DISEÑO DE PAVIMENTO

DISEÑO DE PAVIMENTO

MEJORAMIENTO DE LA VÍA QUE CONDUCE DESDE EL CORREDOR ECOLÓGICO CRUCE CARACOLÍ HASTA EL BARRIO CHARRASCAL EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO

DIRIGIDO A: MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO – META



ENERO DE 2019

INTRODUCCIÓN

El presente diseño tiene como principal objetivo presentar una alternativa eficiente, técnica y económicamente viable, que garantice el mejoramiento del confort y seguridad de los usuarios del proyecto, al igual que satisfacer las necesidades del mismo. El análisis de la estructura de pavimento tiene como principal directriz optimizar los recursos disponibles para lograr establecer una obra donde exista un equilibrio entre el beneficio esperado y la inversión destinada, además, de lo anterior es importante establecer que toda estructura de pavimento, cuenta con una curva de deterioro ajustado a diversos factores que afectan su funcionalidad y en la cual se establecen una serie de mantenimientos periódicos encaminados a recuperar el índice de servicio de la vía a lo largo de su vida útil.

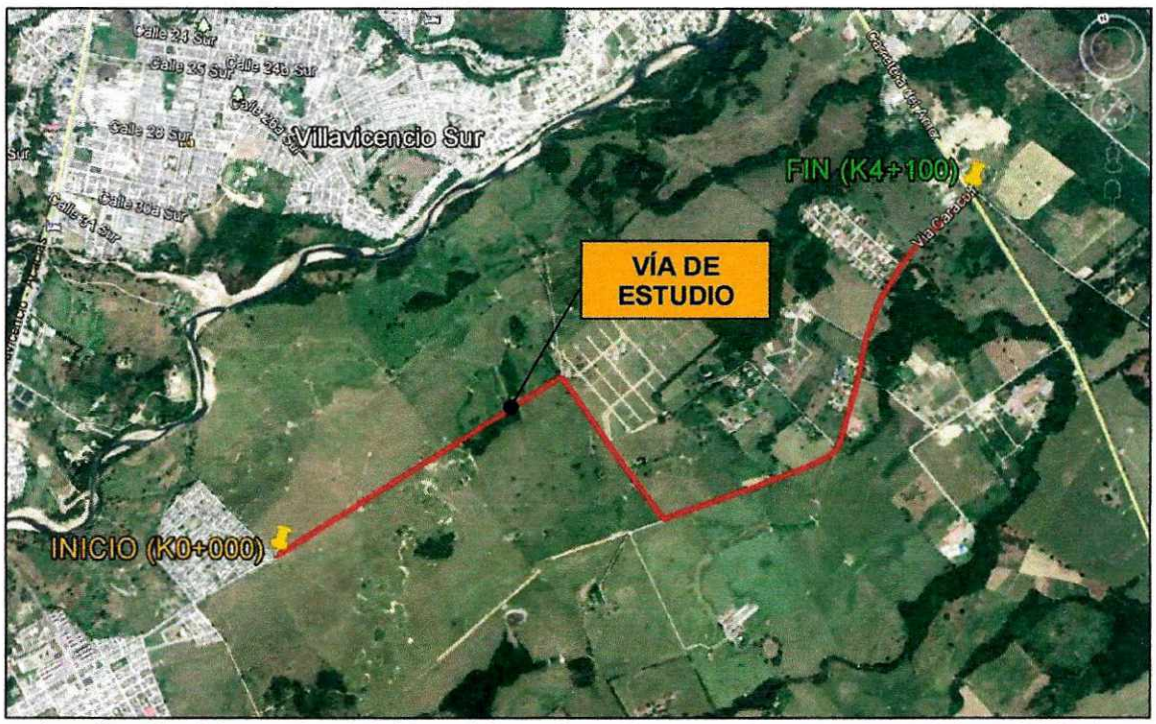
Lo anterior con el fin de llevar a cabo el mejoramiento de la vía que desde el barrio Charrascal conduce hasta el sector de Caracolí, proyecto a desarrollarse en el casco urbano del municipio de Villavicencio en el departamento del Meta.

El presente diseño se realizará para un número de ejes equivalentes en el periodo de diseño y carril de diseño (Ndis) obtenido mediante el estudio tránsito realizado para este proyecto. Asimismo, se utilizará la información contenida en el estudio de suelos realizado.

Se presenta una recomendación o alternativa de diseño que contempla la aplicación de una mezcla asfáltica como capa de rodadura sobre una o dos capas granulares dependiendo del número estructural requerido.

