

**DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL K0+000 -  
K1+000, EN LA VEREDA ALTO COROZAL, MUNICIPIO DE CASTILLA LA  
NUEVA – META**



**AUTOR:**

**YENNY JOHANA GARAY TORRES**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL**

**TÍTULO DE:**

**ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO:**

**ING. JOSÉ GONZALO RÍOS MARÍN**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS**

**BOGOTÁ 2019**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de grado está dedicado a mi esposo, mi apoyo incondicional y mi inspiración para ser mejor cada día.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ingeniero GONZALO RÍOS, por ser una guía en el desarrollo del presente proyecto que me permitirá alcanzar un gran objetivo en mi carrera profesional.

A mi familia por acompañarme en cada paso.

A mi familia JMS CONSTRUCTORES S.A.S. quienes me animan a ser mejor profesional y a cumplir mis metas.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
2. JUSTIFICACIÓN .....	10
3. OBJETIVOS .....	11
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
5. MARCO DE REFERENCIA .....	12
5.1. DELIMITACIÓN.....	12
5.2. MARCO TEÓRICO.....	12
5.2.1. CÁLCULO CBR.....	12
5.2.2. TRÁNSITO.....	13
5.2.3. MÉTODO IVANOV.....	21
5.2.4. TEORÍA DE MULTICAPA LINEAL ELÁSTICA .....	22
6. METODOLOGÍA.....	24
6.1. TIPO DE ESTUDIO.....	24
6.2. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	24
6.2.1. Tránsito .....	24
6.2.2. Materiales.....	25
6.2.3. Caracterización De La Subrasante .....	25
6.3. DISEÑO ESTRUCTURA PAVIMENTO .....	26
6.3.1. Ecuación de IVANOV .....	26
6.3.2. Método AASHTO.....	27

6.3.3. Comprobación Método racional .....	30
7. RESULTADOS.....	31
7.1. TRÁNSITO .....	31
8.1. CBR.....	35
8.2. MEJORAMIENTO SUB-RASANTE MÉTODO IVANOV .....	37
8.3. PREDIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA MÉTODO AASHTO .....	38
9. CONCLUSIONES .....	49
10. RECOMENDACIONES.....	50
11. BIBLIOGRAFÍA .....	51

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación CBR. (MinTransporte, 2007, p.73).....	13
Tabla 2 Tasas promedio de crecimiento de tránsito.....	14
Tabla 3 Tránsito por adoptar para el diseño según el ancho de la calzada INVIAS.....	16
Tabla 4 Factor de distribución por carril según NCHRP.....	16
Tabla 5 Periodo de diseño, INVIAS.....	17
Tabla 6 Factor daño por tipo de vehículo.....	18
Tabla 7 Valores del parámetro $Z_r$ (Suponiendo una distribución normal) INVIAS.....	19
Tabla 8 Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal.....	21
Tabla 9 Selección CBR.....	25
Tabla 10 Promedios y totales de conteo de vehículos.....	31
Tabla 11 Distribución promedio de los vehículos.....	31

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación general.....	12
Figura 2 Modelo Elástico Multicapa – Brumister.....	23
Figura 3 Software WESLEA .....	30

## INTRODUCCIÓN

El diseño de pavimento no solo se limita la aplicación de fórmulas predefinidas, pone a prueba las habilidades del Ingeniero para proponer alternativas que solucionen la problemática encontrada, empleando los conocimientos adquiridos y manejado limitantes de tipo económico, ambiental y geográficas, de ahí la importancia de utilizar las herramientas a nuestro alcance para producir un beneficio a una comunidad analizando las variables antes mencionadas.

En el presente documento se determinará el adecuado diseño de la estructura de pavimento flexible de la vía Alto Corozal, dentro de lo cual se desarrollará la metodología correspondiente para el cálculo del tránsito para una vía terciaria de bajo volumen, según el manual INVIAS, también se utilizara el método de Ivanov para determinar el espesor adecuado para el mejoramiento y la subrasante y posteriormente el predimensionamiento de la estructura de pavimento por el método AASHTO, culminando con la comprobación de la sollicitación por fatiga y ahuellamiento empleando el software BISAR.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El deterioro progresivo de la vía Alto Corozal dificulta el tránsito de vehículos tanto de carga pesada como liviana, extiende los tiempo de recorrido afectando el transporte de los productos agrícolas y de las personas, sumado a esto la vía se encuentra en el área de influencia del Rio Guamal, del cual se derivan canales de riego que se encuentran a lado y lado de corredor vial existente, complicándola situación cuando estos, al estar al mismo nivel de la vía se desbordan e interrumpen el transito diario de vehículos, esta problemática genera pérdidas económicas para los agricultores y afecta el desarrollo de esta zona del Municipio.

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario determinar ¿Cuál es el diseño de estructura de pavimento flexible para la vía de la vereda Alto Corozal del K0+000 – K1+000, en el municipio de Castilla la Nueva – Meta?

## **2. JUSTIFICACIÓN**

El daño progresivo en el corredor vial existente por tránsito de vehículos que excede la capacidad de soporte de la estructura, genera problemas de movilidad, incurre en tiempos extra de recorrido, limita el desarrollo de zonas económico de la zona agrícola y afecta el confort del usuario al transitar por la vía Alto Corozal.

Es necesario encontrar una alternativa para evitar el deterioro de la red vial y adecuarla para satisfacer plenamente las necesidades de transporte que demanda la comunidad del sector mejorando los servicios de infraestructura carretera.

Debido a lo anterior se realizará el diseño de la estructura de pavimento flexible para el K0+000 – K1+000, teniendo en cuenta las características de tránsito y de la subrasante existente, que a futuro, cuando sea construido, reducirá tiempos de recorrido, gastos de mantenimiento de vehículos, conectara las zonas agrícolas con las rutas principales de transporte contribuyendo al desarrollo económico de la región.

### **3. OBJETIVOS**

#### **4.1.OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una estructura de pavimento flexible para la vía Alto Corozal desde el k0+000 hasta k10+000, en la vereda Alto Corozal, Municipio de Castilla la Nueva – Meta.

#### **4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Hallar el número de ejes equivalente de 8.2 Ton para el diseño de la estructura de pavimento.
- Establecer el %CBR de la subrasante existe.
- Determinar el espesor de cada capa de estructura necesario para el tránsito de la vía.
- Aplicar el método AASHTO para el predimensionamiento de la estructura.
- Por medio del software WESLEA comprobar los consumos de la estructura en cuanto a fatiga y ahuellamiento.

## 5. MARCO DE REFERENCIA

### 5.1. DELIMITACIÓN

El sector se encuentra ubicado en el K0+000 al K1+000 de la vía San Lorenzo – San Carlos de Güaroa hacia la vereda Alto Corozal, en el municipio de Castilla la Nueva, departamento del Meta.



*Figura 1 Ubicación general.*

### 5.2. MARCO TEÓRICO

#### 5.2.1. CÁLCULO CBR

“La determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado relación de soporte de California, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). Este método de ensayo está proyectado, aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales cohesivos que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm (3/4”).”(INVE148-2013,p.1)

“Con el propósito de establecer los tipos de estructura de pavimento más compatibles con la capacidad de soporte de la subrasante se han definido las categorías que se indican” (MinTransporte, 2007, p.73).

