



Alternativas de diseño estructural del Pavimento Flexible y Rígido para Dos Tramos de Vía  
ubicadas en la Cabecera del Municipio de Melgar Tolima

José Andersson Martínez Hernández

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

mayo de 2020

Alternativas de diseño estructural del Pavimento Flexible y Rígido para Dos Tramos de Vía  
ubicadas en la Cabecera del Municipio de Melgar Tolima

José Andersson Martínez Hernández

Monografía presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director:  
Jaime Moreno Loaiza  
Ingeniero Civil

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Sede Girardot (Cundinamarca)  
Programa Ingeniería Civil  
mayo de 2020

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Jurado

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado que se desarrollara con mucho esfuerzo, pero también con mucho amor, especialmente dedicado a nuestras familias que siempre han estado para darnos esa motivación de superación personal, profesional, para alcanzar todas las metas trazadas al largo de nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTOS**

En especial agradecemos a todos los docentes por la dirección y el enfoque que dieron en mi formación académica y al ingeniero Jaime Moreno Loaiza y a la Alcaldía Municipal de Melgar por sus invaluable aportes y conocimientos.

## CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
RESUMEN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ABSTRACT	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
GLOSARIO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
INTRODUCCIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1. JUSTIFICACIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2. ANTECEDENTES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3. OBJETIVOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1 OBJETIVO GENERAL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
4. PRODUCTO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5. ALCANCE	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6. ACTIVIDADES Y METODOLOGÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.1.1 Fase I. Recopilación de Información.	¡Error! Marcador no definido.
6.1.2 Fase II. Aforos, Levantamiento topográfico y Estudio de Suelos.	¡Error! Marcador no definido.
6.1.3 Fase III. Análisis de información recolectada.	¡Error! Marcador no definido.
6.1.4 Fase IV. Elaboración de diseños.	¡Error! Marcador no definido.
6.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

**6.3 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LAS VÍAS EN ESTUDIO. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

6.3.1 Estado actual del tramo 1 **;Error! Marcador no definido.**

6.3.2 Estado actual del tramo 2 **;Error! Marcador no definido.**

**6.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DEL PROYECTO ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

6.5 ANÁLISIS DEL TRANSITO 30

6.5.1 Aforos 30

**6.6 ENSAYOS DE CAMPO ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

6.6.1 Resumen de los ensayos de laboratorio **;Error! Marcador no definido.**

6.6.2 Análisis de los trabajos de campo **;Error! Marcador no definido.**

6.6.3 Capacidad portante de la subrasante. **;Error! Marcador no definido.**

**6.7 DISEÑO DE PAVIMENTO ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

6.7.1 Diseño de la estructura del pavimento flexible;**Error! Marcador no definido.**

6.7.2 Diseño de la estructura del pavimento rígido;**Error! Marcador no definido.**

**7. DIAGNÓSTICO ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**8. LIMITACIONES Y FORTALEZAS ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

8.1 LIMITACIONES **;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

8.2 FORTALEZAS **;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**9. RESULTADOS ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

**10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

10.1 CONCLUSIONES **;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

10.2 RECOMENDACIONES **;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Conteos manuales de tránsito vehicular en el Valle de los Lanceros.	31
Cuadro 2. Promedio del tránsito vehicular diario en los sentido A y B.	34
Cuadro 3. Resumen total composición vehicular en porcentajes de vehículos en ambos sentidos.	34
Cuadro 4. Tabla 3.5 - Factores de equivalencia de carga	35
Cuadro 5. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los apiques del tramo 1.	38
Cuadro 6. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los apiques del tramo 2.	39
Cuadro 7. Tabla 3.8. Límites para selección de resistencia	40
Cuadro 8. Resistencias de CBR del Tramo 1, organizados de menor a mayor.	40
Cuadro 9. Tabla 5.2 - Entornos de la resistencia	41
Cuadro 10. Tabla IX - Características de drenaje de material de base y/o sub-base granular	46
Cuadro 11. Tabla X - Valor recomendados del coeficiente de ajuste (m) para los coeficientes estructurales de las capas de base y/o sub base no-tratadas.	46
Cuadro 12. Tabla XI - Espesores mínimos para capas de concreto asfáltico y base, en función del tráfico esperado.	53
Cuadro 13. Resistencia que debe alcanzar el concreto	55
Cuadro 14. Tabla 8.1. Efecto de la subbase granular sobre los valores de K.	57
Cuadro 15. Tabla 8.3. Tasas anuales de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes factores de proyección.	58
Cuadro 16. Cálculo de las repeticiones de carga.	58
Cuadro 17. Parámetros de diseño.	59



Cuadro 18. Tabla 6.2. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga	62
Cuadro 19. Recomendación para la distribución de las varillas de anclaje.	63

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del Municipio	24
Figura 2. Localización del proyecto.	25
Figura 3. Estado actual del Tramo 1	26
Figura 4. Estado actual del Tramo 2.	27
Figura 5. Levantamiento topográfico, diseño planta general y perfil longitudinal tramo 1, desde el K0+000 al K0+940.	28
Figura 6. Levantamiento topográfico, diseño planta general y perfil longitudinal tramo 1, desde el K0+940 al K1+590.	28
Figura 7. Levantamiento topográfico, diseño planta general y perfil longitudinal tramo 1, desde el K1+590 al K2+000.	29
Figura 8. Levantamiento topográfico, diseño planta general y perfil longitudinal tramo 2, desde el K0+000 al K0+700.	29
Figura 9. Localización de los apiques en el tramo 1.	37
Figura 10. Localización de los apiques en el tramo 2.	38
Figura 11. Resistencias de CBR del Tramo 1, organizados de menor a mayor.	41
Figura 12. Detalle número estructural.	43
Figura 12. Coeficiente estructura a partir del CBR de la subbase granular (Figura 9 AASTHO).	47
Figura 13. Coeficiente estructural a partir del CBR de la base granular.	48
Figura 14. Coeficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfáltico.	49
Figura 15. Cálculo del número estructural (SN) de la Subrasante.	51
Figura 16. Cálculo del número estructural (SN2) de la base granular.	51

Figura 17. Cálculo del número estructural (SN3) Subbase granular.	52
Figura 18. Detalle estructural.	54
Figura 19. Tabla 2.12. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K	56
Figura 20. Tránsito ejes simples.	60
Figura 21. Tránsito ejes tándem.	60
Figura 22. Cálculo del consumo de erosión y esfuerzo para el diseño de pavimento rígido.	61
Figura 23. Detalle pasador de carga y espesor de dilatación.	62
Figura 24. Distribución de las barras de transferencia.	63
Figura 25. Distribución de las barras de transferencia.	64
Figura 26. Esquema del dimensionamiento del pavimento rígido.	64

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Secciones transversales	70

## RESUMEN

Las metodologías empleadas para diseño de los pavimentos tienen como finalidad determinar los espesores mínimos de las capas que los constituyen, y que son consecuentes con la durabilidad, resistencia y costos. Con el presente proyecto de grado se presentan alternativas de diseño para los tramos de la vía secundaria de Melgar-al Carmen de Apicala localizados así; Tramo 1, comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi) y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+ 400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima.

A través del proyecto se muestran de igual manera los beneficios que se generarán y desarrollarán para el mejoramiento y pavimentación de la vía en estudio. Esto implica utilizar metodologías de diseño que permita mostrar las variables socioeconómicas, técnicas y normativas que intervendrán para diseñar y escoger la mejor estructura en términos de presupuesto y conveniencia.

Teniendo las características actuales de la zona, la recolección de información geotécnica, el estudio del tránsito, los registros ambientales y los usos del suelo en la zona de influencia, se procedió a desarrollar las alternativas de diseño por parte del presente trabajo.

## **ABSTRACT**

The methodologies used to design the pavements are intended to determine the minimum thickness of the layers that make them up, and which are consistent with durability, resistance and costs. With this degree project, design alternatives are presented for the sections of the secondary road of Melgar-al Carmen de Apicala located in this way; Section 1, from K0 + 000 (Valle of the Lanceros) to K3 + 400 (Chimbi sidewalk entrance) and Section 2, from K3 + 900 (La Estancia), to K6 + 400 (the tubes) in the Municipality from Melgar, Tolima.

Through the project, the benefits that will be generated and developed for the improvement and paving of the road under study are shown in the same way. This implies using design methodologies that allow showing the socioeconomic, technical and regulatory variables that will intervene to design and choose the best structure in terms of budget and convenience.

Having the current characteristics of the area, the collection of geotechnical information, the study of traffic, environmental records and land uses in the area of influence, the design alternatives were developed by this work.

## **GLOSARIO**

**PAVIMENTO RÍGIDO:** Es aquel que está constituido principalmente por una placa de concreto hidráulico instalada sobre una sub base o directamente sobre la sub rasante.

**PAVIMENTO FLEXIBLE:** está constituido por una capa de rodadura asfáltica, una base granular y una sub base granular construidas con materiales de excelente calidad sobre un cimiento llamado sub rasante.

**PAVIMENTO ARTICULADO:** Está compuesto por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquinas, de espesor uniforme e iguales entre sí. Estos pueden ir apoyados sobre una delgada capa de arena y esta a su vez sobre una base granular.

**SUB-RASANTE:** La sub-rasante es el terreno que conforma la superficie final de la explanación de una vía. Debe ser resistente a los esfuerzos y deformaciones producidas por el tránsito y el intemperismo, proporcionando un valor de soporte mínimo a la estructura de pavimento.

**ESTRUCTURA DE PAVIMENTO:** Constitución de conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados.

**SUELO:** El suelo es el sustrato físico sobre el que se desarrollan las obras. En el ámbito del urbanismo, por otra parte, el suelo es el espacio físico sobre el que se construye cualquier infraestructura.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los programas de desarrollo y sostenibilidad integral, que tiene el departamento del Tolima para el mejoramiento en la conectividad entre las cabeceras municipales, sus veredas y los diferentes sectores de la producción, está la pavimentación, mejoramiento y conservación de su de infraestructura vial, en particular las vías secundarias y terciarias, con actividades que incluyen estudios diseños y construcción.

El trabajo que se presenta a través del trabajo de grado, son alternativas de diseño de dos tramos de la vía secundaria de Melgar-al Carmen de Apicala localizados así; Tramo 1, comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi) y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+ 400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima.

La presente consultoría desarrolló alternativas de diseño mediante metodologías existentes organizadas que vinculó todos los aspectos y variables suficientes para evaluar las necesidades de los dos tramos a intervenir tales como: estado de los tramos, descripción del problema, levantamiento topográfico, estudio del tránsito, determinación de la capacidad portante del suelo de subrasante, diseños de las alternativas de pavimentos y evaluación económica.

Son propósitos fundamentales dentro de la evaluación técnica y socioeconómica presentada por la consultoría, mejorar la movilidad, reducir los tiempos de recorrido, generar y desarrollar los usos del suelo, mejorar la calidad de vida de los pobladores de la zona de influencia, atraer el turismo y brindar confianza y seguridad a los usuarios de la vía, para hacer esta región más eficiente, productiva y competitiva a nivel Departamental y Nacional.



## 1. JUSTIFICACIÓN

Buscando generar conectividad, desarrollo entre los centros poblados y las veredas, se justifica el mejoramiento, conservación y pavimentación de vías en mal estado, diseñándoles, anchos de vía y pavimentos que ofrezcan comodidad, seguridad, confort y economía a los usuarios dentro de su periodo de vía útil. Esto obliga a que los administradores locales del municipio formulen proyectos de infraestructura vial y gestionen los recursos necesarios para alcanzar las metas físicas de dichos proyectos, siendo para este trabajo de grado los tramos comprendidos Tramo 1, comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi) y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+ 400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima.

En la actualidad los tramos a intervenir cuentan con una estructura de pavimento flexible, construida hace más de 15 años, superando su periodo de diseño inicial que fue de 10 Años, con mantenimientos escasos e insuficientes y evidenciándose deterioros severos a lo largo y ancho de la vía, produciendo a su vez altos índices de accidentalidad para los usuarios. Por tal motivo, se hace necesario la oportuna intervención para el mejoramiento, conservación y pavimentación de los tramos a intervenir, con estudios previos, tales como: levantamiento topográfico, estudio de tránsito, estudios de suelos, diseños de la estructura del pavimento y evaluación Económica.

El trabajo de grado se desarrollará está dirigido a los sectores productivos y a la comunidad afectados, cuyo objetivo es diseñar alternativas que mejoren la estructura del pavimento existente, generando calidad de vida a los habitantes de la zona y a las personas que transitan esta vía. El mejoramiento y rehabilitación de estas vías traerá, sin duda, grandes beneficios a las comunidades campesinas del sector y al desarrollo de la región que integra el municipio de Melgar y el Carmen de Apicala.

