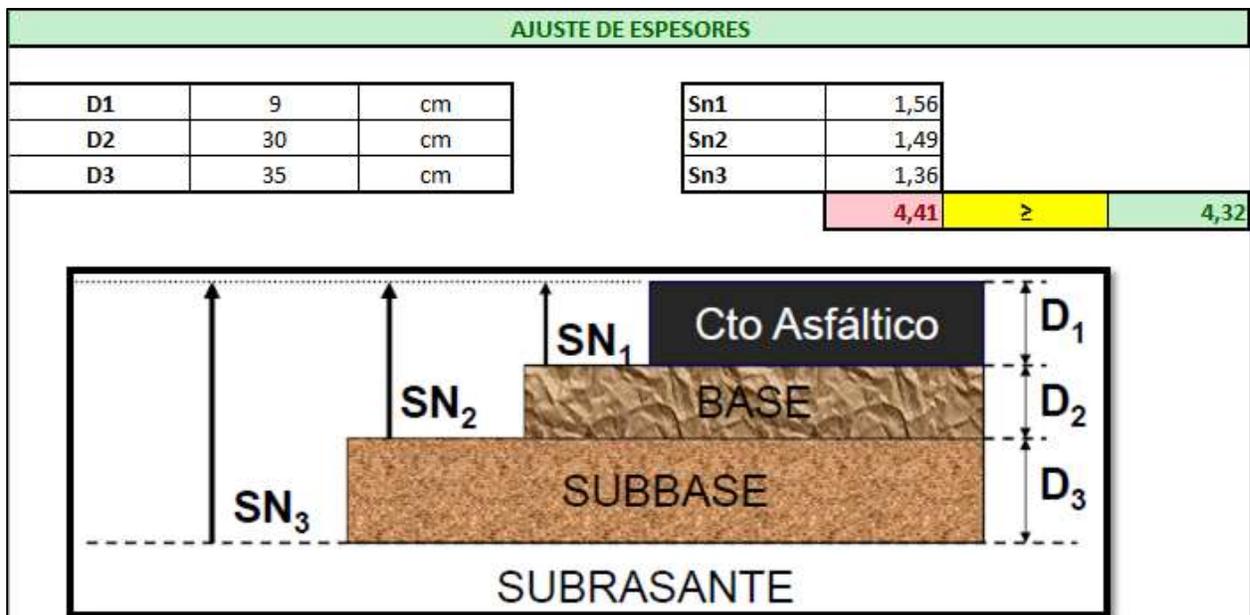
7.3.2 Opción 2

Para la opción 2 se planteó una estructura de granulares de un espesor mayor y una carpeta de rodadura de menor espesor, puesto que en temas de costos la mezcla asfáltica es de un valor mayor, cabe resaltar que se tomaron los mismos valores de Modulo Resiliente que en la Opción 1, sin embargo se plantea esta opción para dar a conocer una sensibilización con base en los espesores de las capas de la estructura de pavimento, por ende los números estructurales hallados según el software de (AASHTO, 1993) serán los mismos dando como resultado lo siguiente:

Tabla 19. Espesores Opción 2

Capa	Centímetros	Pulgadas	SN
D1 (CA)	9	3,54	1,56
D2 (BG)	30	11,81	1,49
D3 (SBG)	35	13,77	1,36
TOTAL			4,41

Figura 13. Espesores Finales Opción 2



8 CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño de la estructura de la vía en estudio, puesto que la que se encontraba actualmente ya había cumplido su periodo de diseño, además es importante saber que los materiales utilizados en la estructura existente se encontraban fatigados y fallados.
- El diseño de la vía que se planteó en ese momento posiblemente era la adecuada para el nivel de tráfico en ese entonces, sin embargo sabemos que la tasa de crecimiento del parque automotor aumenta anualmente y en este caso el nivel de vehículos es de una vía NT2, con una cantidad de ejes equivalentes de 8,2 Ton de 2.109.602 con lo cual se requiere un mejoramiento de dicha estructura.
- Se presentaron 2 alternativas para la estructura de pavimento flexible, esto con el fin de realizar una sensibilización en cuanto a espesores de granulares se refiere, sin embargo la opción más válida es la opción 1, la cual se conforma por una Subbase granular de 30 cm, una base granular de 25 cm y finalmente una carpeta de rodadura de 12 cm, lo cual cumple con la demanda de vehículos que transitan por la zona.
- Se encontró según ensayo de laboratorio de CBR un porcentaje de 3,8% de la capacidad portante del suelo, encontrando un suelo CH, con el cual se trabajó, puesto que según la

norma INVIAS se puede diseñar una estructura de pavimento con una subrasante de mínimo 3%.

9 RECOMENDACIONES

- Cabe resaltar que es importante tener en cuenta el empleo de sumideros transversales a lo largo del segmento vial, mínimo 2 en las intersecciones, ya que sabemos que uno de los ítems más importantes a tener en cuenta y que puede dañar nuestro pavimento es el manejo de aguas superficiales y sub superficiales.
- Aunque en el diseño de la estructura no se emplean geotextiles o geoceldas, es importante tenerlos en cuenta al momento de la construcción, ya sea para la separación entre capas de materiales o para reforzamiento de la capacidad portante de las capas.
- Es vital al momento de la construcción de una vía verificar la procedencia de materiales granulares y asfalto, requiriendo los ensayos correspondientes.

10 BIBLIOGRAFÍA

AASHTO, G. F. (1993).

Fernando Sabogal, S. C. (2016). PAVIMENOS ASFALTICOS DE CARRETERAS. Guia practica para los estudios y diseños. Bogota: Escuela Colombiana de Ingenieria.

Fonseca, A. M. (2002). *Ingenieria de Pavimentos para Carreteras Tomo I*. Bogota: Universidad Catolica de Colombia.

IDU. (2013). *Especificaciones Tecnicas Generales de materiales y construccion para proyectos de infraestructura*. Bogota.

IDU. (2013). *GUIA "DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO Y VIAS LOCALES PARA BOGOTA D.C."*. Bogota: IDU.

IDU. (30 de Junio de 2018). *Estado de la Malla Vial*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2018, de IDU: <https://www.idu.gov.co/page/siipviales/innovacion/portafolio>

Mejia, M. (2014). *Curso Diseño de Pavimentos Flexibles*. Mexico.

ministerio de transporte. (2004). *Resolucion 4100 de 2004*. Bogota.

Monsalve, L. (2012). *Diseño de Pavimento Flexible y Rigido*.

PROYECTOS Y APUNTES TEORICO PRACTICOS DE LA INGENIERIA. (2011).