Tabla 1 Clasificación CBR. (MinTransporte, 2007, p.73)

CATEGORÍA	CBR (%)	COMPORTAMIENTO COMO SUBRASANTE
S1	$CBR \leq 3$	Malo
S2	$3 < CBR \leq 5$	Regular
S3	$5 < CBR \leq 10$	Bueno
S4	$CBR > 10$	Muy Bueno

### 5.2.2. TRÁNSITO

El tránsito es un insumo esencial para el diseño e pavimentos, determinará los esfuerzos a los que estará sometida la estructura y las correspondientes cargas que deberá resistir durante su vida útil, a continuación se relaciona lo estipulado en el MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA VÍAS CON BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, INVIAS ABRIL DE 2007 para el cálculo del tránsito.

#### **Determinación de la tasa de crecimiento del tránsito cuando no existe serie Histórica**

En caso de no disponer de la serie histórica, para realizar el pronóstico del tránsito futuro se puede establecer la tasa de crecimiento, con base en las dos opciones siguientes:

a. Patrón de crecimiento del tránsito registrado en estaciones de conteo vehicular localizadas en la región.

Como punto de referencia se calculan las tasas de crecimiento de los volúmenes vehiculares de entrada y salida de la región. Para establecer la tendencia del crecimiento del tránsito, se consideran y comparan variaciones del TPD total y variaciones individuales de los volúmenes de cada categoría vehicular, utilizando diferentes tipos de regresión estadística (lineal, logarítmica, potencial, exponencial).

b. Tasas de crecimiento promedio del tránsito, registradas en carreteras de Condiciones similares que posean estación de conteo del INV

Se puede utilizar la información registrada en la Tabla, obtenida del análisis de las series históricas del Instituto Nacional de Vías, en las carreteras con bajos volúmenes de tránsito durante el período 1996 a 2005

*Tabla 2 Tasas promedio de crecimiento de tránsito*

Nivel de tránsito	Tasa de crecimiento
T1	2.0
T2	3.0

Fuente: Elaboración propia con base en los conteos de INVIAS –.

### **Determinación del nivel de confianza en la proyección del tránsito**

El Método AASHTO-93 utilizado para el diseño de las estructuras consideradas en el Presente Manual considera en su algoritmo una confiabilidad en el diseño definida por el proyectista. Tal confiabilidad involucra las incertidumbres por la estimación del tránsito y por el comportamiento de la estructura. El Manual, y el Programa PAV-NT1 de apoyo para su aplicación, determinan el Número Estructural requerido, considerando endógenamente solo la incertidumbre por comportamiento. En consecuencia el proyectista deberá considerar en el cálculo del número de ejes equivalentes de 80 kN para el diseño, el nivel de confiabilidad que considere pertinente. Se pueden presentar dos casos (MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA VÍAS CON BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, 2007 p. 9):

*Caso 1:* Existe la serie histórica del tránsito

En este caso el modelo estadístico que se adopte, a través de los errores estándar del modelo y de predicción para cada uno de los años del período de diseño, considerará la confiabilidad indicada por el proyectista.

*Caso 2:* No existe serie histórica de tránsito

El Método AASHTO-93 considera que las diferencias entre el tránsito estimado para el diseño y el tránsito que realmente soporta la vía presenta una distribución normal con una desviación estándar, en pavimentos asfálticos, de  $s = 0.05$ .

### **Tránsito en el carril de diseño en función del ancho de la calzada. Factor direccional (Fd)**

La mayoría de los métodos de dimensionamiento de pavimentos asfálticos sólo tienen en cuenta el tránsito que circula por un carril, llamado carril de diseño, y el presente método no es la excepción. Sin embargo, es preciso considerar las peculiaridades de las vías para las cuales se va a utilizar. Por ello, si la calzada va a tener menos de cinco (5) metros de ancho, se deberá considerar en el cálculo todo el tránsito esperado en los dos sentidos, pues salvo en el momento en que se crucen, los vehículos circularán centrados y tenderán a producir una sola zona de canalización. Si la calzada va a tener seis (6) metros o más, se considerará como tránsito de diseño la mitad del total, y si el ancho es igual o mayor de cinco (5) metros y menos de seis (6) metros, se tomará el 75% del total.

*Tabla 3 Tránsito por adoptar para el diseño según el ancho de la calzada INVIAS*

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	Fd
Menos de 5 m	Total en los dos sentidos	1.0
Igual o mayor de 5 m y menor de 6 m	3/4 del total en los dos sentidos	0.75
Igual o mayor de 6 m	1/2 del total en los dos sentidos	0.50

### **Factor de distribución por carril**

Este parámetro corresponde a la distribución de camiones entre los carriles con el mismo sentido. En carreteras de dos carriles, con un carril por sentido, el valor del factor de distribución direccional es de 1, mientras que para carreteras de dos sentidos, con múltiples carriles por sentido, los valores del factor de distribución por carril (Fca) adoptados son los recomendados por la guía del National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), y que se muestran en la tabla.

*Tabla 4 Factor de distribución por carril según NCHRP*

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

Fuente: ARA, 2004

## Periodo de diseño

El periodo de diseño se establece con base en el tránsito que tendría la vía en el año cero y constituye la primera definición que debe adoptar el diseñador, ya que de ella dependerá la cuantificación del tránsito acumulado durante el tiempo de vida útil o periodo del diseño.

*Tabla 5 Periodo de diseño, INVIAS*

Vías de dos carriles y dos sentidos		Vías de dos calzadas					
		Dos carriles por sentido		Tres carriles por sentido		Más de tres carriles por sentido	
TPD < 5000	TPD > 5000	TPD < 7000	TPD > 7000	TPD < 15000	TPD > 15000	TPD < 25000	TPD > 25000
10	15	10	15	15	20	15	20

## Calculo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño en el año base

Calcular el número de ejes equivalentes en el carril de diseño (tránsito normal) en el año base.

## Conversión de vehículos a ejes equivalentes de 80 kN. Factores de daño por tipo de vehículo.

Los factores de daño se indican en la Tabla y serán los que se deberán aplicar para calcular los ejes equivalentes de 80 kN. Los Factores de Daño (FD) indicados son el resultado del análisis de las cargas por eje de aproximadamente trescientos mil vehículos evaluados en los operativos de pesaje realizados por el INV en las vías a su cargo durante el período 2000-2006.

Tabla 6 Factor daño por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Factor de daño (FD)	
	Vacío	Cargado
Autos		0.0
Bus grande		1.0
C2p	0.01	1.01
C2g	0.08	2.72
C3-C4	0.24	3.72
C5	0.25	4.88
> C5	0.26	5.23

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías

**Cálculo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño para el periodo de diseño**

Calcular el número acumulado de ejes equivalentes en el carril de diseño para el período de diseño (n) (tránsito normal).

**Cálculo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño (transito normal) con el nivel de confianza dado**

Calcular el número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el período de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado.

$$N'_{80kN \text{ carril de diseño (normal)}} = N_{80kN \text{ carril de diseño (normal), acumulado}} \times (10^{0.05Z_r})$$

*Ecuación 1 Ejes equivalentes con el nivel de confianza, INVIAS*

0.05= Desviación estándar de la curva que representa las diferencias entre el tránsito estimados y el tránsito real para pavimentos asfálticos.

