EVALUACIÓN ENTRE DOS MECANISMOS DE MEJORAMIENTO APLICADA AL DISEÑO DE PAVIMENTO DE UNA VÍA UBICADA EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ, DE LA LOCALIDAD DE TEUSAQUILLO CALLE 47 ENTRE CARRERA 14 Y CARRERA 14ª CON CIV 13001402 UTILIZANDO MATERIALES DE CANTERA Y GEO-SINTÉTICOS

Trabajo de grado para obtener el título:
Especialista en Ingeniería de pavimentos

DIEGO ARMANDO CALLEJAS ROCHA
6100361

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

JUNIO DE 2020

BOGOTÁ D. C.

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____
Presidente de Jurados

_____
Firma de Jurado

_____
Firma de Jurado

Bogotá, junio 2020.

AGRADECIMIENTOS

Al Señor Jesús, primeramente, por permitirme llegar a este punto de mi vida, y sé que sin Él nada de esto sería posible, a mi Amada esposa por estar ahí en cada momento que la necesité apoyándome de manera incondicional, a mis hermosas hijas que son ese motor que me impulsan seguir adelante (Valerie y Luciana), a mi madre quien es mi inspiración, a la empresa INCITECO S.A.S por darme su apoyo para poder alcanzar esta Meta.

También agradecimientos a todos los profesores que hicieron parte de mi formación académica.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 6

2. OBJETIVOS 7

2.1 Objetivo general 7

2.2 Objetivos específicos 7

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 8

4. MARCO TEÓRICO 10

4.1 Método AASTHO 1993 10

4.1.1 Caracterización de la subrasante 11

4.1.2 Tránsito ($\boldsymbol{W18}$) 11

4.1.3 Coeficientes estructurales de capas $\boldsymbol{ai}$ 15

4.1.4 Índice serviciabilidad del pavimento (ΔPSI= $\boldsymbol{p0}$ - $\boldsymbol{pf}$) 15

4.1.5 Confiabilidad (R) 16

4.1.6 coeficiente de drenaje ($\boldsymbol{mi}$) 17

4.1.7 Número estructural SN 18

4.2 Mejoramiento de la subrasante 21

4.2.1 Mejoramiento con remplazo de material de Rajón. 22

4.2.2 Materiales sintéticos 23

5. METODOLOGÍA 28

5.1 Análisis de resultados 29

6. CONCLUSIONES 41

7. BIBLIOGRAFÍA 42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los vehículos. 12

Figura 2. Expresiones para la estimación de los factores de equivalencia. 14

Figura 3. Factores daño por vehículo comercial. 15

Figura 4.“Coeficientes estructurales ai. 15

Figura 5. Índice de serviciabilidad para NT2. 16

Figura 6. Valores de coeficientes de seguridad y error normal combinado. 17

Figura 7. Calidad de drenaje (AASHTO 1993). 18

Figura 8. Valores de mi recomendados para corregir los coeficientes estructurales. 18

Figura 9. Diagrama de números estructurales requeridos. 19

Figura 10. Software ecuación de la AASTHO 1993. 20

Figura 11 . Tipos de subrasante para Bogotá. 21

Figura 12. Característica geotécnica. 21

Figura 13. Instalación de rajón. 22

Figura 14. Sistema NEOWED. (Neowed technology). 24

Figura 15. Esquema de esfuerzos y deformaciones. 25

Figura 16. Sistema de refuerzo con NEOWED. 26

Figura 17. (manual de diseño de pavco). 26

Figura 18. Distribución de la zona de confinamiento de refuerzo. 27

Figura 19. Imagen tomada de www.mapas.bogota.gov.co. 28

Figurea 20.. Periodos de diseño. (IDU). 31

Figura 21. Categoría del tránsito según el (IDU). 31

Figura 22. Categoría de bases y subbases según el tránsito (IDU). 32

Figura 23. Valores mínimos de CBR para la base granular (IDU-2018). 32

Figura 24. Valores mínimos de CBR para la subbase granular (IDU-2018). 32

LISTA DE TABLA

Tabla 1. Valores típicos del MIF. 26

Tabla 2. Transito promedio diario (TPD). 30

Tabla 3. Número de Ejes equivalentes. 30

Tabla 4. Calculo CBR equivalente para Rajón. 33

Tabla 5. Calculo CBR equivalente para la geo celda. 34

Tabla 6. Datos de entrada diseño AASTHO. 34

Tabla 7. Calculo SN 37

Tabla 8. Costo Estructura con Rajón. 39

Tabla 9. Costo Estructura con Geo celda. 40

INTRODUCCIÓN

"Los pavimentos para carreteras y vías urbanas son estructuras viales multicapas, es decir, están construidos por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales compuestas por materiales seleccionados. Las estructuras de pavimento flexible pueden ser definidas como estructuras viales conformadas por una capa asfáltica apoyada sobre capas de menor rigidez, compuestas por materiales granulares no tratados o ligados (bases, subbase, afirmados y en algunos casos subrasante mejoradas o material de conformación." Rodon&Reyes. (2019). *Pavimentos materiales, construcción y diseño*. Colombia, Bogotá: Ecoe Ediciones.

Se tiene como alcance diseñar una estructura de pavimento que nos brinde con detalle los espesores que este tendrá, si necesita o no una modificación de la subrasante u otros parámetros que nos muestran los oficios de la capa asfáltica de tipo estructural y funcional.

Durante el desarrollo del diseño se implementará el método AASHTO (1993) y las técnicas de cálculo de IVANOV para evaluar combinaciones de módulos elásticos y aplicación de mejoramiento con agregados pétreo de tipo Rajón y geo sintético de tipo (Neowed).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Analizar la comparación mecánica, espesores de diseño en el pavimento y costeo con el empleo de materiales de cantera, y geosintéticos (NEOWED) en la localidad de Teusaquillo Calle 47 entre Carrera 14 y Carrera 14ª con CIV 13001402.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar los comportamientos mecánicos que aportan cada uno de los procedimientos a utilizar para realizar el mejoramiento del segmento de estudio.
- Determinar los espesores de diseño de pavimento aplicando modificaciones a las sub rasante con material de cantera y geo sintéticos.
- Identificar los beneficios y desventajas con el medio ambiente y costo en obra al momento de usar geo sintético y materiales pétreos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por el Gobierno colombiano contemplan la preservación y mantenimiento del medio ambiente, donde los impactos negativos por causa del hombre, son significativamente severos, en especial en las obras de infraestructura.

De otra parte, la forma de explotación con la que se realiza el proceso de extracción de los materiales pétreos afecta el cambio del paisaje y el eco sistema; para ello se trae a memoria la siguiente información según lo documentó el Ministerio de Ambiente, *"el 60% de las canteras de los cerros capitalinos se han desarrollado en antiguas zonas de bosques y rastrojos nativos, el 14% en bosques artificiales y el 26% en áreas de uso agropecuario. Igualmente, el 60% ha afectado acuíferos y el 22% ha destruido manantiales. La afectación de los acuíferos es uno de los efectos más graves en el futuro, pues el daño que hacen estas minas al suelo evita que el agua de lluvia alimente el complejo acuífero de la Sabana de Bogotá, una reserva subterránea de agua"* González, Forero, M.C, J. (01-junio-2016) los estragos ambientales que deja la minería en Bogotá. *El Tiempo*. Recuperado de //*www.eltiempo.com*/.

Los parámetros constructivos del distrito capital en la construcción de vías avalan la autorización de materiales de canteras, como en este caso, el uso del rajón, por ello se hace necesario tenerlo en cuenta como material de análisis, aplicado para realizar modificaciones a la estructura de la subrasante, ayudando a este con características como, reducir asentamientos, mejorar resistencia al corte, incrementar capacidad portante, reducir la contracción y expansión de los suelos.

Así mismo, una solución que resuelve el presente estudio es contemplar el uso de este tipo de mejoramiento con materiales pétreos, en este estudio el propósito es analizar otro mecanismo de modificación de la subrasante para mejorar las condiciones encontradas in situ, y estos son los geo sintéticos, que están siendo utilizados al momento no solo al construir vías, sino también aplicado en diferentes focos de la construcción como la estabilización de taludes, solucionar problemas de erosión, protección de diques y demás, aparte de ello la solución es amigable con el medio ambiente y sobre todo reduce los costos en un obra, en este documento se encontrarán la evaluación de emplear los tipos de mejoramiento con RAJÓN y la NEOWED.

En consecuencia, de lo anterior, se presenta la pregunta de investigación: ¿Cuál debe ser el diseño adecuado que brinde mejor optimización de recursos naturales, y satisfaga un mejor comportamiento estructural del pavimento en estudio?

