



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**APOYO A LA REVISIÓN DEL PROYECTO DE  
MEJORAMIENTO DE VÍAS MEDIANTE LA  
PAVIMENTACIÓN DE LA RED VIAL TERCIARIA DE  
LAS VEREDAS CAÑO NEGRO Y CAÑO BONITO EN  
LA GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA.**

Autor

Ruth Andrea Otero Mendoza

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2019



Apoyo a la revisión del proyecto de mejoramiento de vías mediante la pavimentación de la red vial terciaria de las veredas caño negro y caño bonito en la Gobernación de Antioquia.

Ruth Andrea Otero Mendoza.

Informe de práctica como requisito para optar al título de:  
Ingeniería Civil.

Asesores.

Edwin Fabián García Aristizabal, Ingeniero Civil

Luis Alberto Correa Ossa, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental.  
Medellín, Colombia  
2019.

## **1. Resumen**

En el periodo de gobierno 2016-2019 del Departamento de Antioquia, con el Plan de Desarrollo “Antioquia piensa en grande 2016-2019” (Gobernación de Antioquia, 2016), se ha invertido en el desarrollo del sector rural mediante el mejoramiento de la red vial terciaria del Departamento a través de la pavimentación con placa huella y material granular tratado con cemento MGTC. En el siguiente trabajo se ilustrará el análisis de las variables que intervienen en el proyecto de mejoramiento de vías terciarias mediante la pavimentación en las veredas caño negro y caño bonito en el municipio de Yondó. Con el fin de ejecutar dicho proyecto con aportes del departamento y del municipio, se realiza una revisión de dicho proyecto para verificar que este cumpla con las especificaciones de la gobernación y así dar a conocer su viabilidad.

## **2. Introducción**

Las vías de tercer orden son las encargadas de conectar las cabeceras municipales con las veredas, corregimientos y a estos entre sí, por ende, son de vital importancia para el desarrollo económico, social y cultural de una región. Estas vías mejoran la calidad de vida de las comunidades que se encuentran en zonas de difícil acceso, ya que se permiten el transporte de productos con mayor facilidad a otros lugares, contarán con viajes en un menor tiempo y generarán nuevos servicios. Por esto, es trascendental que el país realice una mayor inversión en estas vías, para así poder generar un gran avance en el sector rural a nivel nacional.

Siendo el departamento de Antioquia uno de los más importante a nivel nacional debido a su participación económica (PIB), la cual fue de 14.46% en el 2017 según el DANE (DANE, 2017). En este se registra actualmente un total de 11.630 km de red vial terciaria, en las cuales, el 65% se encuentran en mal estado; por ende, este presenta una baja productividad y competitividad en su sector rural. En respuesta a esto la gobernación de Antioquia con su programa de “Antioquia piensa en grande 2016-2019” ha invertido en el mejoramiento de estas vías terciarias principalmente mediante placas huellas y en materiales granulares tratados con cemento.

De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se pretende exponer la revisión y el análisis del proyecto propuesto por el municipio de Yondó, el cual cuenta con 341.44 km de vías, de las cuales 109.3 km son vías secundarias, 33.64 km vías urbanas y 198.5 km vías de terciarias. De la red vial terciaria solo 11km (5.54%)

se encuentran en buen estado y en ejecución de mejoramiento (Municipio de Yondó), por lo cual se debe seguir invirtiendo en este tipo de vías para poder conectar la población rural con la cabecera municipal y los centros de producción con el campo. El proyecto presentado se realizará en las veredas Caño Bonito y Caño Negro de dicho municipio, la vía a pavimentar consta de 8km de longitud y de 5m de ancho, el municipio presenta este proyecto para su respectiva revisión por parte de la Gobernación, ya que el proyecto se pretende ejecutar en la cofinanciación de estos dos entes. Se estimará un presupuesto aproximado del pavimento, luego de recolectar la información de interés del proyecto y así proceder con el análisis del tránsito de la vía (tipo de vehículos andantes), además de la geología de la zona, y así seguir con la revisión de la estructura del pavimento propuesto, con el fin de dar a conocer la viabilidad del proyecto la cual depende de los aportes del Municipio y de la Gobernación.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivos Generales.**

- Analizar las variables que intervienen en la pavimentación con material granular tratado con cemento de la red vial terciaria de uno de los municipios del Departamento de Antioquia.

#### **3.2. Objetivos específicos.**

- Identificar las características de diseño de un proyecto de pavimentación con material granular, tales como el nivel de tránsito vehicular, topografía y la geología de que se presentara en la vía en estudio.
- Revisar y analizar la estructura del pavimento propuesta, con su debido proceso constructivo de la vía terciaria en estudio.
- Estimar el presupuesto necesario a invertir para el desarrollo de un proyecto de pavimentación de una vía terciaria.

### **4. Marco Teórico**

#### **4.1. Red Vial Departamento de Antioquia.**

“-La Red Vial Nacional está compuesta por vías de primer orden, las cuales son de competencia nacional y que son administradas por agencias como el INVIAS, ANI

o Concesiones viales. Estas se conocen como Red Vial Primaria (RVP) o red que conecta los departamentos con las capitales, zonas de producción y consumo del país y de este con los demás países. En Antioquia, esta red vial se compone por 56 vías para un total de 1.827,5km.

La Red Vial Departamental está compuesta por vías de primero, segundo y tercer orden a cargo de cada Departamento. Ésta, se conoce como Red Vial Secundaria (RVS) o red que conecta cabeceras municipales. Está compuesta por 165 vías para un total de 4.558,6 km.

La Red Vial Terciaria, o red vial que comunica dos o más veredas entre sí o con una cabecera municipal, está compuesta de vías de segundo o tercer orden, a cargo en su mayoría de los municipios (2.339 vías) y en menor medida a cargo del INVIAS (130 vías) y el departamento de Antioquia (28 vías). Está compuesta por 2.497 vías para un total de 11.630,9km.” (Gobernación de Antioquia)

#### **4.2. Clasificación del Tránsito Vehicular.**

Para la ejecución de cualquier pavimento una de las variables a considerar es la clasificación de los vehículos que transiten en la vía.

“Según los lineamientos regulativos de la clasificación del tipo de vehículos por peso y por ejes, la resolución 4100 de 2004, expedida por el Ministerio de Transporte, dictamina la siguiente clasificación:

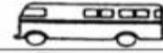
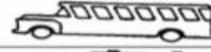
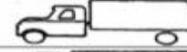
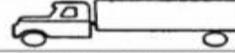
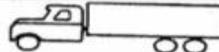
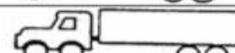
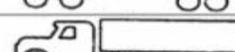
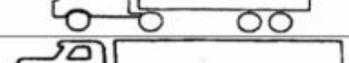
Tipo A: En esta categoría se agrupan los automóviles, camperos, camionetas, y microbuses, según la clasificación del Instituto Nacional de Vías -INVIAS- este grupo se denomina con la letra A.

Tipo B: En esta categoría se agrupan las busetas y los buses, según el INVIAS, este grupo se denomina con la letra B.

Tipo C: Este grupo, que se designa con la letra C, son los vehículos de carga que se designan de acuerdo con la configuración de sus ejes de la siguiente manera:

- Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tracto camión (Cabezote).
- La letra S significa semirremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

- La letra R significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes
- La letra B significa remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes La diferencia entre el semirremolque y el remolque radica en que el primero le trasmite parte de la carga a la unidad tractora y el segundo transmite toda la carga al pavimento a través de sus propias llantas.” (Alvarez Pabón & Londoño Naranjo, 2008)

TIPO DE VEHÍCULO		ESQUEMA
AUTOS		
BUSES	BUSETA	
	BUS	
	BUS METROPOLITANO	
C2-P	CAMIÓN DE DOS EJES PEQUEÑOS	
C2-G	CAMIÓN DE DOS EJES GRANDES	
C3 Y C4	CAMIÓN C3	
	CAMIÓN C4	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S1	
	TRACTOR-CAMIÓN C2-S2	
	TRACTOR CAMIÓN C3-S1	
C5	TRACTOR CAMIÓN C3-S2	
> C5	TRACTOR CAMIÓN C3-S3	

**Ilustración 1.** Esquema de Clasificación de vehículos. **Fuente:** Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

### 4.3. Tránsito- Ejes Equivalentes.

El volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Esta carga según la AASHTO es de 80 kN y esta conversión se realiza mediante factores equivalentes de carga. (Instituto Nacional de Vías, 2007)

#### 4.3.1. FD- Factor de Daño

Se origina por el peso de la carga transportada por los vehículos, los cuales se indican en la Tabla 1. Se deben aplicar para calcular los ejes equivalentes de 80 kN. (Instituto Nacional de Vías, 2007)

Tipo de vehículo	Factor de daño (FD)	
	Vacío	Cargado
Autos		0
Busetas		0,4
Buses		1,0
C2p	0,01	1,1
C2g	0,08	2,72
C3 - C4	0,24	3,7

**Tabla 1.** Factor daño por tipo de vehículo. **Fuente:** Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

#### 4.3.2. Fd - Factor Direccional:

Es el tránsito que circula por un carril, llamado carril de diseño, se debe considerar las características de la vía (Instituto Nacional de Vías, 2007), en la Tabla 2 se muestra el factor direccional de acuerdo al ancho de la vía:

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

**Tabla 2.** Factor Direccional. **Fuente:** Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

#### 4.4. Las Categorías de Tránsito

El tránsito de diseño para las vías se clasifica en función del número de ejes equivalentes de 80 kN previstos durante el período de diseño en el carril de diseño. (Instituto Nacional de Vías, 2007), En la Tabla 3 se indican las categorías de tránsito adoptadas.