Z<sub>r</sub>= confiabilidad

*Tabla 7 Valores del parámetro Z<sub>r</sub> (Suponiendo una distribución normal) INVIAS*

<b>Confiabilidad</b>	<b>Z<sub>r</sub></b>
70%	0.524
75%	0.674
80%	0.842
85%	1.036
90%	1.282
95%	1.645
96%	1.751
97%	1.881
98%	2.055
99%	2.328

### **Pronóstico de la componente de tránsito atraído**

El análisis de la componente de tránsito atraído es más dispendioso y requiere de herramientas más refinadas para su cuantificación. Para iniciar la discusión de este tipo de análisis, se debe estar seguro que el proyecto vial si ocasionará cambios en el comportamiento de los

usuarios. Es decir, se deben allegar argumentos o indicios que hagan pensar que usuarios de otras carreteras e incluso de otros modos de transporte si van a ser uso de la nueva opción. Entre las razones que podrían hacer cambiar al usuario. (MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA VÍAS CON BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, 2007 p. 29)

### **Estudio de utilización del proyecto por usuarios potenciales**

Este es el método más sencillo y más utilizado. Se lleva a cabo a través de una encuesta a usuarios potenciales, es las que se indaga si harían uso o no del nuevo proyecto. A partir de la respuesta de los usuarios se estimaría un porcentaje del tránsito normal como el correspondiente al componente de tránsito atraído.

Su cuantificación se podría realizar a través del análisis de las series de tránsito normal, en los términos señalados anteriormente, aplicando el porcentaje respectivo. Al respecto, y al no disponer de información más precisa, se puede aplicar el criterio del Instituto de Ingenieros de Estados Unidos que señala que el tránsito atraído se le asignan porcentajes entre el cinco (5) y el veinticinco por ciento (25%) del tránsito normal, con un período de aparición de uno o dos años después que la carretera ha sido abierta al servicio. (MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA VÍAS CON BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, 2007 p. 30)

### **Pronóstico de la componente de tránsito generado.**

Es el crecimiento que se presenta por el incremento que en la producción agrícola, pecuaria, minera, industrial, comercial o turística que se genera en una zona por la construcción de una nueva

carretera o el mejoramiento y/o pavimentación de una vía existente (MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA VÍAS CON BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO, 2007 p. 30)

*Tabla 8 Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal*

Clasificación del área del proyecto	Población beneficiada, hab	Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal
Área con potencial minero alto	Menos de 5000	3.0
	5000 o más	6.0
Área con potencial agrícola alto	Menos de 5000	2.5
	5000 o más	5.5
Área con potencial turístico alto	Menos de 5000	2.0
	5000 o más	3.5
Área de bajo potencial de desarrollo		1.5

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías.

### 5.2.3. MÉTODO IVANOV

Para determinar el modulo resultante equivalente entre la subrasante existente y el material de mejoramiento y determinar el espesor de este último adecuado se utilizará la ecuación de IVANOV.

$$E_{eq} = \frac{E_{sg}}{1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right) \tan^{-1} \left( n \frac{h_g}{2a} \right)}$$

*Ecuación 2 Ecuacion de IVANOV*

Eeq= Módulo Equivalente

Esg=Módulo subrasante

Eg= Módulo material de mejoramiento

Hg= espesor e mejoramiento

a=radio del área de carga (cm)

n= Parámetro adimensional  $n = \sqrt[2.5]{E_g/E_{sg}}$

#### 5.2.4. TEORÍA DE MULTICAPA LINEAL ELÁSTICA

Una buena forma de caracterizar el comportamiento de un pavimento flexible bajo la acción de cargas de ruedas, es considerarlo como un semiespacio homogéneo; este tiene un área infinita y una profundidad infinita con una carpeta delgada encima donde son aplicadas las cargas. Como un primer análisis para determinar la distribución de esfuerzos en un pavimento se aplicó el modelo propuesto por el matemático francés Boussinesq en 1885, estado de esfuerzos en una masa de suelo a cualquier profundidad; el estudio del matemático se basó en una carga concentrada aplicada en un semiespacio lineal, elástico, isótropo y homogéneo; los esfuerzos, deformaciones y deflexiones debidos a la carga concentrada pueden ser extrapolados para obtener aquellas debidas a una área circular cargada. (Diseño directo de pavimentos flexibles, Ing. Henry A. Vergara B, 2012, p,3)

Esta solución fue por mucho tiempo la única disponible, hasta que en 1945 Donald M. Burmister propuso una teoría que se podía aplicar a estructuras de pavimentos, basada en la de Boussinesq pero que tenía en cuenta estratos y las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la masa de suelo, para calcular el estado de esfuerzos de ésta a cualquier profundidad. Desde el punto de vista del estudio de pavimentos, el modelo de Burmister puede ser usado para determinar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones en la subrasante si la relación de módulos del pavimento y la subrasante es cercana a la unidad, si no es así, la modelación es más compleja. Analíticamente es un procedimiento más complejo que los basados en el primer modelo, que se podía solucionar con ecuaciones relativamente fáciles; el modelo de Burmister introduce

transformadas de Fourier que requieren funciones de Basel para su solución y que sin la ayuda de un programa de computador no se pueden modelar estructuras de más de dos capas. (Diseño directo de pavimentos flexibles, Ing. Henry A. Vergara B, 2012, p.3)

La generalización del modelo a estructuras multicapa con diferentes condiciones de frontera fue propuesta por Westergaard, Palmer y Barber, Odemark y otros; estos modelos describen el funcionamiento del sistema en el cual, la presión ejercida por una rueda  $q$  puede ser muy alta para ser soportada por el suelo natural; la estructura del pavimento reparte la carga para llevarla lo más reducida posible a la subrasante que es la fundación del pavimento; entonces la solución al problema consiste en determinar a una profundidad  $z$  que cantidad de esfuerzo se ha disipado. (Diseño directo de pavimentos flexibles, Ing. Henry A. Vergara B, 2012 p.3)

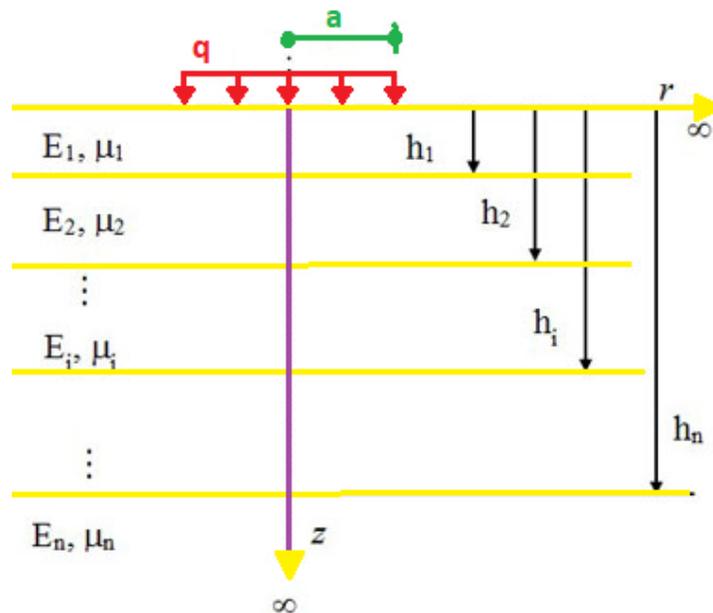


Figura 2 Modelo Elástico Multicapa – Brumister

## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1.TIPO DE ESTUDIO**

Se realiza una investigación de tipo documental y práctico, para determinar el mejoramiento de la subrasante y diseñar la estructura de pavimento acorde al tránsito.

### **6.2.RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

#### **6.2.1. Tránsito**

Se realizará el cálculo de tránsito según conteos obtenidos, correspondiente según la metodología estipulada en el manual de INVIAS.

- Conteo de tránsito: Se realizó un conteo manual de tránsito durante siete días de la semana, se totalizaron los resultados y se promediaron.
- Se determinó el tránsito promedio diario y se cuantificó porcentualmente las categorías de los vehículos
- Se establecieron los parámetros de factor sentido, desviación estándar, tasa de crecimiento, factor carril, periodo de diseño en años y confiabilidad.
- Se calcula el número de ejes equivalentes en el carril de diseño para el periodo de diseño, número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado.
- Se determina el pronóstico de la componente de tránsito atraído, pronóstico de la componente de tránsito generado y seguidamente se realiza la sumatoria de lo anterior más número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado.

