DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO PROYECTO: “MEJORAMIENTO DE LA VÍA MONQUIRÁ - LA REFORMA ETAPA 01 EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ”

ALCALDÍA DE SOGAMOSO

MUNICIPIO DE SOGAMOSO
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ
SEPTIEMBRE DE 2025

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 4
2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 5
2.1 Macro Localización 5
2.2 Micro Localización 6
3 DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO 7
3.1 INFORMACIÓN INSUMO PARA EL DISEÑO 7
3.1.1 ESTADO ACTUAL DEL TRAMO VIAL: 7
3.1.2 PERIODO DE DISEÑO: 9
3.1.3 TRÁNSITO: 9
3.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES: 9
3.1.5 CLIMA: 11
3.1.6 MÉTODO AASHTO-93 PARA DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO 14
4 LÍMITES Y ALCANCE DEL DISEÑO 27
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 28

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Macro Localización, Municipio de Sogamoso, Vía la Monquirá – La Reforma 5
Ilustración 2. Micro Localización del tramo a intervenir. Vía Monquirá, La Reforma. 6
Ilustración 3. Estado actual de la subrasante de rodadura. Perfil N-S. 8
Ilustración 4. Estado actual de la subrasante de rodadura. Perfil S-N. 8
Ilustración 5. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia. 15
Ilustración 6. Coeficiente Estructural a2 – Base Granular 24
Ilustración 7. Cálculo del SN 26

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas proyecto vial. 6
Tabla 2. Designación tráfico..... 9
Tabla 3. Características de los materiales. 10
Tabla 4. Regiones climáticas. 14
Tabla 5. Características de la subrasante..... 15
Tabla 6. Corrección de tránsito usado para el diseño. 17
Tabla 7. Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes. 18
Tabla 8. Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles. 19
Tabla 9. Capacidad de drenaje. 20
Tabla 10. Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles. 20
Tabla 11. Periodos de diseño. 21
Tabla 12. Correlación entre el CBR y Móludo Resiliente. 21
Tabla 13. Resistencia a la compresión, plano, área total, min. 23
Tabla 14. Coeficiente Estructura para Capa de Rodadura. 23
Tabla 15. Parámetros finales de diseño. 25

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Variación temperatura mensual periodo 2000-2010……12
Gráfica 2. Temperatura media mensual……13
Gráfica 3. Precipitación mensual 2000-2020……13
Gráfica 4. Precipitación media mensual……14

1 INTRODUCCIÓN

Los pavimentos representan una parte importante de los activos viales siendo capaces de soportar solicitaciones de tránsito, ambientales y proveer una estructura durable que permita la circulación de los vehículos con comodidad y seguridad.

La técnica del pavimento articulado permite el uso de adoquines en concreto hidráulico o adoquines de arcilla; estos elementos funcionan apoyados sobre una capa de arena previamente compactada (sin considerar que el adoquín sea en concreto hidráulico o en arcilla, en este caso será usado para la construcción del pavimento tolete común de arcilla). Está capa de arena no estará considerada como capa que aporte soporte estructural, sin embargo, permitirá la correcta instalación, compactación y nivelación de las piezas de adoquín, por lo que se debe utilizar arena de procedencia natural o triturada, que no contenga residuos orgánicos, vegetales o sólidos.

El presente informe fue realizado por la Secretaría de Infraestructura en representación de la Alcaldía de Sogamoso, para el proyecto **"MEJORAMIENTO DE LA VÍA MONQUIRÁ - LA REFORMA ETAPA 01 EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ";** contiene el análisis y diseño de la estructura del pavimento articulado de la zona homogénea, realizado con base en información obtenida de ensayos de suelos a vías adyacentes, resultados del estudio de tránsito, condiciones climáticas, resistencia de los suelos de la subrasante y las características de los materiales definidos para cada una de las capas.

El Método utilizado para efectuar el diseño es por la American Association of State Highway and Transportation Oficials correspondiente a la versión de 1993 (AASHTO, 1993)

Se presenta detalladamente los resultados de las memorias de cálculo correspondientes, las conclusiones y recomendaciones que se deben tener en cuenta para el diseño y construcción del pavimento articulado.

2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Macro Localización

Sogamoso es un Municipio Colombiano situado en el centro-oriente del departamento de Boyacá en la región del Alto Chicamocha. Es la capital de la Provincia de Sugamuxi, se encuentra a 228,5 km al noreste de Bogotá, la capital del país, y a 75,8 km de Tunja, la capital del departamento. Posee una altitud de 2.569 m, tiene temperaturas promedio de 17 °C.

El Municipio limita al norte con los municipios de Nobsa y Tópaga; al oriente con Tópaga, Monguí y Aquitania; al sur con Aquitania, Cuitiva e Iza; y al occidente con Tibasosa, Firavitoba e Iza.



Ilustración 1. *Macro Localización, Municipio de Sogamoso, Vía la Monquirá – La Reforma.*
Fuente: *ArcGIS - Autor, 2025.*

2.2 Micro Localización

El tramo vial a intervenir corresponde a **VÍA MONQUIRÁ - LA REFORMA DEL MUNICIPIO DE SOGAMOSO**. Se presenta imagen satelital teniendo en cuenta coordenadas geográficas para k0+0000 inicio de obra y k0+0585 fin de obra, obtenidas mediante el programa Google Earth pro, las cuales son:

COORDENADAS PROYECTO VIAL		
Inicio tramo	5°41'50.20"N	72°55'21.32"O
Fin tramo	5°41'34.05"N	72°55'12.94"O

Tabla 1. *Coordenadas proyecto vial.*
Fuente: *Google earth pro, 2025.*



Ilustración 2. *Micro Localización del tramo a intervenir. Vía Monquirá, La Reforma.*
Fuente: *Google Earth, 2025.*

3 DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO

3.1 INFORMACIÓN INSUMO PARA EL DISEÑO

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DE LA VÍA MONQUIRÁ - LA REFORMA ETAPA 01 EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, DEPARTAMENTO DE BOYACÁ"

3.1.1 ESTADO ACTUAL DEL TRAMO VIAL:

Debido a las condiciones: geológicas, litológicas, pendiente topográfica, nivel freático, permeabilidad del perfil del suelo explorado y subrasante o suelo natural, el tramo proyectado no presenta inconvenientes relacionados con la hidráulica de los suelos; sin embargo, el corredor del proyecto presenta un drenaje superficial desfavorable, debido a la falta de alcantarillas, sumideros, cunetas, lo cual podría ocasionar infiltraciones de aguas superficiales en la estructura del pavimento.

