

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO EL MÉTODO AASTHO-93, PARA LA VÍA SECUNDARIA ROVIRA-IBAGUÉ EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA EN EL TRAMO EL BOQUERÓN (K79+500) HASTA EL SECTOR CARMEN DE BURILA (K86+600)



EDWIN UBALDO RUIZ MORA

COD: 6100314

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA UMNG

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ D.C.

2018

DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE APLICANDO EL MÉTODO AASTHO-93, PARA LA VÍA SECUNDARIA ROVIRA-IBAGUÉ EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA EN EL TRAMO EL BOQUERÓN (K79+500) HASTA EL SECTOR CARMEN DE BURILA (K86+600)

EDWIN UBALDO RUIZ MORA

COD: 6100314

ING. CARLOS ALBERTO GONZALEZ

Coordinador Especialización en Ingeniería de Pavimentos

ING. JOSE LUIS MERCADO

Director Investigación

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA UMNG

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ D.C.

2018

Contenido

INTRODUCCIÓN	7
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
JUSTIFICACIÓN	10
OBJETIVO GENERAL	12
1. MARCO TEORICO	13
Metodología AASHTO 93	13
1.1 Caracterización del Transito	13
1.1.1 Conversión de Transito en ESALS	14
1.1.2 Factores Equivalentes de Carga	15
1.1.3 Factor sentido	16
1.1.4 Tasa de crecimiento de los volúmenes vehiculares existentes	17
1.1.5 Transito atraído	17
1.2 Módulo Resiliente (Mr)	18
1.3 Módulos Dinámicos y Número Estructural de las Capas de Pavimento	20
1.4 Coeficiente de Drenaje	23
1.5 Nivel de Confiabilidad	24
1.6 Error Normal Combinado (Desviación Estándar So)	24
1.7 Nivel de Serviciabilidad	25
1.8 Numero Estructural SN	26
1.9 Determinación de Espesores de Capa de Pavimento	27
2. METODOLOGÍA	29
2.1 Periodo de Diseño	29
2.2 Tránsito de Diseño	29
2.3 CBR de Diseño	30
2.4 Módulo Resiliente de la Subrasante	30
2.5 Módulos Dinámicos y Numero Estructurales de las Capas de Pavimento.	30
2.6 Coeficiente de Drenaje	31
2.7 Nivel De Confiabilidad	31
2.8 Error Normal Combinado (So)	31
2.9 Nivel de Serviciabilidad	31
2.10 Número Estructural del Pavimento	32

3. RESULTADOS	33
4. CONCLUSIONES	39
5. RECOMENDACIONES	40
6. BIBLIOGRAFÍA	41

Lista de Tablas

Tabla 1. Factores de Equivalencia	15
Tabla 2. TPD actual por sentido	16
Tabla 3. Factor de direccionalidad y factor carril	16
Tabla 4. Tasa de crecimiento de los volúmenes vehiculares existentes	17
Tabla 5. Porcentaje de tránsito atraído por tipo de vehículos	18
Tabla 6. Valores coeficientes de drenaje materiales empleados en pavimentos	23
Tabla 7. Confiabilidad de diseño	24
Tabla 8. SN Espesores Capa de Pavimento	28
Tabla 9. Ejes equivalentes del tránsito proyectado para el sentido de diseño	33
Tabla 10. Parámetros de Diseño	34
Tabla 11. Parámetros de Diseño Subbase Granular	35
Tabla 12. Parámetros de Diseño Base Granular	36
Tabla 13. Números Estructurales (SN) Calculados	37
Tabla 14. Espesores Calculados	37
Tabla 15. Espesores Optimizados	37
Tabla 16. Diseño Estructura de Pavimento	38

Lista de Imágenes

Imagen 1. Clasificación general de vehículos. Fuente: Manual para la planeación y diseño para la Administración del Tránsito y Transporte. 2005.....	14
Imagen 2. Clasificación de suelos relacionada con parámetros de resistencia. Fuente: Guía de Diseño de ASSHTO.....	19
Imagen 3. Coeficientes Estructurales (ai). Fuente: Guía AASHTO 93	20
Imagen 4. Coeficiente Aporte Estructural Subbase Granular (a3). Fuente: Guía AASHTO 93	21
Imagen 5. Coeficiente Aporte Estructural Base Granular (a2). Fuente: Guía AASHTO 93	22
Imagen 6. Coeficiente Aporte Mezcla Asfáltica en Caliente. Fuente: Guía AASHTO 93	23
Imagen 7. Parámetros Desviación Estándar. Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93	25
Imagen 8. Serviciabilidad Inicial. Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93.....	26
Imagen 9. Serviciabilidad Final. Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93.....	26
Imagen 10. Número Estructural Capas Pavimento. Fuente: Guía Diseño ASSHTO 93	28
Imagen 11. Espesores Mínimos AASHTO. Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93.....	28
Imagen 12. Calculo SN Estructura pavimento. Fuente: Programa AASHTO 93	34
Imagen 13. Calculo SN Subbase. Fuente: Programa AASHTO 93.....	35
Imagen 14. Calculo SN Subbase. Fuente: Programa AASHTO 93.....	36

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos son estructuras constituidas por una serie de capas superpuestas de manera horizontal, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales seleccionados de alta calidad adecuadamente extendidos y compactados.

La resistencia que se requiere para que los pavimentos no fallen antes de terminar su vida útil está afectada por la capacidad de soporte subrasante, por esta razón es que la función estructural de los pavimento es disminuir los esfuerzos generados por las cargas impuestas debido a la acción de tránsito.

El presente diseño se elabora bajo la metodología ASSHTO 93. Los parámetros de diseño requeridos fueron obtenidos mediante información secundaria suministrada por la Gobernación del Tolima y el Consorcio Rovira 2017. La información suministrada fue un estudio de suelos, ensayos de laboratorio e información del tránsito.

Con base en los parámetros de diseño se define la estructura de pavimento que garantizara la adecuada condición de movilidad para el transito proyectado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la situación económica actual por la que pasa el país, y a la falta de recursos con la que cuentan los municipios y departamentos a nivel nacional para para invertir en el mantenimiento de vías de segundo y tercer orden y su total abandono, se ha generado un deterioro acelerado de estas vías en las cuales ya está comprometida su parte estructural.