LOCALIZACIÓN GENERAL

La vía objeto del proyecto se localiza hacia el costado Sur del casco urbano del municipio de Villavicencio en el departamento del Meta.



Localización del corredor vial objeto del estudio, ubicado en el casco urbano del municipio de Villavicencio. FUENTE: Google Earth 2018

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

El presente capítulo contiene los resultados de la exploración en campo realizada al corredor vial con el fin de conocer las características de la subrasante que soportará la estructura del pavimento.

Para la caracterización geotécnica se llevaron a cabo exploraciones al terreno mediante apiques manuales. En total se elaboraron 16 apiques y se extrajeron las muestras necesarias para la clasificación de los estratos encontrados y el ensayo de CBR inalterado del suelo.

SELECCIÓN DEL PERCENTIL DE DISEÑO

El estudio de tránsito realizado arrojó un Ndis de 1.361.762 EE. Para la complejidad del proyecto se tiene que el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño (N) es superior a 1.000.000 de EE.

Tabla Nº 2. Rango de percentiles de diseño según el N dis

Ndis	% DISEÑO
$< 10^4$	60
10^4 - 10^6	75
$> 10^6$	87,5

Por lo anterior se tomará como valor de CBR de Diseño el valor correspondiente al percentil del 87.5% para el proyecto.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO

Para la determinación del CBR se utilizar la clasificación de los CBR de manera porcentual:

Tabla Nº 3. Determinación del CBR de diseño

CBR	No de Valores iguales o mayores	% De Valores Iguales o Mayores
2.96	16	100.00%
3.17	15	93.75%
3.19	14	87.50%

3.25	13	81.25%
3.40	12	75.00%
3.50	11	68.75%
3.87	10	62.50%
3.90	9	56.25%
4.05	8	50.00%
4.22	7	43.75%
4.44	6	37.50%
4.68	5	31.25%
5.84	4	25.00%
6.12	3	18.75%
6.34	2	12.50%
7.08	1	6.25%

$CBR_{DISEÑO}$ = 3.19 %

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Se realizará el diseño del pavimento flexible utilizando la metodología propuesta por la AASHTO[1] el cual considera no solo el tránsito sino también se emplean los conceptos de niveles de servicio y confianza, calidad del drenaje de las capas granulares y los diferentes módulos dinámicos de cada material a utilizar en esta estructura.

MÉTODO AASHTO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES - 1993

PARÁMETROS DE DISEÑO

- Tránsito. Expresado en número de ejes equivalentes de 8.2 ton. en el carril de diseño durante el periodo de diseño.
- Nivel de confianza. De acuerdo con la categoría de la vía.
- Error Normal Combinado
- Módulo Resiliente de la subrasante. Obtenido mediante correlación del CBR (%) de diseño.
- La calidad del drenaje de las capas granulares.
- Niveles de servicio inicial (Po) y final (Pt)

EL TRÁNSITO

Haciendo uso de la información obtenida previamente se tiene que el número de ejes equivalente de 8.20 ton. en el carril de diseño durante el periodo de diseño, es de **1.36 E+06.**

Inmediatamente con este dato caemos en un **Nivel de Tránsito Uno (NT2)**, que corresponde a vías en las que el tránsito de diseño de las obras por construir está entre $0.5x10^6$ y $5.0x10^6$ ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño.

Por otra parte, dado que la vía pertenece a la malla urbana y que este llevará un pavimento con capa de rodadura se puede considerar según su importancia como una **Vía Terciaria - VTER.**

[1] American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993

NIVEL DE CONFIANZA

Este parámetro permite incluir dentro del diseño del pavimento algún grado de seguridad de acuerdo con la importancia de la vía, para el posterior cálculo de la desviación estándar y (Zr).

Tabla Nº 4. Niveles de confianza

Tipo de Vía	Nivel de Confianza (%)
VAP - VÍA ARTERIA PRINCIPAL	95
VSEC - VÍA SECUNDARIA	90
VTER - VÍA TERCIARIA	85

Fuente: EXPERIENCIA NACIONAL DE DISEÑADORES EN COLOMBIA.ING. CARLOS HIGUERA SANDOVAL. ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA VIAL Y PAVIMENTOS - USTA TUNJA. 2012

Para este proyecto se asume un Nivel de Confianza del **85%**

NIVELES DE SERVICIO

El índice de serviciabilidad tiene en cuenta el comportamiento del pavimento y queda definido por una calificación entre 1 y 5, está definido por la diferencia entre la serviciabilidad inicial (Po) y la final (Pt). Dado que un pavimento nuevo siempre tendrá alguna irregularidad y ha recibido cargas durante su construcción, se considera que su calificación o serviciabilidad inicial (Po) no podrá ser 5.

