

Diseño de la estructura de un Pavimento Flexible
Aplicando el Método AASHTO-93, para el corredor Vial
comprendido entre la Diagonal 65 – Cai Boston – Cruce vía
Yuma en Barrancabermeja, Santander.

Trabajo de Grado para obtener el título de
Especialista en Ingeniería de Pavimentos



Tutor: Ing. José Luis Mercado Pérez, Msc, Esp

Omar Felipe Amaya Alfonso
6100321

Junio 18 de 2019.

Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá D.C.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	8
JUSTIFICACIÓN	9
OBJETIVO GENERAL	11
Objetivos específicos	11
<u>1) MARCO TEÓRICO</u>	12
Metodología AASHTO 93	14
1.1 Parámetro Tránsito.....	15
1.2 Conversión del tránsito en ESALS	15
1.3 Factores equivalentes de Carga.....	16
1.4 Factor Sentido	17
1.5 Tasa de crecimiento de los volúmenes vehiculares existentes.....	18
1.6 1.2Módulo Resiliente (Mr)	20
1.7 Módulos dinámicos y Número Estructural de las capas de pavimento	21
1.8 Coeficiente de Drenaje.....	23
1.9 Nivel de confiabilidad.....	24
1.10 Porcentaje de Error: Desviación Estándar So	25
1.11 Nivel de Serviciabilidad.....	26
1.12 Numero Estructural SN.....	26
1.13 Determinación de espesores de Capa de Pavimento.....	27
<u>2) METODOLOGÍA</u>	28
Periodo de Diseño	28
Transito de Diseño	28
CBR de diseño.....	29
Módulo resiliente de la Subrasante	29
Módulos Dinámicos y Números estructurales de las capas de pavimento.....	30
Coeficiente de Drenaje	30
Nivel de confiabilidad	31
Desviación Estándar.....	31
Nivel de serviciabilidad.....	31
Numero estructural del Pavimento.....	32
<u>3) RESULTADOS</u>	33
Subrasante:	34
Subbase granular:	35
Base granular:.....	36
Estructura Propuesta:	38
<u>4) CONCLUSIONES</u>	39
<u>5) RECOMENDACIONES</u>	40
<u>6) BIBLIOGRAFÍA</u>	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores de Equivalencia	17
Tabla 2. Factores de Equivalencia cuarta potencia	17
Tabla 3. Transito promedio Diario	18
Tabla 4. Ejes equivalentes para un sentido año 2019.....	18
Tabla 5. Ejes equivalentes para un sentido INVIAS	11
Tabla 6. Transito promedio Diario esperado en dos sentidos	20
Tabla 7. Resultado Apiques	12
Tabla 8. Nivel de confiabilidad	14
Tabla 9 Proyección Tráfico	32
Tabla 10 Parámetros Diseño subrasante	33
Tabla 11 Parámetros Diseño subbase.....	28
Tabla 12 Parámetros Diseño base	35
Tabla 13 Espesores de Estructura optimizados	36
Tabla 14 Estructura propuesta	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Serie histórica de Tránsito	19
Figura 2. Cartilla AASHTO Base granular	22
Figura 3. Cartilla AASHTO SubBase granular	23
Figura 4. Valores coeficientes de drenaje	11
Figura 5. Valores confiabilidad de diseño.....	24
Figura 6. Esquema General de los componentes de Pavimento.....	12
Figura 7. Calculo SN subrasante	14
Figura 8 Calculo SN subbase	34
Figura 9 Calculo SN base	35

INTRODUCCIÓN

“Los pavimentos son un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados” (Glosario Manual de Diseño geométrico de Carreteras, 2018, p.5)

Esta clase de estructuras conocidas como pavimentos, nos brindan un servicio importante que contribuye al desarrollo del país y sociedad Colombiana; una infraestructura vial en buen estado permite el desarrollo del comercio a través del transporte terrestre, garantizando la accesibilidad a lugares distintos y/o remotos. Es por ello que, la inversión en las vías debe ser gestionada a fin de procurar una mejor red vial en el territorio Colombiano, ya que es de carácter fundamental para el desarrollo y progreso del mismo.

El presente diseño es elaborado bajo la metodología AASHTO-93. Los parámetros de diseño requeridos fueron obtenidos mediante información secundaria suministrada por la persona a cargo del Proyecto de Mejoramiento de la vía, espacio público y obras complementarias en el municipio de Barrancabermeja, Santander. La información suministrada fue un estudio de suelos, ensayos de laboratorio e información del tránsito.

Con base en la información suministrada se define la estructura de pavimento que garantiza la adecuada condición de movilidad para el tránsito proyectado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente las condiciones de las vías y carreteras en Colombia reflejan la falta de administración, planeación y por consecuencia, inversión de recursos para su desarrollo que hay en el país. Según las cifras presentadas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), Colombia solo tiene 12.979 Km pavimentados, es decir, poco menos del 7% de la red vial; Comparados con otros países latinoamericanos como Chile, que tiene pavimentado el 22% de sus vías, es una cifra que genera alarma.¹

Es por ello que se hace necesario invertir en proyectos que tengan una viabilidad (costo / beneficio) representativo para el departamento y/o ciudad donde se llevará a cabo, realizando obras en la infraestructura vial que mejoren la calidad de vida y promuevan el comercio de la zona; obras como mejoramientos, rehabilitaciones y/o mantenimientos en la red vial permiten a los usuarios ver la inversión del estado Colombiano.