Por esta razón, se hace necesario buscar de manera urgente las alternativas necesarias y que tengan un argumento viable, tanto económicamente y en su parte técnica, para de esta manera garantizar la durabilidad de las pocas vías en las que se están invirtiendo recursos.

Esta problemática no es ajena a la vía secundaria que comunica a los Municipios de Ibagué y Rovira en el departamento del Tolima, donde el abandono total de la vía se ve reflejado en su pésimo estado en la actualidad, afectando principalmente a los pobladores y usuarios de esta, dificultando el transporte de productos agrícolas y diferentes mercancías, aumentando de esta manera aumento de los tiempos de viaje y el costo del mantenimiento vehicular y a su vez disminución de los ingresos de los habitantes de estos municipios debido a la poca afluencia de turistas, generando de esta manera atraso en el desarrollo de las región.

De acuerdo a esta problemática se hace necesario realizar un diseño de un alternativa para que se pueda aplicar en el mejoramiento de la vía Ibagué – Rovira en el departamento del Tolima en el tramo comprendido entre el sector Boquerón (k79+500) hasta el sector Carmen de Burila (k86+600).

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo diseñar la estructura del pavimento para la construcción de la vía que comunica a los municipios de Ibagué y Rovira en el departamento del Tolima en el tramo el Boquerón (k79+500) hasta el sector Carmen de Burila (k86+600)?

JUSTIFICACIÓN

Según (Gobernación del Tolima, 2016) en sus estudios previos: “El Departamento del Tolima está conformado por una red vial secundaria de 2.464,4 km de los cuales solo 882 km (35.8%) se encuentran pavimentados, los 1.582,14 km (64.2%) restantes que se encuentran sin pavimentar presentan un alto deterioro generando un grave problema de movilidad. Así mismo unos 485 km (59.95%) de la red vial pavimentada requiere de manera urgente actividades de rehabilitación, lo que pone en grave riesgo de sostenibilidad de la misma”.

Del total de vías secundarias del departamento del Tolima un elevado porcentaje corresponde a vías que conectan municipios de media y alta montaña las cuales gracias a su excelente localización poseen diferentes variedad de climas además de diferentes tipos de suelos en estas regiones.

El (Departamento Nacional de Planeación, 2018) afirma: “Actualmente hay dificultad en la intercomunicación terrestre de la población rural y urbana de los municipios, debido a que por un lado las vías están en mal estado, intransitables o con restricciones de tránsito y deficiente mantenimiento de las mismas. Algunos de las vías presentan deterioro de la superficie de rodadura o no han sido atendidos los puntos críticos, situación que genera pasos restringidos, junto con el aumento de los tiempos de viaje, con un efecto directo en el aumento de los costos de operación y mantenimiento vial”.

Debido al mal estado de estas vías se presenta un mayor costo en los servicios de transporte tanto de carga como de pasajeros, debido al aumento de tiempo y demoras en la prestación de estos servicios. Además de los que se afecta de manera directa la oferta y demanda de los productos generados en esta región y sobrecostos en su producción y distribución.

Dado lo anterior los habitantes de estos sectores deben invertir una mayor cantidad de dinero para su desplazamiento y en los productos básicos de la canasta familiar, lo cual genera menores oportunidades de desarrollo de la región.

El mejoramiento y mantenimiento de la red vial de una región constituye una de las estrategias vitales para el desarrollo económico de la misma. Es importante anotar que aun cuando el departamento del Tolima cuenta con una red de que conectan las localidades entre sí, el mal estado que presentan no permite la integración física entre los municipios.

El crecimiento económico del Departamento del Tolima se ha basado en su potencial agropecuario, ganadero, cultural y turístico de las diferentes subregiones, pero por la falta de mantenimiento y conservación de las vías se han desarticulado los centros de producción con los centros de consumo, lo cual ha limitado las posibilidades de generar empleo, ingresos y divisas, todo esto reflejado en las condiciones de vida de la población.

El alcance del presente documento corresponde a entregar el diseño de la estructura de pavimento del tramo Rovira – Ibagué entre las abscisas K79+500 y K86+600, mediante el empleo de la metodología AASHTO 93, definiendo para ello espesores, identificación de las condiciones climáticas a lo largo del proyecto y la estimación del Número de Ejes Equivalentes de 8.2 Ton que se espera va a circular por la vía en el período de diseño contemplado, todo esto dado en unas condiciones de confiabilidad.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una estructura de un pavimento flexible aplicando el método AASTHO-93, para la vía secundaria Rovira-Ibagué en el departamento del Tolima en el tramo El Boquerón (K79+500) hasta el sector Carmen de Burila (K86+600).

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar y analizar información existente necesaria para el desarrollo del diseño.
- Diseñar los espesores de las estructuras de pavimento flexible pertinentes, de acuerdo con el método propuesto.
- Recomendaciones y conclusiones de los resultados obtenidos.

1. MARCO TEORICO

Metodología AASHTO 93

El método AASHTO considera los siguientes parámetros de cálculo:

- El Tránsito, especificado como el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
- El módulo resiliente de la subrasante.
- Módulos dinámicos de las diferentes capas de la estructura del pavimento.
- Numero estructural del pavimento.
- Calidad del drenaje.
- El nivel de confianza con que se desea calcular el pavimento.
- Error normal combinado (Desviación Estándar S_o).
- Nivel de serviciabilidad.

1.1 Caracterización del Tránsito

En el método AASHTO el pavimento es proyectado para que resista cierto número de repeticiones de carga desde el inicio de su puesta en servicio hasta la finalización de su vida útil. Debido a que el tránsito se compone de diferentes tipos de vehículos los cuales poseen diferente peso y diferentes números de ejes, a los cuales con una serie de cálculos se transforman en un número de ejes equivalentes de 80 kN o 8,2 Ton. A esta transformación a ejes equivalentes se le denomina ESAL por su sigla en inglés "*Equivalent Single Axle Load*" o en español "*Carga de Eje Equivalente Simple*".