De acuerdo con la Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento de la AASHTO 1993, un valor adecuado para la serviciabilidad inicial en un pavimento flexible es del orden de **4.2**.

Por otra parte, la serviciabilidad final (Pt) está regida por el umbral de falla funcional, que no es más que aquel nivel o calificación en la cual un usuario no podrá transitar por esta vía en condiciones de seguridad y comodidad. Para Colombia se recomiendan los siguientes valores de Pt.

Tabla Nº 5. Niveles de servicio

Tipo de Vía Pavimentos Flexibles	Serviciabilidad Final, Pt
VAP - VÍA ARTERIA PRINCIPAL	2.5 - 3.0
VSEC - VÍA SECUNDARIA	2.0 - 2.5
VTER - VÍA TERCIARIA	1.5 - 2.0

Fuente: ING. CARLOS HIGUERA SANDOVAL. CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA VIAL Y PAVIMENTOS - USTA TUNJA. 2012

Para este proyecto se asume un Pt de **2.0**

ERROR NORMAL COMBINADO, So

De acuerdo con la AASHTO, el error normal combinado tiene en cuenta la desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales y de la subrasante, y variaciones en la estimación del tránsito, condiciones climáticas y calidad en la construcción.

Para proyectos de construcción de pavimento flexible nuevo se recomienda un So = 0.45.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL, Zr

Este parámetro depende del tipo de vía y del nivel de confianza solicitado para el proyecto.

Tabla Nº 6. Desviación estándar

Tipo de Vía	Nivel de Confianza (%)	Desviación Estándar, Zr
VAP - VÍA ARTERIA PRINCIPAL	95	-1.642
VSEC - VÍA SECUNDARIA	90	-1.282
VTER - VÍA TERCIARIA	85	-1.037

Fuente: EXPERIENCIA NACIONAL DE DISEÑADORES EN COLOMBIA.ING. CARLOS HIGUERA SANDOVAL. ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA VIAL Y PAVIMENTOS - USTA TUNJA. 2012

Para este proyecto se asume una desviación estándar normal de **-1.037**

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MEZCLA DENSA EN CALIENTE (E_{MDC})

Las mezclas asfálticas que se producen en el mercado regional, de acuerdo con los controles de calidad de algunas de estas plantas, desarrollan módulos medianos a bajos, salvo aquellas mezclas con polímeros las cuales son de alto módulo. Estos módulos están del orden de 20000 a 25000 kg/cm2. Para el presente diseño se asumirá un valor de 22500 kg/cm2, por lo cual es un parámetro importante en la producción de las mezclas para evitar fallas en la carpeta asfáltica antes de la terminación del periodo de diseño.

A partir de este dato se puede determinar el valor del coeficiente estructural para la carpeta asfáltica (a1) utilizando la siguiente carta.