4. MARCO TEÓRICO

Las variables de diseño de pavimento se pueden tipificar en dos categorías directas o indirectas. Las Directas son aquellas variables que inciden de manera específica el espesor de la capa del pavimento (p.e., tránsito, subrasante, clima, propiedades mecánicas de los materiales, factores de seguridad) e indirectas son aquellas que no inciden en el espesor, pero sí en la selección de tipo de estructura que se va a dimensionar (p.e, costos, materiales disponibles en la zona, topografía, estética, etc.). (Rodon&Reyes, 2019, p.521).

Las metodologías de diseño que se implementan para determinar los espesores del pavimento será el método AASTHO 1993, IVANOV para la relación del mejoramiento del tramo de vía seleccionado, se tomarán los parámetros de diseño según el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) como los del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), también utilizará la guía del manual del diseño de PAVCO para el NEOWED.

4.1 Método AASTHO 1993

El primer antecedente en el diseño de pavimentos según el método AASHTO se tiene con el AASHO Road Test que fue un ensayo realizado sobre pavimentos de determinadas características bajo diferentes cargas en Ottawa, Illinois entre 1958 y 1960. De estos ensayos se obtuvo información para ser aplicada en la metodología de diseño de pavimentos. Así aparece la "AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavernent" (1962) que contenía procedimientos de diseño basados en modelos empíricos deducidos de datos recolectados en el AASHO Road Test.

Este método se clasifica de la siguiente manera:

4.1.1 Caracterización de la subrasante

El método de diseño recomienda realizar la caracterización por medio del Módulo Resiliente (Mr), para realizar este tipo de caracterización se hace dispendioso en ocasiones dado que no se cuenta con los equipos necesarios para hacer este tipo de ensayos.

Durante la práctica se han realizado una serie de correlaciones para la calcular el Mr en función del CBR (Californian Bearing Ratio) por sus siglas en inglés, este ensayo desarrollado por Staton y Porter en 1929, de tal forma que el Módulo Resiliente indica que tan rígido es un material bajo cargas de este tipo.

Existen correlaciones que se han utilizado para el cálculo del Mr, una de estas propuestas por Poulsen y Stubstal (1980) para caracterizar subrasante en Dinamarca.

Mr=10* $CBR^{0.73}$ (Mpa) o Mr=1500*CBR (psi) para CBR menor al 10%

Por lo tanto, dependiendo del CBR de la subrasante se elijará la correlación a tomar teniendo como base este criterio.

4.1.2 Tránsito (W_{18})

Se caracteriza a través del número de ejes equivalente de 8.2 toneladas que circulan en el carril y el periodo de diseño el sub índice 18 significa la masa del eje simple equivalente en (kips-libras). Las configuraciones de ejes, presión de inflado, número de llantas y velocidad con la cual transitan, el cálculo del número de ejes equivalente está dado por la expresión:

$$N=TPD*\frac{k_1}{100}*\frac{k_2}{100}*365*\frac{(1+r)^n-1}{\ln(1+r)}*FEC;$$ (Rodon&Reyes, 2019, p.522).

Donde:

El Tránsito Promedio Diario (TPD) es el número de vehículos (Automóviles – A, Buses – b, y Camiones – c) que circulan por una vía en un día. Se calculan dividiendo en número de vehículos (A+B+C) que pasan por una vía entre el número de días de conteo. Si el

conteo se realiza en un día, una semana, un mes o un año, el TPD adquiere las nomenclaturas de TPDD, TPDS, TPDM Y TPDA. (Rodon&Reyes, 2019, p.523).

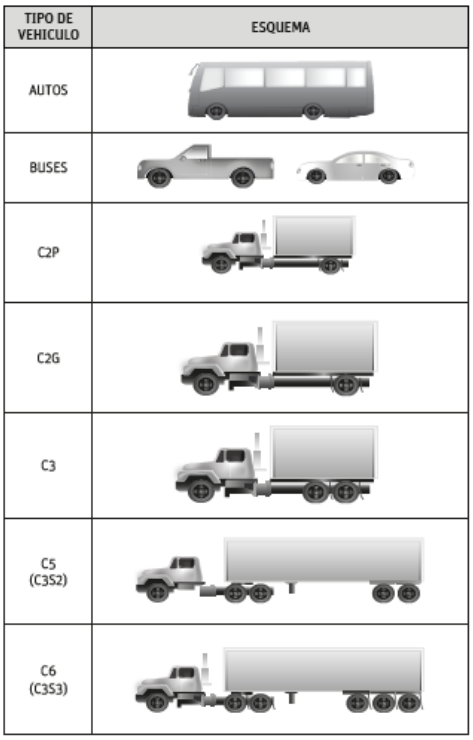


Figura 1. Clasificación de los vehículos.

según las Resoluciones No. 4100 del 28 de diciembre de 2004.y No 1782 del 8 de mayo de 2009, (Ministerio de Transporte, 2004, 2009).

$\boldsymbol{k_1}$. Es el porcentaje de vehículos pesados (buses y camiones) o vehículos comerciales (B+C). Se entiende por vehículos comerciales y livianos aquellos cuya capacidad mínima y máxima respectivamente es de 5 toneladas. (Rodon&Reyes, 2019, p.523).

$\boldsymbol{k_2}$. Es el factor carril y tiene en cuenta los porcentajes de vehículos que circularan por el carril de diseño de la vía (se escoge el carril derecho, ya que por allí es por donde se movilizan e teoría los vehículos pesados y que circulas a menor velocidad, generando cargas más agresivas sobre el pavimento).cuando el conteo de tráfico para el cálculo del TPD se realiza sobre vías de un carril, dos carriles (uno en cada dirección), cuatro carriles

(dos en cada dirección), seis carriles (tres en cada dirección) y ocho carriles (cuatro en cada dirección) el k_2 se puede suponer igual a 100%, 50%, entre 30% y 40% y entre 25% y 37.5% respectivamente. (Rodon&Reyes, 2019, p.523).

r. es la rata de crecimiento anual del tránsito. Para el cálculo de este parámetro se hace necesario tener en cuenta que al tránsito existente (aquel presenta en vías antes de ser pavimentada) se le debe adicionar el transito atraído (volumen del tránsito que puede ocupar la futura vía pavimentada como la ruta alterna) y el generado (volumen de tránsito que resulta como consecuencia del desarrollo económico y social de la zona aledaña a la nueva vía pavimentada). A la suma del tránsito atraído y generado se le denomina inducido.

r es igual a 2% o 3%, el valor se introduce como 0.02 y 0.03 respectivamente. Esto para una serie de datos históricos.

n es el periodo de diseño en años.

FEC el factor camión es el número de ejes simples equivalentes de referencia de (8.2 toneladas) que producirán en el pavimento un daño equivalente al de una pasada de un vehículo comercial promedio. Para esto se emplea para su determinación la “leyes de cuarta potencia”.

Tipo de eje	Detalle del eje	Expresiones para el calculo del factor de equivalencia
Simple de Rueda Simple		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje (T)}}{6.6\,\text{Ton}}\right]^4$

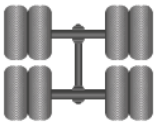
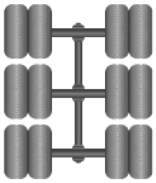
Tipo de eje	Detalle del eje	Expresiones para el calculo del factor de equivalencia
Simple de Rueda Doble		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje (T)}}{8.2\ \text{Ton}}\right]^4$
Tándem		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje (T)}}{15.0\ \text{Ton}}\right]^4$
Trídem		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje (T)}}{23\ \text{Ton}}\right]^4$

Figura 2. Expresiones para la estimación de los factores de equivalencia.

de carga utilizando el criterio de la ley de la cuarta potencia. (Ministerio de Transporte, 2004, 2009).

Tipo	Detalle del vehículo		Peso (Kg)	Factor daño
Buses			4000	0.13
			6000	0.29
	Sencillo (2 llantas)	Sencillo (4 llantas)		0.42
Res. No. 1782/2009	4000	6000	10000	

Tipo	Detalle del vehículo		Peso (Kg)	Factor daño
C2p			2500	0.02
			6000	0.29
	Sencillo (2 llantas)	Sencillo (4 llantas)		0.31
Res. No. 1782/2009	2500	6000	8500	

Tipo	Detalle del vehículo		Peso (Kg)	Factor daño
C2G			6000	0.68
			11000	3.24
	Sencillo (2 llantas)	Sencillo (4 llantas)		3.92
Res. No. 1782/2009	6000	11000	17000	

Tipo	Detalle del vehículo		Peso (Kg)	Factor daño
C3			6000	0.68
			22000	4.63
	Sencillo (2 llantas)	Sencillo (8 llantas)		5.31
Res. No. 1782/2009	6000	22000	28000	

Tipo	Detalle del vehículo			Peso (Kg)	Factor daño
3S2				6000	0.68
				21000	3.84
				21000	3.84
	Sencillo (2 llantas)	Tandem (8 llantas)	Tridem (8 llantas)		8.37
Res.No. 1782/2009	6000	21000	21000	48000	

Tipo	Detalle del vehículo			Peso (Kg)	Factor daño
3s3				6000	0.68
				22000	4.63
				24000	1.19
	Sencillo (2 llantas)	Tandem (8 llantas)	Tridem (12 llantas)		6.50
Res.No. 1782/2009	6000	22000	24000	52000	

Figura 3. Factores daño por vehículo comercial.

para las cargas máximas legales (Ministerio de Transporte, 2004, 2009).