En la siguiente imagen se observa la designación usada para la cuantificación del tránsito:

TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS		
BUSES	BUSETA	
	BUS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUEÑO	
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE	
C3 Y C4	CAMION C3	
	CAMION C4	
	TRACTO-CAMION C2-S1	
	TRACTO-CAMION C2-S2	
	TRACTO-CAMION C3-S1	
C5	TRACTO-CAMION C3-S2	
> C5	TRACTO-CAMION C3-S3	

Imagen 1. Clasificación general de vehículos. Fuente: Manual para la planeación y diseño para la Administración del Tránsito y Transporte. 2005

1.1.1 Conversión de Tránsito en ESALS

Las diferentes cargas que actúan en los pavimentos producen diferentes esfuerzos y deformaciones en el mismo. También los diferentes espesores de pavimentos y los diferentes materiales responden de una manera diferente a la misma carga. Debido a esta diferente respuesta en el pavimento, las fallas serán distintas según la intensidad de la carga y las características del pavimento. Debido a lo anterior se debe tener en cuenta esta diferencia y de esta manera el tránsito se reduce a un número equivalente de ejes de una determinada carga que producirán el mismo daño que toda la

composición del tránsito. Esta carga tipo según AASHO es de 80 KN o 8.2 Ton. La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga, denominados LEF por sus siglas en inglés ("Load Equivalent Factor") o Factor Equivalente de Carga.

1.1.2 Factores Equivalentes de Carga

Este formula de convertir las cargas de un tránsito mixto en un número de ejes equivalentes de 80 KN o 8.2 Ton, se desarrolló en las pistas de prueba de la AASHO, en el cual los pavimentos eran cargados con diferentes combinaciones de esfuerzos y cargas para de esta manera analizar los daños producidos en la pista.

El factor equivalente de carga (LEF) es una relación entre la perdida 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.

$$LEF = \frac{\text{No. de ESALs de 80 KN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. de ejes de x KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Para efectos de diseño de pavimentos, se calculó el número de repeticiones totales de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas durante el periodo de diseño, en el carril más cargado, teniendo en cuenta el factor de direccionalidad y el factor carril. En este orden de ideas, se afectó el número de vehículos esperados por el factor camión que corresponde al tipo de vehículo.

Se aplicaron los Factor Camión sugeridos por el INVÍAS.

Tabla 1. Factores de Equivalencia

Tipo de Vehículo	Factor daño
Autos	0
Buses	1
C2P	1.14

Tipo de Vehículo	Factor daño
C2G	3.44
C3-C4	3.76
C5	4.4
>C5	4.72

Fuente: INVIAS

1.1.3 Factor sentido

Se observa entonces los TPD de la vía, registrados por sentido en la estación maestra, con su composición vehicular propia. Estos datos hacen referencia a los flujos diarios actual.

Tabla 2. TPD actual por sentido

Sentido	TPD	Auto	Bus	Camión	Proporción con relación al TPD (ambos sentidos)
Rovira- Ibagué	843	70%	13%	16%	48%
Ibagué - Rovira	925	72%	11%	16%	52%

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

Teniendo en cuenta las proporciones presentadas en la tabla anterior, se tiene que el factor direccional hará referencia al sentido con mayor circulación. Por su parte, el factor carril será del 100%, considerando que se trata de una calzada sencilla con un carril por sentido.

Tabla 3. Factor de direccionalidad y factor carril

Factor de direccionalidad	52%
Factor carril	100%

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

1.1.4 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 muestran las tasas de crecimiento utilizadas para la proyección de los volúmenes actuales, por tipo de vehículo y por periodo. Cabe destacar que estas tasas fueron estimadas teniendo en cuenta la información secundaria.

Tabla 4. Tasa de crecimiento de los volúmenes vehiculares existentes

Periodo	Autos	Buses	Camiones
Tasa de crecimiento 2017 - 2037	1.5%	1.5%	4.5%

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

1.1.5 Transito atraído

El tránsito atraído podría estar constituido por un porcentaje del flujo vehicular que circula actualmente por otras vías y que, por las ventajas o beneficios que ofrecerá el mejoramiento del corredor entre Rovira - Ibagué, hará ahora uso de esta infraestructura para llegar a su destino.

El Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para bajos volúmenes de Tránsito del INVÍAS, sugiere aplicar el criterio del Instituto de Ingenieros de Estados Unidos, el cual señala que al tránsito atraído se le pueden asignar valores de porcentajes entre el 5% - 25% del tránsito normal.

En este caso, y siguiendo las consideraciones descritas previamente, se tomará un 5%. Este porcentaje será asignado al tránsito normal (año 2017) para calcular el tránsito atraído cuyo crecimiento anual será proyectado con las mismas tasas consideradas en la estimación del tránsito normal.

Tabla 5. Porcentaje de tránsito atraído por tipo de vehículos

Porcentaje (%) de tránsito atraído		
Autos	Buses	Camiones
5.0	5.0	5.0

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para bajos volúmenes de Tránsito del INVÍAS.

1.2 Módulo Resiliente (Mr)

En la guía de diseño ASSHTO 93 3I módulo resiliente reemplaza al CBR como parámetro de caracterización de la subrasante. Dado lo anterior es aconsejable trabajar con valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio.

La caracterización del suelo de fundación de la estructura de pavimento es de primordial importancia ya que de esta manera podemos establecer su capacidad mecánica y su estabilidad volumétrica frente a los cambios de humedad que se presentan en los suelos. Esta caracterización se determina mediante las exploraciones y los muestreos realizados en el terreno, y a su vez estos son verificados mediante ensayos de laboratorio.

El diseño de pavimentos flexibles es tiene extrema sensibilidad con el módulo resiliente, por lo cual se debe definir este parámetro con la delicadeza necesaria.

El valor del Mr se puede obtener por medio de retrocalculo de mediciones de deflectometría, por medio de correlaciones con otras pruebas ya realizadas o por medio de correlaciones en ábaco.