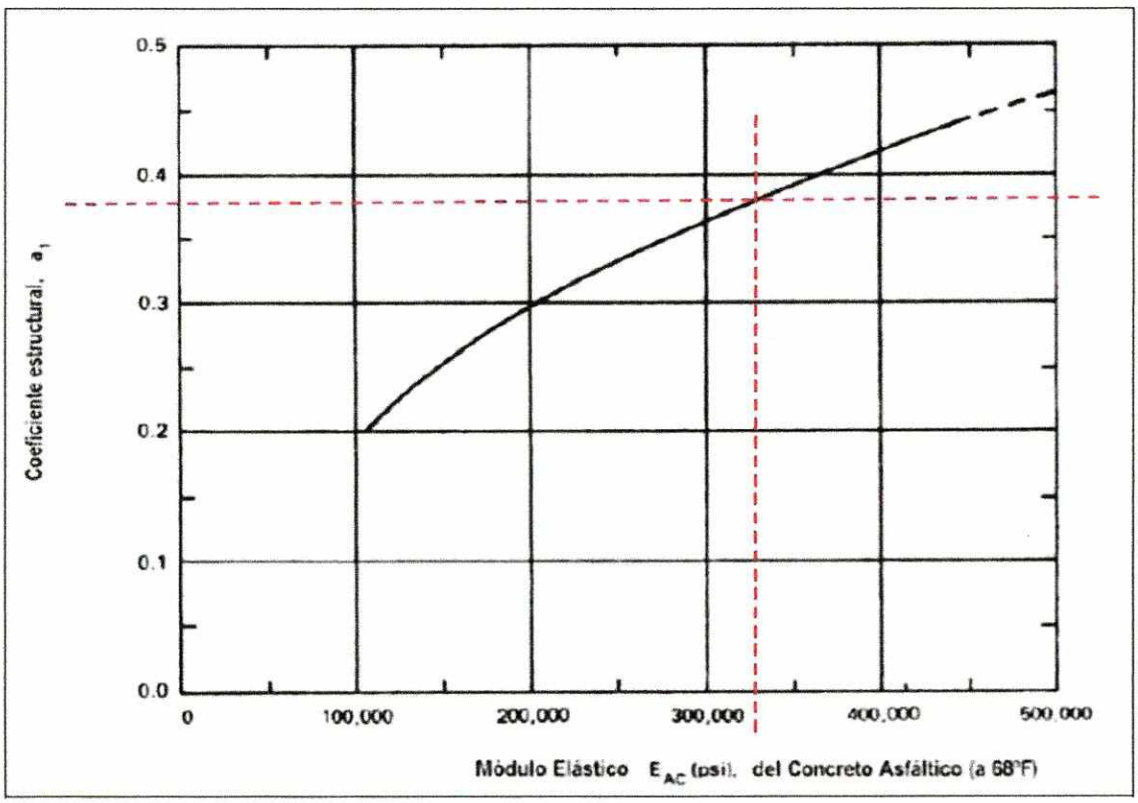


Figura Nº 2 Esquema de coeficiente estructural a1
Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento de la AASHTO 1993. Pg.II-23

El módulo dinámico para el concreto asfáltico es de **= 321.429 psi.**

El coeficiente estructural del concreto asfáltico es = **0.38/pulg.**

BASE GRANULAR (BG)

Para un nivel de tránsito **NT2**, se deben utilizar materiales de una muy alta calidad. Para el caso de las bases granulares, estas deben aportar un CBR mayor o igual al 80%[2].

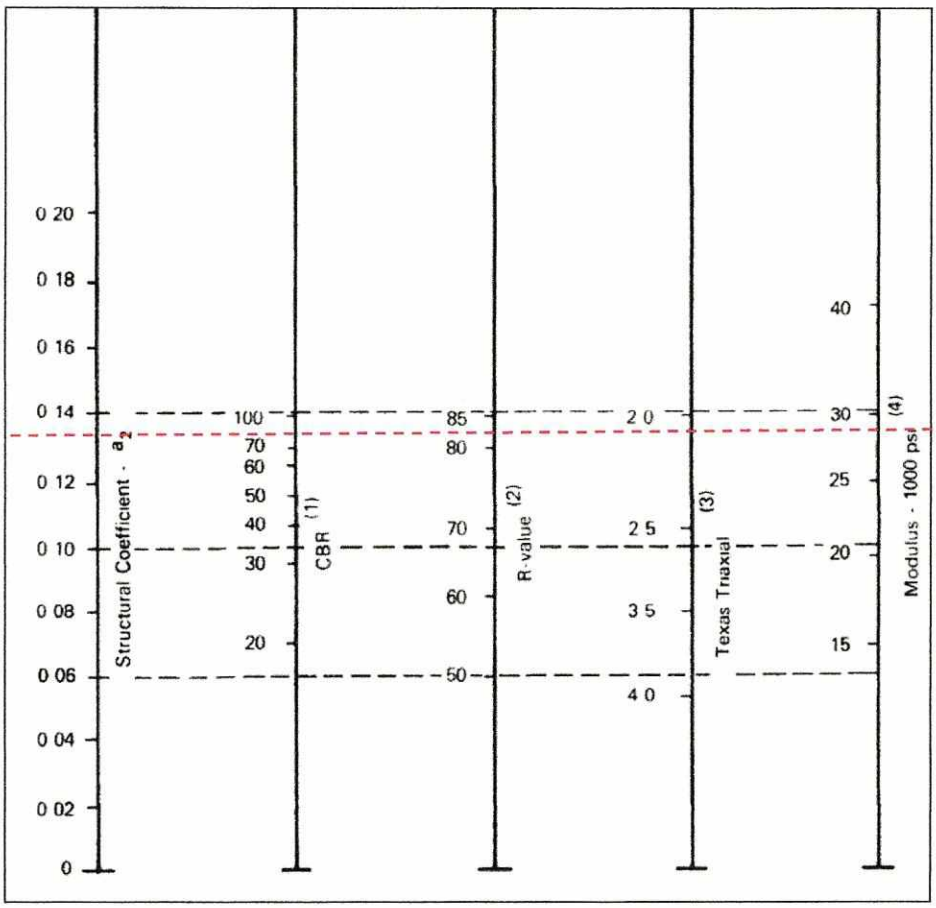


Figura Nº 3 Esquema de coeficiente estructural a2

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento de la AASHTO 1993. Pg.II-19

El módulo dinámico para la base granular es de **= 30.000 psi.**

El coeficiente estructural de la base granular es = **0.135/pulg.**

[2] ARTÍCULO 330 - 13 BASE GRANULAR. Tabla 330-2 Requisitos de los agregados para bases granulares

SUBBASE GRANULAR (SBG)

Para un nivel de tránsito **NT2**, se deben utilizar materiales de buena alta calidad. Para el caso de las subbases granulares, estas deben aportar un CBR mayor o igual al 30%[3].