Se evidencia en inspección visual, que el tramo de vía del proyecto actualmente se encuentra pavimentado; sin embargo, el pavimento se encuentra en mal estado, presentado fisuras, grietas, baches y piel de cocodrilo.

El tramo vial según estudio de suelos hecho, está compuesto por una capa de pavimento flexible en mal estado de 0,07 m de espesor, afirmado existente de 0,53 m de espesor promedio, y suelo natural o subrasante de 2,4 m de espesor promedio, con CBR sin inmersión pobre a regular promedio de 5,8% y un valor de CBR con inmersión pobre a regular promedio de 4,8% el cual se utilizó para este diseño.

El estado actual de la vía se evidencia en la ilustración 3 y 4.

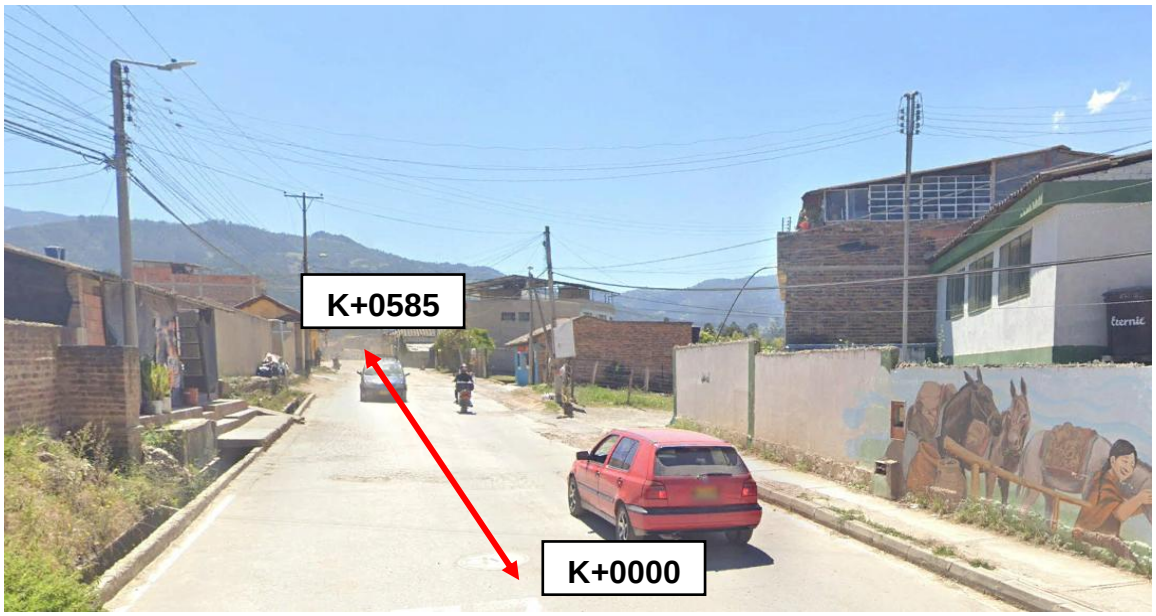


Ilustración 3. *Estado actual de la subrasante de rodadura. Perfil N-S.*
Fuente: *Autor, 2025.*

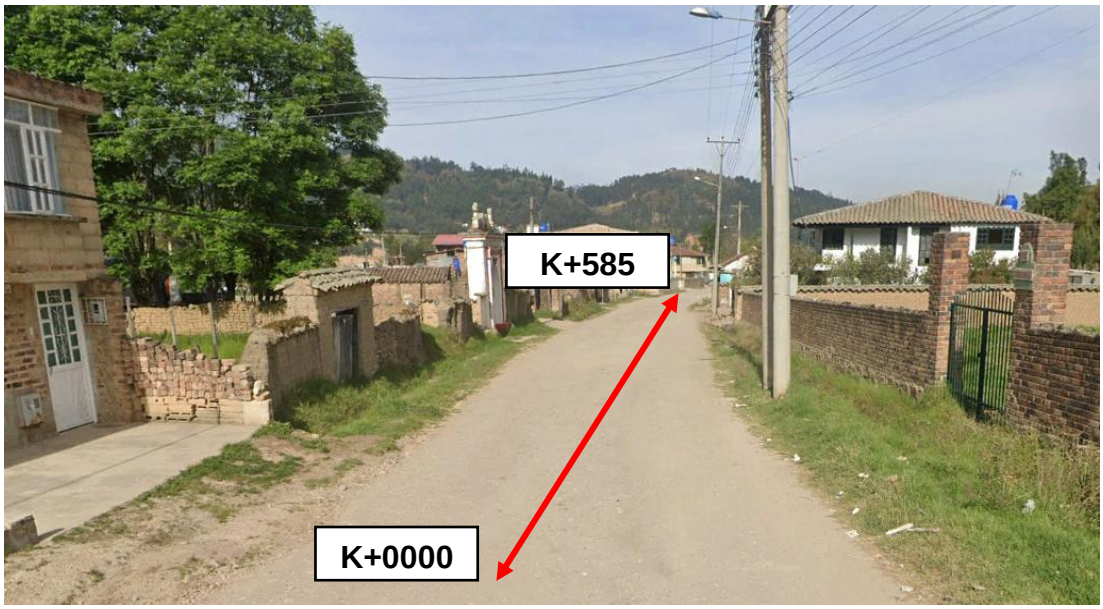


Ilustración 4. *Estado actual de la subrasante de rodadura. Perfil S-N.*
Fuente: *Autor, 2025.*

3.1.2 PERIODO DE DISEÑO:

La estructura del pavimento de las vías, tendrá un periodo de diseño de 10 años, de acuerdo a las condiciones actuales del tráfico; periodo en el cual no se requerirá ningún mantenimiento estructural.

$$N = 10 \text{ años}.$$

3.1.3 TRÁNSITO:

La variable tránsito necesaria para determinar la estructura del pavimento es el número de ejes equivalentes a 8,2 toneladas que circularán de diseño y que se esperan durante el periodo de diseño. El número de ejes equivalentes determinado en el estudio de tránsito equivale a:

$$\text{Número de ejes equivalentes a } 8,2 \text{ t en } 10 \text{ años} = 0,912 \text{ E } 6 \text{ ejes}.$$

Por ser vías que se encuentran en mal estado, el tráfico encontrado es bajo. El tránsito es de tipo T1.