### 6.2.2. Materiales

Se tomarán las caracterizaciones realizadas por el laboratorio de suelos NHSQ INGENIERÍA SAS realizadas para el Consorcio Vía Alto Corozal, para sub-base y base proveniente de la mina TRITURADOS Y TRITURADOS ubicada en el municipio de Castilla La Nueva.

### 6.2.3. Caracterización De La Subrasante

Se tomarán las caracterizaciones, sondeos y resultados de CBR realizados por el laboratorio de suelos INGEGAR INGENIERIA SAS realizadas para el Consorcio Vía Alto Corozal

Una vez obtenidos los datos de %CBR se realiza la selección de un valor único para el diseño:

- Ordenar de menor a mayor todos los valores de CBR.
- Determinar en cada cambio de valor de CBR, el # total de valores  $\geq$  a este valor y expresarlo en % con relación al total.
- Elaborar un gráfico CBR vs % valores mayores o iguales.
- Obtener de la anterior curva el CBR de diseño teniendo en cuenta el % que determine el tránsito de diseño.

*Tabla 9 Selección CBR*

Clase de Tránsito	Nivel de tránsito (N)	Valor de diseño %
Liviano	$10^4$ o menos	60 %
Mediano	$10^4 - 10^6$	75 %
Pesado	mayor de $10^6$	87,5 %

## 6.3.DISEÑO ESTRUCTURA PAVIMENTO

### 6.3.1. Ecuación de IVANOV

La capacidad de la subrasante se determinará para el tramo establecido según el CBR respectivos mediante la siguiente correlación.

$$Mr=2.555 \text{ CBR}^{0,64} \text{ PSI}$$

*Ecuación 3 correlacion para hallar el módulo de la subrasante, AASHTO T93*

Para el desarrollo del ejercicio se establecerá estadísticamente un resultado de CBR, en caso de que este no cumpla con los estándares de capacidad mínima según lo establece INVIAS, se planteará un mejoramiento con una capa de material granular, con el fin de obtener el módulo equivalente entre el suelo de subrasante y dicho material granular se utilizará la ecuación propuesta por IVANOV.

$$h1 = \frac{2a}{n} \times \tan\left(\frac{\left(1 - \frac{Einf}{Eequivalente}\right)}{\frac{2}{\pi} \times \left(1 - \frac{1}{n^{3,5}}\right)}\right)$$

$$n = \left(\frac{Esup}{Einf}\right)$$

*Ecuación 4 Ecuaciones de IVANOV*

Donde:

**n** : Módulo ponderado de las capas

**Einf** : Módulo ponderado de la capa inferior

**Esup** : Módulo ponderado de la capa superior

**h1** : Espesor de la capa superior.

**2a** : 30,44cm


$$E_{1-2} = \frac{E_2}{1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right) \tan^{-1} \left( n \right) \left( \frac{h_1}{2a} \right)}$$

*Ecuación 5 Modulo resiliente combinado*

Donde:

**n** : Módulo ponderado de las capas

**E1-2** : Módulo ponderado de las capas (kg/cm<sup>2</sup>)

**E2**: Módulo de la capa inferior

**E1**: Módulo de la capa superior

**2a** : 30,44cm<sup>2</sup>

### 6.3.2. Método AASHTO

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois donde los suelos y climas son típicos para gran parte de Estados Unidos, esto con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas. A partir de la versión del año 1986, y su correspondiente versión mejorada de 1993, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que

imperaron en el lugar del ensayo original. El método AASHTO-1993 para el diseño de pavimentos flexibles, se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento, que hace referencia a la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación de soporte del suelo (Mr), tránsito total (W18), de la serviciabilidad terminal y de las condiciones ambientales. Para determinar el número estructural, el método se apoya en la siguiente ecuación:

$$\log W_{18} = Z_r * S_0 + 9.36 \log (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \left( \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}} \right)} + 2.32 \log Mr - 8.07$$

*Ecuación 6 Formula General Método AASHTO*

Donde:

W18 = número de aplicaciones de ejes simples equivalentes de 18 kip (80 kN) hasta el tiempo t en el cual se alcanza ISP = pt

- SN = número estructural
- ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal
- MR = módulo resiliente de la subrasante ( libras/pg2)
- 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 considera la probabilidad de que el índice de servicio del pavimento sea superior a pt durante el periodo de diseño.

Una vez determinado el número estructural requerido se busca un conjunto de espesores que combinados adecuadamente y teniendo en cuenta parámetros como los coeficientes estructurales

y de drenajes garanticen un numero estructural efectivo mayor o igual al requerido para soportar las solicitaciones de transito esperadas en el periodo de diseño.

El número estructural efectivo se determina por medio de la siguiente ecuación.

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

Donde;

$a_n$ =Coeficiente de Capa.

$D_n$ =Espesores de cada capa en pulgadas.

$m_n$ =Coeficientes de drenaje.

*Ecuación 7 Determinación número estructural efectivo*

La metodología AASHTO 93 solicita efectuar este procedimiento de diseño por capas, considerando que el pavimento es un sistema multicapa y, por ello, la distribución de espesores debe adelantarse atendiendo estos principios.

$$D^*_1 \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN^*_1 = a_1 D^*_1 \geq SN_1$$

$$D^*_2 \geq \frac{SN_2 - SN^*_1}{a_2 m_2}$$

$$SN^*_1 + SN^*_2 \geq SN_2$$

$$D^*_3 \geq \frac{SN_3 - (SN^*_1 + SN^*_2)}{a_3 m_3}$$

*Ecuación 8 Determinación por capas*

- **ΔPSI:** Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la “planitud” (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su

construcción (Serviceabilidad Inicial (po) y su planitud al final del periodo de diseño (Servicapacidad Final (pt)).

- **SN:** Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (*variables independientes*) de diseño.

### 6.3.3. Comprobación Método racional

Una vez obtenido el predimensionamiento de la estructura por medio del método racional se evaluará los parámetros de fatiga y deformaciones y se compara con lo admisible. Los datos serán procesados mediante el programa WESLEA para el cálculo de esfuerzos y deformaciones.



Figura 3 Software WESLEA

Se ajustarán los espesores teniendo en cuenta los espesores mínimos establecidos por INVIAS y facilidades en el proceso constructivo.

## 7. RESULTADOS

### 7.1. TRÁNSITO

Tabla 10 Promedios y totales de conteo de vehículos

	AUTOMÓVILES	BUSES	CAMIONES					TOTAL CAMIONES	TOTAL
			C2P	C2G	C3	C3S2	C3S3		
TOTALES	371	73	223	84	120	20	1	448	892
PROMEDIOS	53	10	32	12	17	3	0	64	127

Tabla 11 Distribución promedio de los vehículos

		AUTOMÓVILES	BUSES	C2P	C2G	C3	C3S2	C3S3	CAMIONES
TPD	127	42%	8%	25%	9%	13%	2%	0%	50%

Selección de parámetros

Tabla 12 Parámetros para cálculo del tránsito

TRANSITO DIARIO	127	TASA DE CRECIMIENTO %	0,03
FACTOR SENTIDO	0,5	FACTOR CARRIL	0,9
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,05	PERIODO DE DISEÑO (Años)	10
		CONFIABILIDAD Zr 90%	1,282

Factor sentido

Tabla 13 Factor sentido

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	Fd
Menos de 5 m	Total en los dos sentidos	1.0
Igual o mayor de 5 m y menor de 6 m	3/4 del total en los dos sentidos	0.75
Igual o mayor de 6 m	1/2 del total en los dos sentidos	0.50

Tasa de crecimiento

Tabla 13 Tasa de crecimiento

Nivel de tránsito	Tasa de crecimiento
T1	2.0
T2	3.0

Fuente: Elaboración propia con base en los conteos de INVIAS –.