NIVEL DE TRÁNSITO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 kN EN EL CARRIL DE DISEÑO, $N_{80kN}$ , MILLONES
NT1	$N_{80kN} \leq 0.5$
NT2	$0.5 < N_{80kN} \leq 5.0$
NT3	$N_{80kN} > 5.0$

**Tabla 3.** Niveles de tránsito. **Fuente:** Norma INVIAS, Artículo 100-13

#### **4.5. Pavimento.**

Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la Sub-rasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñado la estructura y el efecto degradante de los agentes climáticos. (Instituto Nacional de Vías, 2018)

#### **4.6. California Bearing Ratio (CBR)**

Es una prueba de penetración para comprobar las características mecánicas de un suelo. El índice CBR se ha desarrollado para medir la capacidad de carga de los suelos a la hora de construir carreteras, aunque también se puede utilizar para caminos rurales. (Wikipedia).

#### **4.7. Módulo Resiliente (MR)**

“La resiliencia en los suelos se entiende como la capacidad que tienen éstos para recuperarse después de una sollicitación de carga, cuando se trabajan bajo deformaciones en una zona elástica supuesta.” (Osorio, 2002) Medida de las propiedades elásticas del suelo.

#### **4.8. Numero estructural (SN)**

Número abstracto que expresa la capacidad estructural requerida por el pavimento para condiciones dadas de calidad de suelo, condiciones de tráfico, variación de serviciabilidad durante la vida útil del pavimento. El número estructural se convierte a una combinación de espesores de capa, combinando coeficientes que representan la capacidad estructural relativa del material de cada capa. (Garcia, S.f.)

#### **4.9. Coeficientes estructurales (ai)**

Coeficiente que representa la capacidad estructural del material para resistir las cargas solicitadas. Los materiales utilizados en cada uno de las capas de la estructura del pavimento flexible, de acuerdo a sus características tienen un coeficiente estructural. (Garcia, S.f.)

#### 4.10. Coeficientes de Drenaje de las capas granulares (mi)

Para tener en cuenta el efecto del grado de saturación que podrían tener las capas granulares por efecto de las condiciones climáticas, se han adoptado, en función de la categoría de clima por humedad, los coeficientes de drenaje  $m_i$  que se presentan en la siguiente tabla. (Instituto Nacional de Vías)

Clasificación climática por humedad	$m_i$
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

**Tabla 4.** Coeficiente de drenaje. **Fuente:** Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

#### 4.11. Índice de serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento se define como su habilidad para atender el tipo de tráfico (automóviles y camiones) que utilizan la vía. El índice de capacidad de servicio, que varía de 0 (camino imposible) a 5 (camino perfecto). (AASHTO, 1993). La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

#### 4.12. Confiabilidad R ( $Z_r, S_o$ )

Es la probabilidad de que el pavimento llegue a su falla funcional después de que se haya acumulado el número de ejes de 80 kN previstos para el diseño. (Instituto Nacional de Vías, 2007)

#### 4.13. Subrasante

Superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento. (Instituto Nacional de Vías, 2018)

#### 4.14. Sub-base

Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material grueso. Se emplea como capa en la instalación de pavimentos asfálticos y de concreto. Si el proyecto no aclara las especificaciones a utilizar esta debe cumplir las del Invias-sub-base granular artículo 320 – 13. (Instituto Nacional de Vías, 2012)

#### 4.15. MGTC. Capa con Material Granular Tratado Con Cemento

Mezcla uniforme de agregados pétreos (existentes, como afirmado de la vía o importados para completar los espesores del diseño), cemento hidráulico, agua, de acuerdo con las dimensiones, alineamientos y secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por la Secretaria de Infraestructura Física o por el interventor delegado por ésta. (Gobernación de Antioquia, 2017)

### 5. Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados, fue necesario recopilar la información acerca del tema de interés, por lo cual se extrajeron los lineamientos a seguir para la pavimentación de vías terciarias del Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito, de las especificación particular SIF-ANT-2017-001 suministrado por la Gobernación de Antioquia y de especificaciones del INVIAS.

Es decir, se analizó las características que influyen en la ejecución del pavimento, tales como el tránsito, la geología, el modo de construcción y los requisitos exigidos para cada capa del pavimento como la capacidad de soporte, la fórmula de trabajo, la resistencia a compresión, espesores, entre otras, todo esto con el fin de verificar que se cumplan las especificaciones solicitadas a los municipios y asegurar la correcta realización del proyecto.

En el siguiente diagrama de flujo se ilustrará de una mejor manera la metodología a seguir en el presente trabajo.

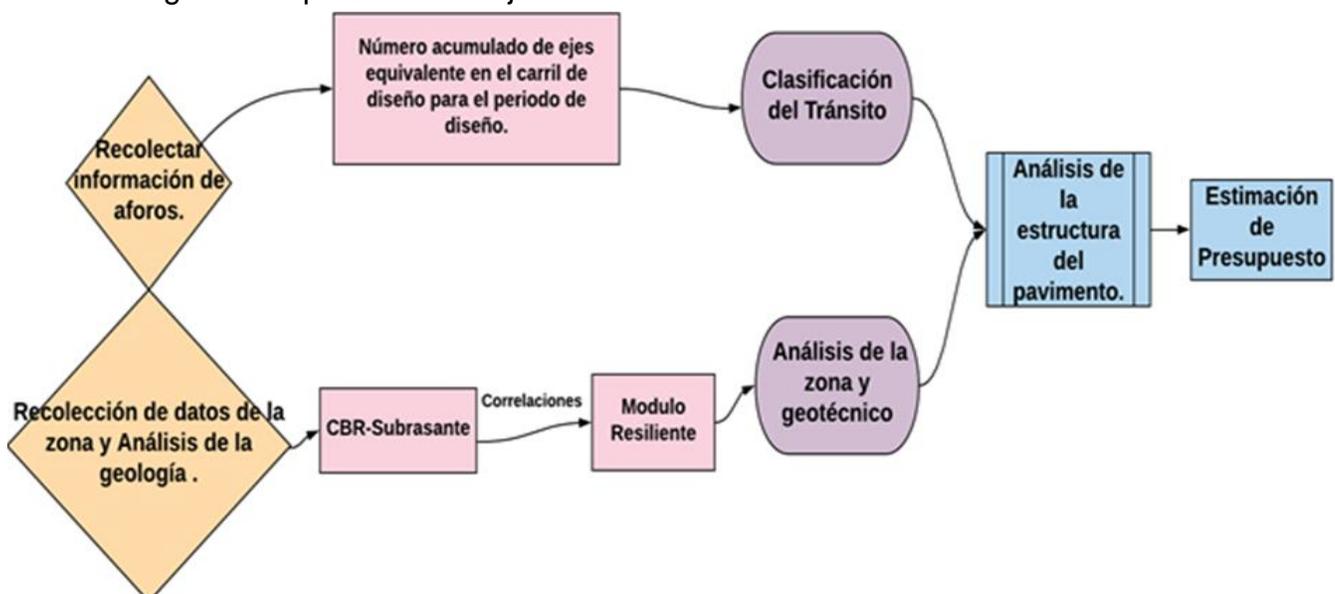


Ilustración 2. Metodología del trabajo. Fuente: Elaboración Propia.

Se procedió a estudiar el municipio en donde se ejecutará el proyecto, identificando la población afectada, las dimensiones de la sección transversal donde se ejecutará la vía, geología y tránsito de la zona (tipos de vehículos que transiten la vía), para conocer la capacidad requerida por el pavimento.

Inicialmente se examina la información entregada por el municipio tales como, los resultados de aforos, en donde se analiza los tipos de vehículos que transiten en la vía, para así proceder a revisar el número de ejes equivalentes acumulado en el carril de diseño para el periodo de diseño y se calcula mediante la siguiente ecuación:

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

*Ecuación. 1.*

Como se puede observar la ecuación 1 esta depende del número de ejes equivalentes en el año base, y esta a su vez de parámetros como el factor daño, el factor direccional, que se pueden extraer de las tablas 1 y 2, respectivamente, además del número de vehículos el cual se obtiene de los aforos, para el cálculo de dicho valor se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$N = 365 * Fd * FD * n \quad \text{Ecuación. 2.}$$

Una vez calculado el número de ejes equivalentes en el año base, se procede a calcular el número de ejes equivalentes acumulado en el carril de diseño para el periodo de diseño con la ecuación 1, teniendo en cuenta el periodo de diseño de la vía y la tasa de crecimiento del tránsito.