Designación	Rangos de tránsito acumulado por carril de diseño
T1	**0,5 – 1 * 10 e6**
T2	1 – 2 * 10 e6
T3	2 – 4 * 10 e6
T4	4 – 6 * 10 e6
T5	6 – 10 * 10 e6
T6	10 – 15 * 10 e6
T7	15 – 20 * 10 e6
T8	20 – 30 * 10 e6

Tabla 2. *Designación tráfico.*
Fuente: *Estudio de tránsito del proyecto, 2025.*

3.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES:

La selección de los materiales para el diseño del pavimento está basado en una combinación de factores como la calidad, economía, experiencia previa de uso, varias fuentes de materiales en la zona, y que estos materiales se adaptan a las condiciones del proyecto:

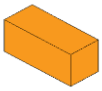
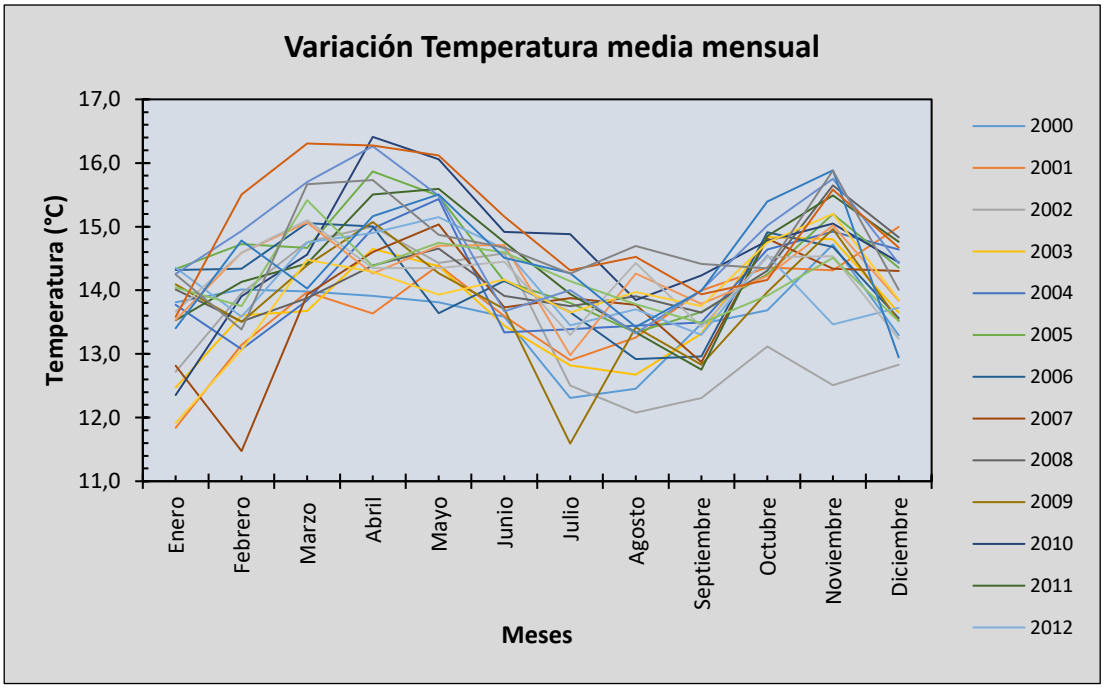
SÍMBOLO	CÓDIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIÓN
	-	Subrasante	-
	BG - 2	Base Granular	INV 330
	-	Arena	-
	-	Adoquín de arcilla cocida	NTC 3829 NTC 5282

Tabla 3. *Características de los materiales.*
Fuente: *Autor, 2025.*

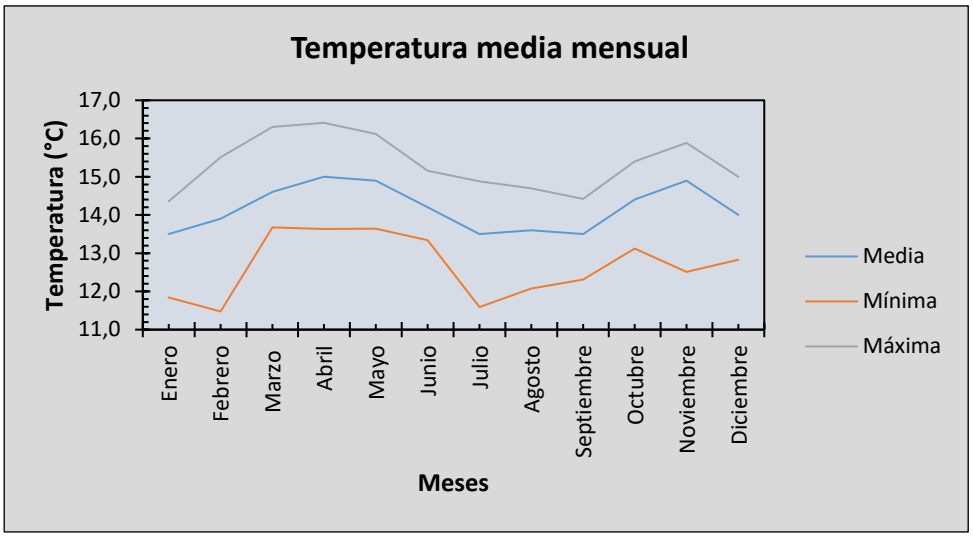
3.1.5 CLIMA:

3.1.5.1 TEMPERATURA: El municipio de Sogamoso cuenta con una variación media mensual de temperatura entre 13.5 °C a 15°C, en el periodo de tiempo del año 2000 a 2020, donde la primera temporada de calor se presenta en los meses de abril, mayo y junio, y la segunda temporada en los meses de octubre y noviembre, según datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el periodo comprendido del año 2000 a 2020. La gráfica 1, muestra la variación media mensual de la temperatura del periodo mencionado.