Tabla 14 Factor de distribución

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

Fuente: ARA, 2004

Tabla 15 Periodo de diseño

Vías de dos carriles y dos sentidos		Vías de dos calzadas					
		Dos carriles por sentido		Tres carriles por sentido		Más de tres carriles por sentido	
TPD < 5000	TPD > 5000	TPD < 7000	TPD > 7000	TPD < 15000	TPD > 15000	TPD < 25000	TPD > 25000
10	15	10	15	15	20	15	20

Tabla 16 Confiabilidad

Confiabilidad	Zr
70%	0.524
75%	0.674
80%	0.842
85%	1.036
90%	1.282
95%	1.645
96%	1.751
97%	1.881
98%	2.055
99%	2.328

Tabla 16 Calculo de ejes equivalentes

VEHÍCULO	TPD	%VK	%FD k	N 80 Kn	
BUSES	127	8%	1	10,43	
C2P	127	25%	1,01	32,18	
C2G	127	9%	2,72	32,64	
C3	127	13%	3,72	63,77	
C3S2	127	2%	4,88	13,94	
C3S3	127	0%	5,23	0,75	
				365	56102,59
				Fd	0,5
N80KN carril de diseño, año base					28051

$$N_{80 \text{ KN carril de diseño (normal), año base}} = 365_{\text{días/año}} \times \left[ \sum_{i=1}^k (\text{Vehículos Comerciales}_{\text{día/ambas direcciones}} \times \%V_k \times FD_k) \right] \times Fd$$

Tabla 17 Factor daño

Tipo de vehículo	Factor de daño (FD)	
	Vacio	Cargado
Autos		0.0
Bus grande		1.0
C2p	0.01	1.01
C2g	0.08	2.72
C3-C4	0.24	3.72
C5	0.25	4.88
> C5	0.26	5.23

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías

Calculo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño para el periodo de diseño

$$N_{80 \text{ kN carril de diseño (normal), acumulado}} = N_{80 \text{ kN carril de diseño (normal), añobase}} \times \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

$$N_{80 \text{ kN carril de diseño (normal), acumulado}} = 28051 \times \frac{(1+0.03)^{10} - 1}{0.03} = 321577$$

Calculo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño (transito normal) con el nivel de confianza dado

$$N'_{80 \text{ kN carril de diseño (normal)}} = N_{80 \text{ kN carril de diseño (normal), acumulado}} \times (10^{0.05Zr})$$

$$N'_{80 \text{ kN carril de diseño (normal)}} = 321577 \times (10^{0.05 \times 1,282}) = 462565$$

Pronóstico de la componente de tránsito atraído

$$= 462565 \times 0,2 = 92513$$

Pronóstico de la componente de tránsito generado

Tabla 18 Transito atraído

Clasificación del área del proyecto	Población beneficiada, hab	Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal
Área con potencial minero alto	Menos de 5000	3.0
	5000 o más	6.0
Área con potencial agrícola alto	Menos de 5000	2.5
	5000 o más	5.5
Área con potencial turístico alto	Menos de 5000	2.0
	5000 o más	3.5
Área de bajo potencial de desarrollo		1.5

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías.

$$= 462565 \times 0,055 = 25441$$

$$N_{80KN \text{ carril de diseño total}} = (N_{normal} + N_{atraído} + N_{generado})_{80KN \text{ carril de diseño}}$$

$$N_{80KN \text{ carril de diseño total}} = (462565 + 92513 + 25441) = 580519$$

Volumen de Transito = 580.519 ejes.

### 7.1.CBR

Datos obtenidos de CBR vía alto corozal

Tabla 19 Resultados ensayos CBR

Abscisa	CBR (%)
K0+100	4,51
K0+200	5,67
K0+300	5,56
K0+400	4,75
K0+500	4,50
K0+600	5,68
K0+700	5,18
K0+800	4,78

Tabla 20 Resultados ensayos CBR

	Abscisa	CBR (%)	No. De valores CBR $\geq$	% de valores CBR $\geq$
1	K0+500	4,50	8	100%
2	K0+100	4,51	7	88%
3	K0+400	4,75	6	75%
4	K0+800	4,78	5	63%
5	K0+700	5,18	4	50%
6	K0+300	5,56	3	38%
7	K0+200	5,67	2	25%
8	K0+600	5,68	1	13%

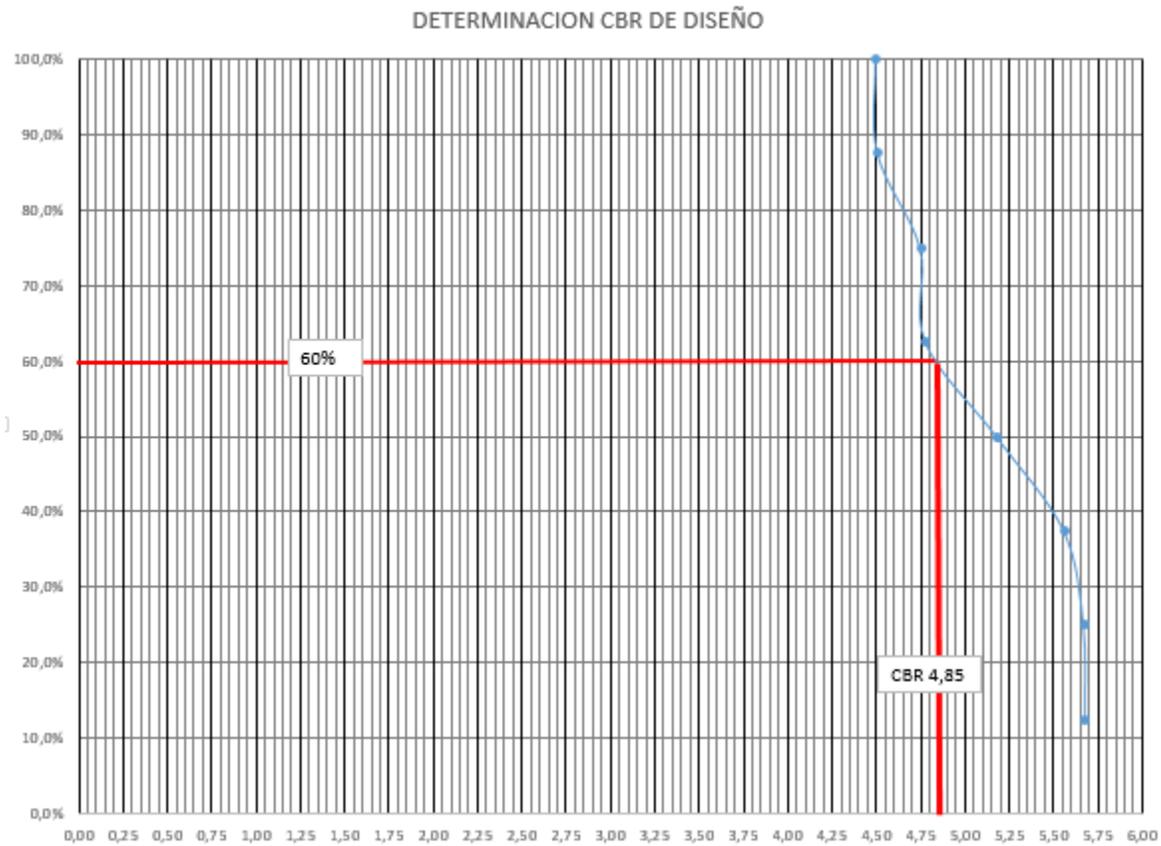


Figura 4 Obtención del CBR de diseño según estudios de suelos.