4.1.3 Coeficientes estructurales de capas a_i

El coeficiente estructural es una medida de la capacidad relativa de una unidad de espesor de un material como componente estructural en el pavimento, y se puede obtener por correlaciones con las propiedades de resistencia de los materiales.

Para realizar los prediseños de las estructuras de pavimento, se asumieron los siguientes valores de coeficientes estructurales a los materiales contemplados en el dimensionamiento de las estructuras flexibles, presentados en la figura número 4.

Coeficientes estructurales (ai)		Referencia
Mezclas asfálticas densas en caliente	0.44	AASHTO (1993)
Bases granulares	0.14	
Subbases granulares	0.11	
Mezclas asfálticas densas en frio	0.34	Manual INVIAS Bajos Volúmenes de tránsito (2007)
Bases tratadas con cemento	0.23	Pavement Design Guide Carolina del Norte (2008)
Bases tratadas con emulsión	0.20	Pavement Design Guide Michigan (2012)
Afirmados	0.08	Manual INVIAS Bajos Volúmenes de tránsito (2007)

Figura 4.“Coeficientes estructurales a_i.

(Ministerio de Transporte, 2004, 2009).

4.1.4 Índice serviciabilidad del pavimento (ΔPSI= p_0 - p_f)

Este índice tiene en cuenta el estado inicial y final estado del pavimento que se diseñará y construirá. A pesar de ser un parámetro bastante subjetivo, el estado de serviciabilidad se

evalúa de manera cuantitativa asignando un valor entre 0 y 5, donde 5 es el máximo valor, asumiendo que el pavimento se encuentra en perfecto estado de serviciabilidad. Se parte por lo general de un valor inicial para pavimentos de p_0 entre 4.0 y 4.2 (estado bueno de la vía) y se determina el valor donde ocurre la falla funcional del pavimento p_f entre 1.5 y 2.5. es decir que la pérdida del índice de serviciabilidad ΔPSI durante la vida útil del pavimento oscila entre 1.5-2.7. Los valores recomendados para determinar el valor de p_f se presentan en la siguiente figura. (Rodon&Reyes, 2019, p.544).

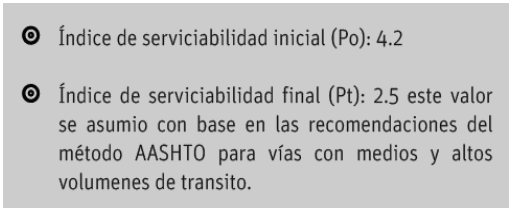


Figura 5. Índice de serviciabilidad para NT2.

(manual de diseño asfaltico en vías de medio y alto volumen de transito).

4.1.5 Confiabilidad (R)

Tiene en cuenta en grado de incertidumbre que se presenta durante la estimación de las variables de diseño. Este se introduce para tener un factor de seguridad al diseño. Para entender este parámetro hay que señalar que la confiabilidad es contraria a la probabilidad de falla. Si R tiene un valor de 100%, significa que el diseñador está introduciendo una probabilidad de falla tendiente a 0% al diseño, y en este punto el espesor de capas del pavimento alcanzará su mayor valor debido a que el factor de seguridad es el más alto posible. Adicionalmente, es importante dar a conocer que a partir de un valor R superior al 50% es que el método de diseño introduce un factor de seguridad. (Rodon&Reyes, 2019, p.546).

Categoría del proyecto	Confiabilidad estadística (%)	Zr	So
Media	90%	-1.282	0.49
Alta	90%	-1.282	0.49
Muy Alta	95%	-1.645	0.49

Figura 6. Valores de coeficientes de seguridad y error normal combinado.

(manual de diseño asfaltico en vías de medio y alto volumen de transito).

S_0 Es necesario determinar el error normal combinado o desviación de diseño, la variación de las propiedades de los materiales, la variación de las propiedades de la subrasante, la variación de la estimación del tránsito, la variación de las condiciones climáticas y la variación en la calidad de la construcción. Los valores de S_0 los encontramos en la figura anterior.

4.1.6 coeficiente de drenaje (m_i)

"Los coeficientes de drenajes para las capas de las bases y subbases se seleccionan de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próxima a saturación. Este porcentaje de tiempo se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona donde se construirá la estructura del pavimento y los 365 días del año". (Rodon & Reyes, 2019, p.546). La siguiente tabla se indica 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.

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho mas de 10 horas

Figura 7. Calidad de drenaje (AASHTO 1993).

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Figura 8. Valores de m_i recomendados para corregir los coeficientes estructurales.

de bases y subbases granulares (AASHTO 1993).

4.1.7 Número estructural SN

Son números estructurales de la capa y se determinan a través de la siguiente ecuación:

$$\log W_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\frac{\log(\Delta PSI)}{4.2-1.5}}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

(AASTHO 1993)

El número estructural está determinado por las variables ya antes mencionadas y tenemos lo siguiente:

W_{18}: Número de ejes equivalentes de 18 kips u 80 KN.

Z_r: Coeficiente de desviación normal estándar.

S_o: Error estándar combinado.

ΔPSI : Pérdida del Índice de serviciabilidad.

M_r: Módulo resiliente de la capa a proteger.

SN: Número estructural requerido.

Una vez determinados los números estructurales correspondientes a cada capa se recomienda continuar con la metodología de diseño, optando por el método de protección de cada capa o análisis por componentes, recomendado por la guía de diseño AASHTO 1993:

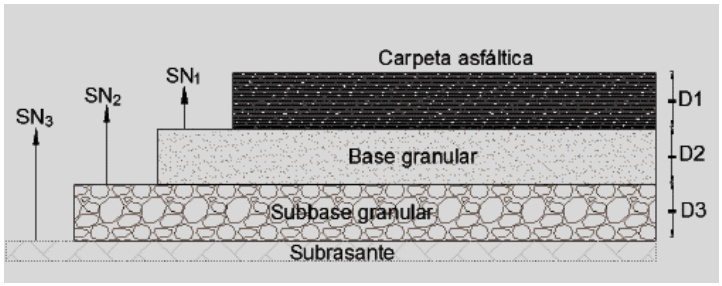


Figura 9. Diagrama de números estructurales requeridos.

Tomado de (AASHTO, 1993).

En este trabajo se utilizará un software que ayuda a calcular el SN con las variables ya mencionadas.

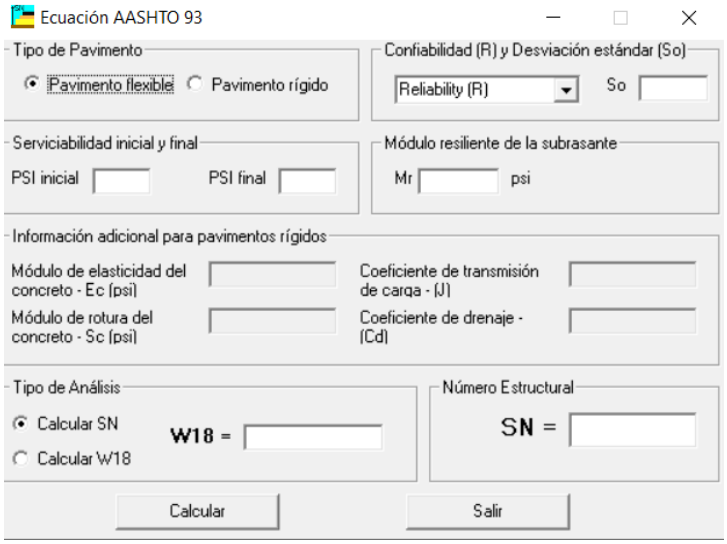


Figura 10. Software ecuación de la AASTHO 1993.

Una vez tenga los datos de los números estructurales, se procede a calcular los espesores de las capas.

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2}{a_3 * m_3}$$

Espesores de una de las capas (h_i) en pulgadas que componen la estructura del pavimento flexible, el subíndice *i*=1 corresponde a la capa de concreto asfáltico; *i*=2, a la capa granular no tratada de base si es estructura flexible o para una base estabilizada con cementante hidráulico si es estructura semirrígida; e *i*=3, a la capa granular no tratada de subbase. (Rodon&Reyes, 2019, p.546).