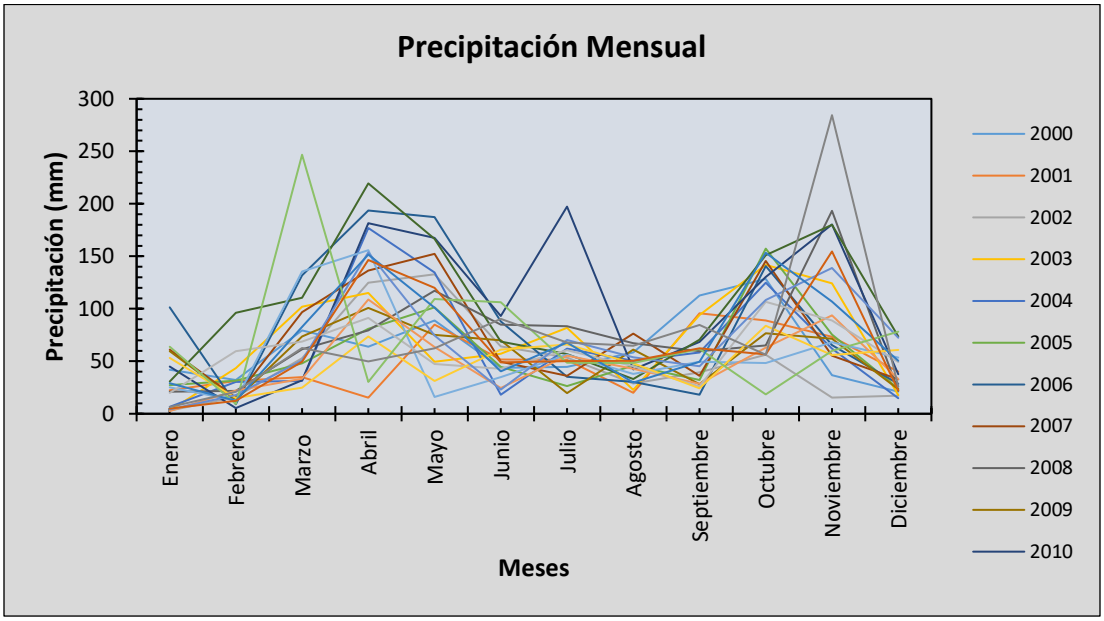
Gráfica 1. *Variación temperatura mensual periodo 2000-2010.*
Fuente: *IDEAM.*

Donde el municipio presenta una temperatura media mínima de 11.5°C y una media máxima de 16.4 °C (Ver gráfica 2). La temperatura media anual ponderada (TMAP) para el municipio en el periodo 2000 a 2020 es de 14.2.



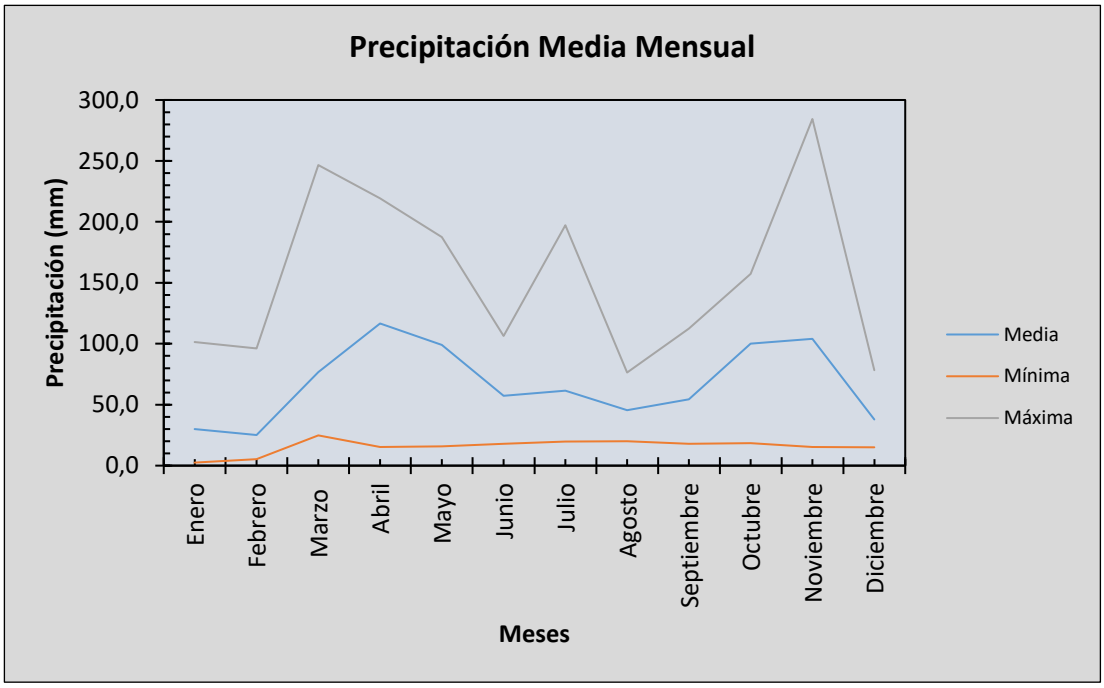
Gráfica 2. *Temperatura media mensual.*
Fuente: *IDEAM.*

3.1.5.2 PRECIPITACIÓN: Sogamoso presenta una precipitación media anual de 808.7 mm, distribuyéndose en dos temporadas de lluvias, correspondiendo a una primera en los meses de marzo, abril y mayo; en algunos casos esta temporada se prolonga hasta mediados de julio, la segunda comprendida entre los meses de octubre y noviembre (Gráfica 3).



Gráfica 3. *Precipitación mensual 2000-2020.*
Fuente: *IDEAM.*

Las precipitaciones máximas en temporadas invernales alcanzan valores mensuales de 284.4 mm y la mínima de 2.5 mm (Gráfica 4). En términos anuales esta alcanzo un nivel máximo de 1257.3 mm en el año 2011. La época de verano se presenta en los meses de diciembre, enero y diciembre.



Gráfica 4. *Precipitación media mensual.*
Fuente: *IDEAM.*

3.1.5.3 REGIÓN: La tabla 1, representa la clasificación para el municipio de Sogamoso según su región climática teniendo en cuenta la precipitación y temperatura. Clasificando al municipio en una región R2, es decir, la región de Sogamoso se encuentra en una zona templada seca y templada semihúmedo: con una precipitación media anual de 808.7 y una Temperatura Media Anual Ponderada (TMAP) de 14.2.