CBR para diseño = 4,85

## 7.2. MEJORAMIENTO SUB-RASANTE MÉTODO IVANOV

PARA UN CBR DE DISEÑO	5		
CBR SUBRASANTE	4,85		
CBR MATERIAL DE MEJORAMIENTO	10		
MR SUBRASANTE	7019	KG/CM2	493
MR MATERIAL MEJORADO	11153	KG/CM2	784
MR CBR DE DISEÑO	7157	KG/CM2	503
n	1,20		

**Mr=2.555 CBR<sup>0,64</sup> PSI**

Mr=2.555 X 4,85<sup>0,64</sup>= 7019 PSIX0,0703= 493KG/CM<sup>2</sup>

Mr=2.555 X 10<sup>0,64</sup>= 11153 PSIX0,0703=784 KG/CM<sup>2</sup>

$$n = (784/493) ^ (1/1,2) = 1,2$$

$$E_{1-2} = \frac{E_2}{1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{n^{3,5}} \right) \tan^{-1} \left( n \left( \frac{h_1}{2a} \right) \right)}$$

$$E_{1-2} = \frac{493}{1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{1,59^{3,5}} \right) \tan^{-1} (1,59) \left( \frac{10}{30,44} \right)} = 541 \text{ KG/CM}^2$$

$$E_{1-2} = \frac{493}{1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{1,59^{3,5}} \right) \tan^{-1} (1,59) \left( \frac{20}{30,44} \right)} = 598 \text{ KG/CM}^2$$

$$E_{1-2} = \frac{493}{1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{1,59^{3,5}} \right) \tan^{-1} (1,59) \left( \frac{30}{30,44} \right)} = 669 \text{ KG/CM}^2$$

$$E_{1-2} = \frac{493}{1 - \frac{2}{\pi} \left( 1 - \frac{1}{1,59^{3,5}} \right) \tan^{-1} (1,59) \left( \frac{40}{30,44} \right)} = 759 \text{ KG/CM}^2$$

541kg/cm<sup>2</sup>x0,0703=7692psi

598kg/cm<sup>2</sup>x0,0703=8509psi

669kg/cm<sup>2</sup>x0,0703=9519psi

759kg/cm<sup>2</sup>x0,0703=10802psi

Calculo de CBR con mejoramiento

$(7692/2555)^{(1/0,64)}=6$

$(8509/2555)^{(1/0,64)}=7$

$(9519/2555)^{(1/0,64)}=8$

$(10801/2555)^{(1/0,64)}=10$

Espesor de material de mejoramiento 5''

Tabla 21 Espesor de mejoramiento de subrasante

H (CM)	E1-2 (KG/CM2)	PSI	CBR DISEÑO
10	541	7692	6
20	598	8509	7
30	669	9519	8
<b>40</b>	<b>759</b>	<b>10802</b>	<b>10</b>

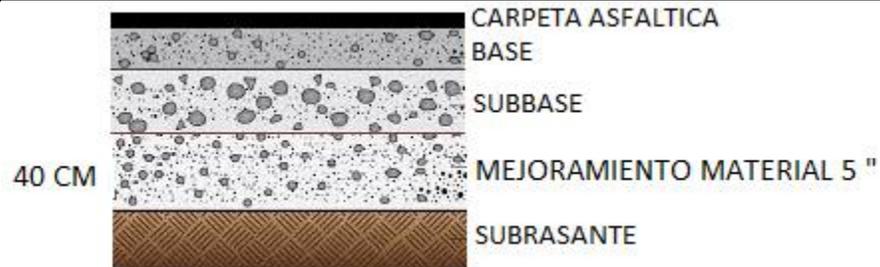


Figura 5 Capas granulares y de mejoramiento con material 5''.

### 7.3. PREDIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURA MÉTODO AASHTO

A partir de los datos obtenidos anteriormente se procede a ordenar la información para proceder a calcular el número estructural de la vía a construir.

Tabla 22 Datos empleados para el cálculo del número estructural

<b><u>DATOS</u></b>		
<b><u>Transito</u></b>		
N(8.2)	580519	
<b><u>CBR</u></b>		
CBR	Valor	Fuente
CBR <sub>SBR</sub>	10	(Calculado)
<b><u>Módulos Resilientes</u></b>		
Mr	Valor	Fuente
Mr <sub>SBR</sub>	11152.98	(Correlación)
Mr <sub>SBG</sub>	15000	(Gráfica)
Mr <sub>BG</sub>	30400	(Gráfica)
<b><u>% Confiabilidad, Desviación estándar y Serviciabilidad (PSI)</u></b>		
Dato	Valor	Fuente
R	90	(Asumido)
Zr	1.282	(Asumido)
So	0.45	(Asumido)
PSI (Inicial)	4.2	(Asumido)
PSI (Final)	2.2	(Asumido)

Con la información ordenada en el cuadro anterior, se procede a utilizar el software AASHTO 93, para obtener el número estructural.

Para el cálculo de este número estructural, se realiza para cada una de las capas empezando desde la subrasante hasta la carpeta superior.

En la siguiente grafica se tienen los datos para el cálculo del número estructural (SN) usando el módulo resiliente de la subrasante para obtenerlo.

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =**   
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN =**

Figura 6 Cálculo del número estructural de la subrasante

Posteriormente se realiza el mismo procedimiento cambiando el módulo resiliente por el módulo de la subbase granular a utilizar en el proyecto

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento  
 Pavimento flexible  Pavimento rígido

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

Serviciabilidad inicial y final  
 PSI inicial  PSI final

Módulo resiliente de la subrasante  
 Mr  psi

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)  Coeficiente de transmisión de carga - (J)   
 Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi)  Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis  
 Calcular SN **W18 =**   
 Calcular W18

Número Estructural  
**SN =**

Figura 7 Cálculo del número estructural de la subbase

Finalmente se obtiene el valor de la base granular cambiando su módulo resiliente

Figura 8 Cálculo del número estructural de la base

Ordenando los datos obtenidos se tiene que:

Tabla 23 Valores de los números estructurales calculados mediante AASHTO 93

Números estructurales			
Dato	Capa	Valor	Fuente
SN3	SBR	2.69	(Calculado)
SN2	SBG	2.41	(Calculado)
SN1	BG	1.84	(Calculado)

Una vez obtenidos los números estructurales de la subrasante y capas granulares, se realiza la comprobación de espesores de cada una de estas capas y de la capa de rodadura usando los coeficientes de aporte de la guía AASHTO 93 según las propiedades de las capas granulares y la capa de rodadura.