El departamento de Santander no es ajeno a esta problemática, es debido a esto que se propone el mejoramiento, en la ciudad de Barrancabermeja, de un proyecto dividido en dos secciones que contemple la vía, espacio público y obras complementarias de la Diagonal 65 entre la Transversal 44 y 48 (Glorieta Ferticol), y la Transversal 48 entre la Diagonal 65 y 52 (Barrio Boston – Salida a la Virgen).

Para el presente proyecto de grado, se realizará el diseño del segundo tramo enunciado anteriormente.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo diseñar la estructura de pavimento para el segundo tramo del plan de Mejoramiento comprendido entre la Diagonal 65 – Cai Boston – Cruce vía Yuma en Barrancabermeja, Santander?

JUSTIFICACIÓN

Barrancabermeja es un municipio del departamento de Santander, que cuenta con una extensión de tierra que corresponde a 1154 Km². Catalogada a nivel nacional por el DNP, con un indicador de desempeño fiscal de 80.86 en una escala de 0 a 100 puntos, siendo 0 un valor que denota un bajo desempeño y 100 un valor que indica que la entidad logró mejoras en la gestión financiera, demuestra una inversión notable en obras para el desarrollo de la ciudad.

El acceso al municipio se realiza por medios terrestres y fluviales, teniendo en cuenta la cercanía al río Magdalena. Uno de los accesos principales a la ciudad, se realiza por la ruta nacional que conecta con la ciudad Bucaramanga, más conocida como la ruta del Cacao. Este municipio cuya proyección de crecimiento económico y social, lo ha enfocado a planear, gestionar y desarrollar proyectos a corto, mediano y largo plazo, ha adoptado el mejoramiento de la malla vial urbana como parte de los motores de desarrollo de la ciudad. Dentro del modelo de priorización de vías, se ha dado mayor prelación a las vías que conectan sectores de promoción de vivienda nueva, con el fin de facilitar la salida y entrada a estos predios.

Una de las vías que se encuentra dentro del modelo de priorización de intervención del municipio, es la vía de la Diagonal 65 entre la TV 44 y 48 (Glorieta Ferticol), y la TV 48 entre DG 65 y DG 62 (Barrio Boston – Salida a la virgen, y que actualmente no cuenta

con condiciones adecuadas de transitabilidad debido a las grandes deformaciones de la superficie de la vía lo cual dificulta el acceso hacia el municipio.

En este proyecto se plantea evaluar el mejoramiento del segundo tramo de la vía existente, con el fin de garantizar una estructura que otorgue comodidad, durabilidad, seguridad en la vía y accesibilidad hacia el municipio. De acuerdo a lo anterior es necesario realizar estudios y diseños para definir las características de la estructura a proyectar.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una estructura de pavimento flexible basado en la metodología AASHTO-93 para el segundo tramo del plan de mejoramiento comprendido entre la Diagonal 65 – Cai Boston – Cruce vía Yuma en Barrancabermeja, Santander.

Objetivos específicos

- Recopilar y analizar información existente necesaria para el desarrollo del diseño
- Diseñar los espesores de las capas que comprende una estructura de pavimento flexible, acorde al método propuesto.
- Recomendaciones y conclusiones de los resultados obtenidos

1) MARCO TEÓRICO

A fin de conocer lo que hoy conocemos como “pavimento” es importante realizar una cronología de los eventos más destacados que permitieron esta evolución en la ingeniería de carreteras.

En Inglaterra, el ingeniero John Smeaton encargó de la reconstrucción del Faro Eddystone, descubrió que las cales fabricadas con cierta proporción de arcilla producían morteros más resistentes en comparación a los que usaban cal pura, y, capaces de fraguar bajo agua. Para el año 1870, el químico Belga Edmund. J. Desmedt, produjo el primer pavimento asfáltico en New Jersey, Estados Unidos.

En el año 1885, Valentín José Boussinesq formuló las ecuaciones para el cálculo de esfuerzos y deformaciones inducidos por la acción del tránsito en un pavimento flexible, partiendo del estudio del equilibrio y movimiento de los sólidos elásticos. La solución de Boussinesq determina el incremento de esfuerzos como resultado de la aplicación de una carga puntual sobre la superficie de un semi-espacio infinitamente grande; considerando que el punto en el que se desea hallar los esfuerzos se encuentra en un medio homogéneo, elástico e isotrópico.

Para la década de 1900, Frederick J. Warren: Patentó las primeras mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, denominadas —Warrenite-Bitulithic. Una mezcla típica

contenía aproximadamente el 6 por ciento de “cemento bituminoso”, con proporción de vacíos de aire bajas.

Se realizaron varios ensayos basados en el “Road Test” a fin de conocer el comportamiento del material en condiciones reales y su deterioro:

1. 1920: Road Test Bates
2. 1950: Road Test Maryland
3. 1954: Road Test WASHO (Idaho)
4. 1960: Road Test AASHTO (Illinois)

En general, los métodos de diseño utilizados para dimensionar las estructuras de pavimento flexibles se pueden dividir en dos grandes grupos a saber, métodos empíricos y métodos mecanicistas. Entiéndase a los métodos empíricos como aquellos basados en experiencias, correlacionando el comportamiento de los pavimentos in situ, a través de observaciones y mediciones de campo, junto con los factores que generan deterioro y degradación en las estructuras de pavimento; caso diferente en los métodos mecanicistas o racionales, donde tienen en cuenta los estados de esfuerzo y deformación que experimentan las capas que componen la estructura y cómo influyen en el comportamiento del mismo.