La Alcaldía Mayor de Bogotá con la experiencia de varios proyectos ejecutados y basados en muchos estudios realizados por diferentes autores a los suelos de la sabana de

Bogotá, también soportados en el mapa de zonificación han determinado varios tipos de subrasante que se encuentran en la ciudad, en la siguiente figura me muestran los resultados.

Tipo de Subrasante	CBR (%)	Módulo Resiliente (MPa)
SR1	< 1,5	< 11.25
SR2	1,5 – 2,5	11 – 19
SR3	2,5 – 3,5	19 – 26
SR4	3,5 – 4,0	26 – 40
SR5	> 4,0	> 40

Figura 11 . Tipos de subrasante para Bogotá.

(guía de diseño para pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá.p.30.).

Con base en estos resultados definió que:

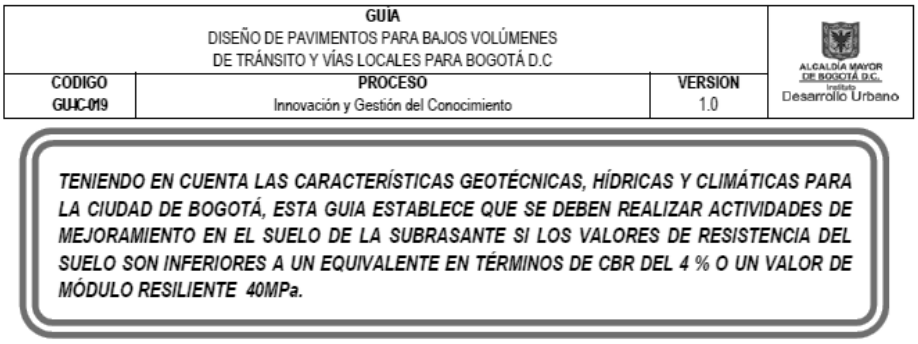


Figura 12. Característica geotécnica.

(Manual de diseño IDU).

4.2 Mejoramiento de la subrasante

Una buena práctica para mejorar la capacidad de soporte de la subrasante es el uso de capas granules sobre el suelo natural, dependiendo de la consistencia y resistencia del suelo para construcción de la subrasante. En la guía de diseño para pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá pág. 9. se presenta el dimensionamiento del mejoramiento para materiales tradicionalmente utilizados en Bogotá, como el remplazo con material de rajón. Sin embargo, teniendo en cuenta que uno de los objetivos de la Guía

es promover el uso y la implementación de materiales alternativos, el ingeniero y/o usuario de esta podrá diseñar estructuras basadas en criterios ingenieriles que se ajusten a las exigencias asociadas a los valores de capacidad portante mínimos exigidos en este documento. En cada caso, el ingeniero y/o usuario de esta Guía debe evaluar los riesgos que se tomen al considerar dichos criterios, especialmente en lo relacionado con los tiempos de ejecución en la obra.

4.2.1 Mejoramiento con remplazo de material de Rajón.

El mejoramiento con remplazo de material de rajón se ha utilizado de manera tradicional para el mejoramiento de la subrasante en Bogotá de acuerdo con lo estipulado en la Sección 321-11 de las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción, para Proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público, para Bogotá D.C - ET2011. La resistencia producida por el material de rajón está dada por la fricción generada entre los materiales de la misma, debido a la trabazón entre las partículas. La inclusión de esta capa dentro de la estructura permite obtener resistencias mecánicas adecuadas para el buen desempeño de la estructura. Los valores de capacidad portante equivalente utilizando este material se determina con base en el método Ivanov el cual ha sido validado en diferentes contextos de la ingeniería nacional e internacional.

Figura 13. Instalación de rajón.

(manual de diseño del IDU).

4.2.1.1 Método Ivanov

Este método es el que se aplicará para encontrar el $E_{equivalente}$ que se necesita para la combinación de los módulos y observar el aumento la capacidad portante de la subrasante, está dada por la siguiente ecuación:

$$E_{eq} = \frac{E_{SBR}}{1 - \frac{2}{\pi}\left(1 - \frac{1}{n^{3,5}}\right)\tan^{-1}\left(n\frac{h_{MEJ}}{2a}\right)}$$

$E_{eq} = Módulo\ elástico\ equivalente\ del\ sistema.$

$E_{sbr} = Módulo\ elástico\ de\ la\ subrasante.$

$E_{Mej} = Módulo\ elástico\ del\ material\ de\ mejoramiento.$

$h_{mej} = espesor\ del\ mejoramiento\ en\ (cm).$

a= radio del área de carga, cm.

n= parámetro adimensional determinado con la expresión.

$$\sqrt[2,5]{E_{Mej}/E_{sbr}}$$

4.2.2 Materiales sintéticos

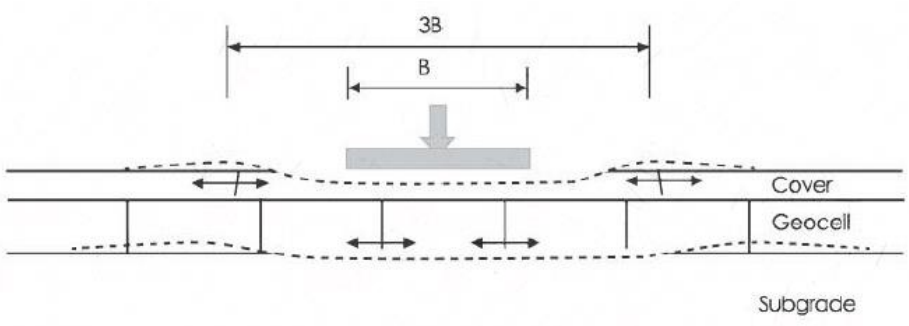
La implementación de materiales Geosintéticos están siendo muy comunes en la actualidad dado a sus amplios beneficios que aporta a las capas granulares como a la subrasante, aumentado su capacidad de soporte a la estructura, bajo costo, y sobre todo el disminuido consumo de los materiales pétreos como el rajón.

Para este caso analizaremos por aportes que brinda la utilización del NEOWED y mayormente conocida como GEOCELDA (sistema de confinamiento celular), sus principales funciones son la de refuerzo, y mejoramiento.

Figura 14. Sistema NEOWED. (Neowed technology).

EI sistema mejora el módulo de la capa, creando una losa semirrígida o viga en la cual se distribuyen las cargas en un área más grande, disminuyendo así los esfuerzos sobre la subbase y/o la sub-rasante, lo que permite la reducción de los asentamientos totales y diferenciales incrementando la vida útil de la estructura de pavimento.

De acuerdo con Han, dicha área de distribución de la carga puede incrementarse hasta tres veces en la condición reforzada que, en la condición inicial de un material sin refuerzo, tal como se observa en la siguiente figura. La redistribución de la carga se traduce en incremento de la capacidad portante y en la reducción de asentamientos totales y diferenciales en cualquier estructura de pavimento.



Haciendo un análisis del comportamiento del Neowed (programa de elementos finitos), en la siguiente figura se muestra la distribución de los esfuerzos en los cambios de rigideces de la estructura de un pavimento con refuerzo y sin refuerzo.

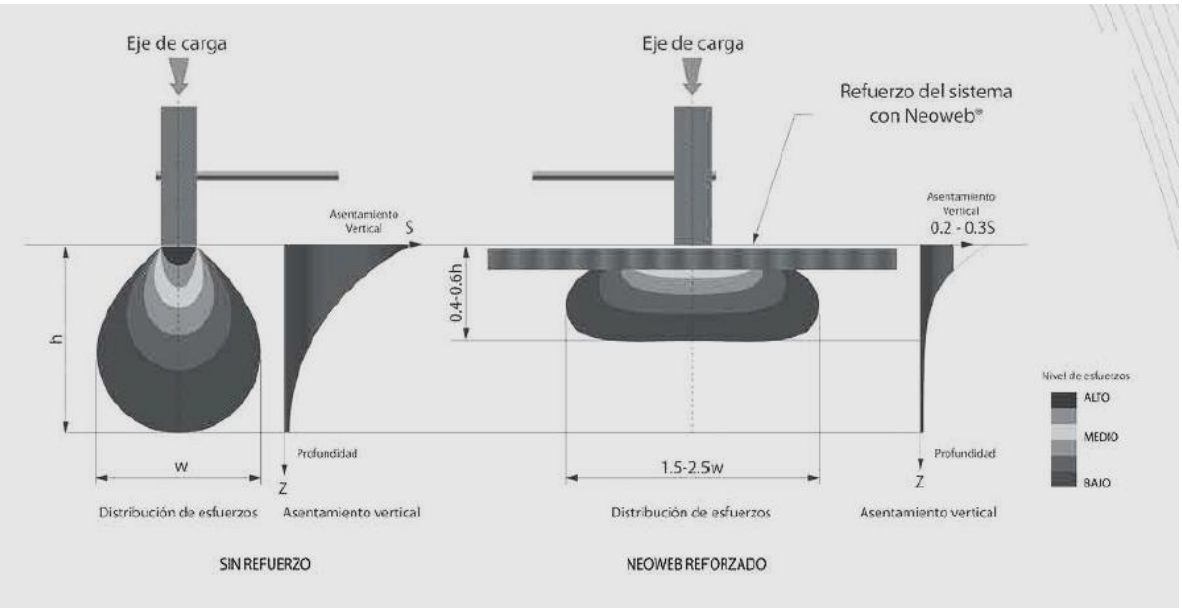


Figura 15. Esquema de esfuerzos y deformaciones.

para la estructura con y sin refuerzo. (manual de diseño de pavco).