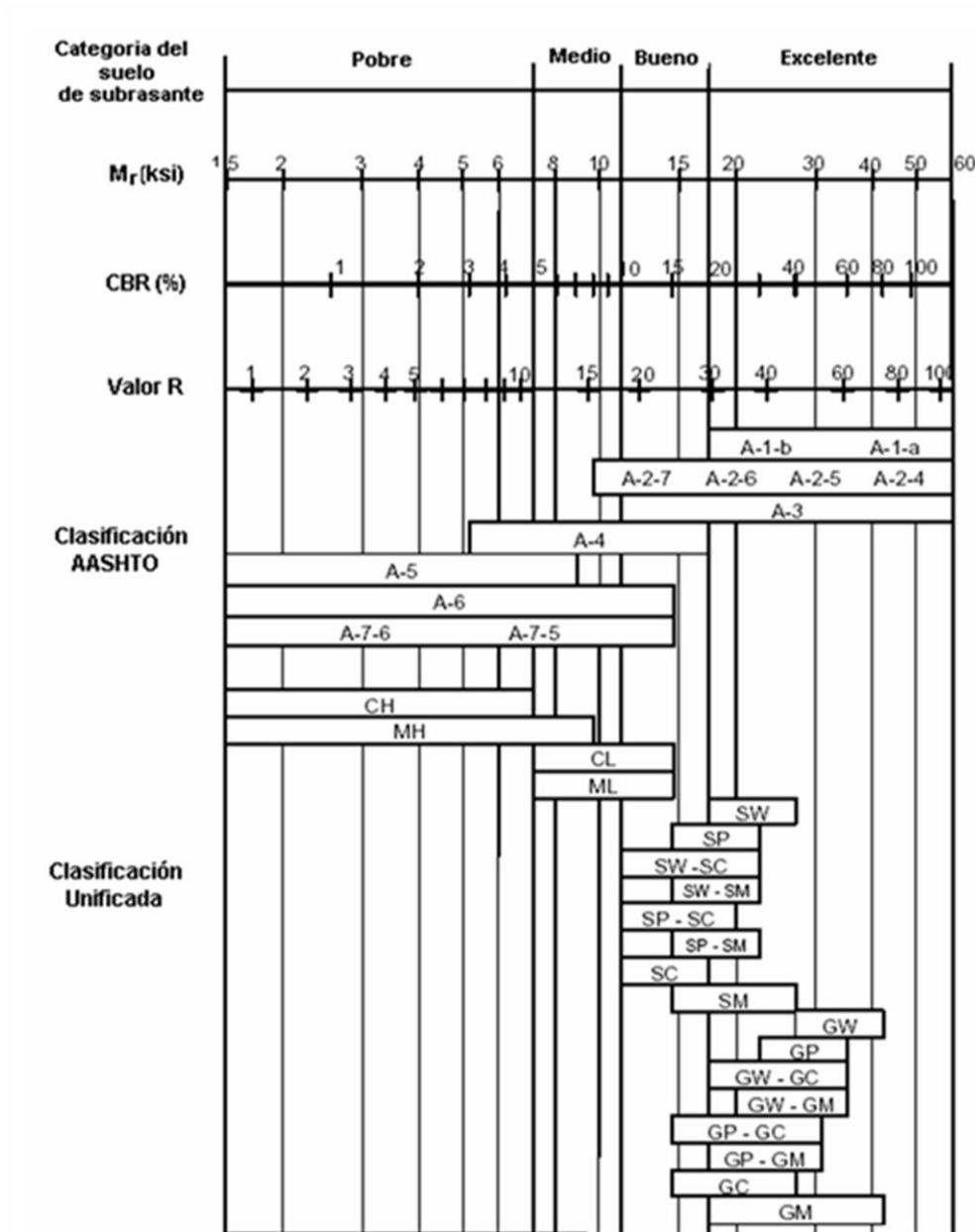
Con este dato se procede a clasificar el tránsito que se presenta en la vía mediante la Tabla 3.

Para el análisis de la subrasante el Manual de Diseño de Pavimentos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito recomienda evaluar, como mínimo, cinco (5) puntos en cada segmento, uniformemente espaciados a lo largo del mismo. Si la longitud del segmento es mayor de mil metros (1.000 m) se deberán hacer sondeos cada doscientos metros (200 m), para la identificación de los parámetros. (Instituto Nacional de Vías)

Una vez determinado el CBR por medio de ensayos de laboratorio o por las correlaciones recomendadas en el manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito, se debe organizar los valores calculados y elegir el

valor representativo del CBR de la subrasante utilizando un criterio conservador. A continuación, se ilustrarán algunas de las correlaciones recomendadas:

- Mediante la clasificación del suelo se puede obtener el CBR de dicho suelo, en la siguiente ilustración se puede observar:



**Ilustración 3 .Correlación AAHTO. Fuente:** Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito

- Para el cálculo del CBR de la subrasante, la correlación que se indica en Manual de Diseño de Pavimentos para Vías con Bajos Volúmenes de Transito del INVIAS, para suelos con un contenido de plasticidad, es decir que el parámetro (w x IP) es mayor que cero, y la fracción que pasa el tamiz de 0.074 mm (No.200) es mayor del once por ciento (11%) (Instituto Nacional de Vías),es la siguiente:

$$CBR = \frac{75}{1 + 0.728(w \times IP)} \quad \text{Ecuación. 3}$$

Con el propósito de establecer los tipos de estructura de pavimento más compatibles con la capacidad de soporte de la subrasante se han definido las categorías que se indican en la Tabla 5.

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

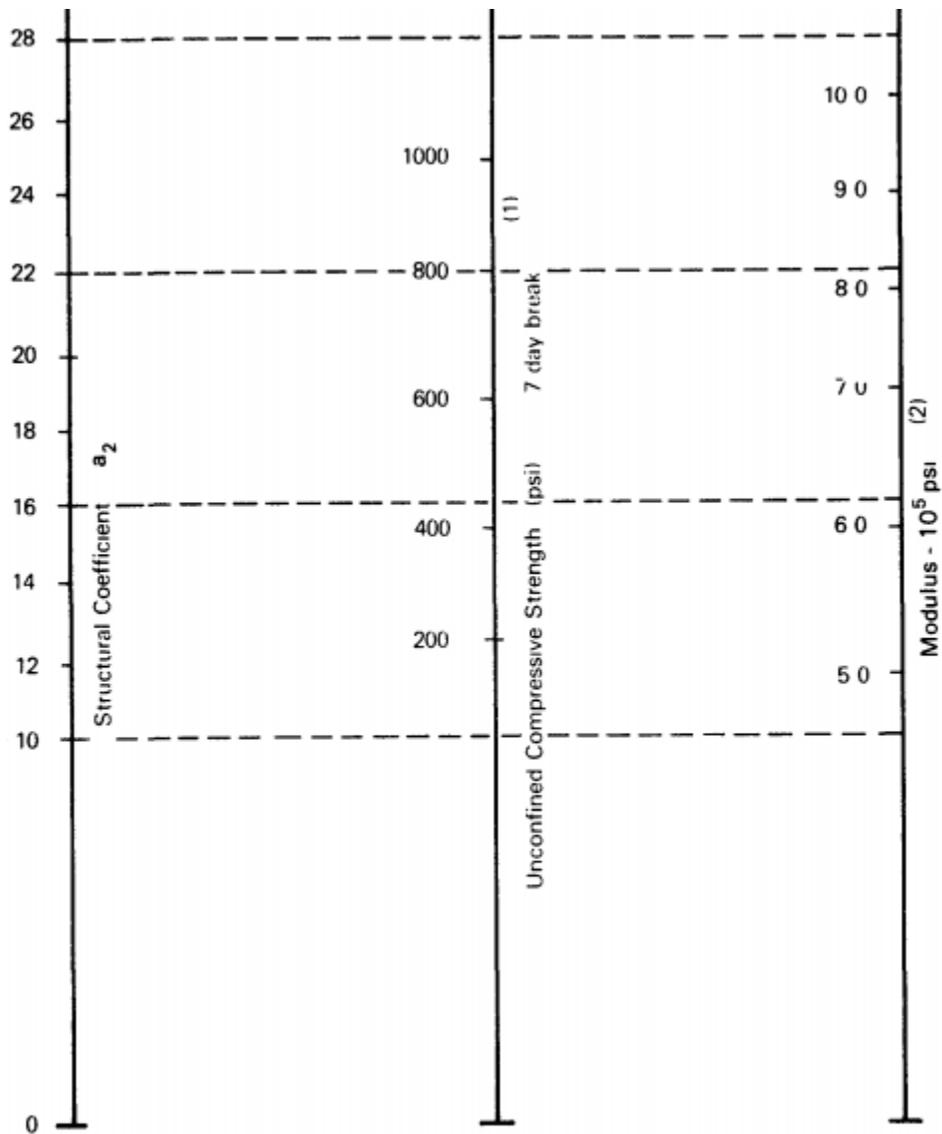
**Tabla 5.** Categoría de Subrasante. **Fuente:** Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

Una vez establecido el valor del CBR de la subrasante de la Unidad definitiva de diseño se deberá calcular el valor del Módulo Resiliente, utilizando las correlaciones propuesta por la AASHTO que se indica a continuación:

- Para suelos con un  $CBR < 10\%$

$$Mr \text{ (psi)} = 1500 \times CBR \quad \text{Ecuación. 4}$$

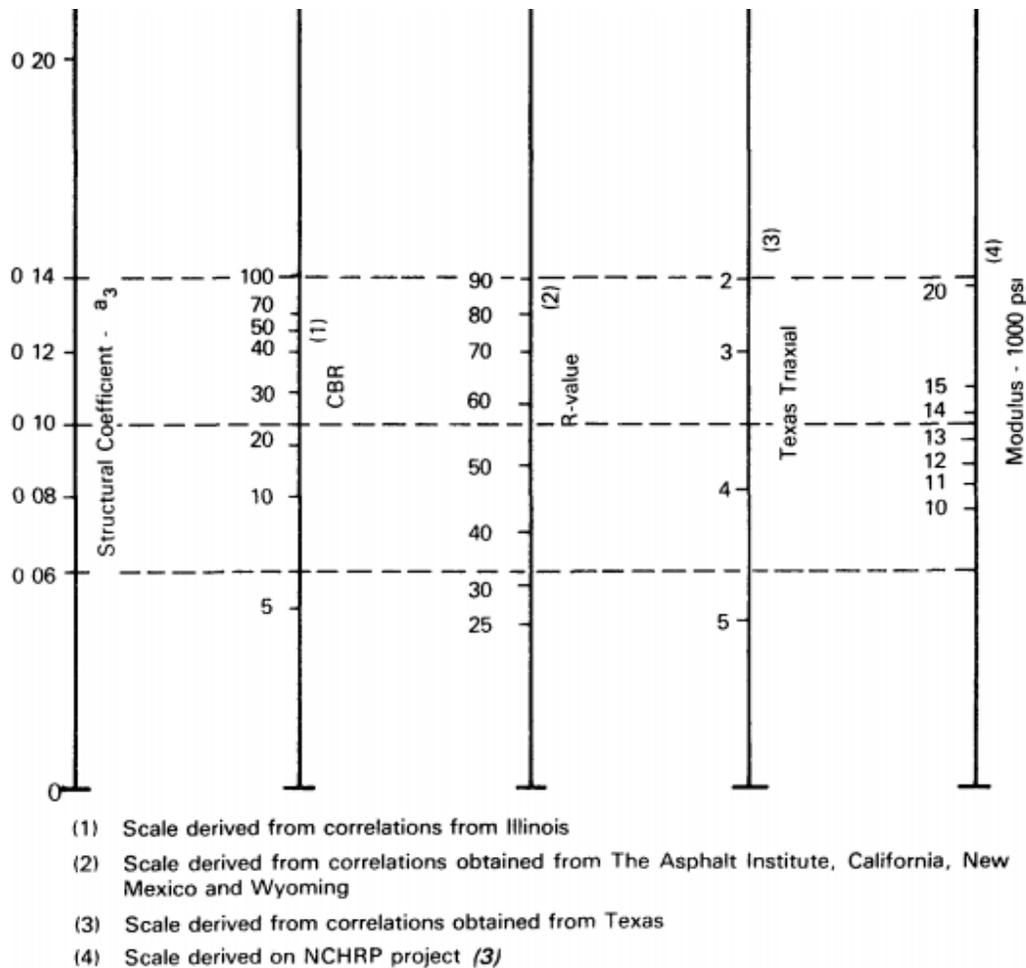
- Para el MGTC, el módulo resiliente se calcula con el siguiente ábaco del AASTHO-93, con la resistencia a compresión a los 7 días.