Las metodologías existentes y de común uso en Colombia para el diseño de pavimentos flexibles son dos:

- Método Shell 1978
- Método AASHTO 1993

Metodología AASHTO 93

La metodología de AASHTO supone una estructura multicapa, en donde las estructuras son obtenidas evaluando los números estructurales (SN) requeridos, de acuerdo a distintos parámetros en los que está basada esta metodología; el número estructural es un valor que expresa la resistencia que necesita un pavimento construido sobre una subrasante con Módulo Mr conocido, para soportar el tránsito actual y proyectado, bajo unas condiciones específicas.

El método AASHTO está basado en los siguientes parámetros:

- 1) Tránsito (Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton)
- 2) Módulo resiliente de la Subrasante
- 3) Módulos dinámicos de las capas que conforman la estructura del pavimento Flexible.
- 4) Numero Estructural
- 5) Calidad de Drenaje
- 6) Nivel de confianza

- 7) Porcentaje de Error: Desviación Estándar
- 8) Nivel de serviciabilidad

1.1 Parámetro Tránsito

El tráfico es uno de los parámetros más importantes para el diseño de pavimentos, se obtiene determinando el número de repeticiones de cada tipo de eje durante el periodo de diseño a partir de un tráfico inicial medido en campo. Debido a que el tránsito está sometido a cargas dinámicas provenientes de distintos vehículos, puesto que poseen diferente peso y número de ejes, a las cuales mediante una serie de cálculos matemáticos se obtiene una equivalencia de 80 KN o 8,2 Toneladas denominadas “Equivalent single Axe load”, que en español significa “Carga de eje equivalente simple”.

En la siguiente imagen se observa la clasificación cuantitativa del tránsito:

1.2 Conversión del tránsito en ESALS

El objetivo principal de esta conversión a ejes equivalentes es producir el mismo daño que toda la composición del tránsito a una carga tipo la cual es de 80 KN u 8.2 Toneladas. Dicha conversión se realiza con los denominado Factores equivalentes de Carga.

1.3 Factores equivalentes de Carga

Como se explicó anteriormente, estos factores permiten la conversión del tránsito a un número de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas; básicamente, un factor equivalente de carga es la relación entre la pérdida de serviciabilidad del pavimento causado por las cargas de un tipo de eje y la que se produce por los ejes estándar de 80 KN en el mismo eje.

Se determina las repeticiones totales de ejes equivalentes de 8.2 toneladas durante el periodo de diseño en el carril de mayor frecuencia, teniendo en cuenta los factores de direccionalidad, carril y camión.





Tabla 1. Factores de Equivalencia

Tipo de vehículo	Pavimento flexible	Pavimento rígido
Factor Buses	1	1
Factor C-2P	1,1	1,1
Factor C-2G	2,4	3,6
Factor C3-C4	3,7	5,55
Factor C5	4,3	6,45
Factor C6	4,7	7,05

Fuente: Guía de rehabilitación de pavimentos INVIAS

Tabla 2. Factores de equivalencia de carga utilizando el criterio de la ley de la cuarta potencia

Tabla 2.6. Expresiones para la estimación de los factores de equivalencia de carga utilizando el criterio de la ley de la cuarta potencia.

Tipo de eje	Detalle del eje	Expresiones para el calculo del factor de equivalencia
Simple de rueda simple		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en T}}{6.6 T} \right]^4$
Simple de rueda doble		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en T}}{8.2 T} \right]^4$
Tándem		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en T}}{15.0 T} \right]^4$
Trídem		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje en T}}{23.0 T} \right]^4$

Fuente: Guía de rehabilitación de pavimentos INVIAS

1.4 Factor Sentido

Para la obtención del número de ejes equivalentes actual, se analizó el tránsito promedio diario (TPD) y los porcentajes de vehículos de la composición del tráfico de acuerdo a los conteos.

Tabla 3. Transito Promedio Diario (TPD) Febrero de 2019

TPD A FEBRERO DE 2019									
SENTIDO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	TOTAL CAMIÓN	TPD
Estacion 1 Entrada	398	173	112	99	104	122	187	624	624
Estacion 1 Salida	421	176	113	93	108	120	192	626	626
TOTALES	819	349	225	192	212	242	379		
COMPOSICIÓN	33.9%	14.4%	9.3%	7.9%	8.8%	10.0%	15.7%		
								TOTAL	1250
SENTIDO	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	TOTAL CAMIÓN	TPD
Estacion 2 Entrada	410	167	115	94	106	118	190	623	623
Estacion 2 Salida	426	171	118	87	107	114	201	627	627
TOTALES	836	338	233	181	213	232	391		
COMPOSICIÓN	34.5%	13.9%	9.6%	7.5%	8.8%	9.6%	16.1%		
								TOTAL	1250

Fuente: Datos suministrados por ejecutor del Proyecto

Tabla 4. Ejes Equivalentes para un Sentido, año 2019

FACTOR DE DAÑO FLEXIBLE	1	1.1	2.4	3.7	4.3	4.7	Total	TPD	Nee	NEE Año
	13.94 %	10.57 %	17.92 %	32.51%	41.16%	75.81%	1.92	625	1,199.49	437,814