No.	REGIÓN	TEMPERATURA TMAP (°C)	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)
R1	Fría seca y fría semihúmeda	< 13	<2000
R2	**Templado seco y templado semihúmedo**	**13 – 20**	**<2000**
R3	Cálido seco y Cálido semihúmedo	20 – 30	<2000
R4	Templado húmedo	13 – 20	2000 – 4000
R5	Cálido húmedo	20 – 30	2000 – 4000
R6	Cálido muy húmedo	20 – 30	>4000

Tabla 4. *Regiones climáticas.*
Fuente: *INVIAS.*

3.1.6 MÉTODO AASHTO-93 PARA DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO

El método de la AASHTO 93, contempla la implementación de modelos matemáticos donde se involucran variables que condicionan el desarrollo de estos. Es el más usado y cuenta con dos técnicas de diseño para estructuras de pavimento: rígido y flexible. **EN EL CASO DE PAVIMENTOS ARTICULADOS, LA AASHTO 93 RECOMIENDA USAR EN PRINCIPIO LOS MISMOS CRITERIOS DE DISEÑO UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.**

El método requiere información basada en las características y propiedades de los materiales que conforman los suelos de cada capa de la estructura, así como la composición vehicular que someterá la estructura de pavimento a las cargas variables de tránsito.

Este método considera las siguientes variables:

3.1.5.1 CARACTERÍSTICAS DE LA SUBRASANTE

De acuerdo con las condiciones actuales de la vía y los requerimientos del estudio, se analizó la información recolectada para determinar así las características de la subrasante. Del estudio de tránsito, el clima de la zona, las condiciones topográficas

del área de trabajo y los resultados en vías similares y cercanas, permitieron definir una zona homogénea con las siguientes características:
El valor del Módulo Resiliente (Mr), se calculó teniendo en cuenta el valor del CBR calculado mediante el estudio de suelos a lo largo del trazado. Se realizaron cuatro (4) sondeos o perforaciones con barreno manual hasta la profundidad promedio explorada de 3,0 m respecto a la topografía actual del terreno.

De acuerdo al estudio de suelos se tiene el siguiente valor del CBR perteneciente al tramo vial **VÍA MONQUIRÁ-LA REFORMA**, obteniendo las siguientes características (Ver ilustración 5):

TRAMO VIAL	CBR %	MÓDULO RESILIENTE MR (Kg/cm^2)
VÍA MONQUIRÁ – LA REFORMA	4,8%	504

Tabla 5. *Características de la subrasante.*
Fuente: *Autor, 2025.*

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm^2)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Ilustración 5*. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.*
Fuente: *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito - INVIAS*

3.1.5.2 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

Se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final la mejor forma para evaluar esto es por el índice servicio presente (PSI), en una escala de 0 a 5, entre mayor sea el número, mejor será su condición al tráfico. Para ello debe asumirse la serviciabilidad inicial, Po, es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción y la serviciabilidad final o terminal, Pt. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

3.1.5.3 SERVICIABILIDAD INICIAL:

$$Po = 4{,}5\ para\ pavimentos\ rígidos.$$
$$Po = 4{,}2\ para\ pavimentos\ flexibles.$$

Para el diseño, se toma un índice de serviciabilidad inicial $\boldsymbol{Po = 4,2}$ para pavimentos flexibles (Incluye el adoquín o articulado). Es un valor generalizado.

3.1.5.4 SERVICIABILIDAD FINAL:

$$Pt = 2{,}5\ Lo\ más\ para\ caminos\ muy\ importantes.$$
$$Pt = 2{,}0\ para\ caminos\ de\ menor\ tránsito.$$

Para el diseño, se toma índice de serviciabilidad final $\boldsymbol{Pt = 2,0}$ para vías de tránsito menor.

3.1.5.5 PÉRDIDA DE SERVICIABILIDAD $(\boldsymbol{\Delta PSI})$:

La pérdida de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. (Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$(\boldsymbol{\Delta PSI}) = Po - Pt$$
$$(\boldsymbol{\Delta PSI}) = 4{,}2 - 2{,}0$$
$$\boldsymbol{(\Delta PSI) = 2,2}$$

3.1.5.6 ANÁLISIS DE CARGAS Y EJES EQUIVALENTES PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

Se define como ESAL's de diseño a la transformación de ejes de un tránsito liviano que circula por la vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips ó 18, 000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento, haciendo uso del factor de equivalencia de carga, acumulados durante el período de diseño, se hará uso de

las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el Ministerio de Transporte.

Como indican los resultados de los cálculos del estudio de tránsito, la vía en estudio se clasifica en categoría III, caminos rurales con tránsito mediano, caminos estratégicos vía colectora importante con un TPD presente entre 100 y 500 vehículos.

Con base en los criterios expuestos en la metodología, y tomando en cuenta un porcentaje de tránsito atraído y generado igual al 10% respectivamente para el cálculo del Número de Ejes Equivalentes a 8.2 toneladas para el diseño del pavimento, se incluye la corrección del tránsito proyectado para el diseño en la tabla 4:

Año		**Ne**
Base	2024	65.165
5	2029	440.259
10	**2034**	**911.722**
15	2039	1.507.088
20	2044	2.259.654

Tabla 6. *Corrección de tránsito usado para el diseño.*
Fuente: *Estudio de Tránsito Proyecto Vía Monquirá – La Reforma.*

CONFIABILIDAD (R):

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la guía de la AASHTO (1993), recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para el tramo a intervenir y dada la ubicación en la que se encuentra la vía, y el tránsito que utilizará, se asume un valor de confiabilidad $(R) = 80\%$, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación de vía colectora. (Ver tabla 5)

Tipo de Camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rurales interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	**80 – 95**	**75 -95**
Locales	50 – 80	50 –80

Tabla 7.*Niveles de confiabilidad recomendado por la AASHTO, para clasificaciones funcionales diferentes.*
Fuente: *Libro de diseño de pavimentos AASHO 93. Tercera edición. Página 137.*

3.1.5.7 DESVIACIÓN ESTÁNDAR (So):

La desviación estándar (So), es un factor que representa la cantidad de datos dispersos dentro de los cuales pasa la curva real del comportamiento de la estructura.