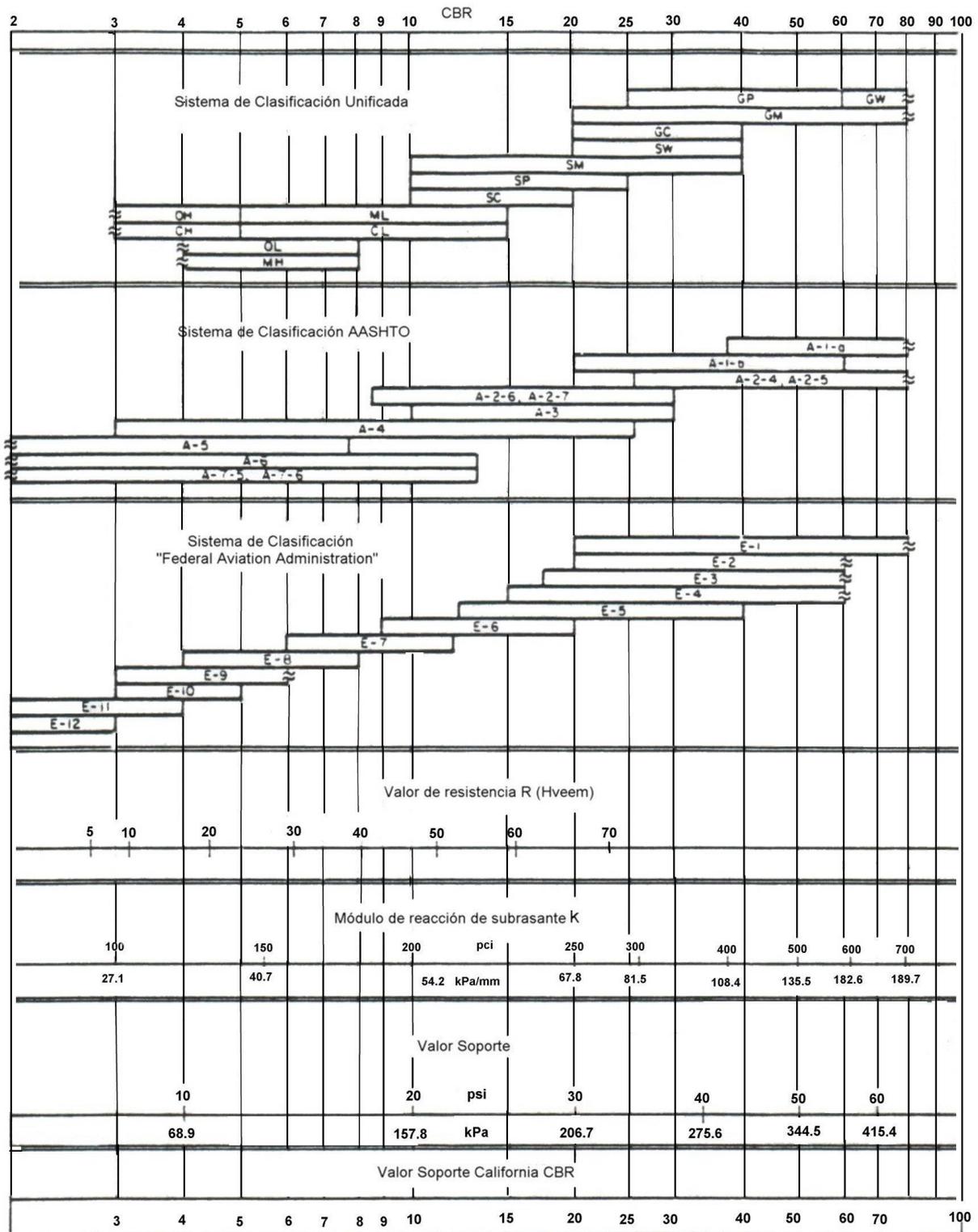


Imagen 2. Clasificación de suelos relacionada con parámetros de resistencia. Fuente: Guía de Diseño de ASSHTO

Para el presente informe se utilizó la siguiente fórmula de correlación:

$$Mr = 2555 * (CBR)^{0.64}. \text{ (Mr en PSI)}$$

1.3 Módulos Dinámicos y Número Estructural de las Capas de Pavimento.

Las características de las diferentes capas de pavimento se evalúan ensayos normalizados en laboratorio y también a través de correlaciones de valores típicos de los diferentes materiales de construcción empleados en el territorio nacional.

La guía AASTHO en la siguiente imagen nos presenta un valor de coeficiente estructural (a_i) para los diferentes materiales empleados en la estructura de pavimento:

Coeficientes estructurales (a_i)		Referencia
Mezclas asfálticas densas en caliente	0.44	AASHTO (1993)
Bases granulares	0.14	
Subbases granulares	0.11	

Imagen 3. Coeficientes Estructurales (a_i). Fuente: Guía AASHTO 93

- **Subbase granular:** Se establece el uso de un material seleccionado con capacidad de soporte mínimo del 40%, de acuerdo con la guía de diseño ASSHTO 93.

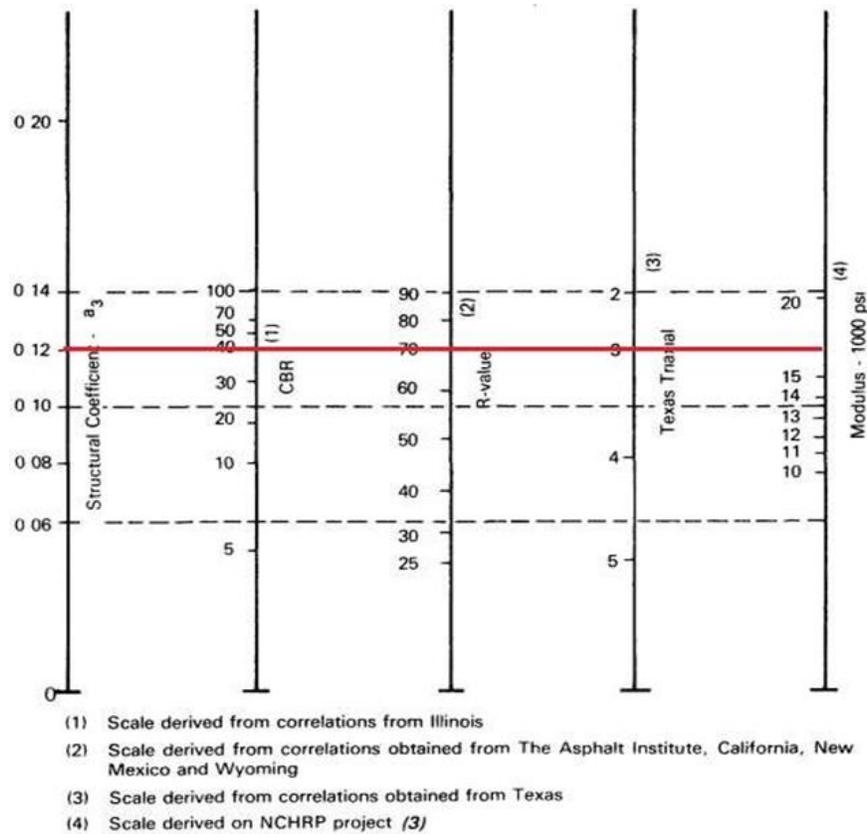


Imagen 4. Coeficiente Aporte Estructural Subbase Granular (a_3). Fuente: Guía AASHTO 93