Fuente: Datos suministrados por ejecutor del Proyecto

1.5 Tasa de crecimiento de los volúmenes vehiculares existentes

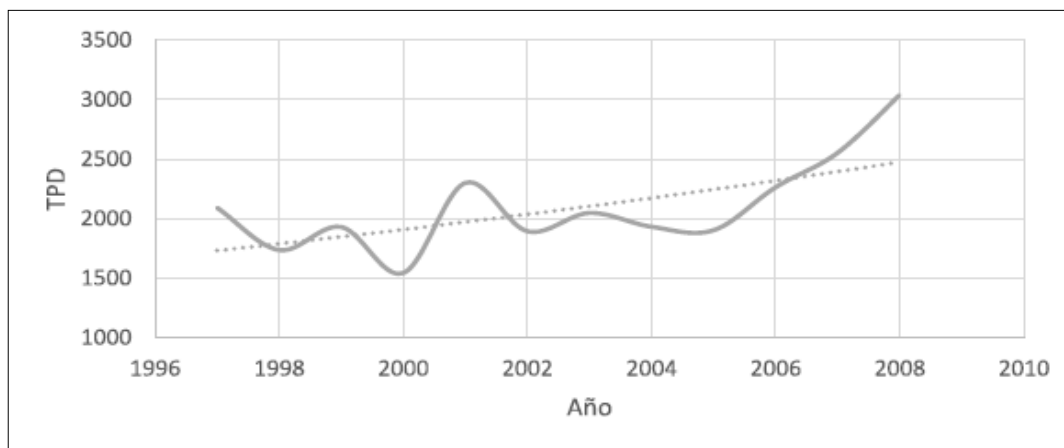
El tránsito normal corresponde al flujo existente que recorre la vía, el cual tiene asociado un crecimiento natural conforme pasan los años. En la siguiente tabla se analiza el crecimiento vehicular del tráfico registrado en la estación 1143 del sector Lizama- Barrancabermeja basado en la serie histórica de datos registrados.

Tabla 5. Ejes Equivalentes para un Sentido, año 2019

AÑO	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2011
TPDS	2090	1735	1928	1.543	2298	1.893	2.045	1.932	1.900	2.261	2.550	3.037	4.686

Fuente: Manual de volumen de tránsito del INVIAS

Figura 1. Serie Histórica del tránsito (Estación 1143)



Fuente: Datos suministrados por ejecutor del Proyecto

Tabla 6. TPD esperado en dos sentidos

PROYECCION	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	TOTAL CAMION
2019	543	220	151	118	138	151	254	813
2020	562	227	157	122	143	156	263	841
2021	582	235	162	126	148	162	272	871
2022	603	244	168	130	154	167	282	901
2023	624	252	174	135	159	173	292	933
2024	646	261	180	140	165	179	302	965

PROYECCION	AUTOS	BUSES	C2P	C2G	C3-C4	C5	>C5	TOTAL CAMION
2025	668	270	186	145	170	185	313	999
2026	692	280	193	150	176	192	324	1034
2027	716	290	200	155	182	199	335	1071
2028	741	300	207	160	189	206	347	1108
2029	767	310	214	166	195	213	359	1147
2030	794	321	221	172	202	220	371	1187
2031	822	332	229	178	209	228	384	1229
2032	851	344	237	184	217	236	398	1272
2033	881	356	245	191	224	244	412	1317
2034	912	369	254	197	232	253	426	1363
2035	944	382	263	204	240	262	441	1411
2036	977	395	272	211	249	271	457	1461
2037	1011	409	282	219	258	281	473	1512
2038	1047	423	292	227	267	290	490	1565
2039	1083	438	302	235	276	301	507	1620
2040	1121	453	313	243	286	311	524	1677

Fuente: Datos suministrados por ejecutor del Proyecto

1.6 1.2Módulo Resiliente (Mr)

El método AASHTO considera que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales que constituyen la sección de un pavimento es el parámetro dominado módulo de resiliencia o módulo resiliente, el cual es determinado a partir del método de ensayo AASHTO TP 46-94, sin embargo, también es posible estimar el módulo de resiliencia en función del CBR, $Mr \text{ (psi)} = 1500 \times \text{(CBR)}$, la cual es considerada idónea únicamente para suelo de grano fino con CBR menor al 10%

Basado en los resultados de laboratorio de los apiques realizados para caracterizar la subrasante, se encontró un tipo de suelo con CBR de 1%, por ende, se establece un plan de mejoramiento estabilizando la arcilla existente adicionando cal al 3% permitiendo obtener un CBR de 5%, estimando un módulo resiliente de 7500 psi. Para el presente caso se trabajó con el valor promedio de los apiques realizados, el cual fue de 1%, obteniendo a través de la siguiente correlación, $Mr \text{ (psi)} = 1.500 \times \text{CBR}$, un Módulo

Resiliente de 1500 psi, lo que indica una capacidad de soporte muy reducida. Por ser un suelo bastante pobre se procedió a realizar el tratamiento anteriormente descrito, de modo que el CBR sea del 5% y con un módulo de Mr estimado de 7500 psi.