## 2. ANTECEDENTES

Las vías en estudio se encuentran comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi) y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+ 400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima.

Los dos tramos vía presentan una estructura de pavimento flexible, que ya cumplió su periodo de serviciabilidad, pues fue construido hace más de 15 años, no ha contado con los debidos mantenimientos preventivos y rutinarios, presentando en la actualidad grandes deterioros manifestados en baches profundos a lo ancho y largo de la vía, que los hacen intransitable y peligroso para los usuarios, lo cual amerita como ya se ha hecho en otras vías del departamento, su pavimentación.

El estado no le ha prestado la suficiente atención a las vías secundarias y terciarias, en lo relacionado con estudios diseños y mantenimiento, dándole mayor prioridad a las vías principales, teniendo en cuenta que la intervención y la implementación de un plan de gestión de infraestructura vial en las vías secundarias y terciarias, es vital para el desarrollo agropecuario, socioeconómico y turístico del país.

Contrato de Mejoramientos, conservación y pavimentación, recientemente en el departamento del Tolima, donde se han realizado importantes obras de infraestructura vial mostrando grandes beneficios con grandes contribuciones socioeconómicas a la comunidad y a los sectores productivos. Por lo tanto, es necesario mencionarlos como parte de las investigaciones realizadas por el presente trabajo de grado, así:

- ❖ Pavimentación de la doble calzada Girardot –Bogotá

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar alternativas de la estructura de pavimento para secundaria de Melgar-al Carmen de Apicala localizados así; Tramo 1, comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi) y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+ 400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Realizar un diagnóstico del estado actual de los tramos a intervenir que cumpla las especificaciones técnicas y sean compatibles con las necesidades del sector.
  
- ❖ Presentar las alternativas de diseño de la estructura de pavimento flexible y rígido que cumplan con la normatividad vigente.
  
- ❖ Evaluar las obras de drenaje existentes y recomendar posibles soluciones referentes a las obras a intervenir.

#### **4. PRODUCTO**

- ❖ Levantamiento topográfico de la zona de influencia con la presentación de planos planta-perfil, secciones transversales, detalles y convenciones.
  
- ❖ Aforos del tránsito actual para estimar el tránsito de diseño.
  
- ❖ Determinación de la capacidad de soporte de la subrasante mediante los estudios geotécnicos.
  
- ❖ Determinación de las variables de diseño de acuerdo a las metodologías propuestas.
  
- ❖ Diseño de la estructura del pavimento rígido por el método PCA -84.
  
- ❖ Diseño de la estructura del pavimento flexible mediante el método AASHOT – 93.

## **5. ALCANCE**

A través del desarrollo de este trabajo de grado se presentan deferentes las alternativas de diseño estructural del pavimento flexible y rígido para secundaria de Melgar-al Carmen de Apicala localizados así; Tramo 1, comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi) y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima.

## **6. ACTIVIDADES Y METODOLOGIA**

### **METODOLOGÍA**

Las actividades ejecutadas para la realización de las diferentes alternativas de diseño de las estructuras de pavimento en el secundario de Melgar-al Carmen de Apicala localizados así; Tramo 1, comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi) y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+ 400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima se llevarán a través de IV fases como se relaciona a continuación.

### **FASES DEL PROCESO**

#### **6.1.1 Fase I. Recopilación de Información.**

En esta fase inicial se hizo el desplazamiento a la población para hacer el reconocimiento del sector, toma de registros fotográficos, auscultación visual del estado actual de la vía y recolección de información existente en la Secretaria de Planeación, Infraestructura y Desarrollo de la Alcaldía Municipal.

#### **6.1.2 Fase II. Aforos, Levantamiento topográfico y Estudio de Suelos.**

Se realizaron los aforos vehiculares con dos estaciones de conteo ubicados al inicio y final de los tramos de las vías en estudio, al igual que el levantamiento topográfico del sector por un Topógrafo o profesional afín y los estudios de geotecnia con el acompañamiento del laboratorio de la universidad.

#### **6.1.3 Fase III. Análisis de información recolectada.**

En la fase III se realizó la revisión de la información secundaria obtenida de entidades públicas como la alcaldía municipal del espinal y la información primaria en salidas de campo.

Con los aforos vehiculares se obtiene el número de ejes equivalentes (N) de 8,2 toneladas y el número de repeticiones de carga para un determinado período de diseño establecido en años, basado en características particulares de la vía en mención. El estudio de suelos nos permitió a caracterización estratigráfica del suelo y la obtención de la capacidad portante de la subrasante a través del ensayo CBR. Con el levantamiento topográfico, además de la georreferenciación, se obtuvo la planimetría y altimetría, base para el diseño, cálculo de presupuestos y control de obra durante la etapa de construcción

#### **6.1.4 Fase IV. Elaboración de diseños.**

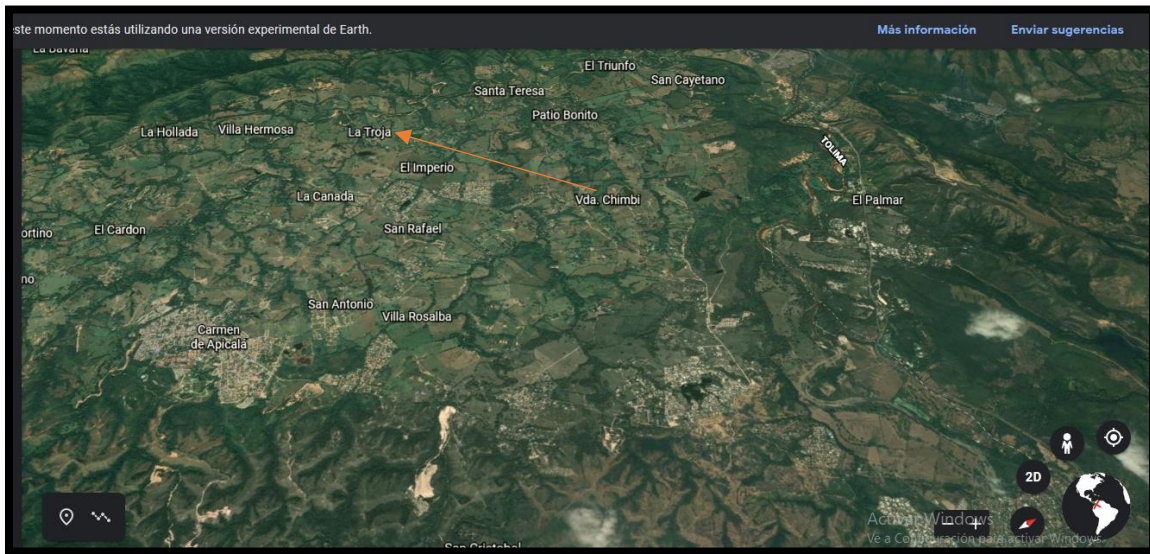
Esta fase consistió en la elaboración de los diseños de las estructuras de pavimento Flexible aplicando el Método AASHTO 1993 y el pavimento rígido aplicando el método de la Portland Cement Association (PCA).

Obtenidas las estructuras de pavimento flexible y rígido se seleccionó la más favorable considerando aspectos técnicos, de seguridad, durabilidad y economía con la correspondientes conclusiones y recomendaciones para su construcción.

## **6.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

Los tramos intervenidos están comprendidos de Melgar-al Carmen de Apicala localizados así; Tramo 1, comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi) y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+ 400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima.

**Figura 1. Localización del Municipio**



Fuente. Cortolima.

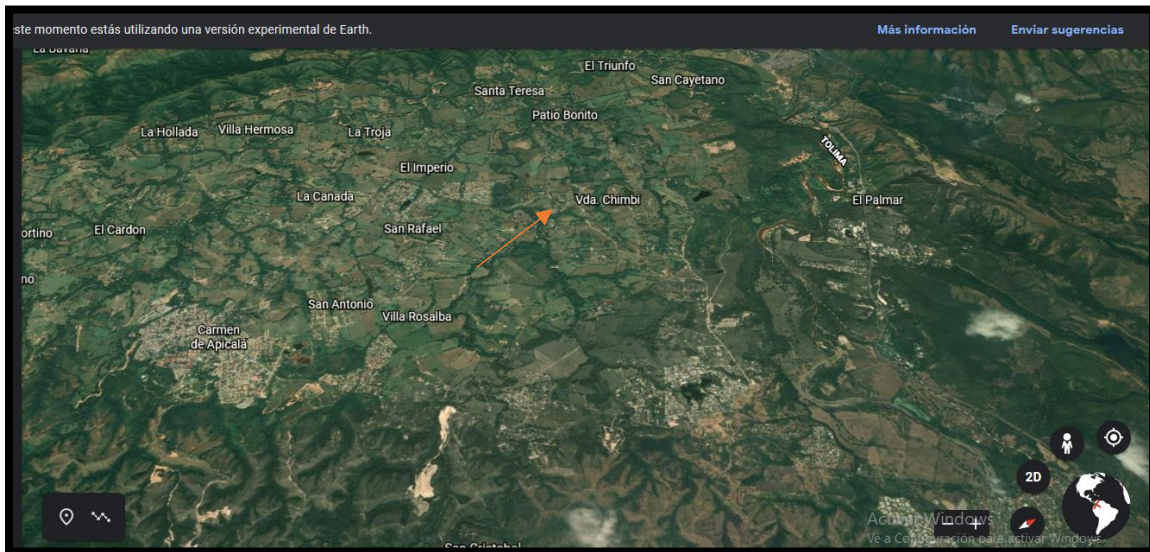
El tramo 1, se encuentra localizado entre la cabecera municipal secundaria de Melgar-al Carmen de Apicala localizados así; Tramo 1, comprendido desde K0+000 (Valle de los lanceros) hasta el K3+400 (Entrada vereda Chimbi)

y Tramo 2, comprendido desde el K3+900 (La Estancia), Hasta el K6+ 400 (los tubos) en el Municipio de Melgar, Tolima.

En la figura 2, se ilustran los dos tramos de vías a intervenir.



**Figura 2. Localización del proyecto.**



Fuente. Google Earth

## **6.3 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LAS VÍAS EN ESTUDIO.**

**6.3.1 Estado actual del tramo 1.** La vía de este tramo presenta una estructura de pavimento flexible que ya ha cumplido su periodo de servicio, debido a que fue construido hace más de 15 años y presenta deterioros severos con baches profundos a lo ancho y largo del carretable, que lo hacen intransitable y peligroso para los usuarios. Son mínimos los mantenimientos preventivos y rutinarios que se le hacen por parte de las administraciones, solo algunos rellenos con material tipo recebo en los huecos profundos para mitigar las caídas en ellos, pero que poco duran, acrecentando la problemática de la circulación vehicular.

El mejoramiento y rehabilitación de este tramo traerá, sin duda, grandes beneficios a las comunidades campesinas del sector y al desarrollo de la región que integra. En la figura 3, se observa el estado en la que se encuentra la vía antes mencionada.

**Figura 3. Estado actual del Tramo 1**



Fuente. Propia

**6.3.2 Estado actual del tramo 2.** La vía de este tramo, en doble calzada, presenta una estructura de pavimento flexible incompleta y muy deteriorada, pues su estructura granular está constituida por materiales de mejoramientos de poca calidad y una capa de rodadura de espesor insuficiente. La vía fue construida hace más de 15 años, ya no presenta condiciones de servicio y no soporta más las cargas vehiculares, las intensas lluvias, la humedad de los cultivos adyacentes ni los mínimos mantenimientos preventivos y rutinarios. Visualmente en la superficie del pavimento se observan todo tipo de fallas, desde pequeñas fisuras hasta grandes baches que la hacen intransitable y peligrosa para los usuarios. Este tramo en doble calzada, es uno de los accesos más importantes del municipio a sus sectores industrial, comercial, hotelero, bancario y turístico. Su mejoramiento y rehabilitación traerá, sin duda, grandes beneficios a sus habitantes,

comunidades campesinas del sector, turistas y contribuirán al desarrollo socioeconómico del sector. En la figura 4, se observa el estado en la que se encuentra la vía en mención.