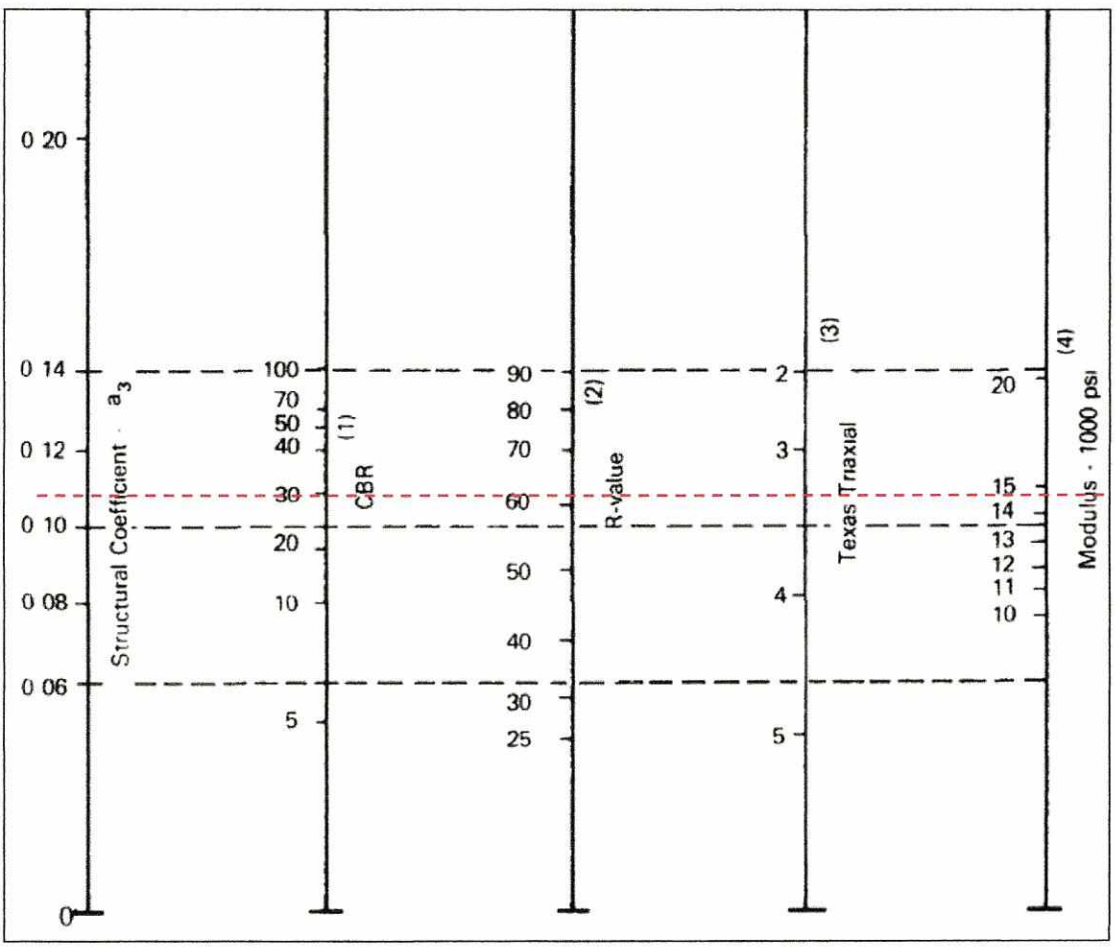


Figura Nº 4 Esquema de coeficiente estructural a3

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento de la AASHTO 1993. Pg.II-19

El módulo dinámico para la subbase granular es de **= 14.800 psi.**

El coeficiente estructural de la subbase granular es = **0.11/pulg.**

[3] ARTÍCULO 320 - 13 SUB-BASE GRANULAR. Tabla 320-2 Requisitos de los agregados para sub-bases granulares