Tabla 7. Resultado Apiques

	LL %	LP %	IP %	Gravas %	Arenas %	Finos %	Dens Máx [gr/cm ³]	Wopt %	CBR %
Apique 01	36,4	19,8	16,6	0,1	13	86,9	2,07	11,8	1,0
Apique 02	42,6	16,5	26,1	0,2	14,7	85,1	2,00	12,2	1,0
Apique 03	29,4	17,3	12,1	0,0	16,4	83,6	1,96	15,0	2,0
Apique 04	25,1	13,9	11,2	0,7	32	67,3	2,08	10,9	3,0
Apique 05	75,9	35,6	40,3	0,0	0,6	99,4	1,94	15,5	1,0
Apique 06	33,1	20,4	12,7	0,0	41,1	58,9	2,03	9,2	1,0
Apique 07	46,9	30,1	16,8	1,5	40,3	58,2	1,94	14,4	2,0
Apique 08	N.P.	N.L.	-	47,8	44,7	7,5	2,10	10,1	1,0
Apique 09	N.P.	N.L.	-	28,1	60,3	11,6	1,88	11,9	1,0
Apique 10	35,6	18,5	17,1	25,1	58,2	16,7	1,91	11,7	2,0
Apique 11	38,9	16,7	22,2	18,1	67,1	14,8	1,89	10,4	2,0

Fuente: Datos suministrados por ejecutor del Proyecto

1.7 Módulos dinámicos y Número Estructural de las capas de pavimento

A fin de determinar las propiedades de los materiales para la estimación de los valores apropiados del coeficiente de capa (a_i), entiéndase este como una medida de habilidad relativa de una unidad de espesor de un material dado para funcionar como componente estructural del pavimento expresado en 1/unidad de longitud. (Manual de Diseño geométrico de Carreteras, 2018)

Carpeta asfáltica: Se propone utilizar una carpeta asfáltica que presente un coeficiente estructural de $a_1 = 0,44$

Base Granular: Se propone utilizar un CBR mínimo de 80% y un módulo de 30000 psi para una densidad mínima del 95% con relación a la máxima. Utilizando la cartilla proporcionada por AASHTO para la obtención del coeficiente de capa, se determina un $a_2 = 0,14$

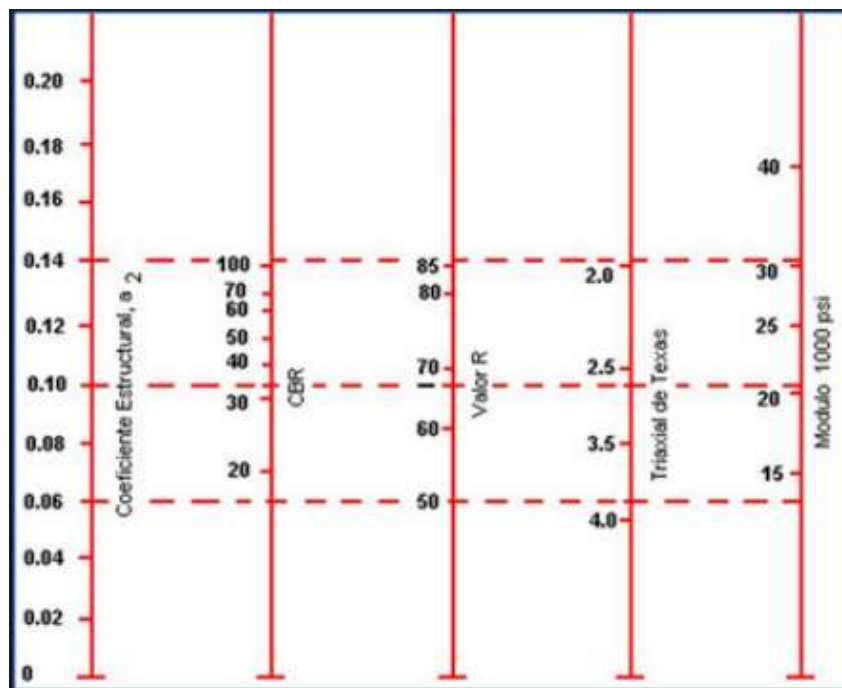


Figura 2. Cartilla AASHTO 93 Base Granular

Subbase Granular: Se propone utilizar un CBR mínimo de 30% y un módulo de 15000 psi Utilizando la cartilla proporcionada por AASHTO para la obtención del coeficiente de capa, se determina un $a_3 = 0,11$.