(1) Scale derived by averaging correlations from Illinois Louisiana and Texas  
 (2) Scale derived on NCHRP project (3)

**Ilustración 4.** Abaco AASTHO-93 para bases tratadas con cemento. Fuente: AASTHO-93 Guide for Design of Pavements Structure 1993.

-Para la sub-base, el módulo resiliente se calcula con el siguiente ábaco del AASTHO-93, utilizando el CBR.



**Ilustración 5.** Abaco AASTHO-93 para Subbase Granular. **Fuente:** AASTHO-93 Guide for Design of Pavements Structure 1993

Para el análisis de la estructura del pavimento inicialmente se debe tener conocimiento de la metodología que se utilizó para el dimensionamiento, en este caso es AASHTO – 93.

La ecuación básica de diseño empleado para el dimensionamiento de las estructuras de pavimento, propuesta por la AASHTO, tiene en cuenta condiciones de tránsito, confiabilidad, serviciabilidad y resistencia de la subrasante.

$$\text{Log } N_{80\text{kN}} = Z_r \times S_o + 9.36 \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \left[ \frac{\text{Log} \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32 \text{Log } M_r - 8.07$$

*Ecuación.5*

En donde:

**N80kN:** Número acumulado de ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el período de diseño

**Zr, So:** Parámetros de confiabilidad en el diseño

**SN:** Número estructural

**PSI $\Delta$ :** Pérdida de serviciabilidad, PSI  $\Delta$  = 2.2

**Mr:** Módulo resiliente, en psi.

Haciendo uso del ejecutable Ecuación AASHTO-93 el cual utiliza la ecuación 5, se determinan los números estructurales (SN) para cada capa del pavimento flexible. Luego, con el SN de cada capa se procede a determinar los espesores, con el fin de que estas igualen o superen el número estructural de la subrasante mediante la ecuación 6.

$$SN = \sum a_i * d_i * m_i \quad \text{Ecuación. 6}$$

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3 \quad \text{Ecuación. 7}$$

Dónde:

**d<sub>i</sub>** - Es el espesor en pulgadas de la capa i.

**a<sub>i</sub>** - Es el coeficiente estructural de la capa i,

- Para capas granulares se calcula aplicando la ecuación propuesta por AASHTO:

$$a_i = 0,058 \times CBR^{0,19} \quad \text{Ecuación. 8}$$

- Para capas granulares tratadas con cemento se puede calcular con la Ilustración 4 la cual relaciona el coeficiente estructural con el MR y la resistencia a compresión a los 7 días.
- En cuanto a la carpeta asfáltica se toma como referencia la siguiente tabla recomendada por el INVIAS.

Tipo de mezcla asfáltica	Coeficiente de capa, ai	*TMAP (°C)
MDC-19	0,44	TMAP < 13 °C
MDC-19	0,37	13 °C ≤ TMAP ≤ 20 °C
MDC-19	0,30	20 °C ≤ TMAP ≤ 30 °C

\*TMAP = Temperatura media anual ponderada de la región.

**Tabla 6.** Valores del coeficiente estructural para mezclas asfálticas. **Fuente:** Manual de diseño de pavimentos asfálticos del Instituto Nacional de Vías.

**mi** - Es el coeficiente de drenaje de la capa i, el cual se puede extraer de la tabla 4.

Definidos estos parámetros, se calculó los espesores con la ecuación 7 de las diferentes capas de la siguiente manera:

$$D1 \geq \frac{SN1}{a1} \quad D2 \geq \frac{SN2 - SN1}{a2 * m2} \quad D3 \geq \frac{SN3 - SN2}{a3 * m3}$$

Si los espesores calculados de alguna de las capas no cumplen con el mínimo que exige el manual del Invias, se debe recalculer el número estructural SN de las capas con la ecuación 6, empezando con el espesor mínimo exigido de dicha capa, y así volver a calcular los espesores de la demás, a pesar de que cambien los espesores y los números estructurales de las capas estos deben seguir cumpliendo con el SN requerido por el pavimento, el cual es el de la subrasante.

Con la estructura del pavimento propuesta se procede a verificar y analizar si las características de las capas cumplen con los requisitos exigidos por la Secretaria de Infraestructura Física y del Invias. Además de la descripción del proceso constructivo.

MATERIALES																												
MATERIAL GRANULAR	<p>El material granular a ser tratado con cemento serán los afirmados existentes en la vía o en su defecto la combinación de granulares existente importados para completar el espesor de diseño.</p> <p><b>Tabla 1. Requisitos de los agregados para materiales granulares tratados con cemento</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ENSAYO</th> <th>NORMA DE ENSAYO INV</th> <th>REQUISITO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3">Dureza</td> </tr> <tr> <td>Desgaste en la Máquina de los Ángeles (Gradación Tipo A), máximo (%) ▪ 500 revoluciones</td> <td>E-218</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Limpieza</td> </tr> <tr> <td>Límite líquido, máximo (%)</td> <td>E-125</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Índice de plasticidad, máximo (%)</td> <td>E-125 y E-126</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Contenido de ferrones y arcillas, máximo (%)</td> <td>E-211</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Resistencia del material</td> </tr> <tr> <td>CBR para una compactación del 95 % del ensayo modificado de compactación (norma INV E-142), medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo (%).</td> <td>E-218</td> <td>≥ 10%</td> </tr> </tbody> </table>	ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO	Dureza			Desgaste en la Máquina de los Ángeles (Gradación Tipo A), máximo (%) ▪ 500 revoluciones	E-218	50	Limpieza			Límite líquido, máximo (%)	E-125	40	Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	9	Contenido de ferrones y arcillas, máximo (%)	E-211	2	Resistencia del material			CBR para una compactación del 95 % del ensayo modificado de compactación (norma INV E-142), medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo (%).	E-218	≥ 10%
ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO																										
Dureza																												
Desgaste en la Máquina de los Ángeles (Gradación Tipo A), máximo (%) ▪ 500 revoluciones	E-218	50																										
Limpieza																												
Límite líquido, máximo (%)	E-125	40																										
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	9																										
Contenido de ferrones y arcillas, máximo (%)	E-211	2																										
Resistencia del material																												
CBR para una compactación del 95 % del ensayo modificado de compactación (norma INV E-142), medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo (%).	E-218	≥ 10%																										
CEMENTO	El cemento deberá ser cemento Hidráulico de uso																											

	<p>general, el cual deberá cumplir lo especificado en la especificación particular EP GANT-002. (Gobernacion de Antioquia, Secretaria Infraestructura Fisica, 2017)</p> <p>No se permitirá el empleo de cemento que haya fraguado parcialmente o que contenga terrones del producto endurecido. Tampoco se permitirá el empleo de cemento extraído de bolsas usadas en jornadas anteriores.</p>
AGUA	El agua que se requiera deberá ser limpia y deberá estar libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales.

**Tabla 7.** Especificaciones de los Materiales que conforman la mezcla de MGTC. **Fuente:** Especificación Particular SIF-001.

En cuanto a la capa de sub-base cumplir con el espesor mínimo y con las especificaciones Invias-sub-base granular artículo 320 – 13.

En Cuanto al Material Granular Tratado con cemento con las siguientes especificaciones:

#### Diseño de Mezcla de MGTC.

El diseño de la mezcla del material tratado con, cemento se deberá hacer en las condiciones más homogéneas de este. Si se encuentra distintos materiales a lo largo del proyecto, deberá hacerse tantos diseños como sea necesario, de tal manera que sean representativos del material que se encuentre en la vía. La mezcla granular tratado con cemento se diseñará mediante los criterios de resistencia a la compresión indicado en la siguiente tabla. (Gobernacion de Antioquia, Secretaria Infraestructura Fisica, 2017)

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE RESISTENCIA R 2.0
Resistencia		
Comportamiento de la resistencia con: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incremento en el contenido de cemento</li> <li>▪ Incremento en la edad</li> </ul>	E-614 Ajustado	Crece Crece
Resistencia a la compresión a 7 días, MPa <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mínima</li> <li>▪ Máxima</li> </ul>	E-614 Ajustado	1,8 2,5
Módulo resiliente	E-156	Reportar
Tracción indirecta	E-411	Reportar

**Tabla 8.** Criterios de diseño para la mezcla de MGTC. **Fuente:** Especificación Particular SIF-001.

La Fórmula de trabajo establecida como resultado del diseño de la mezcla deberá indicar:

- La granulometría del agregado
- El contenido óptimo de cemento
- El tipo y la marca de cemento empleado en el diseño
- El valor de resistencia a compresión a los 7 días
- Los porcentajes óptimos de agua para la mezcla y compactación

Para el material granular tratado con cemento, se deberá buscar un material granular que cumpla con las especificaciones del artículo 350-13 del Invias.