CÁLCULO DE LOS ESPESORES

$$LogW_{18} = Zr \times So + 9.36 \times Log(SN+1) - 0.2 + \left(\frac{Log\left(\frac{\Delta PSI}{(4.2-1.5)}\right)}{0.40 + \left(\frac{1.094}{(SN+1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times LogMr - 8.07$$

Donde;

W_{18} = N = 1.361.762 ejes equiv. de 8.2 Ton en el carril de diseño durante el periodo de diseño
Periodo de Diseño = 15 años.
Zr = Desviación estándar normal = -1.037 para un Nivel de confianza del 85%
So = Error estándar combinado = 0.45 para pavimento flexible
SN = Número estructural
Mr = Módulo resiliente de la subrasante

Ecuación Aashto[4] ➔ Mr(kg/cm^2) = 1500 (CBR%); para suelos finos con CBR < 10%.

Mr = 4785 psi

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad = (4.2 - 2.0 = 2.2)

Esta ecuación no tiene una solución única, hay muchas combinaciones de espesores que la pueden satisfacer, no obstante, se cuenta con algunas alternativas tendientes a proteger las capas de deformaciones permanentes como son:

- Estabilidad y factibilidad de construcción: no es práctico ni económico colocar capas de un espesor menor que el mínimo requerido.

- Espesores mínimos en función del Número estructural: consiste en proteger las capas no tratadas de las tensiones verticales excesivas que producen deformaciones permanentes, para esto se trabaja cada espesor de capa en función del módulo de la capa anterior.

[4] Higuera Sandoval, Carlos Hernando. Correlaciones del CBR y el Módulo Resiliente de la Subrasante. Material de apoyo Especialización Geotecnia Vial y Pavimentos. Usta Tunja. 2013

Determinación del Número Estructural de diseño, SN

Haciendo uso del software Ecuación AASHTO 93[5]:



Figura Nº 5 Cálculo del Número Estructural SN

Se obtiene un SN = 3.91 para el proyecto vial.

Coeficientes de drenaje de las capas granulares, m_i

Estos coeficientes se seleccionan de acuerdo con las características del material, la calidad del drenaje, y el porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación (%tws).

Para el municipio de Villavicencio (Meta) se estima el siguiente & tws:

$$\%tws = \frac{N\ dias\ con\ lluvias\ altas\ al\ año}{'365} x100 = (105/365)*100 = 28.8\%$$

[5] Desarrollado por el Ing. Civil Luis Ricardo Vásquez Varela. 2000. Licencia gratuita. CURSO ESPECIALIZACIÓN EN GEOTECNIA VIAL Y PAVIMENTOS. USTA TUNJA. 2012

Valores de mi recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y subbase granulares				
Calidad del drenaje	**% de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel 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
Aceptable	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

Tabla Nº 7 Coeficientes de drenaje. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials. 444 N

Los materiales de las capas granulares estarán regulados por las especificaciones INVIAS - 2013, por lo que se consideran que estarán libres de impurezas y materiales orgánicos; con un contenido de finos muy bajo y plasticidad nula lo que le da al material una capacidad de drenaje buena.

Por lo anterior se tomará un valor **mi = 1.00**

Selección del espesor de las capas de pavimento

En cuanto al número estructural de diseño determinado para la estructura de pavimento inicial, se hace necesario identificar un conjunto de espesores de capa de pavimento, que combinados, suministrarán la capacidad de carga que corresponde al SN de diseño. El modelo estructural propuesto tiene la siguiente configuración:

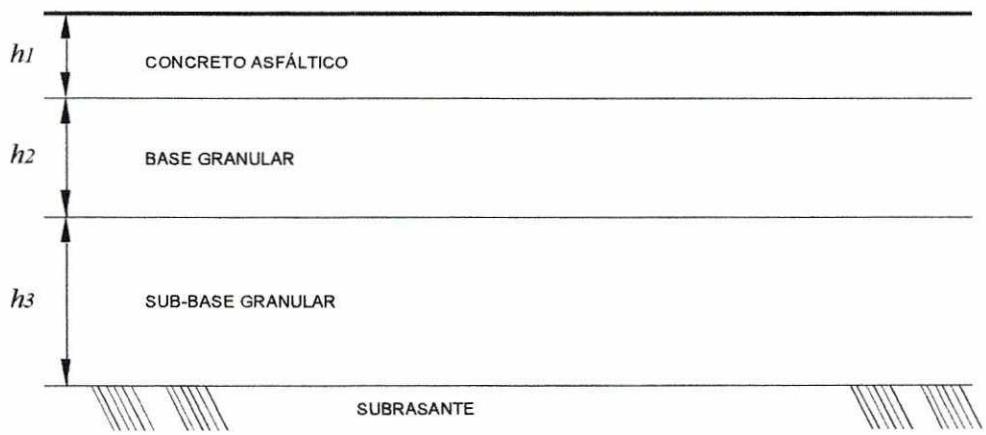


Figura Nº 6 Modelo estructural del proyecto

Para evitar proponer capas muy delgadas o muy gruesas, se adoptan los valores recomendados por la AASHTO en la Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento 1993.