**Figura 4. Estado actual del Tramo 2.**



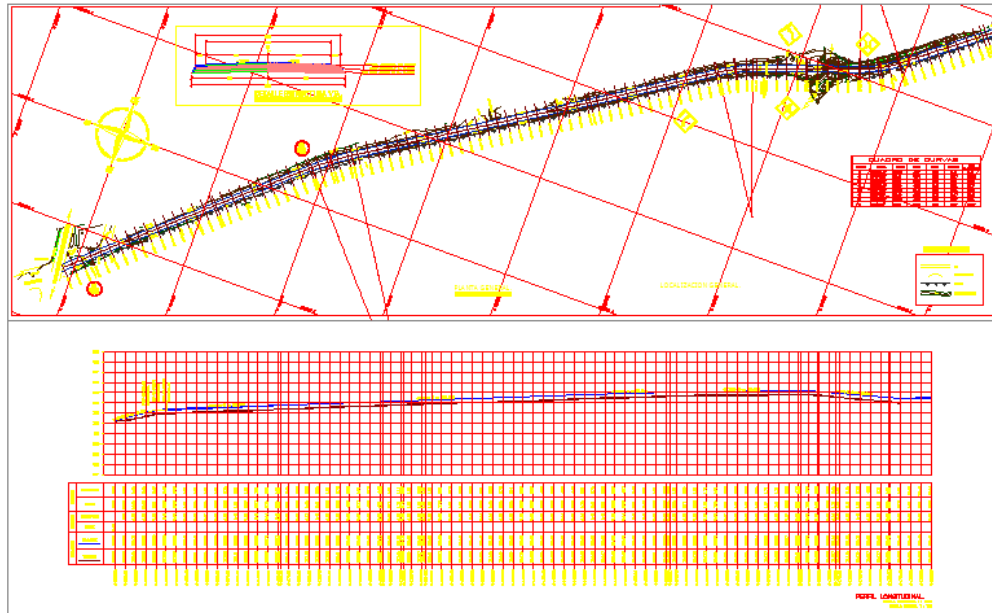
Fuente. Propia

#### **6.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE LA ZONA DEL PROYECTO**

Uno de los aspectos importantes para el diseño en la construcción de vías es el estudio topográfico, ya que éste permite determinar la ubicación del lugar en donde se llevará a cabo el proyecto.

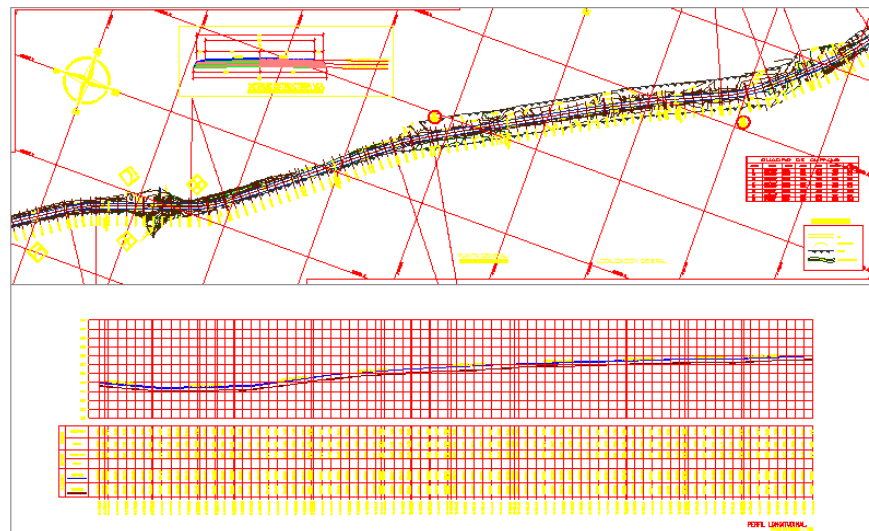
El presente trabajo de grado se desarrolló con el propósito de realizar el diseño de la estructura del pavimento de los tramos 1 y 2 para lo cual fue necesario determinar los parámetros de la vía, como son sus anchos, longitudes, secciones transversales, ejes, paramentos, inventario de obras de arte existente y ubicación dentro del proyecto. En las figuras 5, 6, 7 y 8 se presenta el levantamiento topográfico y los perfiles longitudinales de los tramos a intervenir.

**Figura 5. Levantamiento topográfico, diseño planta general y perfil longitudinal tramo 1, desde el K0+000 al K3+400.**



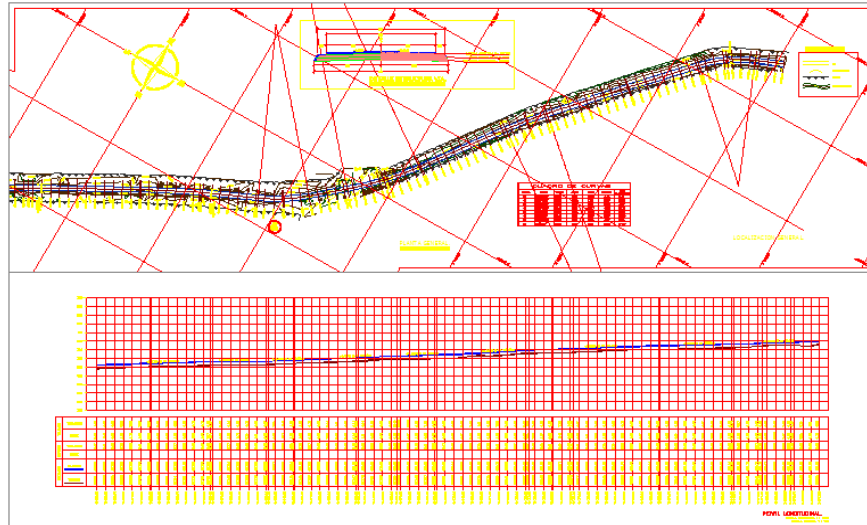
Fuente. Propia

**Figura 6. Levantamiento topográfico, diseño planta general y perfil longitudinal tramo 1, desde el K0+00 al K3+400.**



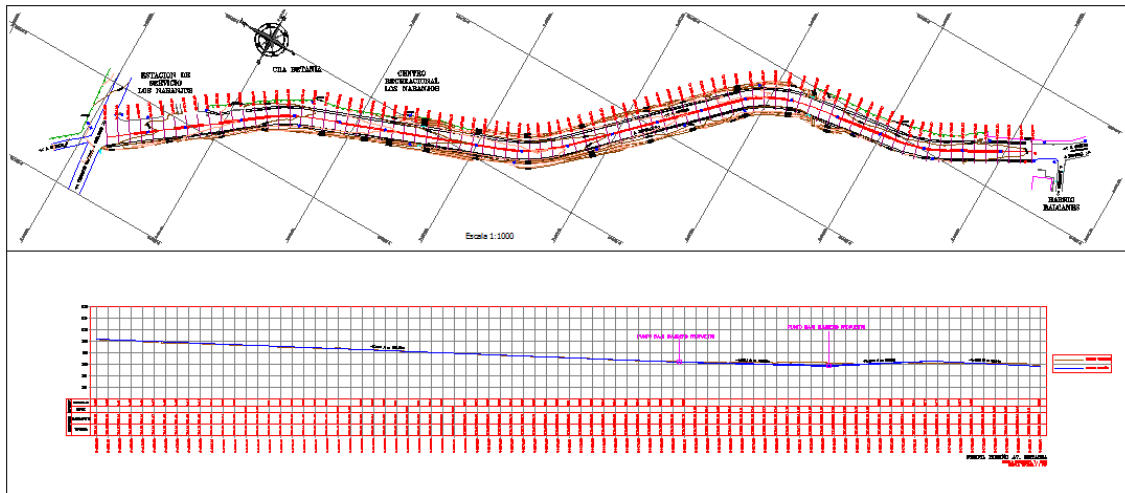
Fuente. Propia

**Figura 7. Levantamiento topográfico, diseño planta general y perfil longitudinal tramo 1, desde el K0+00 al K3+400.**



Fuente. Propia

**Figura 8. Levantamiento topográfico, diseño planta general y perfil longitudinal tramo 2, desde el K3+900 al K6+400.**



Fuente.

Propia

En el anexo A. Se presentan las secciones transversales y en el anexo B. Se presenta las Coordenadas, Cotas de Terreno y Detalles.

## 6.5 ANÁLISIS DEL TRANSITO

En concordancia con los métodos de diseño, las repeticiones de carga, correspondientes al periodo de diseño son determinante para la evaluación de los espesores de las capas que constituyen el pavimento. Para el presente trabajo de consultoría la estructura del pavimento flexible se diseñó con materiales granulares y capa de rodadura asfáltica. Para el pavimento rígido se realizó el diseño con una subbase o base granular y concreto hidráulico.

**6.5.1 Aforos.** Para los tramos a intervenir, se realizó un conteo de transito tomando como punto de referencia valle de los lanceros, localizada en la intersección de la entrada vereda chimbi entre Melgar - al Carmen de Apicala a la cual pertenece los dos tramos en estudio.

Los aforos se realizaron durante un periodo de cinco días con duración de 12 horas, teniendo en cuenta la dirección del recorrido de los vehículos, su composición vehicular y su conectividad con otras vías, con el propósito de determinar su nivel de daño.

El tránsito existente de los tramos en estudio está compuesto por el tránsito local actual y los tránsitos atraídos, generados y desarrollados, provenientes de la doble calzada Girardot – Bogotá y de la variante que mejoró el carretable convirtiéndolo en vía secundaria.

Las áreas adyacentes a los tramos en estudio, pertenecen a sectores productivos en ganadería, minería, agricultura y recreación, convirtiéndose en un atractivo local, regional y nacional, en beneficio como vía alterna para los usuarios y como mejoramiento de la calidad de vida para los habitantes de las veredas del sector.

Es de anotar, que el tránsito local actual son de tipo automóviles tales como camionetas, camperos, que en su mayoría pertenecen a los propietarios de las haciendas vecinas que acceden a los tramos en estudio.

Los tránsitos atraídos son bajos y en su mayoría son de tipo liviano proveniente de los municipios aledaños.

Los tránsitos generados son bajos, si se tiene en cuenta que es más atractivo utilizar mientras no sea necesario vías principales que alternas, como es el caso de la doble calzada Girardot – Bogotá conectividad con los tramos en estudio.

Los tránsitos desarrollados pertenecen a los sectores productivos de la minería, agricultura y ganadería. Con respecto al sector de la minería son los que ingresan diariamente a la extracción, producción y venta de agregados pétreos, en especial para los sectores de la construcción.

Con respecto al sector de la agricultura son los que ingresan en las temporadas de cosechas de algodón, sorgo, arroz, maíz, maní y otros.

Con respecto al sector de la ganadería son los que ingresan en las temporadas de ventas y traslado del ganado.

Los vehículos utilizados para estos fines son de tipo camión. En el cuadro 1 se presenta los conteos manuales de tránsito realizados en el valle los lanceros, en el cuadro 2 el Transito promedio vehicular diario en los sentidos A y B y en el cuadro 3 el resumen total de la composición vehicular en porcentajes en ambos sentidos.

**Cuadro 1. Conteos manuales de tránsito vehicular en el valle los Lanceros.**

Conteos manuales de tránsito vehicular													
A= Hacia Melgar B= Hacia Carmen de Apicala													
Hora	Automóvil, campero, microbuses, taxis y camionetas.		Busetas y buses		C-2 Pequeño		C-2 Grande		C3		C5 - C-6		Total
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Día lunes 16 de Marzo de 2020													
6:00 - 7:00 am	21	8	1				8	3	4	3	3		51
...ver cuadro 17:00 - 8:00 am	24	43		1		1	12	1	3	4			89
8:00 - 9:00 am	15	31						12	1	5			64
9:00 - 10:00 am	20	16			3	2	12	1	6	3			63

Conteos manuales de tránsito vehicular													
A= Hacia Melgar B= Hacia Carmen de Apicala													
Hora	Automóvil, campero, microbuses, taxis y camionetas.		Busetas y buses		C-2 Pequeño		C-2 Grande		C3		C5 - C- 6		Total
	Sentido	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	
10:00 - 11:00 am	16	24		1	4	5	8	8	2	1	2	1	72
11:00 - 12:00 pm	35	16	1										52
12:00 - 1:00 pm	16	20					3	6					45
1:00 - 2:00 pm	32	28			8	8	16	11	6	7			116
2:00 - 3:00 pm	31	24						5	5	7			72
3:00 - 4:00 pm	17	20		2		2	6	4	4	3	4		62
4:00 - 5:00 pm	25	24	1		1			4	3	3			61
5:00 - 6:00 pm	20	18						1					39
<b>TOTAL</b>	<b>272</b>	<b>272</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>65</b>	<b>56</b>	<b>34</b>	<b>36</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>786</b>
Día martes 17 de marzo de 2020													
6:00 - 7:00 am	8	7			2	3				3			23
7:00 - 8:00 am	27	30		1	1		1	8	2				70
8:00 - 9:00 am	16	19				2	2	9	4	5	3		60
9:00 - 10:00 am	22	25					14	20	6	7			94
10:00 - 11:00 am	24	23	1		5	7	11	12	5	3		1	92
11:00 - 12:00 pm	23	22					2	1	3	4			55
12:00 - 1:00 pm	30	36			4	1	1	3					75
1:00 - 2:00 pm	15	24				2	9	5	8	7	3		73
2:00 - 3:00 pm	28	29	2	3			13	3	3	4			85
3:00 - 4:00 pm	15	21				2	3						41
4:00 - 5:00 pm	20	20			1		1	1	3	4			50
5:00 - 6:00 pm	21	24			1								46
<b>TOTAL</b>	<b>249</b>	<b>280</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>57</b>	<b>62</b>	<b>34</b>	<b>37</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>764</b>
Día miércoles 18 de marzo de 2020													
6:00 - 7:00 am	25	20				1	1						47
7:00 - 8:00 am	15	32			3		21	16	6	7	1		101
8:00 - 9:00 am	28	33	2		2			4	5	2	1		77
9:00 - 10:00 am	23	25		3		5	12	14		2		1	85
10:00 - 11:00 am	19	22			3		10	9	2	1	1		67