Para la capa de rodadura se verifica el espesor mínimo, no se pueden tener un espesor (h) menor a un mínimo preestablecido. Para las mezclas asfálticas en frío y en caliente el espesor mínimo se definió para garantizar la protección de la capa subyacente, tal como la obliga el Método AASHTO-93. (Instituto Nacional de Vías)

- El espesor mínimo establecido por el Método AASHTO-93 en función de la categoría de tráfico, así:

Categoría de tráfico	Rango de ejes de 80 kN en el carril de diseño	$h_{min}$ (mm)
T1	< 150.000	50
T2	150.000 - 500.000	75

**Tabla 9.** Espesor mínimo de la carpeta de rodadura establecido por el método AASTHO-93. **Fuente:** Manual de diseño de pavimentos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

Posteriormente, se estimará el presupuesto necesario para la realización de dicha pavimentación y así visualizarla viabilidad del proyecto. Finalmente, se presentará un análisis de las ventajas y desventajas que se evidencien al utilizar este tipo de pavimentación.

## 6. Resultados y análisis

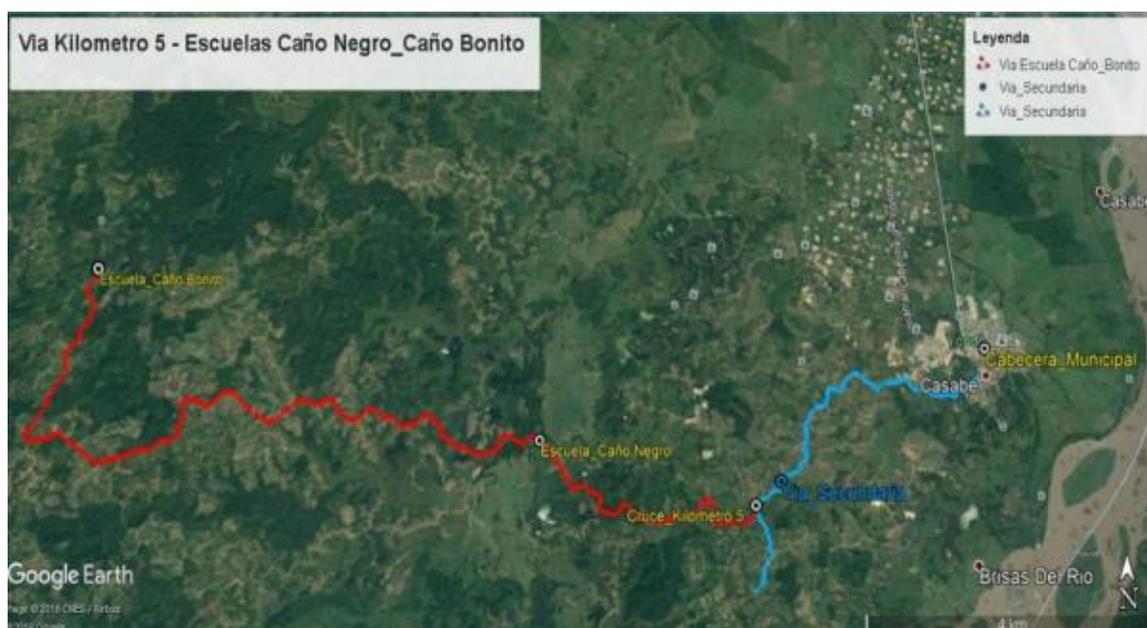
El proyecto que se analizará y se revisará es presentado por el Municipio de Yondó el cual queda ubicado en la Región del Magdalena medio del departamento de Antioquia. Dicho proyecto tiene como objetivo el mejoramiento de la red vial

terciaria, mediante la pavimentación de la vía que comunica la vereda Caño Negro y Caño Bonito con el Municipio de Yondó, la cual consta de 8000 m y de 5m de ancho, por lo cual el municipio presenta el proyecto con el fin de cofinanciar el proyecto con aportes de la Gobernación.

### 6.1. Localización

El municipio de Yondó se encuentra ubicado en el Nororiente del departamento de Antioquia en la subregión del Magdalena Medio, cuenta con 1.880 Km<sup>2</sup> a una altura promedio de 80 m.s.n.m, con una temperatura promedio de 28° y cuenta con una población de 18.613 habitantes, de los cuales 9.222 hacen parte de la población rural. Las principales actividades económicas son la ganadería, agricultura (Yuca y Maíz), explotación maderera y la extracción de petróleo. (WIKIPEDIA)

A continuación, se ilustra la ubicación del proyecto:



**Ilustración 6 .Ubicación de Proyecto. Fuente:** Municipio de Yondó

A continuación, se ilustrará tramos de la vía a pavimentar, con el fin de evidenciar el estado de la vía.



**Ilustraciones 7 y 8:** Tramos de la vía a pavimentar. Fuente: Municipio de Yondó



**Ilustraciones 9 y 10:** Tramos de la vía a pavimentar. Fuente: Municipio de Yondó

Las condiciones de servicio de la vía la Caño Negro y Caño Bonito no son las adecuadas, toda vez que, se genera un mayor riesgo de accidentabilidad en el tránsito de las personas y de los vehículos, debido a que por pendientes en su alineamiento vertical, se puede presentar socavaciones o cárcavas a nivel de la rasante de la vía, es decir, el arrastre de material proveniente por la contribución hidráulica en el corredor vial, ocasionando inestabilidad en la vía, por lo cual la pavimentación de esta generaría mejoras en las condiciones de vida de la población y de transitabilidad vehicular, además se esperaría beneficiar alrededor de 3000 personas, entre hombres y mujeres.

## 6.2. Tránsito

Para clasificar el nivel de tránsito de la vía Caño Negro y Caño Bonitos según el Manual de pavimentos de bajos volúmenes de tránsito es necesario conocer el

número de ejes equivalentes de 80 kN previstos durante el período de diseño en el carril de diseño, por ende inicialmente se debe realizar un estudio de tránsito y así tener conocimiento acerca el volumen vehicular que circula la vía en estudio.

Para dicho estudio, el municipio realizo aforos diarios durante una semana en la vía en estudio, los resultados presentados son los siguientes:

Tipo de Vehículo	TPD	%Veh
AUTOS	13	65%
BUSES	0	0%
BUSETAS	1	5%
C2P	0	0%
C2G	3	15%
C3	3	15%
C4	0	0%
C5	0	0%
Total	20	100%

**Tabla 10.** Resultados del Aforo presentado por el Municipio.  
Fuente: Municipio de Yondó.

Como se puede observar el mayor número de vehículos en circulación son los automóviles y en cuanto a los vehículos de carga solo se tienen en cuenta camión C2G y camión C3, en este caso estos son los que más daño generan en el pavimento. Por ende, se esperaría que el vehículo con mayor carga que circularía en esta vía sea el C3.

Para el cálculo de los ejes equivalentes de 80 kN previstos durante el período de diseño en el carril de diseño, en el estudio de tránsito se recomienda utilizar una tasa de crecimiento del 3% debido a que el incremento vehicular en la zona es relativamente alto, también se debe tener en cuenta el factor de daño el cual se origina por el peso de la carga que transporta el vehículo, estos factores a utilizar son los de la tabla 11, a continuación se mostrara la revisión del volumen de vehículos afectados con dichos factores.

Tipo de Vehículo	TPD	%Veh	F.D.	Ejes eq.80kN
<b>AUTOS</b>	13	65%	0	0
<b>BUSETAS</b>	1	5%	0.4	0.4

<b>C2G</b>	3	15%	2.72	8.16
<b>C3</b>	3	15%	3.7	11.1
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>100%</b>		<b>19.66</b>

**Tabla 11.** Volumen de tráfico afectado con el FD. **Fuente:** Elaboración propia.

Para el factor direccional se tiene en cuenta el ancho de la calzada y la vía tiene un ancho como máximo de 5m, el proyecto realizó el diseño con ancho menor a 5,0 m y un FD=1.

Ya teniendo claro estos valores, se puede calcular el eje equivalente con la Ecuación 2,

$$N = 365 \times 19.66 \times 1 = \mathbf{7.176}$$

Para verificar el número de eje equivalente en el carril de diseño para el periodo de diseño, se utiliza la ecuación 1, y se debe conocer el periodo de diseño del proyecto, que en este caso es de 10 años y la tasa de crecimiento de 3%.

$$N = 7.176 \times (1+0.03)^{10} - 1 / 0.03 = \mathbf{82.263,65}$$

Con este dato se procede a clasificar el tráfico y según la Tabla 3, el proyecto tiene un nivel de transito T1, ya que el número de ejes equivalente es 82.263 es decir menor a 500.000.

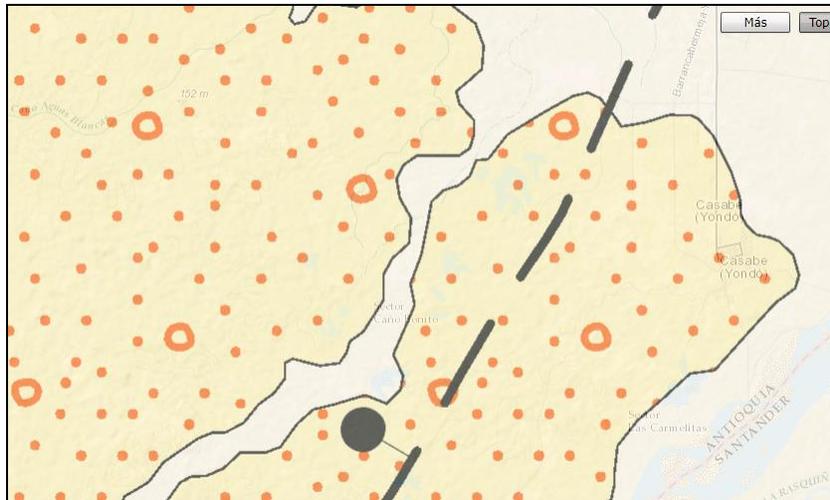
### **6.3. Geología de la zona**

Para el análisis geotécnico es importante tener conocimiento de las formaciones cercanas que puedan influenciar el sitio de estudio. La geología regional hace una descripción de las más cercanas al sitio, parte de la información geológica es obtenida del Servicio Geológico Colombiano, a continuación, se ilustrará la información encontrada en dicho portal.