TRÁNSITO DE DISEÑO (Ejes equiv. 18000 lb)	CONCRETO ASFÁLTICO (Pulgadas)	BASE GRANULAR (Pulgadas)
Menor a 50.000	1 o Tratamiento superf.	4.0
50.001 - 150.000	2.0	4.0
150.001 - 500.000	2.5	4.0
500.001 - 2.000.000	3.0	6.0
2.000.001 - 7.000.000	3.5	6.0
Mayor a 7.000.000	4.0	6.0

Tabla Nº 8. Espesores mínimos recomendados. Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993. Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials. 444 N

MODELO ESTRUCTURAL PROPUESTO

La siguiente ecuación proporciona el fundamento para convertir el SN en el espesor real de cada capa (base estabilizada, base granular y subbase).

$$SN = a_1.h_1 + a_2.h_2.m_2 + a_3.h_3.m_3$$

Donde,

SN = Número estructural del pavimento

a_i = Coeficiente estructural de la capa i (/pulg)

m_i = Coeficiente de drenaje de las capas granulares

Reemplazando los parámetros del modelo estructura propuesto, se tiene:

$$3.91 = (0.38)(3.0)+(0.135)(6.0)(1.1)+(0.11)h3(1.1)$$

Despejando se tiene ➔ h_3 = 17.82 pulg ≈ **45.26 cm.**

CAPA	ESPESOR (h_i) EN PULGADAS	ESPESOR (h_i) EN CENTÍMETROS	COOEFIENTE ESTRUCTURAL, a_i (/PUGADAS)	COEFICIENTE DE DRENAJE m_i	SN
CONCRETO ASFÁLTICO	3.00	7.62	0.38	-	1.14
BASE GRANULAR	6.00	15.24	0.135	1.00	0.81
SUB-BASE GRANULAR	17.82	45.26	0.11	1.00	1.96
				TOTAL SN	***3.91***

Tabla Nº 9. Cálculo de estructura según el SN calculado

Para facilitar el cálculo de cantidades, toma de niveles en campo, entre otras actividades; se suelen recomendar espesores ajustados al centímetro. Para el caso de la base granular lo ideal es instalar capas ajustadas a múltiplos de 5 cm (a excepción de las capas de rodadura). Por lo tanto, la estructura recomendada es:

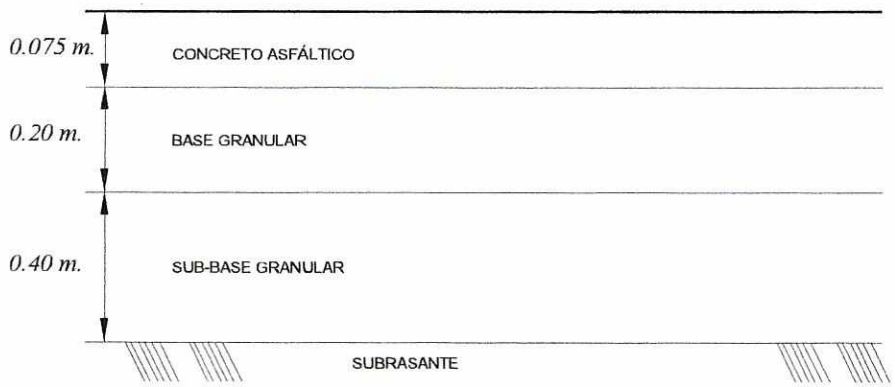


Figura Nº 7. Esquema espesores propuestos

Recalculando se tiene:

CAPA	ESPESOR (h_i) EN PULGADAS	ESPESOR (h_i) EN CENTÍMETROS	COOEFIENTE ESTRUCTURAL, a_i (/PUGADAS)	COEFICIENTE DE DRENAJE m_i	SN
CONCRETO ASFÁLTICO	2.95	7.50	0.38	-	1.12
BASE GRANULAR	7.87	20.00	0.135	1.00	1.06
SUB-BASE GRANULAR	15.75	40.00	0.11	1.00	1.73
				TOTAL SN	***3.92***