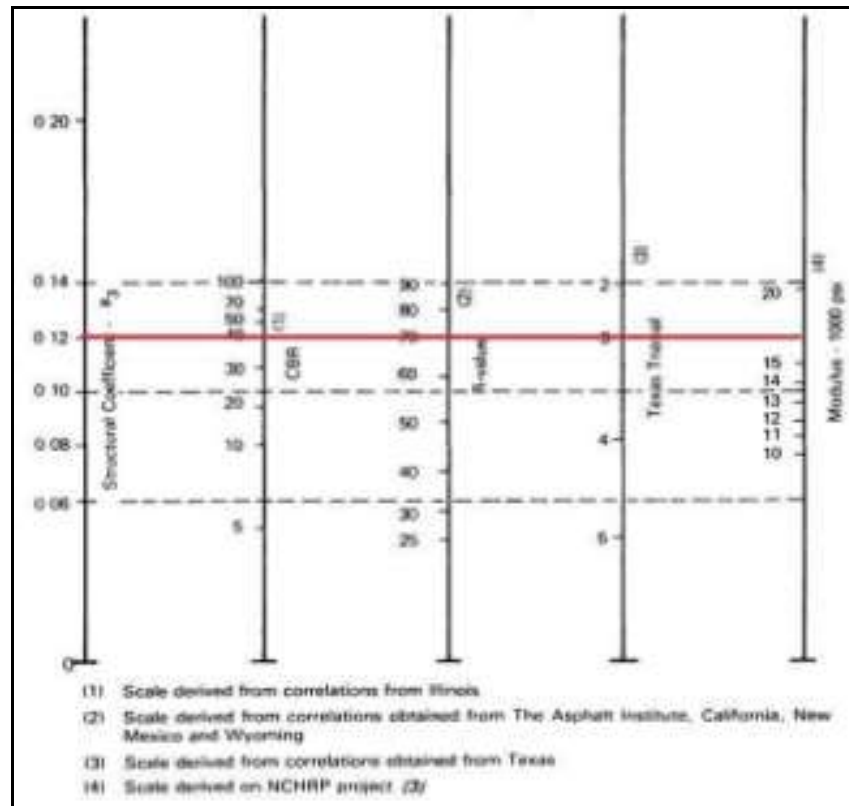


Figura 3. Cartilla AASHTO 93 Subbase Granular

1.8 Coeficiente de Drenaje

Se tomarán valores de coeficiente de drenaje basado en la tabla proporcionada por AASHTO:

CAPACIDAD DE DRENAJE	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a nivel de humedad próximo a saturación.			
	Menos del 1%	1 a 5 %	5 a 25 %	Más del 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
Malo	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy Malo	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

Figura 4. Valores coeficientes de drenaje materiales empleados en Pavimentos.

El coeficiente de Drenaje será de 1.0 para la capa de pavimento asfáltico. En el caso de la base y subbase granular se considera de 0.9

1.9 Nivel de confiabilidad

Este parámetro permite tener un grado de certeza que permita asegurar la correcta respuesta del diseño para el periodo de tiempo analizado. Este factor tiene en cuenta posibles variaciones en el tráfico y desempeño esperado, para de esta manera proveer un nivel de aseguramiento de la serviciabilidad percibida por el usuario.

CATEGORÍA DEL PROYECTO	CONFIABILIDAD ESTADÍSTICA (%)	Zr
Media	90 %	- 1,282
Alta	90%	- 1,282
Muy Alta	95 %	- 1,645

Figura 5. Confiabilidad de Diseño Según AASHTO

Tabla 8. Nivel de Confiabilidad por Clasificación

Funcional

Clasificación funcional	Confiabilidad (%) - R_{total}	
	Urbano	Rural
Interestatal y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993

Se establece para el presente diseño un nivel de confiabilidad de 90%, para lo cual se relaciona un valor de $Z_r = 1.282$, según lo establecido en la guía AASHTO 1993.

1.10 Porcentaje de Error: Desviación Estándar S_o

Este valor representa la desviación estándar conjunta que incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el periodo de diseño y la desviación estándar de la predicción del comportamiento del pavimento.

Los valores de la desviación Estándar recomendados en la guía AASHTO 93 para pavimentos flexibles es de $S_o: 0.45 - 0.49$. Para el diseño de un pavimento flexible nuevo recomienda una desviación estándar $(S_o) = 0.45$

1.11 Nivel de Serviciabilidad

Se define serviciabilidad de un pavimento como la habilidad de servir al tráfico, esta característica se mide con el índice de serviciabilidad el cual es un valor de apreciación con el que se evalúan las condiciones de deterioro o confort de la superficie de rodadura. Se diseña con nivel mínimo de serviciabilidad deseado al final del periodo de diseño (Pt)

- Serviciabilidad inicial = 4.2
- Serviciabilidad Final = 2.
- Perdida de Serviciabilidad = 2.2

1.12 Numero Estructural SN

La resistencia de la estructura de pavimento se define por el Número estructural (SN), el cual es en función del espesor de las capas, de los coeficientes estructurales de ellas y del coeficiente de drenaje.

$$SN = a1*D1 + a2*D2*M2 + a3*D3*M3$$

Donde a1, a2, a3: Coeficientes estructurales de cada capa

Donde D1, D2, D3: Espesor de la capa asfáltica, base granular y subbase respectivamente.

Donde M1, M2, M3: Coeficientes de Drenaje.

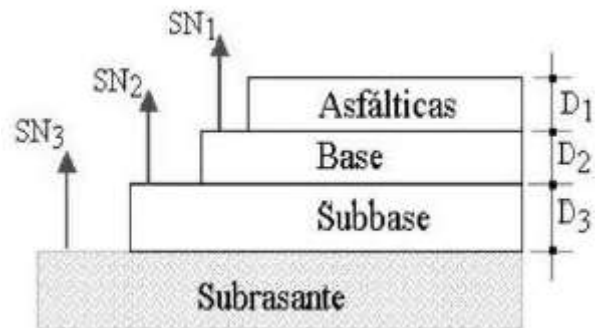


Imagen 7. Esquema General de los componentes estructurales del Pavimento:

1.13 Determinación de espesores de Capa de Pavimento

Aplicando la ecuación de la AASHTO ROAD TEST los parámetros definidos para el diseño son:

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

2) METODOLOGÍA

Periodo de Diseño

La recomendación del periodo de diseño, dada por el instituto nacional de Vías en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos con medios y altos volúmenes de tránsito, para una estructura de Pavimento Flexible es de 10 años.