“-Depósitos aluviales y de llanuras aluviales.

-Arenitas feldespáticas y líticas; arcillolitas, y conglomerados con abundantes líticos de andesitas y dacitas.

-Falla de casabe” (Servicio Geologico Colombiano)



**Ilustraciones 11:** Geología Regional de la zona de estudio. **Fuente:** Servicio Geológico Colombiano

Geomorfológicamente se caracteriza por tener una topografía plana a ondulada, con algunas pendientes suaves y abundante vegetación sobre sus suaves colinas.

Para la caracterización del suelo en la zona en estudio, de acuerdo con la información suministrada en el proyecto se obtuvo mediante apiques, los cuales consisten en la excavación manual hasta una profundidad determinada, con el fin de extraer muestras in situ y así realizar ensayos de laboratorio para poder obtener parámetros de resistencia del suelo, además de visualizar los estratos y el estado de humedad del suelo.

De acuerdo con el estudio de suelos, se realizaron 30 apiques hasta una profundidad de 1,5m, separados cada 250m, distribuidos en todo el tramo por intervenir, recuperando muestras en cada uno de ellos, no se detectó macizos rocoso y tampoco nivel freático.



**Ilustraciones 12:** Apiques realizados en el Proyecto. **Fuente:** Municipio de Yondó.

Con las muestras tomadas en el campo procedieron a caracterizar el material mediante ensayos de granulometría, límites de consistencia, humedad natural, próctor modificado y CBR inalterado sumergido, siguiendo las normas del INVIAS-13.

Con dichos resultados de Laboratorio, establecieron un único tramo homogéneo de diseño, ya que en todo el trayecto de la vía se obtuvo un suelo de subrasante principalmente compuesta por Limos Inorgánicos de plasticidad media a alta (MH –SUCS) (A-7-5 y A-7-6 - AASTHO) con potencial de expansión predominante marginal.

Para el cálculo del CBR de la subrasante utilizaron la ecuación 3, correlación que se indica en el manual de diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito del INVIAS,

$$CBR = \frac{75}{1 + 0.728(w \times IP)}$$

El valor del CBR no sumergido calculado por medio de la anterior correlación del Manual de Diseño de Pavimentos para Bajos Volúmenes de Tránsito fue del 12%, este valor de diseño es mayor al mínimo sugerido por manuales del INVIAS para la construcción de un pavimento sin necesidad de utilizar geotextiles o mejorar la capa.

Igualmente, según la ilustración 3, la correlación según la clasificación del suelo que en este caso son suelos A-7-5 y A-7-6 – AASTHO o MH –SUCS y el CBR, da como resultado un CBR máximo del 10 %. Pero para efectos de diseño el proyecto utiliza un CBR del 3% para ser conservadores, por ende según la correlación recomendada por la AASTHO, el Módulo resiliente de la subrasante natural según la ecuación 4 es:

$$Mr = 1500 * 3\% = 4500 \text{ psi (CBR=3\%).}$$

#### **6.4. Estructura de Pavimento**

El diseño del pavimento fue realizado con los lineamientos de AASHTO – 93, de acuerdo a las características de la vía y los resultados mencionados anteriormente.

Para un periodo de 10 años de servicio sobre la subrasante.

✓ N80kN=85.000.

- ✓ Parámetro de Confiabilidad, según el Manual de bajos volúmenes de tránsito sugiere adoptar un nivel de confiabilidad en el diseño del 70%, por lo tanto se tiene una desviación estándar normal  $Z_r = -0,524$ .
- ✓ Desviación estándar,  $S_o = 0,44$  (Recomendación de INVÍAS)
- ✓ Pérdida de servicio  $\Delta PSI = (4,0 - 2,0) = 2,0$
- ✓ Módulo resiliente Subrasante natural (CBR=3%)  $M_r = 4500 \text{ Psi}$
- ✓  $M_r =$  Módulo resiliente base granular tratada con cemento = 580000 psi. Datos tomados del proyecto. La RCS propuesta para esta capa es de 2.3MPa  $\approx 333 \text{ psi}$  por lo cual según la ilustración 4, el  $M_r \approx 580000 \text{ psi}$ , para una capa de 25 cm de espesor.
- ✓  $M_r =$  Módulo resiliente sub-base granular = 15000 psi. Datos tomados del proyecto. El CBR para subbase es del 30% por ende según la Ilustración 5, el  $M_r \approx 15000 \text{ psi}$ .

Con los datos anteriores se procede a calcular y a revisar el Número Estructural (SN) de las capas del pavimento mediante el ejecutable Ecuación AASTHO-93, el cual está programado con la ecuación 5.

**Ilustración 13.** SN SUBRASANTE, Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 70 %  $Z_r = -0.524$  So: 0.44

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4 PSI final: 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 15000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi):  Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi):  Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural: SN = 1.52

W18 = 85000

Botones: Calcular, Salir

**Ilustración 14.** SN SUB-BASE GRANULAR Fuente: Elaboración propia.

**Ecuación AASHTO 93**

Tipo de Pavimento:  Pavimento flexible  Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 70 %  $Z_r = -0.524$  So: 0.44

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4 PSI final: 2

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 58000 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi):  Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi):  Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis:  Calcular SN  Calcular W18

Número Estructural: SN = 0.02

W18 = 85000

Botones: Calcular, Salir

**Ilustración 15.** SN MGTC Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra un resumen de los SN determinados a partir del ejecutable.

MATERIAL DE SOPORTE	SN requerido
SUBRASANTE	2.44
SBG	1.52
MGTC	0.02

**Tabla 12.** Número estructural de cada capa. Fuente: Elaboración propia.

Para el proyecto el coeficiente de drenaje mi se tomará de la tabla 4 y este será 1.0 en las capas granulares.

Según especificaciones adoptadas de Subbase, el valor de CBR sería de: Subbase granular CBR>30%, por ende, según la ecuación 8,  $a_i=0.11$ , para el MGTC el  $a_i$  es 0.14 según la ilustración 4. En cuanto al  $a_i$  de la carpeta de rodadura que será MDC-19 por la ubicación del proyecto según la tabla 6 es de 0.3.

Las características de la estructura de pavimento propuesta para el proyecto son las siguientes:

MATERIAL	CBR	Mr (psi)	$a_i$
MDC-19	----	----	0.3
MGTC	RCS=2.3MPa	480000	0.14
SBG	30%	15000	0.11

**Tabla 13.** Características de los materiales del pavimento. **Fuente:** Elaboración propia.

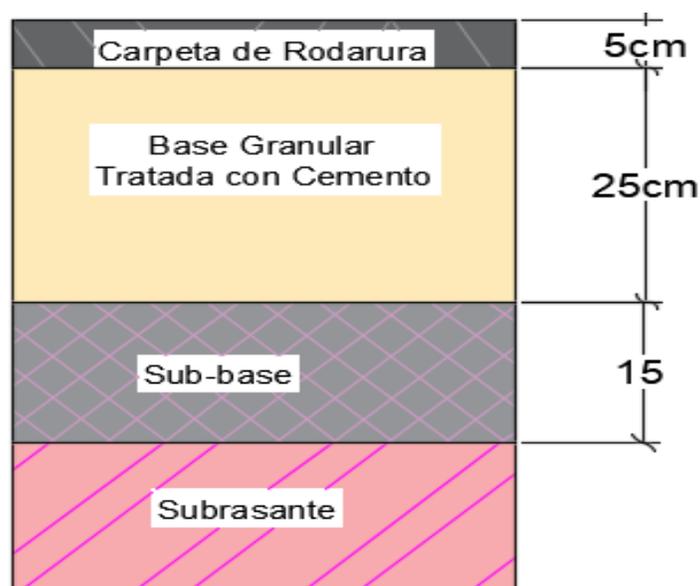
El SN requerido por el pavimento es de 2.44 el cual se calcula mediante el programa Ecuación AASHTO. A continuación, se ilustra los resultados de la estructura de pavimento propuesta, compuesta por Capa de rodadura en concreto asfáltico tipo MDC-19, MGTC y Subrasante natural.

DATO PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO					
<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>					
Concreto Asfáltico Convencional ( $a_1$ )					0.3
MGTC ( $a_2$ )					0.14
Subbase ( $a_3$ )					0.11
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>					
MGTC					1
Subbase					1
<b>DATOS DE SALIDA</b>					
NUMERO ESTRUCTURAL MGTC		0.02		1	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB-BASE GRANULAR		1.52		2	
NUMERO ESTRUCTURAL SUBRASANTE		2.44		3	
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA</b>					
	DTEORICO(pulg)				PROPUESTO (cm)
ESPEJOR CARPETA ASFALTICA	0.17	Minimo 5cm			5
ESPEJOR MGTC	34.02	25cm-2.3Mpa			25
ESPEJOR SUBBASE GRANULAR	21.24				15
<b>Tanteo para determinar los espesores del pavimento</b>					
Capa	D(pulg)	a	SN	$\Sigma$ SN	D(cm)
Rodadura	1.96	0.3			5.0
MGTC	9.84	0.14	0.588	0.588	25.0
Sub-base	5.89	0.11	1.378	1.966	15.0
Subrasante			0.65	2.61	
SNTotal				2.61	

**Tabla 14.** Cálculo de espesores. **Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 14, inicialmente los espesores teóricos calculados con los SN encontrados mediante el programa ecuación AASTHO-93 y la ecuación 7, dan como resultado una carpeta asfáltica de espesor menor al permitido y tampoco da un espesor de MGTC de acuerdo al propuesto para una resistencia de 2.3 MPa, por ende al recalculer los espesores se parte del espesor mínimo de la capa de rodadura que es 5cm, y así se vuelven a calcular los espesores y SN de cada capa mediante la ecuación 7.