Mostrado la información anterior podemos inferir que al aplicar el sistema NEOWED vemos el gran aporte mecánico que este hace en la estructura del pavimento, aun utilizando materiales con características pobres. Existe una relación para calcular el aporte que ofrece el NEOWED en los materiales granulares y está basado lo siguiente:

La relación que existe entre el módulo de un material confinado con NEOWED y relación de módulos existe entre un material no confinado está dado por el Factor de Mejoramiento del Módulo en sus siglas en inglés (MIF).

$$MIF = \frac{E_{reforzado}}{E_{sin-refuerzo}}$$

Manual diseño de Pavco

EI MIF es un valor adimensional, y sus valores están asociados a las características del material granular, así como el tipo de material sobre el que se apoye el material confinado. El MIF varía como se muestra en lo siguiente:

Entre menor es el material de relleno mayor el en MIF.

Entre mayor sea la capacidad de soporte, mayor es el MIF.

El valor del MIF varía entre un valor 0 y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Valores típicos del MIF.

Capa de Soporte $E_{soporte}$ (MPa)	Módulo del material de lleno = $E_{llenado}$ (MPa)				
	80	110	150	200	300
50	4.0	3.6	3.0	2.5	1.8
100	4.2	3.8	3.2	2.8	2.0
150	4.5	4.0	3.4	2.9	2.1
200	4.8	4.2	3.6	3.1	2.2
300	5.0	4.4	3.8	3.3	2.3

(Manual de diseño de PAVCO).

Se presenta el siguiente esquema:

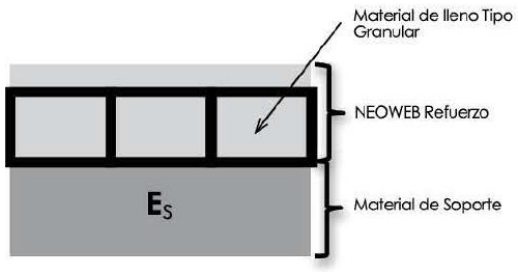


Figura 16. Sistema de refuerzo con NEOWED.

(manual de diseño de pavco).

Se considera que para ver los aportes que el NEOWED da a los granulares matemáticamente está dada por el siguiente factor.

Figura 17. (manual de diseño de pavco).

El módulo reforzado mejorado es el que se utiliza para obtener los valores de diseños para la estructura del pavimento.

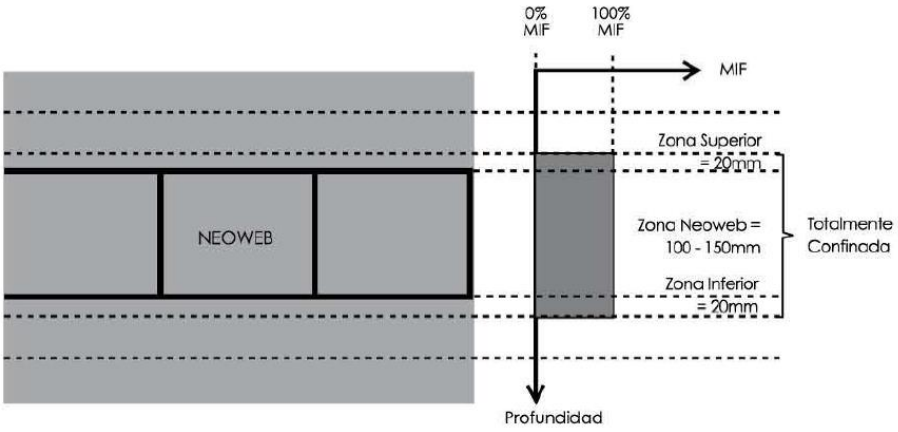


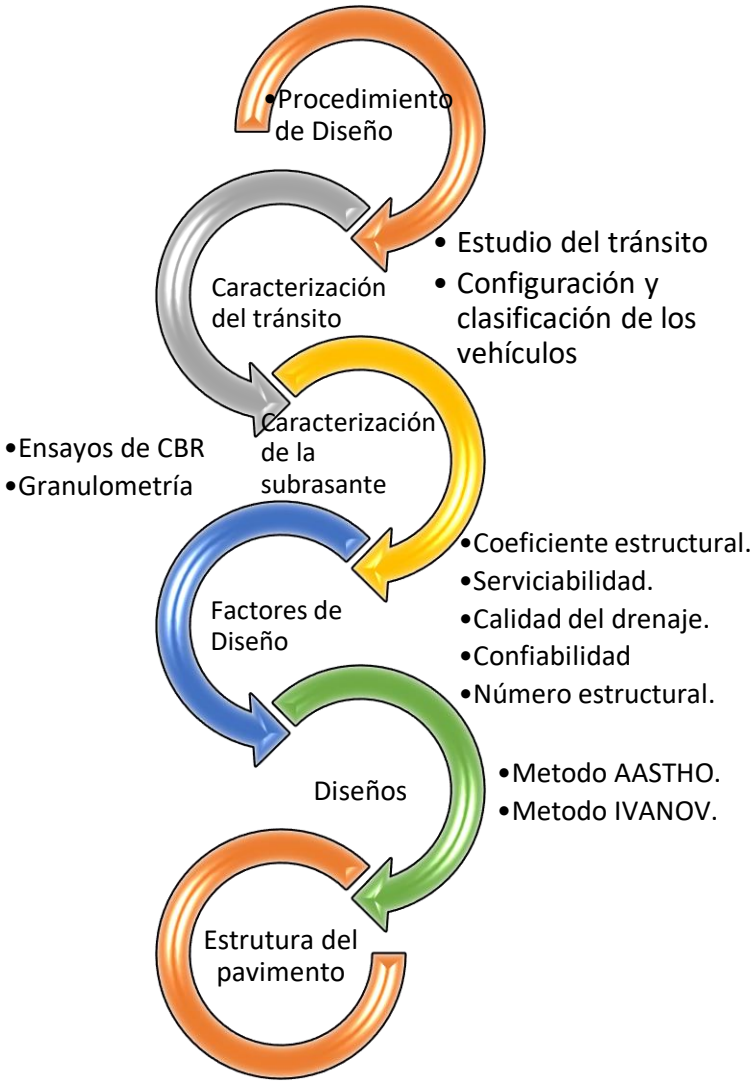
Figura 18. Distribución de la zona de confinamiento de refuerzo.

(Manual de diseño de PAVCO).

5. METODOLOGÍA

El estudio para realizar los diseños de los pavimentos y planteamientos que se proponen en este documento se realizaron con datos de campo, ensayos de laboratorios. La vía en estudio está ubicada en la localidad de Teusaquillo calle 47 entre carrera 14 y carrera 14ª con CIV 13001402 con una longitud de 47.87 m de largo un ancho de carril de 7.41 m.

Figura 19. Imagen tomada de www.mapas.bogota.gov.co.



5.1 Análisis de resultados.

Siguiendo la metodología planteada en el esquema se empieza calculando los parámetros del tránsito, aplicando lo establecido en el marco teórico.

La inspección del tránsito fue realizada con aforos contabilizando los vehículos que transitaban por la vía en estudio durante una semana, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 2. Transito promedio diario (TPD).

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO - TPD											
TPD		AUTOS	BUSETA	BUS	BUS PADRÓN	C_2P	C_2G	C_{3-C4}	C_5	$>C_5$	TOTAL
Aforos 2020 = TE		4,618	35	2	0	53	38	12	0	0	4,758
Otros Vehículos											0
Tránsito Atraido = T At	2.0%	92	1	0		1	1	0			95
Tránsito Desarrollado = TD	2.0%	92	1	0		1	1	0			95
Tránsito Total		4,803	36	2	0	55	40	12	0	0	4,948
Tránsito de Construcción CA								45			45
Total		4,803	36	2	0	55	40	57	0	0	4,993
Porcentaje	%	96.19	0.72	0.04	0	1.1	0.8	1.14	0	0	
Factor Direccional Fd	100%										
Factor por Carril de Diseño Fca	100%										
Factor de Ajuste Fd x Fca	100%	4,803	36	2	0	55	40	57	0	0	4993
Tasa de Crecimiento Anual	(2013-2017)	2.61%	3.91%			3.91%					
Tasa de Crecimiento Anual	(2018-2022)	2.32%	3.76%			3.76%					
Tasa de Crecimiento Anual	(2023-2027)	2.11%	3.07%			3.07%					
Tasa de Crecimiento Anual	(2028-2032)	1.95%	3.94%			3.94%					
TPD de Diseño		4803	36	2	0	55	40	57	0	0	4993
VEHÍCULOS COMERCIALES:			190								

Datos suministrados por el ejecutor (INCITECO SAS. 2020).