La desviación estándar considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño, como la predicción del tránsito y el comportamiento del pavimento. Es un valor representativo de las condiciones locales particulares, este parámetro está ligado directamente y depende del nivel de confiabilidad (R) seleccionado; en este paso deberá seleccionarse un valor So "Desviación Estándar Global", representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito. La guía de la AASHTO (1993), recomienda adoptar valores de So comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

La guía de la AASHTO. 1993 recomienda adoptar valores de So comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

Condiciones de diseño	Desviación estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.35 pavimento Rígido
	0.45 Pavimento Flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.40 Pavimento Rígido
	0.50 Pavimento Flexible

Tabla 8. *Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles.*
Fuente: *Libro de diseños para pavimentos. AASHTO 93. Tercera edición. Página 135.*

En el presente estudio se utilizará un valor de desviación estándar de $\boldsymbol{S_o = 0.50}$ para este diseño.

3.1.5.8 COEFICIENTES DE DRENAJE

El drenaje de agua en los pavimentos debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras, debido a que el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento. A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje.

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en la siguiente tabla:

Calidad del Drenaje	Tiempo que tarde el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	**1 semana**
Pobre	1 mes
Muy pobre	Agua no drenada

Tabla 9. *Capacidad de drenaje.*
Fuente: *AASTHO 1993.*

Calidad de 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	1.4 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1,2
Buena	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1	1
Aceptable	**1.25 - 1.15**	**1.15 - 1.05**	**1 - 0.80**	**0,8**
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.8 - 0.60	0,6
muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0,4

Tabla 10. *Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles.*
Fuente: *Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 148.*

Dada las características presentadas se toma un valor aceptable en calidad de drenaje, ya que no se presentan dificultades relevantes relacionadas con aguas freáticas, pero si con aguas superficiales de escorrentía; por lo tanto, para captar muy bien las aguas superficiales y así evitar infiltración de aguas lluvias o de cualquier otro tipo, en la subrasante y estructura de la vía, problemas de pavimentación y vida útil del proyecto, se debe diseñar y construir el sistema de drenaje subsuperficial más conveniente, como: alcantarillas, sumideros, cuneta-sardinel y bermas. Además, se debe diseñar y construir un sistema de drenaje de aguas de escorrentía superficial a nivel de la topografía actual, para canalizar y evacuar el flujo eventual que pueda surgir por diferentes circunstancias tanto naturales (aguas lluvias) como provocadas.

3.1.5.9 PERIODO DE DISEÑO

Se contempla un periodo de diseño del pavimento articulado N = 10 años como media, ya que se define como vía suburbana. (Ver tabla 9)

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20-40 años
Troncales suburbanas	15-30 años
Troncales Rurales	
Suburbanas	**10-20 años**
Rurales	

Tabla 11. *Periodos de diseño.*
Fuente: *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2010.*

3.1.5.10 MÓDULO RESILIENTE (MR):

La base para la caracterización de los materiales de la subrasante en este método es el Módulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición.
Se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR, la guía de diseño de la AASHTO, establece las siguientes correlaciones para encontrar el Módulo Resiliente de la sub rasante.

Valor de CBR	Consideración
CBR<10%	$\boldsymbol{MR = 1500 * CBR}$
CBR>10%	$MR = 4326 * Ln(CBR) + 241$

Tabla 12. *Correlación entre el CBR y Móludo Resiliente.*
Fuente: *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, cap.7, pág. 28.*

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la subrasante de 4,8%, se utiliza el segundo criterio para calcular el Módulo Resiliente de la sub-rasante aplicando la siguiente ecuación:

$$MR = 1500 * CBR$$

$$MR = 1500 * 4{,}8$$

$$\boldsymbol{MR = 7200\ psi}$$

3.1.5.11 COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA:

Son factores estructurales que involucran las características físicas y propiedades de los diferentes materiales, para servir como componente estructural del pavimento.

Los coeficientes estructurales de capa son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos, lo que permite convertir los espesores reales a los números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

3.1.5.12 CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL (SN) Y ESPESORES DE CAPAS (D)

Para encontrar el espesor de la base granular, se halla el número estructural SN, que va a depender de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{SN(N\acute{u}mero\ estrcutural) = a_1 D_1(in) + a_2 D_2(in)}$$

$donde,$

$a_1 = Coeficiente\ de\ la\ capa\ o\ espesor\ de\ la\ arena\ del\ adoquín.$

$D_1 = Espesor\ del\ adoquín.$

$a_2 = Coeficiente\ para\ la\ capa\ de\ la\ base\ según\ módulo\ de\ resiliencia.$

$D_2 = Espesor\ de\ la\ base\ granular\ que\ se\ despeja\ de\ la\ ecuación.$

- **COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA CARPETA (ADOQUÍN) (a_1) :**

Para a_1 : El manual de AASHTO y de INVIAS, tienen establecido que el espesor de la capa de arena de nivelación para el pavimento articulado esta entre 3 a 5 cm, debe ser una arena lavada con menos del 3% de arcilla y con una granulometría uniforme. Para el cálculo del se toma un valor de 5 cm de espesor, entre mayor sea el espesor mejor garantía de nivelación con un factor de $\boldsymbol{a_1 = 0,41}$. Para el

coeficiente estructural del adoquín se utilizó el valor de **0.41**, empleado en el diseño de pavimento articulado por el método AASHTO 93, ilustrado en el Manual Centroamericano de Pavimento pág. 107. Este ensayo fue desarrollado a los efectos de estudiar una propiedad del material que describa mejor el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas.

Designación	Resistencia a la compresión de 5 Adoquines Mpa (PSI)
TIPO R	55 (8000)
TIPO F	**69 (10000)**

Tabla 13. *Resistencia a la compresión, plano, área total, min.*
Fuente*: Autor, adaptado de la NTC 5282*

Para el presente proyecto se contemplan adoquines tipo F o flexibles de 10000 PSI según la NTC 5282 son expuestos a alta abrasión, para lo cual se determina un coeficiente de 0.45 según la AASHTO 1993:

Estabilidad	Coeficiente Estructural
5000	0.33
6000	0.36
7000	0.39
8000	0.41
9000	0.43
10000	**0.45**

Tabla 14. *Coeficiente Estructura para Capa de Rodadura.*
Fuente: *Guía de la AASHTO 1993 para diseño de estructuras de pavimentos.*

- **COEFICIENTE ESTRUCTURAL PARA BASE GRANULAR (a_2) :**

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados, se determina, a partir del Módulo Resiliente.

Para a_2 : Es un factor que depende del módulo de resiliente MR y el valor del CBR. Se determina a partir de los ábacos (Ilustración 6).