Como se mencionó anteriormente el SN requerido por el pavimento es de 2.44 por lo cual el pavimento propuesto debe tener el mismo SN o mayor para poder cumplir estructuralmente, como se puede observar en la Tabla 14 la estructura propuesta cumple, ya que el número estructural es 2.6 mayor al requerido y las capas son las adecuadas respecto a las mínimas que exige el Invias.



**Ilustraciones 16:** Estructura de pavimento propuesta por el municipio. **Fuente:** Elaboración propia.

La alternativa presentada en el proyecto es un pavimento flexible con MGTC, este lleva como capa de rodadura una mezcla densa en caliente - MDC-19 con un espesor 5cm, la cual cumple con el espesor mínimo según la tabla 10, que relaciona el número de ejes equivalentes de la vía con el espesor de la carpeta asfáltica.

El material granular tratado con cemento - MGTC- contara con una resistencia a compresión de 2.3 MPa a los 7 días, la cual cumple con la resistencia exigida en la tabla 8, esta debe tener un porcentaje de compactación mayor al 98% de la densidad máxima determinada en laboratorio, tendrá un espesor de 25 cm, según el diseño presentado esta capa contara con un porcentaje óptimo de cemento del

2.3%, al establecer dicho porcentaje se debe especificar el tipo de cemento a utilizar y que cumpla con las especificaciones de la tabla 7, los porcentajes óptimos de agua para la mezcla y compactación y especificar el material granular (granulometría) a utilizar, todos estos parámetros son de importancia, debido a que son los principales factores en influir en la resistencia a compresión establecida de dicha capa.

La Sub-base o afirmado será una capa de 15cm de espesor, con un CBR – 30%, con un grado de compactación mayor o igual al 95%, colocada sobre la Subrasante Natural la cual debe estar compactada al 90% del proctor modificado, (CBR=3%) Mr=4500 psi.

Las características a cumplir cada capa están resumidas a continuación en la Tabla No.15:

<b>Capa</b>	<b>CBR</b>	<b>Espesor(cm)</b>
<b>Carpeta de Rodadura.</b>	MDC-19	5
<b>MGTC(Base Granular Tratada con Cemento)</b>	RCS=2.3Mpa	25
<b>Subbase o Afirmado</b>	30%	15
<b>Subrasante</b>	3%	----

**Tabla 15.** Parámetros de las capas del pavimento propuesto. **Fuente:** Elaboración propia.

Igualmente, para lograr que el pavimento cumpla con las especificaciones del diseño, depende en gran parte de buen proceso constructivo, por lo cual se realizaran un paso a paso de dicho proceso y además se debe establecer ciertos parámetros para la construcción, para así lograr las especificaciones del diseño. Las recomendaciones son las siguientes:

-Fase de Experimentación, el constructor elaborara secciones de ensayo de longitud, ancho y espesor para probar equipo y definir el método de trabajo. Se evaluaran los resultados que se obtengan a partir de muestras del MGTC tales como humedad, espesor de la capa, cantidad de cemento y demás requisitos, en caso de que no cumplan con las condiciones exigidas debe ser removida y reemplazada y el constructor debe hacer las modificaciones pertinente y si fuese preciso modificar diseños. El proceso debe ser realizado las veces que sea necesario hasta que las secciones de ensayo resulten satisfactorias.

-Preparación de la superficie existente, mediante el rodillo la Subrasante debe ser llevada a una compactación del 90%, además debe cumplir con los peraltes, alineamiento vertical y horizontal de la vía.

-Se debe conformar una capa de afirmado cuyo espesor permita que al ser compactada al 95%, sea en este caso de 15 cm.

-El material granular a estabilizar debe cumplir con las especificaciones de la tabla 7, especificar la gradación a utilizar y los porcentajes óptimos de agua para la mezcla y compactación, para alcanzar la resistencia a compresión a los 7 días establecida en el diseño la cual en este caso es de 2.3 MPa.

-Se deberá conformar una capa de material granular, con un espesor que permita verificar que esta se puede estabilizar y compactar al espesor mínimo exigido en el diseño que en este caso es de 25cm. Se deberá asegurar mediante sondeos cada 25 m, que se garantice el espesor solicitado.

-Se debe verificar el contenido de humedad, para saber si se debe adicionar agua para que este alcance la humedad óptima de compactación (establecido con la fórmula de trabajo y por el laboratorista). En caso de que se presente exceso de humedad, con ayuda de la motoniveladora, se debe extender y abrir el material para que se pierda humedad.

-Se extenderá el cemento que resulte de la fórmula de trabajo, en caso de no cumplir la fórmula de trabajo especificada se presentará problemas en la capa como fisuras o esta no cumplirá con la resistencia establecida.

-Los porcentajes de adición de cemento y la humedad del material deben ser definidos mediante ensayos de laboratorio y corroborados en campo.

-Una vez extendido el cemento se procederá a realizar la mezcla con la recicladora garantizando homogeneidad en la mezcla del cemento con el material de la base granular y así proceder adicionar el agua mediante riegos o pasadas de carro-tanque con el fin de alcanzar la humedad compactación, densidad óptima, sellado y curado de la capa.

-Cuando haya alcanzado la humedad óptima y mezclado totalmente, debe compactar de inmediato. El porcentaje de compactación deberá ser mayor al 98% de la densidad máxima y la resistencia establecida en la fórmula de trabajo verificada mediante ensayos de laboratorio. Dicha densidad debe ser verificada in situ inmediatamente después de terminar la compactación, ya que no es

permitido tomar densidades luego de que el cemento haya fraguado. La capa se debe mantener húmeda en forma permanente mediante riego por aspersion hasta la colocación de la capa superior.

- Se debe compactar el ángulo de reposo de los bordes de la calzada con un compactador tipo rana, para garantizar el confinamiento lateral del MGTC.

- El tiempo máximo del que se dispone entre la aplicación del cemento y la compactación es de cuatro (4) horas. Así mismo el tiempo de compactación no deberá exceder dos (2) horas en un mismo sitio, esto debido a que puede destruir uniones moleculares producidas por el fraguado o lo que es lo mismo perder la resistencia.

- Se deben tomar cilindro como muestras de campo de la mezcla – MGTC para garantizar que la resistencia a compresión del MGTC, a los 7 días de maduración, que este caso es de 2.3 MPa.

- Durante el proceso de fraguado no se debe abrir el tránsito vehicular en la vía y si se apertura debe ser si y solo si a los 3 días de su compactación. La apertura será inicialmente durante un tiempo corto y a vehículos que sean livianos y sean cargas transitorias es decir que estos no se estacionen en la vía sino de lo contrario se originaran grietas en la capa.

- Verificar fisuras, si se encuentra estas grietas de contracción se deben sellar con emulsión, con el fin de estas no se reflejen en la capa de rodamiento.

- Una vez colocada la capa de MGTC, compactada y verificada su resistencia a compresión a los 7 días, se procederá a imprimir para luego colocar capa de la capa de rodadura, que en este caso será una mezcla densa en caliente tipo MDC-19.

## **6.5. Análisis económico**

La pavimentación de las vías terciarias en el departamento de Antioquia es un proyecto del Plan de Gobierno 2016-2019 “Antioquia Piensa en Grande”. Por lo cual se ha venido motivado a las diferentes administraciones municipales a realizar convenios interadministrativos con la Gobernación de Antioquia, con el fin de realizar la pavimentación de dichas vías, en donde ambas partes aportan recursos económicos o en especie (materiales y maquinaria) para la ejecución física.

Por ende, se calcula la alternativa que más se ajuste a sus necesidades, cumpliendo las especificaciones técnicas, estructurales y que sea económicamente viable para el presupuesto del Municipio y de la Gobernación.

En consecuencia, se realiza una estimación presupuestal del costo del pavimento para la vía en estudio. Teniendo en cuenta la longitud a pavimentar, las capas del pavimento y el ancho de la sección transversal.

<b>Datos</b>		
Longitud	8071m	8.071km
Ancho	5m	0.005km
<b>Material</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>un</b>
MDC-19	0.05	m
BASE-MGTC	0.25	m
Sub-Base (Afirmado)	0.15	m

**Tabla 16.** Dimensiones del proyecto. **Fuente:** Elaboración propia.

Con los anteriores datos se procede a calcular las cantidades de cada capa según el diseño presentado por el municipio a ejecutar, se saca un presupuesto aproximado con dichas cantidades y actividades las cuales son las de mayor valor en la realización de dicho proyecto.

<b>ITEM</b>	<b>un</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidades</b>	<b>V. Parcial</b>
<b>MDC-19(Suministro, colocación y compactación)</b>	m <sup>3</sup>	\$ 728,873.00	2017.75	\$ 1.470.683.495
<b>Proceso de estabilización de BASE-MGTC E=25 cemento 2.3%(Suministro, transporte, colocación)</b>	m <sup>2</sup>	\$ 62.638	40355	\$ 2.527.756.490
<b>Sub-Base (Suministro, transporte, colocación, conformación y compactación)</b>	m <sup>3</sup>	\$ 140.742	6053,25	\$ 851.946.511.5
<b>Total</b>				<b>\$ 4.850.386.497</b>

**Tabla 17.** Presupuesto del pavimento. **Fuente:** Elaboración propia.

Para determinar los costos del pavimento presentados en la Tabla 18 se consideran los costos directos (CD) de las capas del proyecto, solo se calcula el costo de la ejecución física de la estructura del pavimento, es decir la mano de obra, materiales y equipos para realizar dichas capas, pero no se tuvo en cuenta las demás obras del proyecto tales como las obras de drenaje, explanación y obras varias de la obra, por lo cual el valor final del proyecto es mayor teniendo en cuenta todas obras. Igualmente, estas cantidades y precios unitarios del pavimento se deben revisar y verificar a la hora del municipio presentar su presupuesto, debido a que estas son los ítems de mayor valor en el proyecto y si se presenta altas diferencias en estas el municipio las debe rectificar y corregir para poder darle viabilidad al proyecto.