De acuerdo con la imagen anterior y con la especificación INVIAS para una subbase con un soporte mínimo de 40% se obtiene un coeficiente estructural a_3 de 0.11 y un valor de módulo de 16000 PSI

- **Base granular:** Los requisitos de la base granular deben muy superiores a los de la Subbase Granular. Se propone el uso de una base granular con CBR de 100% para la estructura de pavimento. De acuerdo a la información de la Guía de Diseño AASHTO 93, en el siguiente ábaco podemos correlacionar las respectivas características del material para la obtención del módulo:

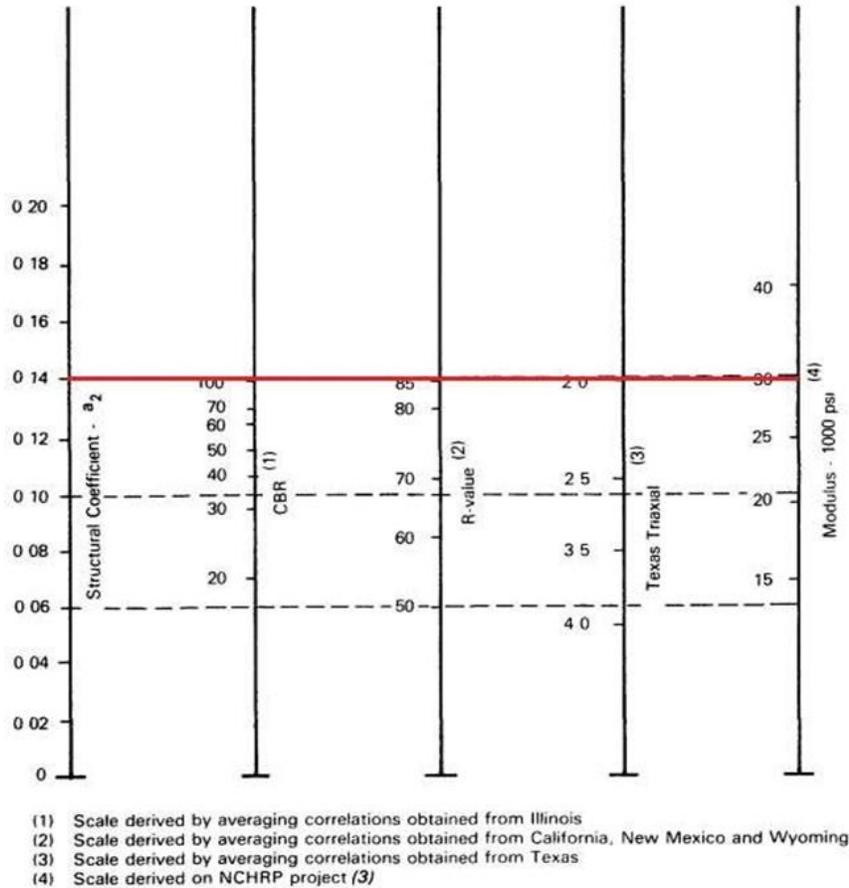


Imagen 5. Coeficiente Aporte Estructural Base Granular (a_2). Fuente: Guía AASHTO 93

De acuerdo con la imagen anterior podemos observar que para un CBR del 100% en la base granular, la guía sugiere un coeficiente de aporte estructural (a_2) igual a 0.14; así como un módulo de 30000 Psi.

- **Mezcla Asfáltica Densa en Caliente:** De acuerdo con la guía de diseño ASSHTO se emplea un valor de coeficiente estructural de 0.44.

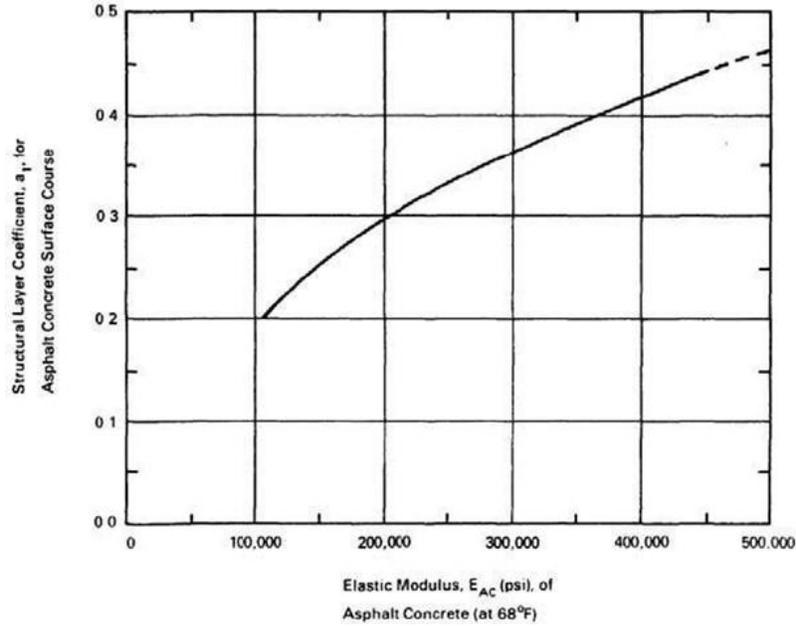


Imagen 6. Coeficiente Aporte Mezcla Asfáltica en Caliente. Fuente: Guía AASHTO 93

1.4 Coeficiente de Drenaje

La calidad del drenaje es una de las características más importantes en el diseño de carreteras. El método AASHTO 93 permite asumir un nivel de drenaje consecuente a una serie de condiciones de drenaje específicas.

En la siguiente tabla se muestran los valores de coeficientes de drenaje para materiales empleados en la estructura de pavimentos.

Tabla 6. Valores coeficientes de drenaje materiales empleados en pavimentos

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

Fuente: AASHTO, 1993

De acuerdo con la tabla anterior para el presente informe se toman valores de coeficiente de drenaje de la siguiente manera:

- Subbase Granular: 0.9
- Base Granular: 0.9
- Carpeta Asfáltica: 1.0

1.5 Nivel de Confiabilidad

La confiabilidad hace referencia a la probabilidad de que la estructura de pavimento se comporte satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito durante el periodo de diseño, en otras palabras, es una relación diseño-comportamiento.