Tabla 3. Número de Ejes equivalentes.

RESUMEN DE CÁLCULO DEL NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO - NEE						
EJES EQUIVALENTES PARA EL AÑO DE PROYECCIÓN	EJES PAVIMENTO FLEXIBLE (CALCULADO AASHTO)	EJES PAVIMENTO FLEXIBLE (FÓRMULA SIMPLIFICADA AASHTO)	EJES PAVIMENTO FLEXIBLE (PESAJE 2002)	EJES PAVIMENTO FLEXIBLE (PESAJE 2003)	EJES PAVIMENTO FLEXIBLE (PESAJE 1996)	EJES PAVIMENTO FLEXIBLE (MÉTODO IDU)
NEE en 2023 (3 Años)	6.01E+05	6.16E+05	4.02E+05	3.60E+05	4.50E+05	6.37E+05
NEE en 2025 (5 Años)	8.73E+05	8.98E+05	5.96E+05	5.31E+05	6.69E+05	9.55E+05
NEE en 2027 (7 Años)	1.16E+06	1.20E+06	8.02E+05	7.12E+05	9.01E+05	1.29E+06
NEE en 2030 (10 Años)	1.63E+06	1.68E+06	1.14E+06	1.01E+06	1.28E+06	1.84E+06
NEE en 2035 (15 Años)	2.54E+06	2.63E+06	1.78E+06	1.58E+06	2.01E+06	2.90E+06
NEE en 2040 (20 Años)	3.88E+06	4.01E+06	2.74E+06	2.42E+06	3.09E+06	4.18E+06

Datos suministrados por el ejecutor (INCITECO SAS).

Con base a la guía de diseño de pavimentos del IDU recomienda para sus diseños periodos en años según el tipo de pavimento que se vaya a implementar.

Tipo de pavimento	Periodo de diseño (años)
Flexible	10
Rígido	20
Articulado	10

Figurea 20.. Periodos de diseño. (IDU).

Con base en los datos del tránsito y los periodos de diseños suministrados por el IDU, los números de ejes equivalentes que pasaran para un periodo de diseño de 10 años son 1.840.000 ejes equivalentes de 8.2 ton. Con este número de ejes equivalentes se obtienen los cálculos de los espesores de las capas del pavimento.

Categoría de tránsito	Nivel de tránsito	
	Criterio 1(VPDo)	Criterio 2 (NAEE 80, millones)
T0	VPDo < 20	NAEE 80 < 0.2
T1	20 ≤ VPDo < 50	0.2 ≤ NAEE 80 < 0.5
T2	50 ≤ VPDo < 150	0.5 ≤ NAEE 80 < 1.5
T3	150 ≤ VPDo < 300	1.5 ≤ NAEE 80 < 3.0
T4	300 ≤ VPDo < 750	3.0 ≤ NAEE 80 < 7.5
T5	VPDo ≥ 750	NAEE 80 ≥ 7.5

Figura 21. Categoría del tránsito según el (IDU).

Para este caso en particular, se clasifica en categoría del tránsito T3.

Capacidad portante del Suelo (subrasante)

La capacidad portante de este suelo fue obtenida por medio de un ensayo directo en el terreno en estudio, analizando muestras del laboratorio como la granulometría, humedad, limite líquido, índice de plasticidad y CBR, con este dato se obtiene un valor muy importante para el diseño, este valor es el módulo resiliente M_r. En campo se realizaron 2 apiques: en el apique #1 un CBR del 2.32 % y en el apique #2 un CBR del 2% se toma para diseño el valor promedio de los 2. Teniendo para diseño un CBR del 2.16 %, aplicando se tiene:

Mr=1500*2.16 → Mr= 3240 psi → Mr= 22.68 Mpa

Para calcular los módulos resilientes de la subbase y base granular, se toman los valores mínimos exigidos por la norma IDU-2018, haciendo referencia a los CBR de cada material.

Correspondencia entre clases de capas granulares, tipo de pavimento y categorías de tránsito

Tipo de Capa	Categorías de Tránsito		
	T1	T2	T3
Pavimento de concreto Asfáltico			
Base Granular	BG-B	BG-A	BG-A
Subbase Granular	SBG-B	SBG-A	SBG-A
Pavimento Concreto Hidráulico			
Base Granular	BG-A	NA	NA

Figura 22. Categoría de bases y subbases según el tránsito (IDU).

Basados en el dato anterior la categoría de la vía en estudio es de tipo T3, por lo cual se tendrá en cuenta los valores mínimos exigidos.

Ensayo	Norma de Ensayo	Clase	
		BG-B	BG-A
Capacidad de Soporte			
CBR, % mínimo - Referido al 100 % de la densidad seca máxima, según el ensayo INV E 142-13 (AASHTO T 180), método C, después de 4 días de inmersión.	INV E 148-13	80	NA
Módulo Resiliente a θ=207 kPa, MPa mínimo (Notas 2 y 3)	INV E 156-13	NA	100

Figura 23. Valores mínimos de CBR para la base granular (IDU-2018).

Ensayo		Norma de Ensayo	Clase	
			SBG-B	SBG-A
Geometría de las Partículas				
Partículas Fracturadas Mecánicamente, % mínimo	- 1 cara - 2 caras	INV E 227-13	NA NA	50 30
Capacidad de Soporte				
CBR, % mínimo - Referido al 100 % de la densidad seca máxima, según el ensayo INV E 142-13 (AASHTO T 180), método D, después de 4 días de inmersión.		INV E 148-13	40	NA
Módulo Resiliente a θ=83 kPa, MPa mínimo (Notas 2 y 3)		INV E 156-13	NA	70

Figura 24. Valores mínimos de CBR para la subbase granular (IDU-2018).

Mejoramiento de la subrasante

Este mejoramiento se realiza partiendo del valor del CBR obtenido por ensayo directo de la subrasante, se tiene en cuenta la condición que el IDU establece cuando se encuentran CBR

de subrasante menores al 4%, se debe realizar un mecanismo de mejoramiento que aumente la capacidad portante de esta, mejorando la resistencia al corte que esta va a soportar.

La idea de este mejoramiento es llevar el CBR de la subrasante a un valor mayor al 5% para garantizar un buen sitio de apoyo. Para esto se implementa los sistemas de mejoramiento de tipo Rajón y Geocelda, donde se analizará los espesores y valores de aportes a la subrasante mostrando varias alternativas.

Para ello se cuenta con el modelo matemático que plantea Ivanov, primero se obtendrá el valor del CBR utilizando Rajón.

Aplicando la metodología Ivanov se tiene:

Tabla 4. Calculo CBR equivalente para Rajón.

CALCULO DE CBR EQUIVALENTE PARA RAJÓN								
CBR		Modulo		n	a (radio de carga)	hmej	Eeq	CBReq
Subrasante	Mejoramiento	Esbr	Emej					
2.16 %	10.00 %	226.80 kg/cm2	1050.00 kg/cm2	1.85	10.80 cm	30.00 cm	697.92 kg/cm2	6.65 %

Mr= 1500*(6.65%)

Mr= 9975 psi → Mr= 67.83 Mpa

Cálculo del Mejoramiento con NEOWED, se busca el valor del MIF. Entrando con los siguientes parámetros.

Mr= 1500*(10%)

Mr= 15000 psi → Mr= 102 Mpa

$Mr_{Granular\ Lleno}\ (MPa)$ = 102 Mpa

$Mr_{Subrasante\ Natural}\ (MPa)$ = 22.03 Mpa

MIF=3.98

Con un MIF de 3.98 tenemos que un módulo de la capa mejorada de 405.96 Mpa equivalente a un CBR de 39.80%.

Tabla 5. Calculo CBR equivalente para la geo celda.

CALCULO DE CBR EQUIVALENTE								
CBR		Modulo		n	a (radio de carga)	hmej	Eeq	CBReq
Subrasante	Mejoramiento	Esbr	Emej	3.23	10.80 cm	20.00 cm	1037.78 kg/cm2	9.88 %
2.16 %	39.80 %	226.80 kg/cm2	4261.95 kg/cm2					

Fuente: Elaboración propia

Mr= 1500*(9.88%)

Mr= 14820 psi → Mr= 100.77 Mpa

El material que se propone para llenado del NEOWED es rellenos para la conformación de la subrasante (material seleccionado de sitio) con CBR mínimo del 10%.