Adicionalmente el valor correspondiente a gastos administrativos del proyecto y utilidades para el contratista (AU) es entre 25%-30% del costo directo del proyecto.

Vía	Longitud (m)	Ancho (m)	Costo Directo (D)	Au (25%)	Costo por ml.	Total
Vía Caño bonito, Caño Negro	8071m	5m	\$ 2.636.914.746	\$1.212.596.624	\$757.872	\$ 6.062.983.121

**Tabla 18.** Costo del pavimento. **Fuente:** Elaboración propia.

El costo aproximado por metro lineal para esta vía con material granular tratado con cemento es de Setecientos cincuenta y siete mil ochocientos setenta y dos pesos (\$ 757.872), como ya se mencionó anteriormente este valor es un poco mayor debido a que no se tuvo en cuenta las obras necesarias en el proyecto, ya que estas dependerán de la topografía, del tipo de drenajes de la vía, entre otras variables constructivas que el municipio tendrá en cuenta al hacer su presupuesto, dicho valor del proyecto debe ser presentado ante el gobernador para discutir los respectivos aportes de cofinanciación que estén dispuesto a dar el Departamento y el Municipio y dado el caso que no se cuente con el costo total del proyecto, una solución a este problema sería disminuir los kilómetros a pavimentar, para así cumplir con el presupuesto que cada ente pueda suministrar.

## Ventajas.

La utilización de dicho pavimento con base granular tratada con cemento tiene como ventajas:

- Al estabilizar con cemento se busca aumentar la capacidad de soporte de la capa, por ende, el espesor de la capa se disminuye, se utiliza menos material granular para conformar la capa (amigable con el medio ambiente debido a la disminución de material granular) y menos material de excavación, que en un pavimento convencional.
- Al aumentar la capacidad de soporte estructural de la capa, se reduce su sensibilidad al agua y aumenta la resistencia a la erosión, por ende, se aumenta la vida de servicio de la vía debido a que esta estabilización.

## Limitaciones

- La actividad se debe realizar en la longitud que permita los tiempos de hidratación del cemento.
- Para ambientes con temperaturas mayores a los 30°C, se dispone con menos tiempo para realizar la compactación después de la aplicación del cemento, este se reduce de cuatro (4) horas a tres (3) horas.

## 7. Conclusiones

- La vía en estudio presenta un estado actual de deterioro, el cual no se ha visto mejorías con transcurrir del tiempo, debido a la falta de mantenimiento e intervención. De tal manera la pavimentación de esta vía terciaria brindaría a la población de las Veredas Caño Negro y Caño Bonito una mejor calidad de vida, viajes en un menor tiempo, se dinamizaría la economía rural y así incrementando la competitividad en los mercados regionales, se generaría una mayor accesibilidad a estas zonas por ende se facilitaría el acceso a la educación, la salud y los servicios públicos en zonas rurales y además se disminuiría los riesgos de accidentabilidad.
- Las variables como el tránsito y la geología de la zona son de gran influencia a la hora de proponer un pavimento, debido a que estas son las que garantizan el cumplimiento de la resistencia vehicular y la durabilidad del pavimento, por ende, son de vital importancia en el diseño de este.

- Las vías terciarias presentan bajos flujos vehiculares, pero esto no significa que se pueda realizar una obra de pavimentación sin sus respectivos estudios de tránsito y de geología, debido a que el tránsito con el tiempo presenta una tendencia creciente en la zona y si no se tienen en cuenta este crecimiento el pavimento no podrá cumplir su funcionalidad en el periodo de diseño que se estableció y en cuanto a la geología, los suelos pueden variar sus características físicas y mecánicas en un mismo tramo por ende se debe comprobar la homogenización en todo el tramo o sino realizar los diseños cada que se presenten cambios significativos en la subrasante porque si no se presentara una capacidad de soporte variante en el pavimento y así presentarse fallas.
- Se puede deducir que el CBR de la subrasante además de ser importante para el diseño del pavimento, es un factor relevante en los costos del proyecto, debido a que como se mencionó anteriormente, un CBR menor del 3% se es necesario el uso de geotextiles o de mejoramiento de la capa, por ende automáticamente el proyecto se volvería un poco más costoso y salirse del presupuesto de los entes a invertir.
- Es importante especificar y cumplir con los criterios de diseño y construcción en la capa de MGTC para así controlar deformaciones en la carpeta asfáltica y en la Subrasante.
- Una adecuada técnica constructiva y la mezcla óptima del agua, el cemento y la energía de compactación son de vital importancia para lograr bases en los pavimentos de alta calidad y excelente desempeño, minimizando de esta forma el agrietamiento por contracción de fraguado. Por lo cual es recomendable que el municipio realice las respectivas aclaraciones faltantes respecto al diseño de la mezcla del MGTC.
- El presupuesto del proyecto se acondiciona a las particularidades de la vía terciaria, además con la cofinanciación se busca incrementar las posibilidades de que los municipios empiecen a implementar este tipo de pavimentación en sus vías y principalmente en las terciarias que son las zonas de más abandono en el país. Además, las necesidades de las vías son variables, por lo tanto, el presupuesto se debe ajustar lo mejor posible a las condiciones viales.
- Para la durabilidad del proyecto es necesario contar con obras de drenaje en la vía, debido a que la zona tiene presencia significativa de lluvias. De tal

manera se recomienda que se haga una adecuada realización de los peraltes, alineamiento vertical y horizontal y además de obras de drenaje superficial como cunetas, alcantarillas, etc. Con el fin de hacer un correcto manejo de aguas y evitar posibles daños en la estructura del pavimento.

- En consecuencia, para una correcta funcionalidad del pavimento es fundamental contar con un correcto diseño, pero en gran parte esta depende de la ejecución de dicho proyecto, si el constructor no sigue los diseños y las recomendaciones a seguir y los lineamientos de las especificaciones de la Gobernación y del INVIAS, se presentaran inconvenientes en la estructura del pavimento y no cumplirá su periodo de diseño.
- La viabilidad del proyecto depende de los porcentajes de cofinanciación que la gobernación esté dispuesta asumir, generalmente se le solicita a los municipios como mínimo un aporte del 30% del total del proyecto y el resto la gobernación, por lo cual lo viabilizarían dependiendo de la disponibilidad presupuestal de estos dos entes.

## 8. Referencias

Instituto Nacional de Vías. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito.

AASHTO. (1993). Guide for design of pavement Structures. Washington D.C.

WIKIPEDIA. (s.f.). Yondo. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Yond%C3%B3>  
Alvarez Pabón, J. A., & Londoño Naranjo, C. A. (2008). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Instituto Colombiano de Productores de Cemento.

DANE. (2017). Producto Interno Bruto (PIB) Departamental. Obtenido de <https://dane.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=9d091f802200470d816eb1f063aa6ae>

Garcia, A. (S.f.). Diseño de Pavimento Flexible-Metodo AASTHO-93.

Gobernación de Antioquia. (2016). PLAN DE DESARROLLO "ANTIOQUIA PIENSA EN GRANDE" 2016-2019. Obtenido de <https://www.culturantioquia.gov.co/documentos/ORDENANZA%20PLAN%20ODE%20DESARROLLO%20DE%20ANTIOQUIA%202016-2019.pdf>

Gobernacion de Antioquia. (s.f.). Minisitio SIVA Sistema de Información Vial de Antioquia. Obtenido de [www.antioquiadatos.gov.co/index.php/minisitio-siva-sistema-de-informacion-vial-de-antioquia](http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/minisitio-siva-sistema-de-informacion-vial-de-antioquia)

Gobernacion de Antioquia, Secretaria Infraestructura Fisica. (22 de diciembre de 2017). Material Granular Tratado con Cemento - Especificacion Particular. Medellin, Antioquia, Colombia.

Gobernacion de Antioquia, Secretaria Infraestructura Fisica. (2017). Suministro de Cemento Hidraulico- Especificacion Particular. Medellin, Colombia.

Instituto Nacional de Vias - INVIAS. (2012). Articulo350-3 SUELO CEMENTO.

Instituto Nacional de Vias. (2007). Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vias con bajos volúmenes de tránsito. Colombia.

Instituto Nacional de Vias. (2012). Articulo 100-13 Ambito de Aplicacion, Terminos y Definiciones.

Instituto Nacional de Vias. (2012). Articulo320 Sub-base Granular.

Instituto Nacional de Vias. (2018). Glosario de Manual de diseño geométrico de carreteras. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/glosario/130-glosario-manual-diseno-geometrico-carreteras>

Jimenez, M. A. (Agosto de 2011). Bases estabilizadas con cemento. Obtenido de [http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/boletines/boletin\\_prita\\_20\\_bases\\_estabilizadas\\_con\\_cemento.pdf](http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/boletines/boletin_prita_20_bases_estabilizadas_con_cemento.pdf)

Municipio de Yondó. (s.f.). Mejoramiento de vias terciarias mediante la pavimentación en la vereda caño negro y caño bonito. Yondo-Antioquia.

Osorio, J. V. (2002). Módulo Resiliente de Suelos Finogranulares. Revista Universidad EAFIT, 10.

Servicio Geológico Colombiano, . (s.f.). Mapa Geológico de Colombia 2015. Obtenido de [http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Mapa\\_Geologico\\_colombiano\\_2015/](http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Mapa_Geologico_colombiano_2015/)