Tabla 7. Confiabilidad de diseño

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

Fuente: AASHTO, 1993

Se establece una confiabilidad del 90% para el desarrollo del presente proyecto, lo cual relaciona un coeficiente de confiabilidad (Zr) de -1.282, según lo relacionado en el Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.

1.6 Error Normal Combinado (Desviación Estándar So)

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.

PROYECTO DE PAVIMENTO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR, S_o
Rango para pavimentos flexibles	0.40 – 0.50
Construcción nueva	0.45
Sobrecapas	0.50

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

Imagen 7. Parámetros Desviación Estándar. Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93

Según lo estipula el AASTHO 93, los valores recomendados para el diseño de pavimentos flexibles varían entre 0.45 y 0.49. Para el diseño de pavimentos flexibles nuevos, la guía recomienda una desviación estándar de 0.45.

1.7 Nivel de Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento se ha definido como su habilidad de servir al tipo de Tráfico que utiliza la facilidad vial, dándoles a los usuarios de la vía un nivel de manejo confortable durante el recorrido.

La medida principal de la serviciabilidad es el Índice de Serviciabilidad Presente (P_o), que varía entre 0 (pavimentos en muy mal estado) y 5 (pavimentos en perfecto estado). La descripción de diseño de la guía AASHTO es el concepto de Serviciabilidad – Comportamiento, que provee los mecanismos para diseñar un pavimento para un volumen total de tráfico específico y un mínimo nivel de serviciabilidad al final del periodo de diseño. La selección del menor Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) permisible o Índice de Serviciabilidad Final (P_f) estará basado en el menor valor permitido antes que una rehabilitación, recarpeteo o reconstrucción sea necesaria. La serviciabilidad está definida como:

$$\Delta P = P_o - P_f$$

TIPO PAVIMENTO	SERVICIABILIDAD INICIAL, Po
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

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

Imagen 8. Serviciabilidad Inicial. Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93

TIPO DE VÍA	SERVICIABILIDAD FINAL, Pt
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
Zonas industriales	
Pavimento urbano principal	1.5 – 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 – 2.0

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

Imagen 9. Serviciabilidad Final. Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93

Para el presente diseño se establece un índice de serviciabilidad inicial de 4.2 y final de 2.2. Por tanto:

$$\Delta P = 4.2 - 2.2 = 2.0$$

1.8 Numero Estructural SN

El método AASHTO-1993 para el diseño de pavimentos flexibles, básicamente se desarrolla en la consecución un “número estructural (SN)”, para la estructura del pavimento, el cual determina la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación de variables a considerar, como son, Modulo resiliente del suelo (Mr), transito total (W18), índice de serviciabilidad y condiciones ambientales del sector. Para determinar el número estructural, el método se apoya en la siguiente ecuación:

$$\log(N) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{AIPS}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1,094}{(SN + 1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32 \times \log(Mr) - 8.07$$

Dónde:

W₁₈: Numero de aplicaciones de ejes equivalentes de 18 Kip (80 KN), hasta el tiempo en el cual se alcanza ISP=pt.

SN: número estructural

ΔPSI: Diferencia entre los de servicio inicial y final.

Mr: Modulo Resiliente de la Subrasante

So: Desviación Estándar total de la distribución normal de los errores asociados con las predicciones de tránsito y de comportamiento del pavimento. (0.44-0.49).

ZR: Parámetro estadístico asociado con distribuciones normales de datos, que consideran que el índice de serviciabilidad del pavimento, sea superior a pt durante el periodo de diseño.

Una vez se determina el SN, se procede a determinar el SN por componentes, el cual nos permitirá calcular los espesores correspondientes de cada una de las carpetas asfálticas y el valor de SN general, para verificar el cumplimiento del diseño, respecto a las variables planteadas.

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

1.9 Determinación de Espesores de Capa de Pavimento

Una vez calculados los valores de numero estructural SN de toda la estructura procedemos a calcular los espesores de las diferentes capas.

Mediante la siguiente ecuación se calculan los espesores de las capas:

$$d_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

Donde:

d₁ : Espesor de concreto asfáltico en pulgadas
SN₁ : Número Estructural de la carpeta asfáltica.
A₁ : Coeficiente de aporte de la estructura.

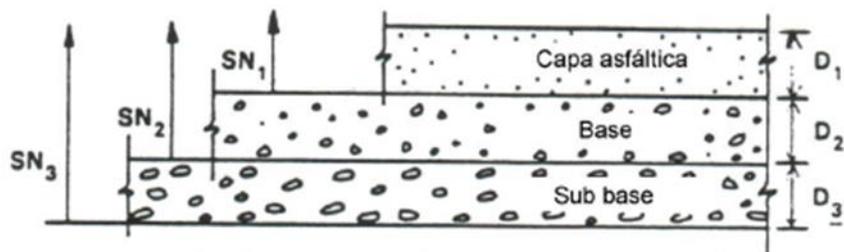


Imagen 10. Número Estructural Capas Pavimento. Fuente: Guía Diseño ASSHTO 93

De acuerdo con la gráfica anterior se determina:

Tabla 8. SN Espesores Capa de Pavimento

Sn3	Numero Estructural Capa Subbase Granular
Sn2	Numero Estructural Capa Base Granular
Sn1	Numero Estructural Capa Carpeta Asfáltica

Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93

Los espesores mínimos de diseño en relación con el número de ejes equivalentes proyectados en el periodo de diseño se especifican en el siguiente gráfico:

ESPESORES MÍNIMOS AASHTO (pulg)

N_{8,2} (Millones)	Concreto Asfáltico	Base Granular
< 0,05	1 o TSD	4
0,05 – 0,15	2	4
0,15 – 0,50	2,5	4
0,50 – 2,00	3,0	6
2,00 – 7,00	3,5	6
> 7,00	4,0	6

Imagen 11. Espesores Mínimos AASHTO. Fuente: Guía de Diseño ASSHTO 93

2. METODOLOGÍA

2.1 Periodo de Diseño

Del periodo de diseño dependerá la cuantificación del tránsito acumulado durante el tiempo de vida útil, solicitud de carga para así designar el dimensionamiento de la estructura.

El periodo de diseño para la alternativa en pavimento flexible es de 10 años según la recomendación hecha por el Instituto de Vías – INVIAS en su Manual de diseño de pavimentos asfálticos con medios y altos volúmenes de tránsito. Se estableció el año 2018 como años base de operación del proyecto.