Conteos manuales de tránsito vehicular														
A= Hacia Melgar B= Hacia Carmen de Apicala														
Hora	Automóvil, campero, microbuses, taxis y camionetas.		Busetas y buses		C-2 Pequeño		C-2 Grande		C3		C5 - C- 6		Total	
	Sentido	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A		B
11:00 - 12:00 pm	20	17				3	6	7	1					54
12:00 - 1:00 pm	23	32			4		1	2	4	3	2			71
1:00 - 2:00 pm	22	20				4	2	1	1	3				53
2:00 - 3:00 pm	27	24			2		9	16	1	2				81
3:00 - 4:00 pm	20	21	1	1	1	1		1	5	5	1			57
4:00 - 5:00 pm	23	16			2	3	3		6	6				59
5:00 - 6:00 pm	22	12			2			1	4	5				46
<b>TOTAL</b>	<b>267</b>	<b>274</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>65</b>	<b>71</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>6</b>	<b>1</b>		<b>798</b>
Día jueves 19 de marzo de 2020														
6:00 - 7:00 am	22	19				1			1	1				44
7:00 - 8:00 am	16	18	1	1	2	1	1	2	6	5	3			56
8:00 - 9:00 am	21	22			2	2			8	3				58
9:00 - 10:00 am	25	26					1	1	5	4	4	1		67
10:00 - 11:00 am	33	32			3	3	15	14	5	7				112
11:00 - 12:00 pm	22	24			1	2	16	15		1				81
12:00 - 1:00 pm	20	23			3	4	11	10		1	1			73
1:00 - 2:00 pm	17	16	1	1				1	2	1	1			40
2:00 - 3:00 pm	18	19		2	3	1				1	1			45
3:00 - 4:00 pm	22	23				3		1	3	4	1			57
4:00 - 5:00 pm	16	16	1				12	11	4		1			61
5:00 - 6:00 pm	20	19			2						1			42
<b>TOTAL</b>	<b>252</b>	<b>257</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>56</b>	<b>55</b>	<b>34</b>	<b>28</b>	<b>13</b>	<b>1</b>		<b>736</b>
Día viernes 20 de Marzo de 2020														
6:00 - 7:00 am		15				2	9	8	2	2	1			39
7:00 - 8:00 am	15	20	1		3	3	10	9	7	1				69
8:00 - 9:00 am	25	19		2	3		13	12	1	1	1			77
9:00 - 10:00 am	19	22						5	7	1	3			57
10:00 - 11:00 am	33	28			2	2	9	8	6	5				93
11:00 - 12:00 pm	24	25						1	1	2	1			54

Conteos manuales de tránsito vehicular														
A= Hacia Melgar B= Hacia Carmen de Apicala														
Hora	Automóvil, campero, microbuses, taxis y camionetas.		Busetas y buses		C-2 Pequeño		C-2 Grande		C3		C5 - C-6		Total	
	Sentido	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A		B
12:00 - 1:00 pm	30	28	1	1		3	3	1	5	1	1	1		75
1:00 - 2:00 pm	31	20			2	3		2	4		3			65
2:00 - 3:00 pm	25	25				1	2	2	3	2	1			61
3:00 - 4:00 pm	19	30			3	2	2	1	6					63
4:00 - 5:00 pm	23	20	1	1	2		3	2		3				55
5:00 - 6:00 pm	16	20					1		1					38
TOTAL	260	272	3	4	15	16	52	51	43	18	11	1		746

Fuente. Los Autores

**Cuadro 2. Promedio del tránsito vehicular diario en los sentidos A y B.**

TPD Sentido A					
Autos	Buses	C-2-P	C-2-G	C3	C5
260	3	16	59	36	9
TPD					383
TPD Sentido B					
Auto	Buses	C-2-P	C-2-G	C3	C5
271	4	17	59	31	1
TPD					383

**Cuadro 3. Resumen total composición vehicular en porcentajes de vehículos en ambos sentidos.**

Total, composición vehicular en porcentajes					
Auto	Buses	C2-P	C2G	C3	C5
531	7	33	118	67	10
69.32%	0.92%	4.31%	15.40%	8.75%	1.30%
TPD					766

TPDS = 766 veh/día

Se determina el factor camión o el factor daño empleando los factores de equivalencia. En el cuadro 4, se presentan los factores de equivalencia expuestos por el INVIAS en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, tabla 3.5 Factores de equivalencia de carga de tipos de vehículos obtenidos a nivel nacional, Popayán, Cauca, 1998, página 17, ISBN 958-96558-1-5.

$$F.C. = \text{Factor camión. } FC = \frac{\sum C_i * F_i}{\sum C_i}$$

$C_i$  = Es la cantidad de vehículos comerciales diarios de tipo (i) que circula por la ruta en el año de relevamiento y estudio del pavimento.

$F_i$  = Es el factor de equivalencia que corresponde a cada pesada del vehículo comercial tipo (i).

**Cuadro 4. Tabla 3.5 - Factores de equivalencia de carga**

Tipo de vehículo		Factor de equivalencia
Buses	Bus	0.40
	Bus metropolitano	1.00
C2P	C2P	1.17
C2G	C2G	3.44
C3 y C4	C3	3.76
	C2 C1	3.37
	C4	6.73
	C3 S1	2.22
	C2 S2	3.42
C5	C3 S2	4.40
>C5	>C5	4.72

Fuente. INVIAS 98

$$F_c = \frac{0.0092*1.0+0.0431*1.14+0.154*3.44+0.0875*3.76+0.0130*4.40}{0.3068}$$

Fc= 3.18

En el cuadro 1 se observan los valores de cada una de las configuraciones encontradas en el tránsito vehicular de la vía ajustado a los parámetros reales para realizar el cálculo de ejes equivalentes, para lo cual se tomará para el diseño el carril vehicular más cargado, así:

$$\text{Carril A} = \frac{123}{235} * 100 = 52.3\%$$

$$\text{Carril B} = \frac{112}{235} * 100 = 47.6\%$$

Se toma como carril de diseño el carril A, el cual posee el 52.34% de vehículos comerciales.

## **6.6 ENSAYOS DE CAMPO**

El estudio de suelos de la sub rasante fue realizado por la empresa fuente bibliográfica en donde se obtuvo el perfil estratigráfico y las características físicas para determinar la capacidad portante del suelo de subrasante para determinar su calidad. Ver anexo F. Ensayos de laboratorio.

Para conocer las características físicas y mecánicas del subsuelo donde se cimentará la estructura del pavimento, se realizaron siete (7) apiques distribuidos en el Tramo 1 y seis (6) apiques distribuidos en el tramo 2. Los apiques se realizaron a una profundidad de 1.00 m. Las muestras que se tomaron fueron alteradas y permitieron determinar la capacidad portante de la subrasante a través de ensayos de CBR.

En las exploraciones se registraron las condiciones estratigráficas del subsuelo y se recuperaron simultáneamente muestras representativas a diferentes profundidades. Ver anexo F. Ensayos de laboratorio.

A las muestras se les realizaron las pruebas de laboratorio que a continuación se listan:

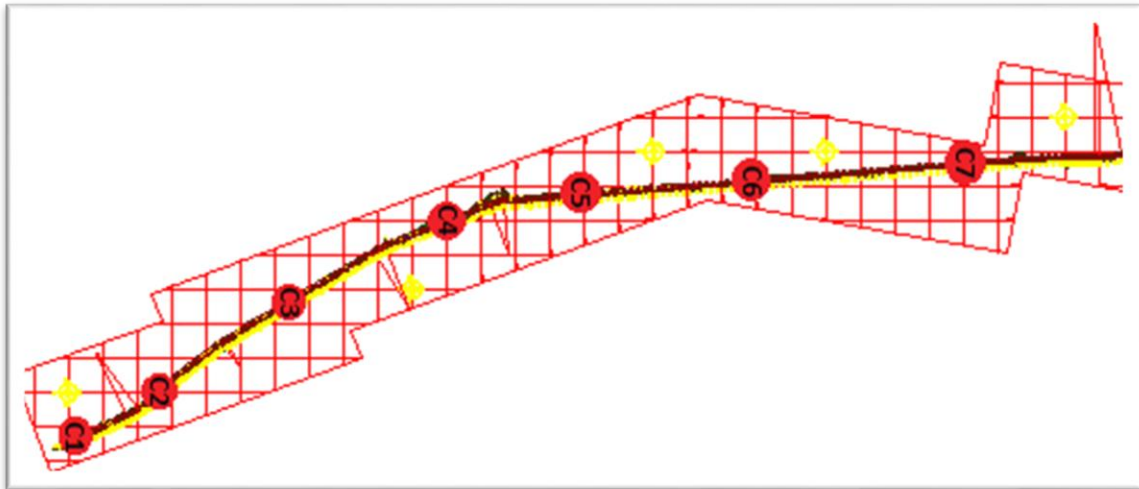
- ❖ Humedad natural
- ❖ Lavado sobre tamiz No 200
- ❖ Análisis granulométrico

- ❖ Límites Atterberg.
- ❖ Límites de consistencia.
- ❖ Densidad.
- ❖ Ensayo de Penetración del C.B.R. en muestras alteradas.

Ver cuadros 5 y 6 donde se resume los resultados de los ensayos de laboratorio.

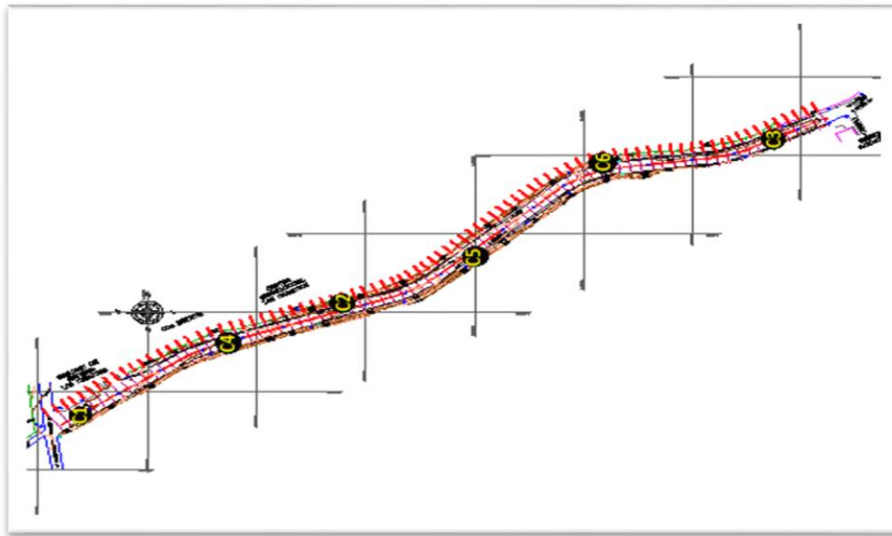
En la figura 9 y 10, se ilustra la localización de los apiques en los tramos en estudio.

**Figura 9. Localización de los apiques en el tramo 1.**



Fuente. Propia

**Figura 10. Localización de los apiques en el tramo 2.**



Fuente. Propia

**6.6.1 Resumen de los ensayos de laboratorio.** En los cuadros 5 y 6, se presenta el resumen de los ensayos de laboratorio realizadas a las muestras extraídas en campo de las calicatas realizadas.