A partir de esto se procede a calcular el espesor de cada una de las capas y se realiza el cálculo del nuevo número estructural el cual tiene que cumplir la condición de que la suma de los SN balanceados debe ser mayor que el SN de la subrasante

Tabla 24 Calculo de espesores de capas granulares y carpeta asfáltica

<b>Espesores</b>							
Capa	Coeficientes de aporte		Espesor (plg)	Factor multiplicador	Espesor (cm)	Balanceando	
	a <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>				Espesor (cm)	SN
D1 (Carpeta)	0.44	1	4.181	2.54	10.621	10	1.385
D2 (Base G)	0.14	0.9	4.523	2.54	11.490	15	0.744
D3 (Sub Base G)	0.11	0.9	2.82	2.54	7.183	30	0.779

T

Luego de esto, se realiza el cálculo del módulo resiliente de las capas calculadas según sus espesores usando las siguientes ecuaciones

**BARKER:**

$$MR_{22} = MR_3 * (1 + 7,18 \log H_{22} - 1,56 \log(Mr_3) * \log H_{22})$$

$$MR_{21} = MR_{22} * (1 + 10,52 \log H_{21} - 2,10 \log(Mr_{22}) * \log H_{21})$$

H en pulgadas Mr en psi

En donde se tiene los siguientes valores:

Tabla 25 Calculo de módulos resilientes de las capas granulares

<b>BARKER (SBG)</b>		
Mr <sub>3</sub>	11152.98	PSI
H <sub>22</sub>	30	cm
H <sub>22</sub>	7.874015748	in
Mr <sub>22</sub>	19809.57571	PSI
<b>BARKER (BG)</b>		
Mr <sub>22</sub>	19809.57571	PSI
H <sub>21</sub>	15	cm
H <sub>21</sub>	5.905511811	in
Mr <sub>21</sub>	42674.47805	PSI

Una vez calculados los módulos de cada una de las capas granulares se ordenan con el valor de cada uno de sus módulos resilientes.

*Tabla 26 Módulos resilientes capas granulares y carpeta*

	<b>Espesor (cm)</b>	<b>MR</b>		
		<b>PSI</b>	<b>MPa</b>	<b>Pa</b>
<b>Carpeta</b>	10	271097.83	1869.15	1869150000
<b>BG</b>	15	42674.47	384.56	384560000
<b>SBG</b>	30	19809.57	206.29	206290000
<b>SRS</b>	0	11152.98	76.9	76900000

Y se procede a calcular los esfuerzos de cada uno de los ejes que se esperan transiten por esta vía, a partir de una presión de inflado y una separación de las cargas, obteniendo los siguientes valores.

*Tabla 27 Calculo de radio de separación de cargas para cada vehículo*

<b>EJE</b>	<b>No de Ruedas</b>	<b>CARGA (TON) -P-</b>	<b>CARGA (KN) - P-</b>	<b>CARGA (KN) Por rueda</b>	<b>REPETICIONES ESPERADAS</b>	<b>PRESIÓN DE INFLADO (PSI) -Q-</b>	<b>PRESIÓN DE INFLADO (KPa) -Q-</b>	<b>RADIO (cm)</b>
SRS	2	2.5	24.525	12.26	57126.4	90	620.53	7.93
		4	39.24	19.62	42512.7			10.03
		6	58.86	29.43	20565.5			12.29
		6	58.86	29.43	29705.7			12.29
		6	58.86	29.43	4570.1			12.29
		7	68.67	34.34	20565.5			13.27
SRD	4	6	58.86	14.72	42512.7	90	620.53	8.69
		6	58.86	14.72	57126.4			8.69
		10	98.1	24.53	20565.5			11.22
TÁNDEM	8	21	206.01	25.75	9140.2198	90	620.53	11.49
		21	206.01	25.75	20565.494			11.49
		22	215.82	26.98	29705.714			11.76
TRIDEM	12	24	235.44	19.62	20565.494	90	620.53	10.03

Una vez obtenidos estos valores, se ingresan los datos al software que va a calcular las deformaciones en los ejes “xx” y “yy” para el cálculo de la fatiga, así como en el eje z para el cálculo del ahuellamiento.

El primer paso es ingresar las características de las capas de la estructura de pavimento en las cuales se consignan, el módulo resiliente del material, la relación de poisson y el espesor de la capa.

The screenshot shows a dialog box titled "Structural Information (F1 for Help)". At the top, there are radio buttons for "Number of Layers" with options 2, 3, 4, and 5. The "4" option is selected. Below this, there are five columns representing Layer 1 through Layer 5. Each column contains input fields for various material properties. At the bottom, there are "OK" and "Cancel" buttons.

	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4	Layer 5
Material Type	AC	GB	GB	Soil	Soil
Min Modulus, MPa	551.6	34.5	34.5	20.7	20.7
Layer Modulus, MPa	1869.2	342.5	171.9	76.9	76.9
Max Modulus, MPa	13789.5	344.7	344.7	206.8	206.8
Poisson's Ratio	0.35	0.4	0.45	0.5	0.5
Min - Max	0.15 - 0.4	0.3 - 0.45	0.3 - 0.45	0.2 - 0.5	0.2 - 0.5
Thickness, cm	10	15	30	2537.46	Infinite
Slip (0 or 1)		1	1	1	1

Slip (0 or 1)  
1 = Full Adhesion  
0 = Full Slip

Figura 9 Ingreso de datos de capas granulares al software WESLEA

Posteriormente se ingresan los datos del tránsito en el periodo de diseño, así como la presión de inflado, la carga del eje y el punto de separación al cual se le va a realizar la evaluación.

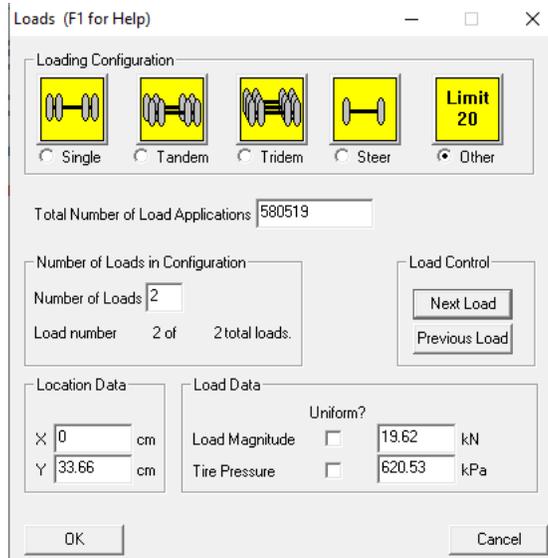


Figura 10 Ingreso de datos de cargas y transito al software WESLEA

Por último se ingresan los puntos de evaluación para la deformación los cuales son en la parte inferior de la carpeta asfáltica y en la subrasante, por lo que se deben tener los valores de los espesores de cada carpeta, de igual manera se evaluarán estos puntos a 1.5 veces la separación de las cargas.

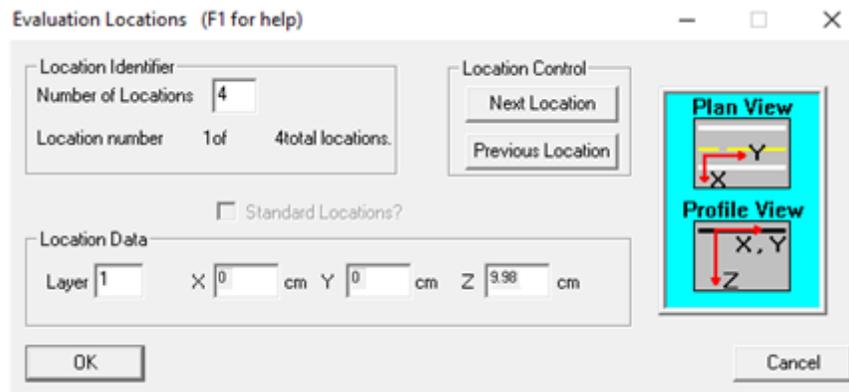


Figura 11 Ingreso de las localizaciones a evaluar los esfuerzos y deformaciones en WESLEA

En los resultados obtenidos por el software se evalúan los “normal microstrain” en donde se selecciona el mayor valor en “x” y “y” que será evaluado en la fórmula de fatiga de shell



Figura 12 Esfuerzos y deformaciones en los ejes x y y en el software WESLEA

Para el ahuellamiento se evalúa el mayor valor en el eje z, el cual será introducido en la formula correspondiente de Shell.