2.2 Tránsito de Diseño

La información de tránsito fue suministrada por la Gobernación del Tolima y por el Consorcio Rovira, para efectos de diseño de pavimentos, se calculó el número de repeticiones totales de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas durante el periodo de diseño, en el carril más cargado, teniendo en cuenta el factor de direccionalidad y el factor carril. En este orden de ideas, se afectó el número de vehículos esperados por el factor camión que corresponde al tipo de vehículo y de esta manera se consolida el número de ejes equivalentes.

De acuerdo a la información suministrada, se encontró una solicitud de carga de 202.706 de ejes equivalentes de 8.2 Ton. Para el año base de operación del proyecto.

Para un periodo de diseño de 10 años, comprendido entre el año 2018 y el año 2028 se encontró una solicitud de carga de 2.826.516 cuantificada en ejes equivalentes de 8.2 Ton.

2.3 CBR de Diseño

Esta información al igual que el tránsito fue suministrada por la Gobernación del Tolima y el Consorcio Rovira 2017. La exploración geotécnica para el diseño del pavimento se orientó al conocimiento del material de subrasante existente a lo largo del tramo vial evaluado, a partir de los resultados de ensayos de laboratorio convencionales tales como granulometría, humedad natural, límites de Atterberg, y CBR (inalterado a humedad natural y sumergido), los cuales permitieron clasificar la subrasante y correlacionar, en forma general, dicha clasificación con el comportamiento ingenieril de los materiales.

Para el CBR de diseño se trabajó con el valor promedio de los 13 apiques realizados, debido a que el coeficiente de variación era menor que 30%. Recomendación realizada por el método ASSHTO.

2.4 Módulo Resiliente de la Subrasante

El cálculo del módulo resiliente de la subrasante se realizó por una de las fórmulas de correlación de CBR recomendadas por el método ASSHTO, debido a que de manera previa se conocía este valor por medio de ensayos de laboratorio.

2.5 Módulos Dinámicos y Numero Estructurales de las Capas de Pavimento.

Sub Base 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.

Base granular.

El coeficiente de aporte estructural de la base granular, se determinó por medio del ábaco que nos relaciona los parámetros de resistencia del coeficiente estructural y el

CBR con el módulo dinámico.

Mezcla densa en caliente.

Coeficiente Aporte Mezcla Asfáltica en Caliente se obtuvo teniendo en cuenta el ábaco de coeficientes de mezcla asfáltica de la AASHTO, y de esta manera se estimó el módulo dinámico.

2.6 Coeficiente de Drenaje

Dato tomado de la tabla que nos indican los tiempos de drenaje recomendados por AASHTO. Estas recomendaciones están basadas en el tiempo requerido para drenar la capa de base hasta un grado de saturación del 50%. Sin embargo, el criterio del 85% de saturación reduce en forma significativa el tiempo real usado para seleccionar la calidad del drenaje

2.7 Nivel De Confiabilidad

Debido a que la confiabilidad se refiere al grado de certidumbre de que un diseño pueda llegar al fin de su vida útil en buenas condiciones, esto nos indica que está directamente relacionado con el tipo de tráfico circulante por la vía, por lo cual, se determinó este parámetro por medio de la tabla AASHTO para tráfico NT2.

2.8 Error Normal Combinado (So)

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

2.9 Nivel de Serviciabilidad

Este parámetro se determinó de acuerdo a los valores de calificación dados por la guía AASHTO de acuerdo a los criterios recomendados en el ASSHO Road Test al inicio y

al final de la vida útil de un pavimento flexible.

2.10 Número Estructural del Pavimento

Con la fórmula de diseño propuesta por ASSHTO se obtiene el número estructural, y en función del mismo número estructural se determinan los diferentes espesores de capas que forman el paquete estructural del pavimento.

3. RESULTADOS

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO – MÉTODO ASSHTO 93

TRANSITO

Para efectos de diseño de pavimentos, se calculó el número de repeticiones totales de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas durante el periodo de diseño, en el carril más cargado, teniendo en cuenta el factor de direccionalidad y el factor carril

Tabla 9. Ejes equivalentes del tránsito proyectado para el sentido de diseño

AÑOS	Auto	Buseta	Bus -int	Mic Bus	C2P	C2G	C3	C5	>C6	TOTAL
ACUMULADO 5 AÑOS	0.00E+00	7.12E+04	2.92E+04	1.48E+05	1.43E+05	5.98E+05	1.52E+05	4.02E+04	4.31E+04	1.22E+06
ACUMULADO 10 AÑOS	0.00E+00	1.51E+05	6.75E+04	3.14E+05	3.26E+05	1.36E+06	3.65E+05	1.20E+05	1.29E+05	2.83E+06
ACUMULADO 20 AÑOS	0.00E+00	3.39E+05	1.72E+05	7.01E+05	8.58E+05	3.53E+06	1.02E+06	4.02E+05	4.31E+05	7.45E+06

Fuente: Consorcio Diseños Rovira

De acuerdo con lo señalado en los capítulos anteriores, se presenta de manera resumida los parámetros a utilizar para realizar el diseño del pavimento. Como ya se había dicho con anterioridad la estructura de pavimento estará conformada por carpeta asfáltica (C.A.) apoyada sobre base granular (BG), seguida de una capa tipo Subbase granular (SBG).

- Subrasante:

Tabla 10. Parámetros de Diseño

Confiabilidad:	90%
Zr:	1.282
So:	0.45 (Estructura nueva)
Po:	4.2 (Índice de serviciabilidad inicial)
Pf:	2.2 (Índice de serviciabilidad final)
Transito	2.826.516
Mr (PSI)	11153

Fuente: El Autor

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It contains several input fields and calculated results:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 90 % Zr=-1.282, So = 0.45
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.2
- Módulo resiliente de la subrasante:** Mr = 11153 psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): [Empty]
 - Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): [Empty]
 - Coefficiente de transmisión de carga - (J): [Empty]
 - Coefficiente de drenaje - (Cd): [Empty]
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, Calcular W18
- Número Estructural:** SN = 3.44
- Calculated Values:** W18 = 2826516
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir'

Imagen 12. Calculo SN Estructura pavimento. Fuente: Programa AASHTO 93

De acuerdo con los parámetros establecidos el SN calculado mediante software es de 3.44 para toda la estructura del pavimento.