Tenemos entonces una relación entre los módulos de la subrasante mejorada con Rajón y mejorada con NEOWED.

$$Mr_{\text{sbrrajón}}\,(MPa) = 67.83 \text{ Mpa}$$

$$Mr_{\text{SbrNEOWED}}\,(MPa) = 100.77 \text{ Mpa}$$

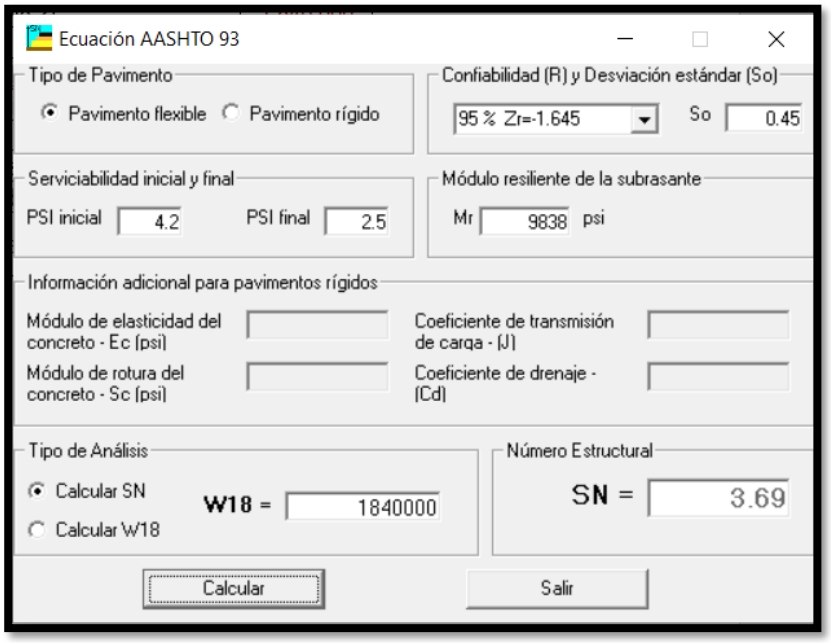
Con estos valores se procede con el diseño AASTHO.

El diseño que se tiene el $Mr_{\text{sbrrajón}}\,(MPa)$ = 67.83 Mpa para diseñar los espesores del pavimento.

Tabla 6. Datos de entrada diseño AASTHO.

Cálculo del SN total	
Tránsito de diseño (N8,2) =	1,840,000
Serviciabilidad inicial (Po) =	4.2
Serviciabilidad final (Pf) =	2.5
Perdida de serviciabilidad (ΔPSI) =	1.7
Confiabilidad (%) =	95
Desviación normal estándar (Zr) =	-1.645
Valor de error estándar (Zo):	0.45
Módulo de la subrasante (Mr)=	67.83 Mpa
	9838 psi

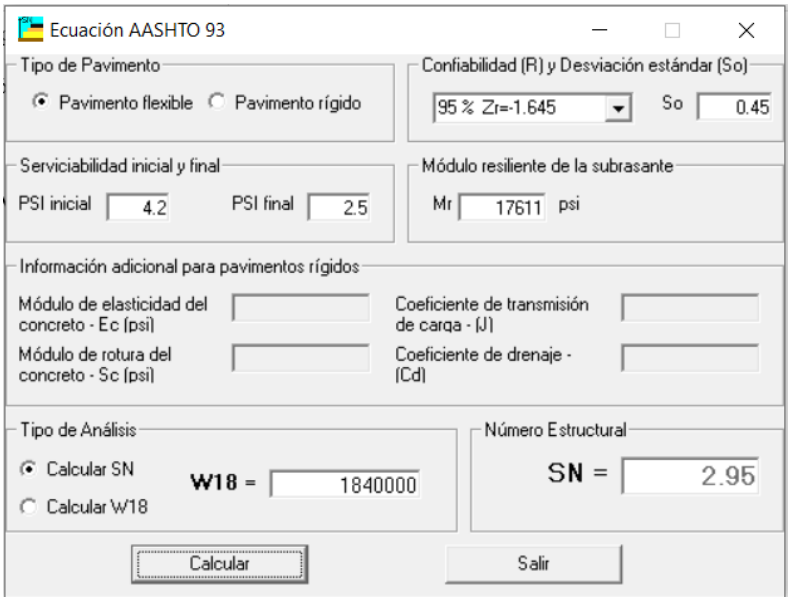
Fuente: Elaboración propia



Para la subbase granular se toma como valor mínimo un CBR del 40% como lo muestra el IDU en la figura 21. Por tanto, tiene un módulo de:

$$Mr=10*CBR^{0.73} \text{ (Mpa).}$$

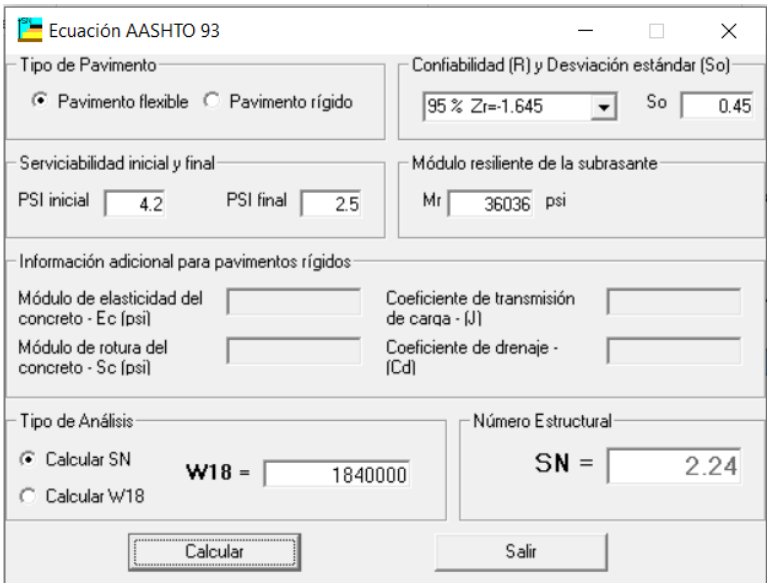
Mr= 120 Mpa → Mr= 17,611 psi



Para la base granular se toma como valor mínimo un CBR del 80% como lo muestra el IDU en la figura 20. Por tanto, tiene un módulo de:

$$Mr=10*CBR^{0.73} \text{ (Mpa).}$$

Mr= 245 Mpa → Mr= 36,036 psi



Para el diseño se toma como referencia los siguientes coeficientes estructurales:

Coeficientes estructurales (ai)		Referencia
Mezclas asfálticas densas en caliente	0.44	AASHTO (1993)
Bases granulares	0.14	
Subbases granulares	0.11	
Mezclas asfálticas densas en frio	0.34	Manual INVIAS Bajos Volúmenes de tránsito (2007)
Bases tratadas con cemento	0.23	Pavement Design Guide Carolina del Norte (2008)
Bases tratadas con emulsión	0.20	Pavement Design Guide Michigan (2012)
Afirmados	0.08	Manual INVIAS Bajos Volúmenes de tránsito (2007)

Tabla 7. Calculo SN.

ESTRUCTURA CALCULADA					
Materiales	**SN**	**mi**	**ai**	**Di (")**	**Di (cm)**
Carpeta asfáltica	2.24	1	0.44	5.09	12.9
Base granular	2.95	0.9	0.14	5.63	14.3
Subbase granular	3.69	0.9	0.11	7.47	19.0
ESTRUCTURA PROPUESTA					
Materiales	Di (cm)	mi	ai	SN i	
Carpeta asfáltica	10	1	0.44	1.73	
Base granular	20	0.9	0.14	0.99	
Subbase granular	25	0.9	0.11	0.97	
			∑ SN	3.70	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

La estructura de pavimentos quedaría de la siguiente manera:

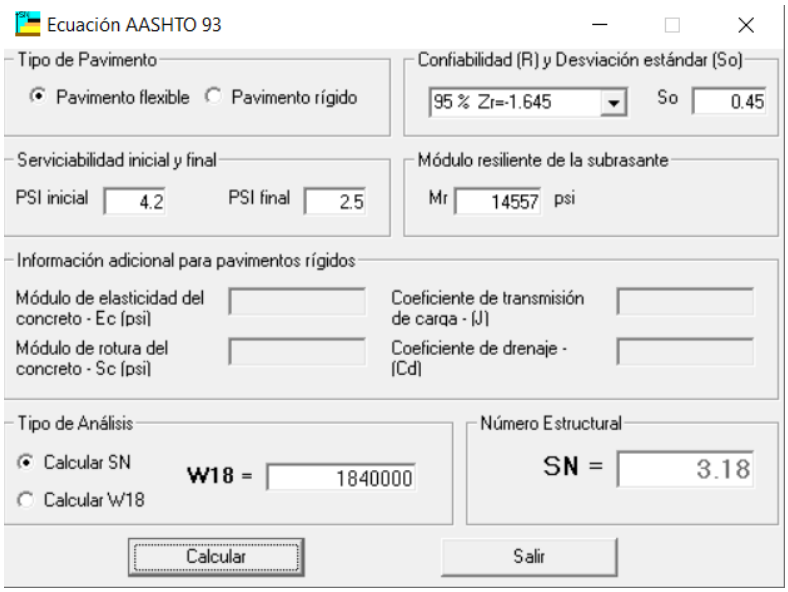
CAPA	**Espesor (cm)**
Carpeta asfáltica	10
Base granular	20
Subbase granular	25
Rajón	30
TOTAL (cm)	**85**

Se calculan los espesores de las capas con el sistema NEOWED donde se tiene que

$Mr_{S\text{brNEOWED}}$ (MPa) = 100.77 Mpa

Calculo del SN	
Tránsito de diseño (N8,2) =	1,840,000
Serviciabilidad inicial (Po) =	4.2
Serviciabilidad final (Pf) =	2.5
Perdida de serviciabilidad (ΔPSI) =	1.7
Confiabilidad (%) =	95
Desviación normal estándar (Zr) =	-1.645
Valor de error estándar (Zo):	0.45
Módulo de la subrasante (Mr)=	100.37 Mpa
	14557 psi

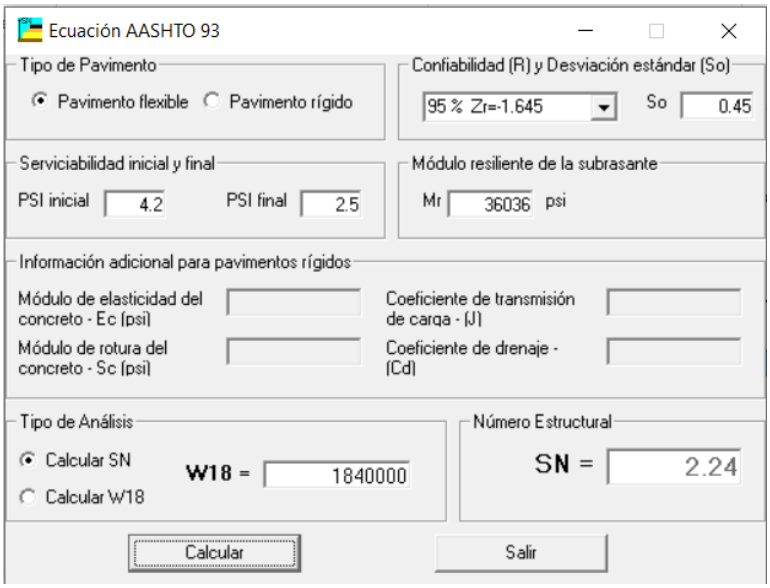
Fuente: elaboración propia



Para la base granular se toma como valor mínimo un CBR del 80% como lo muestra el IDU en la figura 20. Por tanto, tiene un módulo de:

$$Mr=10*CBR^{0.73} \text{ (Mpa).}$$

Mr= 245 Mpa → Mr= 36,036 psi



ESTRUCTURA CALCULADA					
Materiales	**SN**	**mi**	**ai**	**Di (")**	**Di (cm)**
Carpeta asfáltica	2.24	1	0.44	5.09	12.9
Base granular	3.18	0.9	0.14	7.46	18.9
ESTRUCTURA PROPUESTA					
Materiales	Di (cm)	mi	ai	SN i	
Carpeta asfáltica	12	1	0.44	2.08	
Base granular	23	0.9	0.14	1.14	
			∑ SN	3.22	CUMPLE

La estructura de pavimento quedaría de la siguiente manera:

CAPA	Espesor (cm)
Carpeta asfáltica	12
Base granular	23
Relleno de con material de sito + NEOWED	20
TOTAL (cm)	**55**

Costos por m2.

Tabla 8. Costo Estructura con Rajón.

Alternativa con Rajón por m2					
Item	Actividad	unidad	valor unitario	cantidad	valor total
1	Estabilización de subrasante con Rajón (incluye equipos y transportes S+I	m3	$ 99,371.00	0.3	$ 29,811.30
2	Relleno en recebo común S+I	m3	$ 24,700.00		$ 0.00
3	Geo celda Altura 15 cm	m2	$ 49,344.00		$ 0.00
4	Excavación (no incluye transporte)	m3	$ 4,508.00	0.85	$ 3,831.80
5	Transporte incluye cargue	m3	$ 44,347.00	0.85	$ 37,694.95
6	sub base granular tipo A S+I	m3	$ 122,360.00	0.25	$ 30,590.00
7	base granular tipo A S+I	m3	$ 128,548.00	0.2	$ 25,709.60
8	mezcla en caliente MD20 60-70	m3	$ 585,494.00	0.1	$ 58,549.40
					$ 186,187.05

Elaboración propia (precios IDU-abril 2020)

Tabla 9. Costo Estructura con Geo celda.

Alternativa con NEOWED por m2					
Item	Actividad	unidad	valor unitario	cantidad	valor total
1	Estabilización de subrasante con Rajón (incluye equipos y transportes S+I	m3	$ 99,371.00		$ 0.00
2	Material de sitio S+I	m3	$ 24,700.00	0.2	$ 4,940.00
3	Geo celda Altura 15 cm	m2	$ 49,344.00	1	$ 49,344.00
4	Excavación (no incluye transporte)	m3	$ 4,508.00	0.55	$ 2,479.40
5	Transporte incluye cargue	m3	$ 44,347.00	0.55	$ 24,390.85
6	sub base granular tipo A S+I	m3	$ 122,360.00	0	$ 0.00
7	base granular tipo A S+I	m3	$ 128,548.00	0.23	$ 29,566.04
8	mezcla en caliente MD20 60-70	m3	$ 585,494.00	0.12	$ 70,259.28
					$ 180,979.57

Elaboración propia (precios IDU-abril 2020)

6. CONCLUSIONES

El diseño adecuado para la estructura de pavimento de la vía en estudio, corresponde a la alternativa con geo celda, dada la disminución de manera significativa de los materiales con agregado pétreo y su vez un menor espesor de la estructura.

El comportamiento mecánico de una estructura de pavimento con Rajón, al aplicar una carga en la superficie, distribuye los esfuerzos hacia el fondo y de forma lateral desplazando el material fuera del área de carga.

El comportamiento mecánico de la geo celda confinada con un material granular produce una distribución de los esfuerzos en las celdas que están adyacentes disminuyéndolos al llegar a la subrasante, evitando deformación en sus capas.

Con los datos obtenidos en campo se determinaron los espesores de las capas notando el aporte significativo de la geo celda en la estructura de pavimento, por lo que tenemos una estructura con Rajón de 85 cm frente a una de 55 cm, el aporte que tuvo la subrasante con la geo celda está en un 35 % menos de la estructura con rajón.

El medio ambiente se beneficia dado que la estructura de pavimento va a necesitar de menor excavación, empleo de materiales de menor especificación (estructura de mejoramiento) y menor transporte, por lo que se tiene; menos emisiones de CO2 en el ambiente, por consecuente menos explotación de materiales pétreo.

En cuanto a los costos de obra se tiene una diferencia del 3% a favor del sistema con geo celda lo que lleva a tener un valor agregado positivamente para la ejecución de la obra financieramente.

7. BIBLIOGRAFÍA

IDU. (2018). *Especificaciones Técnicas Generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura*. Bogotá D.C.

Rondón y Reyes. (2019). *Pavimentos Materiales, construcción, y Diseño*. Bogotá D.C: Editorial ECOE ediciones mayo 2019.

INVÍAS (2017). *Manual de diseño para pavimento de medio y alto volumen de tránsito*. Bogotá D.C:

PAVCO. (2012). *Manual de diseño con geosintético.* Bogotá D.C: Editorial Diseño y Diagramación Norte Gráfico Novena edición.

Ivanov, N. (1973). *Flexible road pavement structural design, Transport Publishers*. Moscu.

INVÍAS (2013). *Especificaciones generales de construcción de carreteras*. Bogotá D.C.

AASHTO. (1993). *Guide for Desing of Pavement Structures 1993. Washington, D.C 20001*.

IDU. (2013). *Diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá D.C.* Bogotá D.C.

Yang H. Huang (2004). *Pavement Analysis and Desing.* New Jersey: Edition Pearson Pretice Hall.