Se determina un coeficiente estructural $\boldsymbol{a_2 = 0,135}$ y módulo resiliente del material de **28.500 PSI**, una vez trazada la línea en los ábacos a partir del valor de CBR según el artículo 330 – 13 de norma INVIAS el cual establece que debe ser mínimo el 80%.

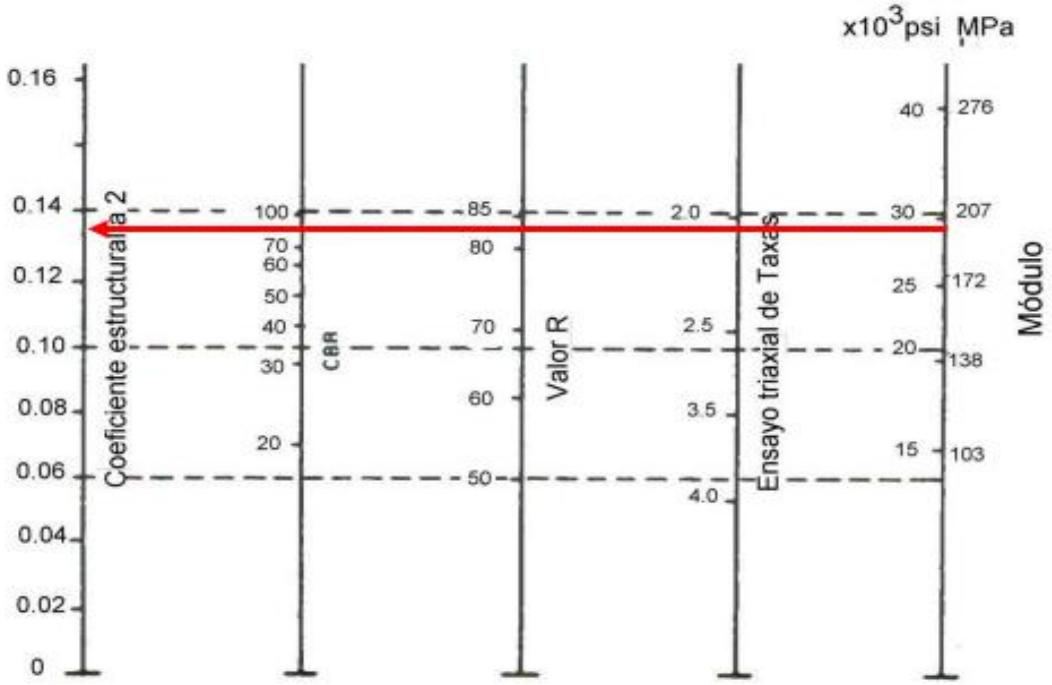


Ilustración 6. *Coeficiente Estructural a2 – Base Granular*
Fuente: *Diseño de Pavimentos método de la AASHTO 1993*

- **ESPESOR DEL ADOQUÍN D_1 :**

Los adoquines se clasifican según su uso o aplicación en “adoquines para tránsito peatonal y vehicular liviano”, según la NTC 3829 y en “adoquines para tráfico vehicular pesado” según la NTC 5282. Como se está diseñando una vía o calle urbana, se va a implementar lo estipulado en la NTC 5282 para adoquines de tránsito vehicular de tráfico pesado.

Para D_1 : Se plantea la colocación de un adoquín de 10 cm de espesor, éste está definido por las dimensiones del mismo como carpeta de rodamiento, por lo tanto, se establece un **$D_1 = 4"$ (pulgadas).** Cumpliendo así el espesor mínimo especificado para adoquines tipo F o flexibles según norma, que es de 67 mm.

- **CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL (SN):**

El número estructural **$SN = 3,15$** se halla en la ilustración 9 y se corrobora por medio de una calculadora (Ver ilustración 7), teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

PARÁMETRO	VALOR	UM
Esal´s	911722	-
Confiabilidad (R)	80	%
Desviación estándar (So)	0.50	-
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2	-
Serviciabilidad Final (Pt)	2	-
Δ PSI	2.2	-
Modulo Resiliente Subrasante (Mr)	7200	PSI
Modulo Resiliente Base (Mr)	28500	PSI

Tabla 15. *Parámetros finales de diseño.*
Fuente: *Autor, 2025.*

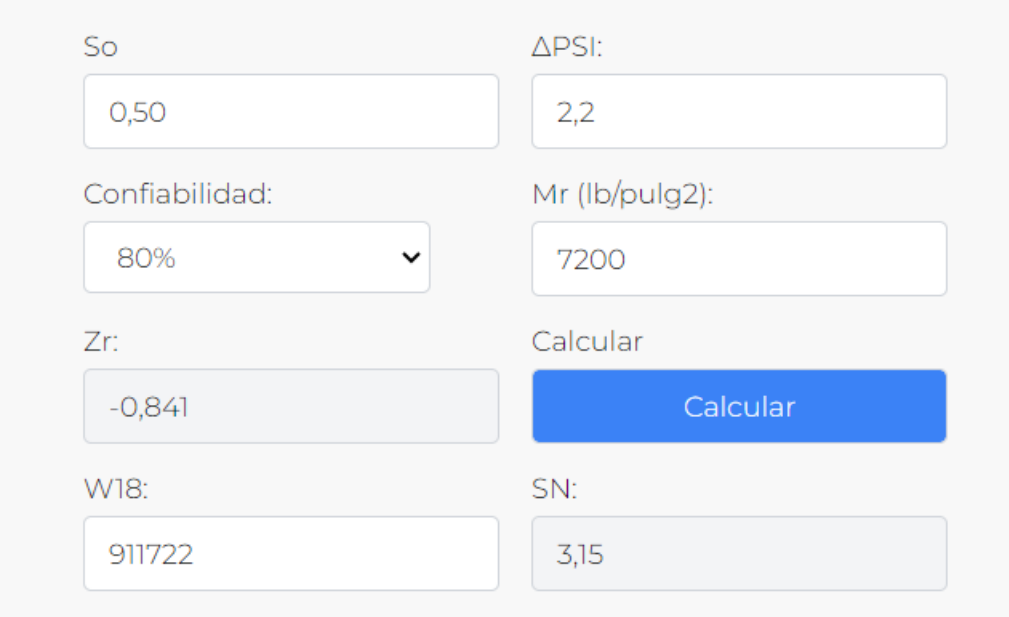


***Ilustración 7**. Cálculo del SN.*
***Fuente:** https://www.ingenieriaelemental.com/posts/es/numero-estructural-sn*

- **ESPESOR DE LA BASE GRANULAR ($\mathbf{D_2}$):**

Para D_2: Para obtener este valor, se despeja de la ecuación dada:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