Transito de Diseño

La información del tránsito fue realizada en campo, una estación por tramo de intervención para un total de dos (2) estaciones. El tramo dos, objeto de estudio del

presente proyecto, tuvo la estación de conteo No.2 ubicada en un sector de alta demanda vehicular comprendida entre la Diagonal 65 entre la transversal 44 y 48.



CBR de diseño

Esta información reside en los resultados de la exploración geotécnica la cual fue orientada al conocimiento del material que componía la subrasante, a través de ensayos de laboratorio como granulometría, humedad natural, límites de Atterberg y CBR, permitió la clasificación del terreno (subrasante).

- ❖ CBR inicial = 1% Mr = 1500 psi
- ❖ Mejoramiento de la subrasante a través de adición Cal al 3 % :
- ❖ CBR Final = 5% Mr = 75000 psi

Módulo resiliente de la Subrasante

El cálculo del módulo resiliente de la subrasante se realizó por una de las fórmulas de correlación de CBR, enunciada anteriormente, recomendadas por el método AASHTO.

Módulos Dinámicos y Números estructurales de las capas de pavimento

Para Subbase Granular: El coeficiente de aporte estructural de la subbase granular, se determinó por medio del ábaco que nos relaciona los parámetros de resistencia del coeficiente estructural y el CBR con el módulo dinámico

Para Base granular:

El coeficiente de aporte estructural de la base granular, se determinó por medio del Abaco que nos relaciona los parámetros de resistencia del coeficiente estructural y el CBR con el módulo dinámico.

Para Mezcla densa en caliente:

El coeficiente de aporte de la Mezcla Asfáltica en Caliente, se obtuvo teniendo en cuenta el Abaco de coeficientes de mezcla asfáltica de la AASHTO, estimando de esta manera su módulo dinámico.

Coefficiente de Drenaje

Dato tomado de la tabla de nos indican los tiempos de drenaje recomendado por AASHTO. El valor de este coeficiente depende de dos parámetros principales: 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.

Nivel de confiabilidad

Debido a que la confiabilidad se refiere al grado de incertidumbre de que un diseño pueda llegar al fin de su vida útil en buenas condiciones, se determinó este parámetro basado en la Tabla “Nivel de confiabilidad por clasificación funcional” de la guía para Diseño de estructuras de Pavimento, AASHTO 1993.

Desviación Estándar

Este parámetro se determinó de acuerdo a la recomendación de la guía AASHTO, para la confiabilidad determinada anteriormente.

Nivel de serviciabilidad

Para pavimentos Flexibles la guía AASHTO recomienda un valor ubicado en el intervalo de 0.45 – 0.49, por recomendación de la misma guía para un pavimento flexible nuevo recomienda un valor de 0.45, siendo así, $S_o = 0.45$.

Numero estructural del Pavimento

Con la fórmula de diseño propuesta por AASHTO, enunciada anteriormente, se obtiene el número estructural y en función del mismo se determinan los diferentes espesores de capas que conforman la estructura del Pavimento flexible.

3) RESULTADOS

Para dimensionar la estructura del Pavimento a diseñar, se calcula el número de repeticiones totales a ejes equivalentes de 8.2 Toneladas durante el periodo de Diseño, teniendo en cuenta los factores mencionados en capítulos anteriores.

Para el dimensionamiento del pavimento flexible a 10 años se tiene un número de ejes equivalentes de 8.315.566.

Tabla 9. Proyección tráfico

PROYECCION	TOTAL CAMION	Nee Flexible	Nee Flexible Acumulado
2019	813	569,158	569,158
2020	841	589,135	1,158,293
2021	871	609,814	1,768,107
2022	901	631,218	2,399,325
2023	933	653,374	3,052,699
2024	965	676,307	3,729,007
2025	999	700,046	4,429,053
2026	1034	724,618	5,153,670
2027	1071	750,052	5,903,722
2028	1108	776,378	6,680,100
2029	1147	803,629	7,483,729
2030	1187	831,837	8,315,566
2031	1229	861,034	9,176,600
2032	1272	891,256	10,067,857
2033	1317	922,540	10,990,396
2034	1363	954,921	11,945,317

PROYECCION	TOTAL CAMION	Nee Flexible	Nee Flexible Acumulado
2035	1411	988,438	12,933,755
2036	1461	1,023,133	13,956,888
2037	1512	1,059,045	15,015,932
2038	1565	1,096,217	16,112,149
2039	1620	1,134,694	17,246,843
2040	1677	1,174,522	18,421,365

Fuente: Datos suministrados por ejecutor del Proyecto

Subrasante:

Tabla 10. Parámetros de Diseño

Confiabilidad	90%
Zr	-1.282
So	0,45

Po	4,2
Pf	2
Tránsito	8315566
Mr (psi)	7500

Fuente: Autor

Figura 7. Cálculo SN Estructura de Pavimento. Fuente = AASHTO 93

Subbase granular:

Tabla 11. Parámetros de Diseño

Confiabilidad	90%
Zr	-1.282
So	0,45
Po	4,2
Pf	2
Tránsito	8315566
Mr (psi)	15000

Fuente: Autor

Figura 8. Cálculo SN Estructura de Pavimento. Fuente = AASHTO 93

Base granular:

Tabla 12. Parámetros de Diseño

Confiabilidad	90%
Zr	-1.282
So	0,45
Po	4,2
Pf	2
Tránsito	8315566
Mr (psi)	30000

Fuente: Autor

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The window title is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing '90 % Zr=-1.282' and a text box for 'So' with the value '0.45'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '30000' and the unit 'psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. The calculated value 'W18 = 8315566' is displayed.
- Número Estructural:** The calculated value 'SN = 2.82' is displayed.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Figura 9 Cálculo SN Estructura de Pavimento. Fuente = AASHTO 93

Subrasante estabilizada ($Mr = 7500$ psi), se requiere un SN de **4.51**

Subbase ($Mr = 15000$ psi), se requiere un SN de **3.59**

Base ($Mr = 30000$ psi), se requiere un SN de **2.82**.

Una vez calculados los valores de Numero Estructural SN de toda la estructura procedemos a calcular los espesores de las distintas capas:

Tabla 13. Espesores de capa
optimizados

Diseño de Pavimento materiales convencionales				
CALCULO DE SN MEDIANTE EL PROGRAMA AASHTO 93				
SN3	4,51			
SN2	3,59			
SN1	2,82			
CA	6,41	pulg	16,28	cm
BG	6,11	pulg	15,52	cm
SBG	9,29	pulg	23,60	cm
			SN	
CA	15	cm	2,60	
BG	15	cm	0,74	
SBG	30	cm	1,17	
		SUMA	4,51	Cumple
	Coef. Aporte	Coef. De drenaje		
Subbase	0,11	0,9		
base	0,14	0,9		
Carpeta Asfáltica	0,44	1		

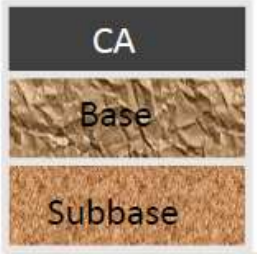
Fuente: Autor

Estructura Propuesta:

Analizando cada una de las características de los materiales que componen la estructura de pavimento propuesta mediante la implementación del Método AASHTO 93, a continuación se presenta el cuadro resumen en el cual se evidencian los espesores

correspondientes para el diseño de la estructura, para que nuestro diseño pueda resistir las cargas establecidas en el periodo de diseño.

Tabla 14. Estructura Propuesta



15	cm
15	cm
30	cm

4) CONCLUSIONES

La exploración geotécnica para el diseño del pavimento tuvo como objetivo conocer el material de la subrasante, para lo cual se realizaron un total de once (11) apiques

espaciados aproximadamente 500 m de longitud y a una profundidad promedio de 1.5 m de la rasante actual.

Por medio de los apiques y ensayos de laboratorios realizados se pudo determinar que la subrasante tiene una capacidad portante muy baja, en la cual los CBR estaban alrededor de 1 % a 2 %.

Los estudios de geotecnia indican que los suelos de cimentación de los pavimentos tienen una baja capacidad de soporte. Por esta razón, para la alternativa en pavimento flexible se propuso un mejoramiento de la subrasante con cal al 3% como fundación del pavimento. Este material mejorado reemplaza un espesor de 50 cm del suelo existente.

Se propone una estructura de pavimento asfáltico convencional la cual estará conformada por carpeta asfáltica (CA) apoyada sobre una base granular (BG), seguida de una capa de subbase granular (SBG) con dimensionamiento presentado anteriormente.

5) RECOMENDACIONES

- a) Debido a la baja capacidad portante del tramo analizado se recomienda un mejoramiento con cal al 3% para aumentar el CBR al 5% y obtener un módulo de 7500 psi.

- b) Es de vital importancia establecer una política permanente de mantenimiento periódico y rutinario de la vía con el fin de controlar el deterioro del pavimento.

- c) Una vez conformada la subrasante y de manera previa a la construcción de la primera capa del pavimento, deberá verificarse el cumplimiento de la resistencia de diseño establecida para cada tipo de sección, esto mediante el uso de equipos idóneos para tal fin.

- d) Es importante señalar que la vida de servicio de la estructura de pavimento está íntimamente ligada a la cantidad y calidad del sistema de drenaje y subdrenaje, de tal forma que este, reciba, capte y evacue de manera rápida las aguas superficiales y subterráneas en la zona de influencia del pavimento. Basados en la idea anterior se recomienda establecer planes de acción que permitan la ejecución actividades de mantenimiento y/o mejoramiento pertinentes a fin de conservar las óptimas condiciones de drenaje.

- e) Para la ejecución de la obra se recomienda contar con personal directivo, administrativo y mano de obra de gran experiencia que redunde en la calidad del proyecto.

6) BIBLIOGRAFIA

- a) AASHTO (1993) Guide for desing pavement Structures. Washington D.C

 - b) Cordo, (2006), Manual de diseño de Pavimentos en base al método AASHTO 93
La paz: Universidad Nacional de San Juan

 - c) Corredor (2010), Experimento vial de la AASHTO y las guías de diseño de
AASHTO.

 - d) Mercado J. (2019), Diapositivas especialización UMNG 2019

 - e) Montejo Fonseca, A (2008). Ingenieria de pavimentos para Carreteras.Bogotá:
Universidad Católica de Colombia.
-