Tabla Nº 10. Recálculo de la estructura con espesores ajustados al centímetro

Para estos nuevos espesores, el SN es de: 3.92

Se debe cumplir la condición de que el número estructural de diseño ($SN_{transito}$) sea menor o igual al Número Estructural asumido (SN_{dis}):

$SN_{TRANSITO} = 3.91$

$SN_{DIS} = 3.92$ entonces, $SN_{TRÁNSITO} \leq SN_{DIS}$ ➔ *O.K. CUMPLE LA CONDICIÓN*

PROPUESTA RECOMENDADA

Determinados los espesores mediante la metodología AASHTO se presenta la siguiente estructura de pavimento:

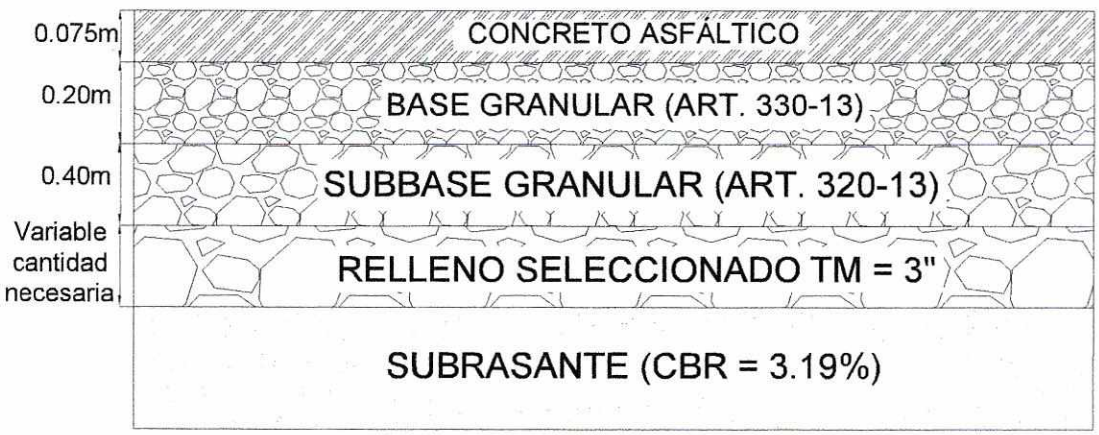


Figura Nº 8. Estructura recomendada

Dado que el terreno puede presentar algunos sitios que son bajos es probable que el diseñador geométrico recomiende elevar la cota del terreno en estos sectores. Para esta actividad, y solo en donde sea estrictamente necesario, se recomienda instalar material seleccionado de río TM = 3" hasta alcanzar la cota necesaria. Con esto no se pretende mejorar la calidad de la subrasante, ni aportará resistencia a la estructura de pavimento definida, solo es con el fin de elevar la rasante en los sitios muy bajos para tener un adecuado manejo de las aguas y adoptar el diseño geométrico.

Este relleno deberá ser instalado en capas de máximo 30 cm. a las cuales se les hará un control de compactación para garantizar una densidad del 95% o más con respecto al proctor modificado.

RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

1. Escarificación y compactación previa de la subrasante, solo para conformar una superficie homogénea de soporte, no se espera en esta compactación aumentar el CBR.
2. Durante el proceso de colocación y compactación de los materiales granulares de la base, subbase y relleno seleccionado, se deberá mantener un control de la densidad en el terreno, la cual deberá ser igual o superior al 100% del Proctor Modificado para el caso de la Base Granular y mínimo del 95% para la subbase y el relleno.
3. Los agregados pétreos para sub-base y base granular, deben ajustarse a los parámetros exigidos por INVIAS en el Artículo 320-13 para el caso de la Subbase y 330-13 para la Base Granular a estabilizar, de acuerdo con el Manual de Especificaciones para Construcción de Carreteras del 2013, teniendo en cuenta un **Nivel de Tránsito Uno (NT2)**.
4. El material zarandeado en 3" para los rellenos deberán cumplir las especificaciones mínimas de calidad contempladas en el artículo 220-13 "TERRAPLENES" del Invias.
5. La capa de rodadura se construirá con mezcla asfáltica en caliente de gradación continua. El tipo de mezcla será MDC-19 la cual aplica para superficies de rodadura de más de 60 mm. de espesor, y cuya granulometría está contenida en la Tabla 450-7 del Artículo 450-13 del Manual de Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013. En general la producción e instalación de esta mezcla deberá controlarse mediante esta misma especificación.
6. Bombeo mínimo lateral 2%.

WILLIAM BARAJAS TIBADUIZA
ING. CIVIL M.P. 25202181878 CND
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA VIAL Y PAVIMENTOS