**Cuadro 5. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los apiques del tramo 1.**

Calicata	Prof.	Muestra	LL, %	LP, %	IP, %	$\omega$ , %	IC	Grs./cm <sup>3</sup>	CBR 1"	USC	AASHTO
No. 1	1,20 mts	2	NL	NP	NP	18,3	0,0	1,539	13,6	ML	A-4
No. 2	1,00 mts	4	NL	NP	NP	4,7	0,0	1,727	24,1	SM	A-2-4
No. 3	1,00 mts	3	NL	NP	NP	3,4	0,0	1,812	23,2	SM	A-2-4
No. 4	1,00 mts	4	NL	NP	NP	4,6	0,0	1,832	19,5	SM	A-2-4
No. 5	0,80 mts	2	NL	NP	NP	8,7	0,0	1,857	17,2	SM	A-2-4
No. 6	0,80 mts	2	NL	NP	NP	11,0	0,0	1,862	20,1	SM	A-2-4
No. 7	0,80 mts	2	NL	NP	NP	9,7	0,0	1,913	21,2	SM	A-2-4
<b>Convenciones</b>											
LL:	Límite líquido	$\omega$	Humedad natural		USC	Clasificación Sistema Unificado					
LP	Límite plástico	IC	Índice de consistencia		AASHTO	Clasificación Sistema AASHTO					
IP	Índice de plasticidad	Grs./cm <sup>3</sup>	Densidad suelo seco		Prof.	Profundidad					

Fuente. Propia

**Cuadro 6. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a los apiques del tramo 2.**

Calicata	Prof.	Muestra	LL, %	LP, %	IP, %	$\omega$ , %	IC	Grs./cm <sup>3</sup>	CBR 1"	USC	AASHTO
No. 1	0,80 mts	3	NL	NP	NP	7,3	0,0	1,950	39,0	SM	A-2-4
No. 2	0,80 mts	1	31,9	23,5	8,4	7,8	2,9	1,876	6,4	GC	A-2-4
No. 3	0,80 mts	1	31,3	26,6	4,7	15,9	3,3	1,782	23,1	SM-SC	A-4
No. 4	1,00 mts	1	36,5	29,9	6,6	15,2	3,2	1,761	5,5	SC	A-4
No. 5	1,00 mts	2	29,4	23,5	5,9	7,9	3,6	1,889	17,2	SM-SC	A-4
No. 6	1,00 mts	1	23,1	16,3	6,8	7,3	2,3	1,946	19,9	SC	A-4
Convenciones											
LL:	Límite líquido	$\omega$	Humedad natural		USC	Clasificación Sistema Unificado					
LP	Límite plástico	IC	Índice de consistencia		AASHTO	Clasificación Sistema AASHTO					
IP	Índice de plasticidad	Grs./cm <sup>3</sup>	Densidad suelo seco		Prof.	Profundidad					

Fuente. Propia

**6.6.2 Análisis de los trabajos de campo.** El tipo de suelo encontrado se clasifica como arenas limosas y arcillosas, de plasticidad media y baja, de color café oscuro, condición del suelo húmedo sin agua visible, de consistencia dura y firme de cementación moderada, de resistencia en seco mediana, de dilatación nula, de tenacidad baja y de estructura homogénea.

No se detectó en las calicatas hasta la profundidad explorada nivel de agua freática, pero los suelos estudiados se encuentran con humedades comprendidas entre el 7% al 18%, razón por la cual, hay que tener en cuenta que la presencia de agua puede disminuir la resistencia de los tipos de suelos encontrados, por consiguiente, es un factor fundamental de control.

**6.6.3 Capacidad portante de la subrasante.** Se utiliza para el cálculo del CBR de Diseño el Método del Percentil propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total, del 60, el 75 o el 87.5 % de los valores individuales sea igual o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento. En el cuadro 7, se presenta los límites para selección de resistencia expuestos por el Ingeniero Alfonso Montejó Fonseca, del libro de

Ingeniería de Pavimentos tomo 1, Tercera edición, Universidad Católica de Colombia, 2008, página 68, ISBN 958-97617-9-8.

**Cuadro 7. Tabla 3.8. Límites para selección de resistencia**

Número de ejes 8.2 toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
$<10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$>10^6$	87.5

Se ordenan los valores de resistencia de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores a cada uno. Ver cuadro 8.

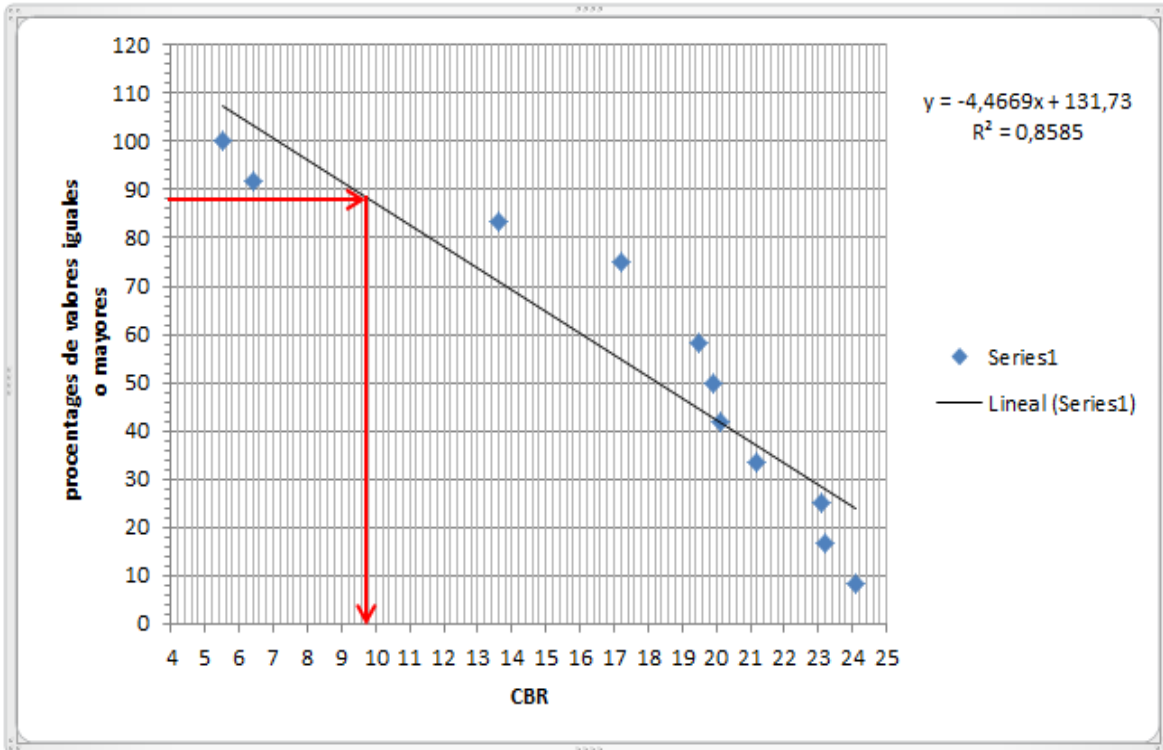
**Cuadro 8. Resistencias de CBR del Tramo 1, organizados de menor a mayor.**

C.B.R. según laboratorio	Número de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
5.5	12	$12/12*100=100$
6.4	11	$11/12*100=91.7$
13.6	10	$10/12*100=83.3$
17.2	9	$9/12*100=75$
19.5	7	$7/12*100=58.3$
19.9	6	$6/12*100=50$
20.1	5	$5/12*100=41.7$
21.2	4	$4/12*100=33.3$
23.1	3	$3/12*100=25$
23.2	2	$2/12*100=16.7$
24.1	1	$1/12*100=8.3$

Se dibuja un gráfico que relacione los valores de CBR con los porcentajes anteriormente calculados. Ver figura 11



Figura 11. Resistencias de CBR del Tramo 1, organizados de menor a mayor.



Fuente. Propia

El C.B.R. de diseño es de 9.8% y se categoriza como un S3. En el cuadro 9, se presenta las categorías expuestas por el INVIAS en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, tabla 5.2 entornos de la resistencia, Popayán, Cauca, 1998, página 45, ISBN 958-96558-1-5.

Cuadro 9. Tabla 5.2 - Entornos de la resistencia

CATEGORÍA	INTERVALO MODULO RESILIENTE (E) kg/cm <sup>2</sup>	INTERVALO C.B.R %
S1	300 – 500	3 ≤ CBR < 5
S2	500 – 700	5 ≤ CBR < 7
S3	700 – 1000	7 ≤ CBR < 10
S4	1000 – 1500	10 ≤ CBR < 15
S5	> 1500	CBR ≥ 15

Fuente. Invias

## 6.7 DISEÑO DE PAVIMENTO

Se presenta la solución dentro del marco reglamentario, basado a las diferentes normas, ensayos pro-investigativos y estudios técnicos por medio de alternativas de diseño establecida “La metodología de AASHTO 93 y La PCA 84 para el análisis del espesor de un pavimento.

**6.7.1 Diseño de la estructura del pavimento flexible.** Para el diseño de la estructura del pavimento asfáltico se utilizó el Método AASHTO 1993. El diseño busca determinar un “Número Estructural SN” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga esperado.

Para determinar el número estructural SN (flexible) requerido, se utiliza la hoja de cálculo de Excel de aplicación directa, Software para Camioneros, Diseño de pavimento flexible por el método ASSTHO 93, Ingeniero Luis Ricardo Vásquez, de Manizales, Colombia.

Ecuación:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_O + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Parámetros

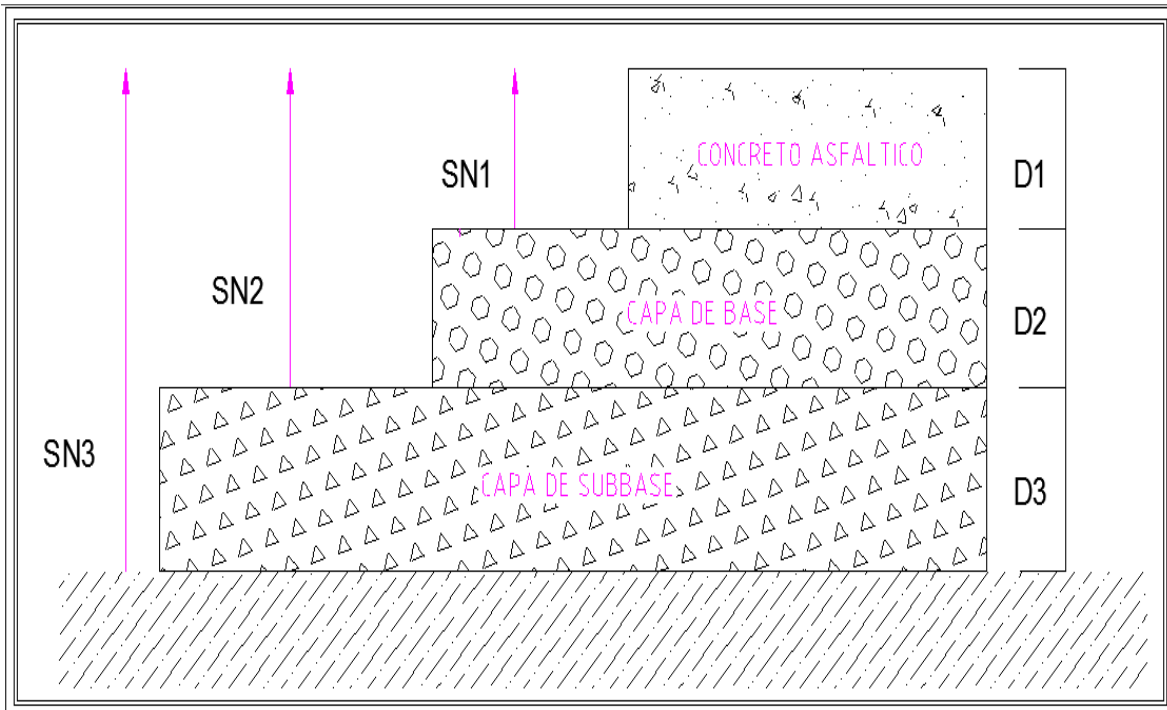
- “W<sub>18</sub>” El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño seleccionado.
- “R” Parámetro de confiabilidad. (Ver anexo A - Tabla I pág. 3-9 AASTHO-93)
- “S<sub>o</sub>” Desviación estándar global. (Ver anexo B - Tabla II pág. 3-10 AASTHO-93)
- “Mr” El módulo de resiliencia efectivo del material usado de la subrasante.
- “ΔPSI” La pérdida o diferencia entre los índices de servicio inicial y final deseados.

Número estructural (SN)

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

- $a_1, a_2$  y  $a_3 =$  Coeficiente de capa representativos de carpeta, base y subbase respectivamente.
- $D_1, D_2$  y  $D_3 =$  Espesor de la carpeta, Base y Subbase respectivamente en pulgadas.
- $m_2 m_3 =$  Coeficientes de drenaje para base y subbase respectivamente.

**Figura 12. Detalle número estructural.**



Fuente. Propia

**6.7.1.1 Parámetros de diseño.** Se emplearon los siguientes parámetros:

- ❖ Selección del período de diseño estructural.
- ❖ Estimación del tránsito de diseño.
- ❖ Determinación de las características ambientales de los materiales relacionados con la calidad drenante.