- Subbase Granular

Tabla 11. Parámetros de Diseño Subbase Granular

Confiabilidad:	90%
Zr:	1.282
So:	0.45 (Estructura nueva)
Po:	4.2 (Índice de serviciabilidad inicial)
Pf:	2.2 (Índice de serviciabilidad final)
Transito	2.826.516
Mr (PSI)	16000
ai	0.11
mi	0.9

Fuente: El Autor

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is configured for a flexible pavement design. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.45'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2.2'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 16000 psi'. The 'Información adicional para pavimentos rígidos' section has empty fields 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]'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 2826516' displayed. The 'Número Estructural' section shows 'SN = 3.02'. At the bottom, there are 'Calcular' and 'Salir' buttons.

Imagen 13. Calculo SN Subbase. Fuente: Programa AASHTO 93

De acuerdo a la imagen anterior el SN calculado para la Subbase granular es de 3.02

- Base Granular

Tabla 12. Parámetros de Diseño Base Granular

Confiabilidad:	90%
Zr:	1.282
So:	0.45 (Estructura nueva)
Po:	4.2 (Índice de serviciabilidad inicial)
Pf:	2.2 (Índice de serviciabilidad final)
Transito	2.826.516
Mr (PSI)	30000
ai	0.11
mi	0.9

Fuente: El Autor

Imagen 14. Calculo SN Subbase. Fuente: Programa AASHTO 93

El SN calculado para la Base granular es 2.40.

Una vez calculados los valores de número estructural SN de toda la estructura procedemos a calcular los espesores de las diferentes capas.

Tabla 13. Números Estructurales (SN) Calculados

Sn3	3.44
Sn2	3.02
Sn1	2.40

Fuente: El Autor

- Calculo de espesores

Tabla 14. Espesores Calculados

Capa	Pulgadas	Centímetros	SN Calculado
D1 (CA)	5.45	13.64	2.40
D2 (BG)	4.92	12.30	3.02
D3 (SBG)	4.24	10.61	3.44

Fuente: El Autor

Estos espesores calculados se pueden optimizar, la idea es que nuestro SN conjunto no de menor de 3.44; por lo tanto procedemos a optimizar dichos espesores.

Tabla 15. Espesores Optimizados

Optimizados			
Capa	Centímetros	Pulgadas	SN
D1 (CA)	10.00	4.00	1.76
D2 (BG)	15.00	6.00	0.76
D3 (SBG)	25.00	10.00	0.99
TOTAL			3.51

Fuente: El Autor

De acuerdo con la tabla anterior, los espesores obtenidos están dentro del rango mínimo de espesores recomendados por el Método ASSHTO.

ESTRUCTURA PROPUESTA

Analizando cada una de las características materiales que componen la estructura de pavimento propuesta mediante la implementación del Método ASSTHO 93, a continuación se presenta cuadro resumen en el cual se evidencian los espesores correspondientes para el diseño de les estructura, para que nuestro diseño pueda resistir las cargas establecidas en el periodo de diseño.

Tabla 16. Diseño Estructura de Pavimento

Abscisa Inicio	Abscisa Fin	W18 – Carril de Diseño	Mr (PSI)	R (%)	So	ZR	Po	Pt	SN	Carpeta Asfáltica		Base Granular			Subbase		
										a1	Espesor (cm)	a2	m1	Espesor Base Granular (cm)	a3	m2	Espesor Subbase (cm)
K79+500	K82+000	2,826,516	11153	90	0.45	1.282	4.2	2.2	3.44	0.44	10	0.14	0.9	15	0.12	0.9	25

Fuente: El Autor

4. CONCLUSIONES

- La exploración geotécnica para el diseño del pavimento se orientó al conocimiento del material de Subrasante, para lo cual se realizaron un total de trece (13) apiques espaciados aproximadamente cada 500 m de longitud y a una profundidad promedio de 1.5 m de la rasante actual.
- Por medio de los apiques realizados y a los ensayos de laboratorio realizados se pudo determinar que la subrasante tiene una capacidad portante muy baja, en la cual los CBR estaban alrededor del 1.1% y el 1.8%.
- Debido a la uniformidad de la capacidad portante del proyecto se caracterizó como un solo sector homogéneo con un Mr de diseño de 11153 PSI.
- Una vez analizada la información del tránsito para un periodo de diseño de 10 años se encontró una sollicitación de carga de 2.286.516 ejes equivalentes de 8.2 Ton.
- Se propone una estructura de pavimento asfáltico convencional la cual estará conformada por carpeta asfáltica (C.A.) apoyada sobre base granular (BG), seguida de una capa tipo Subbase granular (SBG), con el siguiente dimensionamiento:

Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Espesor CA (cm)	Espesor Base Granular (cm)	Espesor Subbase (cm)
K79+500	K86+600	10	15	25

5. RECOMENDACIONES

- Debido a la baja capacidad portante del tramo analizado se recomienda hacer un mejoramiento con rajón para aumentar el CBR mínimo al 10%.
- Aunque las estructuras se determinaron para un periodo de diseño de diez (10) años, es procedente llevar a cabo una política permanente de mantenimiento periódico y rutinario de la vía, con el fin de controlar el deterioro del pavimento.
- 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.
- 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 éste, reciba, capte y evacue de manera rápida las aguas superficiales y subterráneas en la zona de influencia del pavimento. Teniendo en cuenta lo anterior se recomienda que se realicen las actividades de mantenimiento y/o mejoramiento necesarias que permitan tener unas excelentes condiciones de drenaje.
- Se recomienda que durante la construcción se utilice personal directivo y ejecutores de gran experiencia que redunde en la calidad del proyecto, con el fin de hacer un trabajo que permita extender la vida útil del pavimento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). Guide for desing pavement structures. Washington D.C. AASHTO.
- Montejo Fonseca, A. (2008). Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Corredor Gustavo (2010), Experimento vial de la AASHO y las Guías de Diseño de ASSHTO.
- Higuera Carlos, (2015), Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC.
- Cordo Oscar, (2206), Manual de diseño de pavimentos en base al método ASSHTO 93. La Paz: Universidad Nacional de San Juan.
- Consorcio Rovira 2017.
- Gobernación del Tolima.

ANEXOS

Anexo 1.

Localización del Proyecto

Anexo 2.

Resumen Ensayos CBR

Anexo 3.

Estudio de Transito

Anexo 4.

Método AASHTO 93