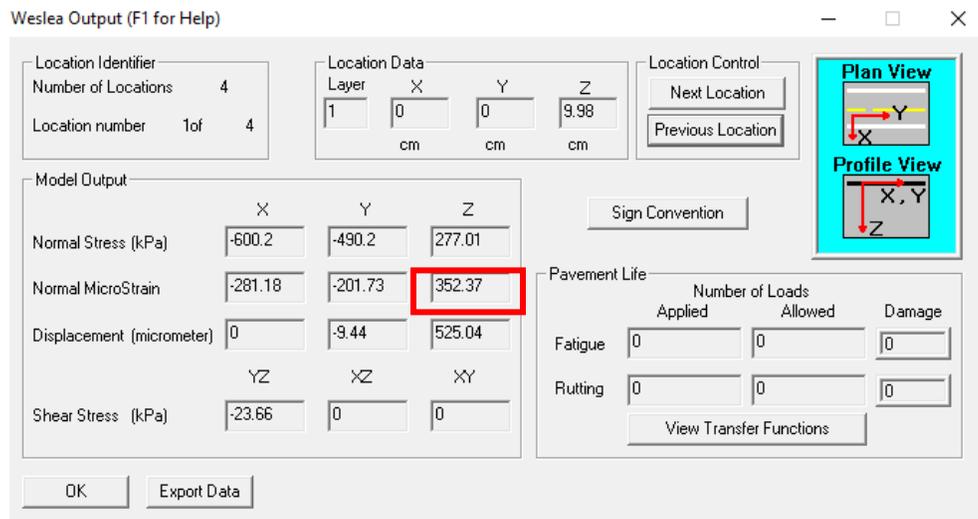


Figura 13 Esfuerzos y deformaciones en el eje z en el software WESLEA

Una vez realizados los cálculos mediante el programa de esfuerzos y deformaciones, se registran para cada una de las cargas y repeticiones presentadas en el periodo de diseño al cual se quiere llegar.

Tabla 12 Calculo de deformaciones mediante software WESLEA

EJE	No de Ruedas	CARGA (TON) -P-	WESLEA	
			$\epsilon_{xx-yy}$ MAX	$\epsilon_{zz}$ MAX
SRS	2	2.5	186.94	113.45
		4	233.5	179.26
		6	269.39	264.43
		6	269.39	264.43
		6	269.39	264.43
		7	281.08	306
SRD	4	6	237.21	242.95
		6	237.21	242.95
		10	281.18	372.68
TÁNDEM	8	21	284.73	384.84
		21	284.73	384.84
		22	288.07	399.21
TRIDEM	12	24	263.86	304.14

Con las deformaciones calculadas anteriormente se emplean las ecuaciones de fatiga y ahuellamiento planteadas por Shell, el cual dará el valor de los daños que sufrirá la vía una vez este en servicio y transiten los vehículos proyectados.

#### MODELO DE FATIGA

$$Nf=RF \left( \frac{0,856V_b+1,08}{E^{0,36} * \epsilon_t} \right)^5$$

#### MODELO DE AHUELLAMIENTO

$$N = 1,94 * 10^{-7} (\epsilon_2)^{-4,0} \quad nc=85 \%$$

$$N = 1,05 * 10^{-7} (\epsilon_2)^{-4,0} \quad nc=95 \%$$

Tabla 28 Calculo de consumos para cada tipo de vehículo mediante método Shell.

CALCULO DE FATIGA (Modelo SHELL)				CALCULO DE AHUELLAMIENTO (Modelo SHELL)				CONSUMOS	
Cn = 95%		Cn = 85%		Cn = 95%		Cn = 85%		FATIGA	AHUELLAMIENTO
16900176.5	OK	33800353.1	OK	633827821.2	OK	1171072355	OK	0%	0%
5558633.09	OK	11117266.2	OK	101684727.9	OK	187874640.1	OK	1%	0%
2719537.69	OK	5439075.38	OK	21475654.04	OK	39678827.46	OK	1%	0%
2719537.69	OK	5439075.38	OK	21475654.04	OK	39678827.46	OK	1%	0%
2719537.69	OK	5439075.38	OK	21475654.04	OK	39678827.46	OK	0%	0%
2199139.14	OK	4398278.29	OK	11975774.04	OK	22126668.23	OK	1%	0%
5137330.02	OK	10274660	OK	30138503.6	OK	55684473.32	OK	1%	0%
5137330.02	OK	10274660	OK	30138503.6	OK	55684473.32	OK	1%	0%
2195231.37	OK	4390462.74	OK	5443082.937	OK	10056743.71	OK	1%	0%
2061751.37	OK	4123502.75	OK	4787055.638	OK	8844655.179	OK	0%	0%
2061751.37	OK	4123502.75	OK	4787055.638	OK	8844655.179	OK	1%	0%
1944967.15	OK	3889934.29	OK	4134125.464	OK	7638288.953	OK	2%	1%
3016717.5	OK	6033435	OK	12271428.82	OK	22672925.63	OK	1%	0%
<b>TOTAL</b>								11%	3%
								CUMPLE	CUMPLE

## 8. CONCLUSIONES

- Por medio de la metodología empleada para calcular el tránsito en una vía, se pudo determinar que los vehículos que van a transitar en un periodo de diseño de 10 años será de 580.519 vehículos.
- Mediante los ensayos y muestras recolectadas de la vía, se estableció que este tramo presenta un CBR de 4.85%. Debido a que es un porcentaje bajo, se vio la necesidad de mejorar la subrasante para así tener un CBR más adecuado para el diseño de la estructura, dejando así un espesor de 40 cm de subrasante mejorada con un CBR de 10%.
- A través de la metodología Shell, se lograron determinar los espesores de las capas granulares y de carpeta asfáltica, los cuales son de 30 cm de subbase granular, 15 cm de base granular y 10 cm de carpeta asfáltica.
- Empleando la metodología Shell para el cálculo de consumos por fatiga y ahuellamiento, se logró establecer que se presentara un consumo por fatiga a lo largo del periodo de diseño de un 11% y de ahuellamiento de un 3%, lo que es bueno para la vía ya que no requerirá de mantenimientos continuos y soportara el tráfico que circule sobre este.
- Siguiendo la recomendación de INVIAS el asfalto a utilizar en el presente diseño será de penetración 60-70, siendo este el indicado para estructuras de pavimento de tránsito clasificado como NT2 en temperaturas promedio de 25°C, lo cual permitirá reducir fallas por ahuellamiento.

## 9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis de sensibilidad a los espesores de las capas granulares para reducir el costo de la construcción de la vía, ya que se presentan consumos por fatiga y ahuellamiento muy bajos, por lo que se puede tener una optimización de recursos disminuyendo los espesores de las capas.
- Comprobar los esfuerzos obtenidos mediante otros software de esfuerzos y deformaciones como lo son BISAR o PITRAPAVE para corroborar la información obtenida y así realizar un análisis de sensibilidad de la variación de estos resultados.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

INVIAS. (2007). MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA VÍAS CON BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO. BOGOTÁ

INVIAS. (2015). MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN VÍAS CON MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO. BOGOTÁ

VERGARA, HENRY. (2012) DISEÑO DIRECTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. BOGOTÁ

FERNANDO SANCHEZ SABOGAL – SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI (2016) PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DE CARRETERAS. BOGOTÁ

MONTEJO, ALFONSO. (2001) "INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS". UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. BOGOTÁ.