- ❖ Determinación de la capacidad portante del suelo de subrasante a través del ensayo de CBR.
- ❖ Determinación de la capacidad portante equivalente del suelo mejorado.
- ❖ Determinación de la pérdida de Serviciabilidad.
- ❖ Determinación de los módulos resilientes y valores del coeficiente estructural de los materiales.
- ❖ Dimensionamiento de la estructura del pavimento flexible.
- ❖ Optimización de las dimensiones del pavimento obtenido.

#### 6.7.1.2 Desarrollo de la metodología.

**6.7.1.2.1 Período de diseño.** De acuerdo al tipo de vía que es secundaria y al tipo de estructura que es Pavimento Flexible, el método sugiere una vida útil entre los 10 y los 20 años de servicio, por lo tanto, se asumirá un periodo de 10 años.

**6.7.1.2.2 Estimación del tránsito de diseño.** Se emplea la ecuación que permite estimar el N número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas de los vehículos comerciales en el carril de diseño y durante el periodo de diseño.

$$N = 365 \times TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \times F.C.$$

N = Número de ejes equivalentes.

TPD = Tránsito promedio diario inicial.

A = Porcentaje de vehículos pesados (buses y camiones) en el conteo.

B = Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño.

r = Rata anual de crecimiento del tránsito.

n = Período de diseño estructural.

FC. = Factor camión.

Datos de entrada para cálculo.

TPD = 766 veh/día

A = 30.68%

B = 52.34 %

r = 5.5%

n = 10 años

Fc = 3.18

$$N = 365 * 766 * \frac{30.68}{100} * \frac{52.34}{100} * \frac{(1+0.055)^{10}-1}{\ln(1+0.055)} * 3.18$$

N= 1.888.317  $\approx$  1.9X10<sup>6</sup> Ejes equivalentes de 8.2 Ton

### **6.7.1.2.3 Determinación de las características ambientales de los Materiales**

**relacionados con la Calidad drenante.** Se toman las características ambientales tales como humedad y temperatura sobre las propiedades de los materiales.

De acuerdo con el estudio de suelos realizado el material de subrasante está constituido por arenas arcillosas y limosas de baja plasticidad, lo cual representa para la subbase y la base una calidad de drenaje regular que puede llegar a periodos de saturación importantes. Por consiguiente, para la seguridad del dimensionamiento de la estructura, se asume un coeficiente de drenaje  $m=0.80$ , que corresponde a una calidad de drenaje regular con periodos de tiempo de saturación entre 5% y 25% anual.

En el cuadro 10 y 11, se presenta las Características de drenaje de material de base y/o sub-base granular y el valor recomendados del coeficiente de ajuste (m) para los coeficientes estructurales de las capas de base y/o sub base no-tratadas, expuestos por el INVIAS en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, tabla IX y X, Popayán, Cauca, 1998, página 3-38 y 3-39, ISBN 958-96558-1-5.

**Cuadro 10. Tabla IX - Características de drenaje de material de base y/o sub-base granular**

Nivel de drenaje	Agua eliminada dentro de
Excelente	Dos (2) horas
Buena	Un (1) día
Regular	Una (1) semana
Pobre	Un (1) mes
Muy pobre	El agua no drena

Fuente. Guía de diseño AASHTO - 93.

**Cuadro 11. Tabla X - Valor recomendados del coeficiente de ajuste (m) para los coeficientes estructurales de las capas de base y/o sub base no-tratadas.**

Calidad de drenaje de la base o sub-base	Porcentaje del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está sometido a condiciones de humedad cercanas a saturación			
	Menos del 1%	Entre el 1 y 5%	Entre el 5 y 25%	Más del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente. Guía de diseño AASHTO - 93.

**Capacidad portante de la subrasante.** Con base en los ensayos de laboratorio realizados a la subrasante El C.B.R. de diseño es de 9.8%.

**6.7.1.2.4 Determinación de la pérdida de serviciabilidad.** Se estiman los siguientes valores para pavimentos flexibles:

- ❖ Período de Serviciabilidad inicial  $p_o = 4.2$
- ❖ Período de Serviciabilidad final  $p_t = 2.0$

**6.7.1.2.5 Determinación de los módulos resilientes y los valores del Coeficiente estructural de Los materiales.** Para materiales de subrasante con CBR del 9.8% se utiliza la fórmula:

$$MR = 3000 * CBR^{0.65} \text{ en PSI.}$$

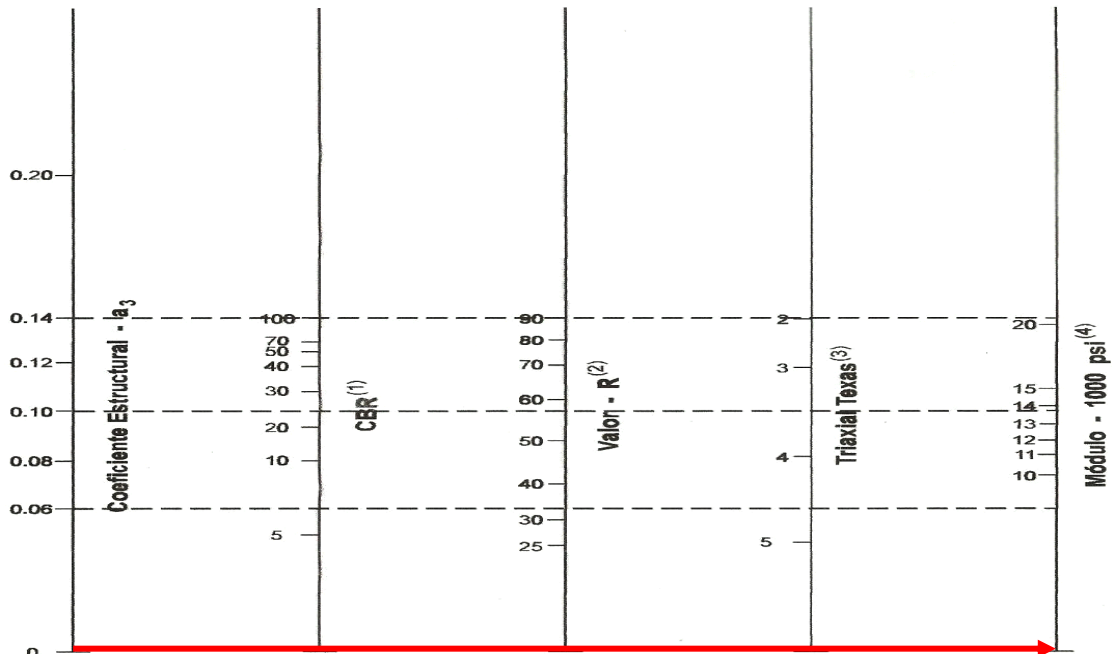
$$MR = 1500 * 9.8^{0.65} = 13.226 \text{ PSI}$$

Para materiales de Subbases granulares con un CBR mínimo del 30% se emplea la figura 12, Coeficiente estructura a partir del CBR de la subbase granular, expuestos por el INVIAS en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, Figura 9, Popayán, Cauca, 1998, página 3-35, ISBN 958-96558-1-5, para determinar el MR.

$$MR = 14.800 \text{ PSI}$$

$$\text{Coeficiente Estructural} - a_3 = 0.11$$

**Figura 12. Coeficiente estructura a partir del CBR de la subbase granular (Figura 9 AASTHO).**



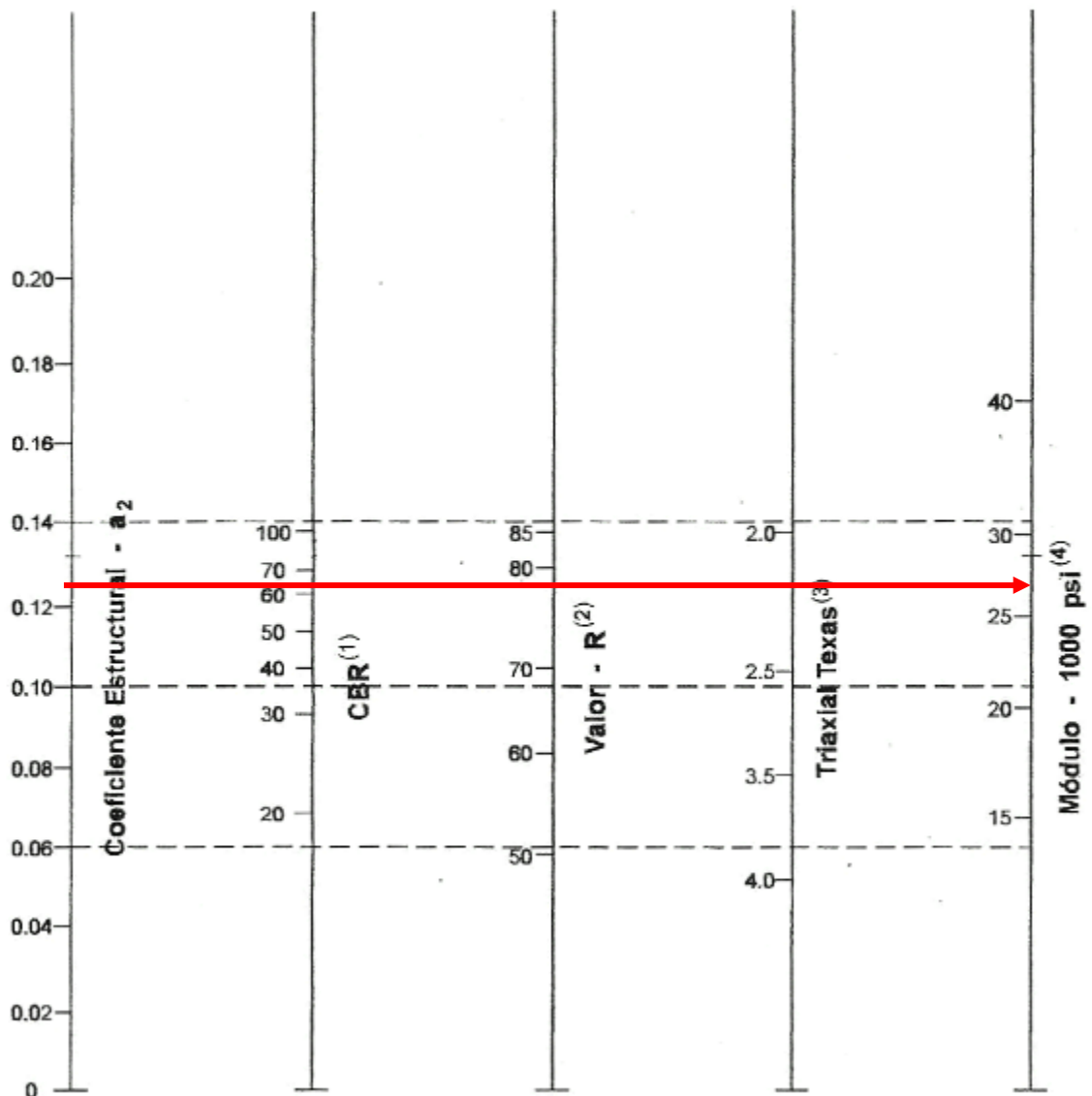
Fuente. Guía de diseño AASHTO - 93.

Para materiales de bases granulares con un CBR mínimo del 80% se emplea la figura 13, Coeficiente estructura a partir del CBR de la base granular, expuestos por el INVIAS en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, Figura 8, Popayán, Cauca, 1998, página 3-34, ISBN 958-96558-1-5, para determinar el MR.