$$D_2 = \frac{SN - a_1 * D_1}{a_2}$$

$$D_2 = \frac{3.15 - 0{,}41 * 4}{0.135}$$

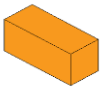
$$\boldsymbol{D_2 = 11.186\ in}$$

$$\boldsymbol{D_2 = 28{,}41\ cm}$$

$$\boldsymbol{D_2 = 0{,}28\ m}$$

3.1.5.13 ESPESORES FINALES DE DISEÑO:

- ✓ $\boldsymbol{Capa\ de\ rodamiento\ (Adoquín) = 10\ cm}$
- ✓ $\boldsymbol{Capa\ de\ arena\ de\ nivelación = 5\ cm}$
- ✓ $\boldsymbol{Base\ granular = 28\ cm}$

SÍMBOLO	CÓDIGO	MATERIAL	ALTERNATIVA DE DISEÑO
	BG	Base Granular	28 cm
	-	Arena	5 cm
	-	Adoquín de arcilla cocida	10 cm

4 LÍMITES Y ALCANCE DEL DISEÑO

- ✓ Los valores para el diseño son estimaciones de campo proporcionados por la **Secretaría de Infraestructura y Proyectos, correspondientes a estudios técnicos del proyecto.**
- ✓ El diseño presentado corresponde exclusivamente a la **estructura del pavimento articulado**, considerando las condiciones actuales del sitio y el tránsito proyectado. No contempla **intervenciones en redes de servicios públicos**, ni modificaciones en la topografía de la vía.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ **Estructura propuesta:** Se proyecta la construcción de un pavimento articulado conformado por tres capas estructurales: una base granular, una cama de arena y una rodadura de adoquín de arcilla recocida, apoyadas directamente sobre la subrasante. La solución estructural propuesta considera una base granular de 28 cm, una cama de arena de 5 cm y una rodadura con adoquín de 10 cm, cumpliendo con los parámetros establecidos en la normativa vigente.

- ✓ **Metodología de diseño:** El diseño se realizó conforme al método AASHTO 93, obteniendo los siguientes coeficientes de capa:

  - **Rodadura (adoquín):** a_1 = 0.41 definido según la AASHTO.
  - **Base granular:** a_2 = 0.135, determinado a partir del módulo resiliente de la base.

- ✓ **Condiciones de la vía y tráfico:** La vía en estudio corresponde a una carretera local suburbana y rural con un ancho de rodamiento de 7 m, un período de diseño de 10 años y un tránsito promedio diario (TPD) entre 0 y 200 vehículos. Se ha definido una disposición en espina de pescado para el adoquín, con el fin de mejorar la resistencia ante esfuerzos verticales y longitudinales inducidos por la carga vehicular.
- ✓ **Estabilización de la subrasante:** Con el fin de garantizar la funcionalidad y durabilidad de la estructura del pavimento durante su vida útil, se recomienda la implementación de un sistema de estabilización de la subrasante. Para ello, se sugiere el uso de **piedra rajón**, que contribuirá a mejorar las condiciones mecánicas del suelo, aumentando su capacidad portante y reduciendo la susceptibilidad a deformaciones y asentamientos. Adicionalmente, la incorporación de **geosintéticos**, como geotextiles o geomallas, permitirá optimizar el desempeño estructural del pavimento al minimizar la deformación diferencial y mejorar la distribución de cargas.

- ✓ **Obras de drenaje:** Se recomienda la incorporación de **nuevas obras de drenaje** que mitiguen el deterioro prematuro del pavimento debido a la acumulación de agua. Se sugiere la construcción de **canales de drenaje pluvial** y la optimización del sistema actual para garantizar una adecuada evacuación del agua.
- ✓ **Elementos de confinamiento:** Se recomienda la instalación de **sardineles prefabricados** que garanticen la estabilidad lateral del pavimento y eviten desplazamientos de los adoquines debido a las cargas vehiculares.
- ✓ **Pendiente transversal:** Para mejorar la evacuación del agua superficial y reducir el riesgo de encharcamiento, se recomienda un **bombeo mínimo del 2%** en la rodadura, la cama de arena y la base granular.
- ✓ **Compactación y control de calidad:**
    - Es fundamental garantizar una **compactación adecuada** en cada capa de la estructura del pavimento, ya que una compactación deficiente puede generar **deformaciones plásticas, asentamientos diferenciales y ahuellamientos**, afectando la integridad de la vía.
    - Se recomienda realizar **pruebas de laboratorio y ensayos in situ** para verificar que los materiales utilizados cumplan con los estándares de calidad exigidos por la normativa vigente.
- ✓ **Sellado de juntas y mantenimiento:** Para prevenir la infiltración de agua y mejorar la durabilidad del pavimento, se recomienda la aplicación de un **sello en las juntas de los adoquines**, utilizando materiales que garanticen flexibilidad y resistencia a la intemperie.
- ✓ **Buenas prácticas constructivas y responsabilidades:**

  Durante la ejecución de la obra, se deberá garantizar el cumplimiento de las mejores prácticas en la instalación de cada capa estructural, incluyendo:
    - **Distribución uniforme y compactación controlada** de la cama de arena.
    - **Colocación precisa de los adoquines**, evitando la apertura de juntas excesivas.

- **Correcto confinamiento lateral** mediante la instalación de bordillos adecuados.
- **Monitoreo de la estabilidad del terreno** antes y después de la construcción.

✓ Tanto el **constructor como el interventor** son responsables de la **correcta ejecución del pavimento**, asegurando que se cumplan las especificaciones técnicas y los controles de calidad en cada etapa del proceso constructivo.

✓ **Cumplimiento de normativas:**

- Se debe garantizar que los materiales utilizados en la construcción cumplan con los requisitos establecidos en la **Norma Técnica Colombiana (NTC)** y en el **Instituto Nacional de Vías (INVIAS)**.
- Particularmente, se debe verificar la calidad de los **adoquines de arcilla recocida** y de los materiales de la **base granular**, asegurando que cumplan con las propiedades mecánicas y de durabilidad exigidas por la normativa.

ING. DANIELA HERNÁNDEZ S.
M.P. 041037-0588362 BYC