MR= 28.000 PSI

Coeficiente estructural – a2= 0.13

**Figura 13. Coeficiente estructural a partir del CBR de la base granular.**

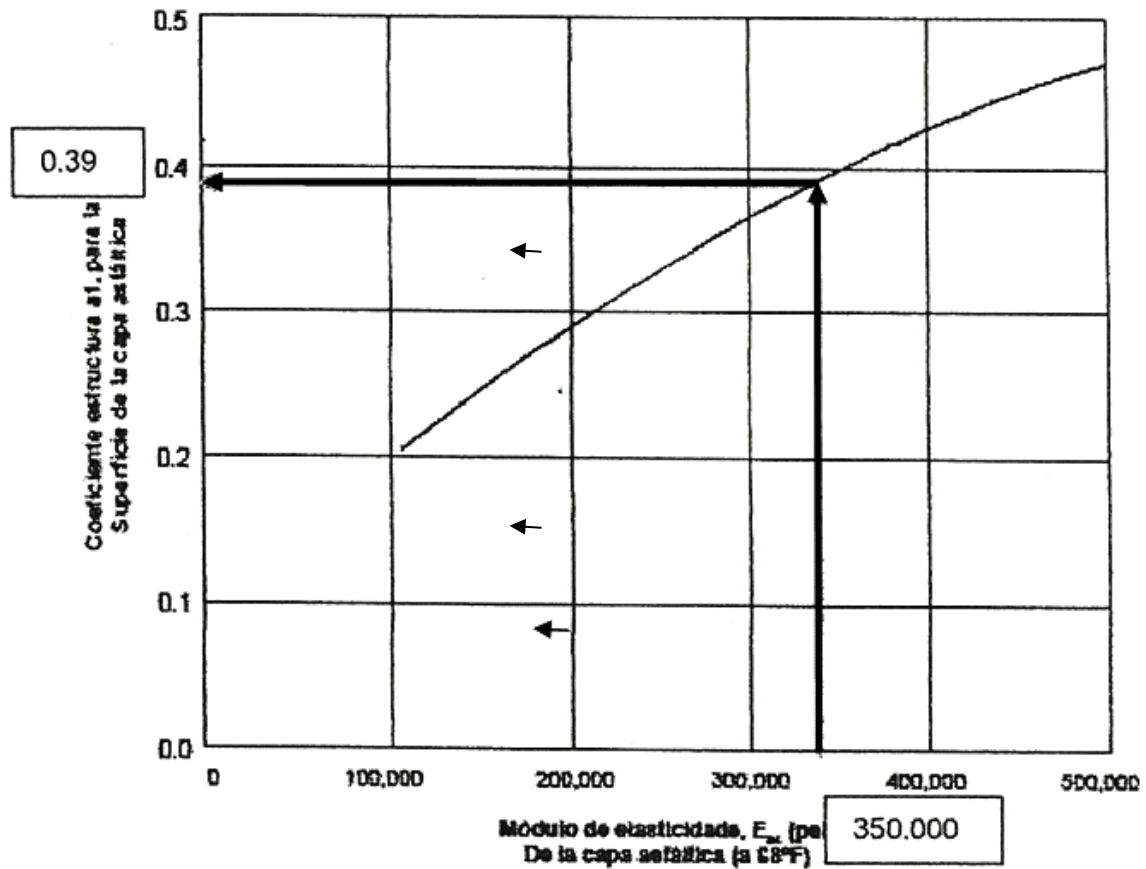


Fuente. Figura 8 AASTHO -93.



Para mezclas asfálticas en caliente se emplea la figura 14. Coeficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfáltico., expuestos por el INVIAS en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos Volúmenes de Tránsito, Figura 6, Popayán, Cauca, 1998, página 3-34, ISBN 958-96558-1-5, la cual presenta un Módulo de elasticidad =350000 Psi. y un Coeficiente estructural  $a_1 = 0.39$ .

**Figura 14. Coeficiente estructural a partir del módulo elástico del concreto asfáltico.**



Fuente. Figura 8 AASTHO -93.

#### 6.7.1.2.6 Dimensionamiento de la estructura del pavimento flexible.

Datos de entrada. Características de los materiales.

❖ Módulo de resiliencia de la carpeta asfáltica = 350.000 psi.

- ❖ Módulo de resiliencia de la Base Granular = 28.000 psi.
- ❖ Módulo de resiliencia de la Subbase Granular = 14.800 psi.

Datos de tráfico y propiedades de la subrasante.

- ❖ Números de ejes equivalentes total (w18) = 1.900.000 E.E.
- ❖ Factor de confiabilidad (R) = 90.00%
- ❖ Desviación estándar normal ( $Z_R$ ) = -1.282
- ❖ Desviación estándar global ( $S_o$ ) = 0.48
- ❖ Módulo de resiliencia de la subrasante (MR psi) = 13.226
- ❖ Serviciabilidad inicial ( $P_i$ ) = 4.2
- ❖ Serviciabilidad Final ( $P_f$ ) = 2.0
- ❖ Período de Diseño. = 10

Datos para estructuras del refuerzo – coeficientes estructurales y de Drenaje (a-m).

- ❖ Concreto asfáltico convencional ( $a_1$ ) = 0.39
- ❖ Base granular ( $a_2$ ) = 0.13
- ❖ Subbase granular ( $a_3$ ) = 0.11
- ❖ Base granular ( $m_2$ ) = 0.80
- ❖ Subbase granular ( $m_3$ ) = 0.80

Cálculo del número estructural a través de la ecuación AASHTO Excel 93 Ver figura 15, 16 y 17

Figura 15. Cálculo del número estructural (SN) de la Subrasante.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' is set to '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.48'. 'Serviciabilidad inicial y final' shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2'. 'Módulo resiliente de la subrasante' is 'Mr = 13226 psi'. The 'Número Estructural' field displays 'SN = 3.05'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected and 'W18 = 1900000'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are at the bottom.

Fuente. Ecuación AASHTO Excel 93

Figura 16. Cálculo del número estructural (SN2) de la base granular.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' section has 'Pavimento flexible' selected. 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' is set to '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.48'. 'Serviciabilidad inicial y final' shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2'. 'Módulo resiliente de la subrasante' is 'Mr = 28000 psi'. The 'Número Estructural' field displays 'SN = 2.33'. The 'Tipo de Análisis' section has 'Calcular SN' selected and 'W18 = 1900000'. Buttons for 'Calcular' and 'Salir' are at the bottom.

Fuente. Ecuación AASHTO Excel 93

**Figura 17. Cálculo del número estructural (SN3) Subbase granular.**

Fuente. Ecuación AASHTO Excel 93

❖ Espesor carpeta asfáltica:

$$D_1 = \frac{SN_{CR}}{a_1} = \frac{2.33}{0.39} = 5.97''$$

Espesor de la Base Granular:

$$SN_{Base} = SN_2 - SN_1 = 2.93 - 2.33 = 0.6$$

$$D_2 = \frac{SN_{BG}}{a_2 m_2} = \frac{0.6}{0.13 \times 0.80} = 5.77''$$

Espesor de la Subbase Granular:

$$SN_{Subbase} = SN_3 - SN_2 = 3.05 - 2.93 = 0.12$$

$$D_3 = \frac{SN_{SBG}}{a_3 m_3} = \frac{0.12}{0.11 \times 0.80} = 1.36''$$

Según la AASHTO el dimensionamiento es:

Subbase granular SBG-1: CBR> 30%	=	3.45 cm
Base Granular BG-2:CBR>80%	=	14.7 cm
Mezcla densa en caliente MDC-19	=	<u>15.2 cm</u>
<b>Espesor total de la estructura</b>	=	<b>33.35 cm</b>

**6.7.1.2.7 Optimización del pavimento obtenido.** Este dimensionamiento se varía sin modificar el número estructural con valores mínimos para mezclas asfálticas y bases granulares que recomienda la guía de la AASHTO – 93 en su tabla XI pag. 3-46.

**Cuadro 12. Tabla XI - Espesores mínimos para capas de concreto asfáltico y base, en función del tráfico esperado.**

Cargas equivalentes (período diseño)	Espesor mínimo (cm)	
	Mezcla asfáltica (todas las capas)	Base y/o sub-base granular
<50.000	2.5(*)	10.0
50.000-150.000	5.0	10.0
150.000-500.000	6.25	10.0
500.000-2.000.000	7.5	15.0
2.000.000-7.000.000	8.75	15.0
>7.000.000	10.0	15.0

Fuente. AASHTO – 93.

El N calculado para el presente diseño es de 1.900.000 E.E. que corresponde al rango entre 500.000 y 2.000.000 E.E que sugiere un espesor de mezcla asfáltica de 7.5 cm y un espesor de base granular de 15 cm como mínimo. Se estima un espesor de mezcla asfáltica de 7.5 cm y una capa de 15 cm de espesor de base granular.

Con estos valores y sin alterar el valor del número estructural calculado para la subrasante, calculamos el nuevo espesor del pavimento, así:

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

$$3.05 = 0.39 * 3'' + 0.13 * 0.80 * 8'' + 0.11 * 0.80 D_3$$

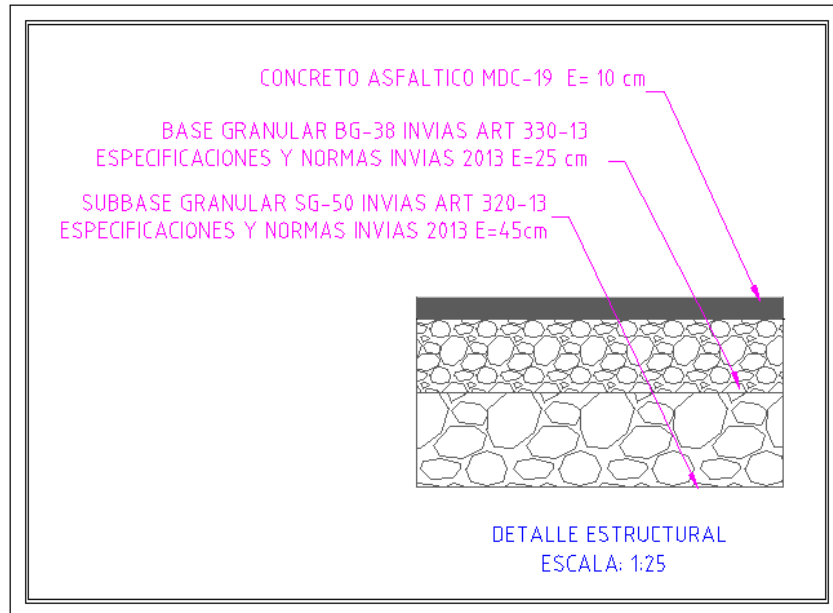
Se despeja D3.

$$D3 = 11.9'' = 30.2 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

Estructura del pavimento flexible definitivo:

Subbase granular SBG-50: CBR > 30%	=	30 cm
Base Granular BG-38: CBR > 80%	=	20 cm
Mezcla densa en caliente MDC-19	=	<u>7.5 cm</u>
<b>Espesor total de la estructura</b>	=	<b>57.5 cm</b>

**Figura 18. Detalle estructural.**



Fuente. Propia

**6.7.2 Diseño de la estructura del pavimento rígido.** Para el diseño de la estructura del pavimento rígido se utilizó el METODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA).

Se emplean los siguientes factores de diseño:

- ❖ Tipos de juntas y bermas

- ❖ Resistencia a la flexión del concreto a 28 días (Modulo de Rotura, MR)
- ❖ Valor K de la Subrasante o del conjunto Subrasante – Subbase.
- ❖ Factor de seguridad de carga por eje.
- ❖ Numero esperado de repeticiones de las diversas cargas por eje en el carril de diseño y durante el periodo de diseño.
- ❖ Determinación del consumo de fatiga para control del agrietamiento y determinación del consumo de erosión para controlar la erosión de la fundación, el bombeo y el desnivel entre losas.
- ❖ Determinación del espesor de la losa de concreto. ++

### 6.7.2.1 Desarrollo de la metodología

**6.7.2.1.1 Tipos de juntas y bermas.** El pavimento rígido se diseñó con juntas que tengan varillas de trasferencia y bordillos o sardineles de confinamiento en concreto.

**6.7.2.1.2 Resistencia a la flexión del concreto a 28 días (MR).** Para el diseño del pavimento rígido se tiene en cuenta la Tabla 3-1 de la página 83 del manual de diseño de pavimento de concreto del Invias, de la cual teniendo en cuenta el número de vehículos comerciales se determina la calidad del concreto a la flexión.

### Cuadro 13. Resistencia que debe alcanzar el concreto

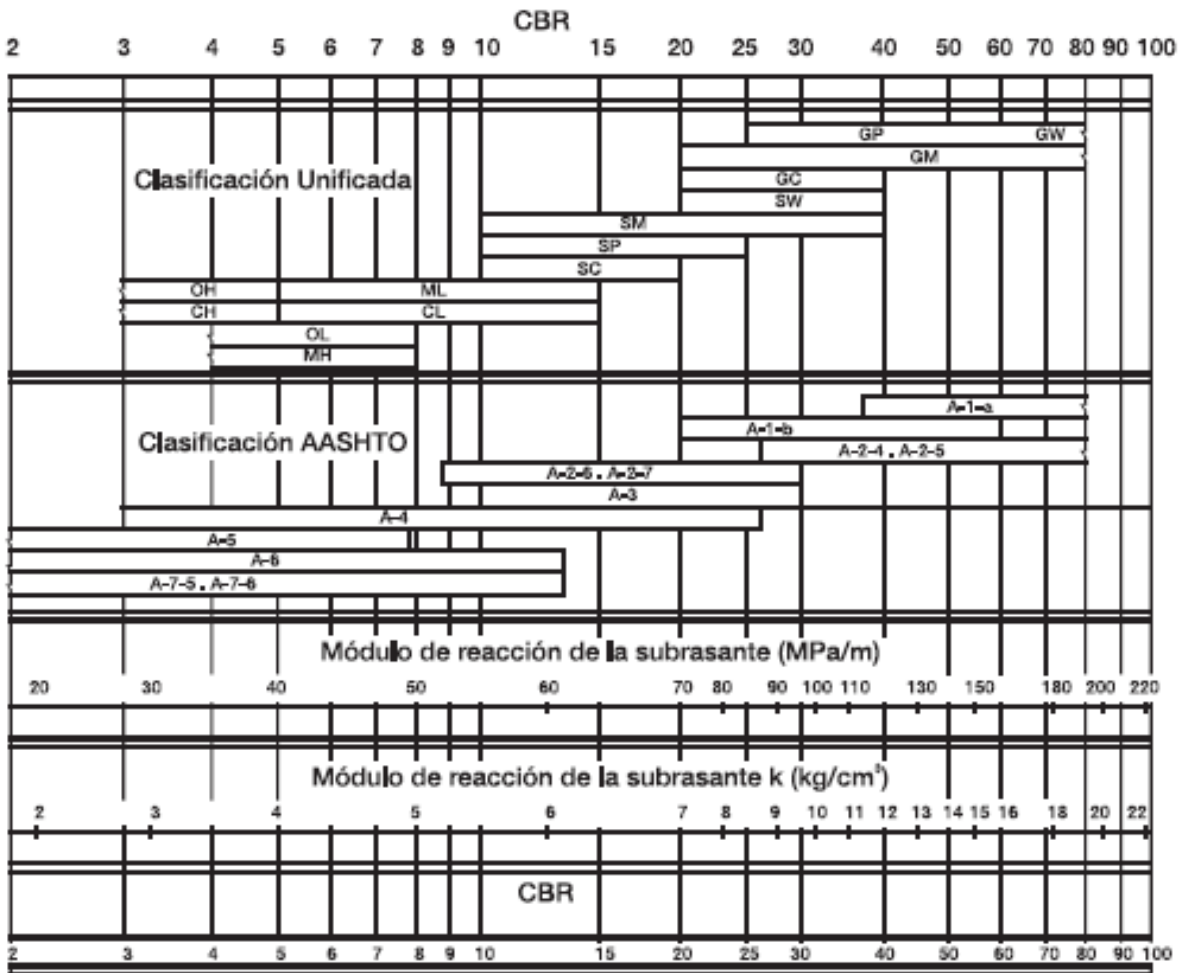
Calidad del concreto	Número de camiones por día			
	>300	150 – 300	25 – 150	<25
A flexión (MPa)	4.5	4.2	4.0	3.8

De acuerdo con el tránsito comercial obtenido en los aforos realizados se toma un módulo de rotura de 4.2 Mpa.

**6.7.2.1.3 Valor K de la Subrasante o del conjunto de Subrasante – Subbase.** Con base en los ensayos de laboratorio realizados a la subrasante El C.B.R. de diseño es de 9.8% con el cual por correlación se determina el módulo de reacción de la subrasante (K), que es la variable con el cual se diseña los pavimentos rígidos.

De acuerdo con la tabla 2-12 ‘‘relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K’’, del manual de diseño de pavimentos de concreto del INVIAS, Pag. 77, para un CBR de 9.8% le corresponde un módulo de reacción K de la subrasante de 54 Mpa/m.

**Figura 19. Tabla 2.12. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K**



Fuente. Manual de diseño de pavimentos de concreto de Invias.



Con el propósito de obtener una plataforma uniforme y que a la vez ayude al fenómeno del bombeo es conveniente colocar una capa de subbase con un espesor de 100 mm, por esta razón se calcula el valor de K combinado del conjunto subrasante – subbase.

De acuerdo con la tabla 8.1 “Efecto de la Sub-base granular sobre los valores de k” tomados del libro de Ingeniería de Pavimentos de Alfonso Montejo Fonseca tomo 1, Pag. 420, para un espesor de 10 cm y con un k de 54 Mpa/m. por interpolación se obtiene un K combinado de 58 Mpa/m.

**Cuadro 14. Tabla 8.1. Efecto de la subbase granular sobre los valores de K.**

Valor de K para sub-rasante		Valor de K para subbase por combinada							
		100 m.m.		150 m.m.		225 m.m.		300 m.m.	
Mpa/m	lb/pulg. <sup>3</sup>	Mpa/m	lb/pulg. <sup>3</sup>	Mpa/m	lb/pulg. <sup>3</sup>	Mpa/m	lb/pulg. <sup>3</sup>	Mpa/m	lb/pulg. <sup>3</sup>
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente. Ingeniería de Pavimentos de Alfonso Montejo Fonseca tomo 1.

**6.7.2.1.4 Factor de seguridad de carga por eje.** Se asume un factor de seguridad para tránsito pesado bajo de 1.0.

**6.7.2.1.5 Numero esperado de repeticiones de las diversas cargas por eje En el carril de diseño y durante el periodo de diseño.** Se determina el tránsito de diseño para 20 años que es lo recomendado por la metodología. Se asume un carril de diseño con un 52.34% de vehículos comerciales por ser una vía secundaria de dos carriles.

Se asume una tasa de crecimiento anual del 5.5%, a la cual le corresponde un factor de proyección del tránsito de 1.7. En el cuadro 15, se presenta las Tasas anuales de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes factores de proyección expuestos por el Ingeniero Alfonso

Montejo Fonseca, del libro de Ingeniería de Pavimentos tomo 1, tabla 8.3 Tercera edición, Universidad Católica de Colombia, 2008, página 4.22, ISBN 958-97617-9-8.

**Cuadro 15. Tabla 8.3. Tasas anuales de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes factores de proyección.**

Tasa de crecimiento anual de tránsito %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1 1/2	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 1/2	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 1/2	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 1/2	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 1/2	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Los factores representan valores para la mitad del período de diseño y son ampliamente usados en la práctica corriente.

$N = 365 \times 766 \times 1.7 \times 0.3068 \times 0.5234 \times 20 = 1.526.474$  Vehículos comerciales.

#### 6.7.2.1.6 Repeticiones de carga esperada por ejes.

**Cuadro 16. Cálculo de las repeticiones de carga.**

VEHICULO	CANTIDAD DE VEHICULOS COMERCIALES EN EL PERIODO DE DISEÑO EN %	SENCILLO SIMPLE	SENCILLO DOBLE	TANDEM	TRIDEM
		60 KN	110 KN	190 KN	240 KN
Bus Metropolitano	2,98	45468	45.468		
C2P	14,04	214348	214.348		
C2G	50,21	766456	766.456		
C3	28,51	435191		435.191	
C5	4,26	64954		129.908	
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>1.526.474</b>	<b>1.026.272</b>	<b>565.099</b>	

Fuente. Propia

**6.7.2.1.7 Determinación del consumo de fatiga para el control del agrietamiento y determinación del consumo de erosión para controlar la erosión de la fundación, el bombeo y el desnivel entre losas.**

Datos de entrada. Modelación de la estructura. Parámetros que intervienen en el dimensionamiento de la estructura con su respectivo valor:

**Cuadro 17. Parámetros de diseño.**

Parámetro de diseño	Valor
Módulo de reacción K.	58 Mpa/m
Tránsito de diseño	1.526.474 EE.
Módulo de rotura (MR)	4.2 Mpa/m
Confinamiento de estructura	Si: Sardinell, pasadores y anden.
Factor de seguridad de carga	1.0
Consumo de fatiga	<100%
Consumo de erosión	<100%
Espesor de la losa propuesto	200 mm

Fuente. Propia

Cálculos y definición diseño óptimo. Para los cálculos de la estructura del pavimento rígido, se adopta la metodología de la PCA- 84, con ayuda del programa de computador y sus resultados son anexos del presente informe. Ver figura 20,21 y 22

**Figura 20. Tránsito ejes simples.**

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : 1.379

Factor de Esfuerzo : 0.3448      Factor de Erosión : 2.373

#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	60	1526474
2	110	1026272
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar      Salir

Fuente. PCA - 84

**Figura 21. Tránsito ejes tándem.**

TRANSITO EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente : 1.17

Factor de Esfuerzo : 0.2925      Factor de Erosión : 2.447

#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	130	565099
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar      Salir

Fuente. PCA - 84.

Figura 22. Cálculo del consumo de erosión y esfuerzo para el diseño de pavimento rígido.

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 58 Mpa/m

Espesor de la Losa : 200 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.2 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 22.3744

Total Consumo Erosión (%) : 4.9166

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

Fuente. PCA – 84.

El espesor de 200 mm propuesto cumple con los criterios de fatiga y erosión.

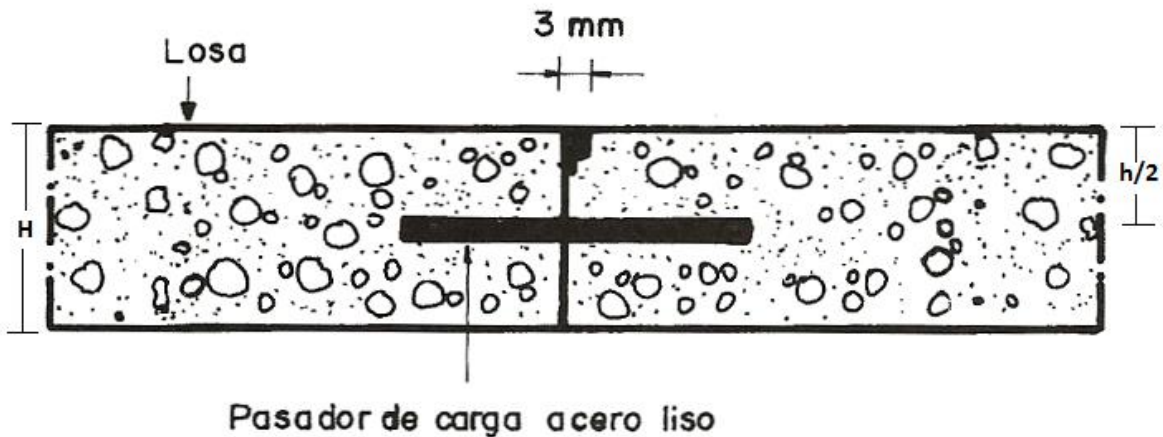
**6.7.2.1.8 Selección de los pasadores de cargas.** Para un espesor de losa de 200 mm, se colocarán barras de transferencias de diámetro de 1”, con una longitud total de 350 mm y separados entre centros 300 mm. Ver tabla 6-2 “recomendaciones para la selección de los pasadores de carga” Pág. 96 del Manual de Diseño de Pavimentos de Concreto del INVIAS.

**Cuadro 18. Tabla 6.2. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga**

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada		
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Fuente. Manual de diseño de pavimentos de concreto de Invias.

**Figura 23. Detalle pasador de carga y espesor de dilatación.**



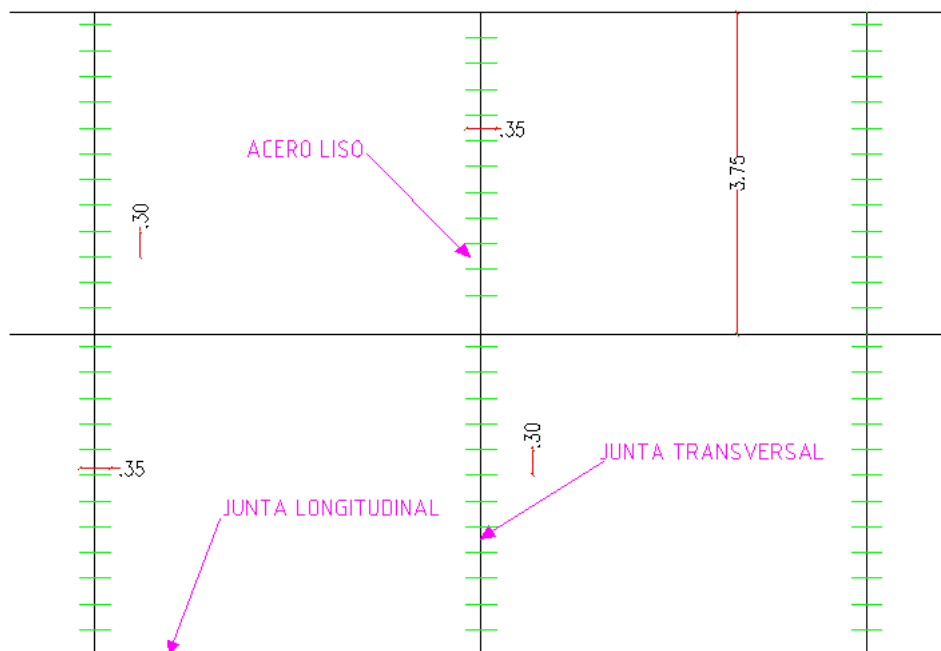
Fuente. Alfonso Montejo Fonseca.

**Cuadro 19. Recomendación para la distribución de las varillas de anclaje.**

Espesor de losa (mm)	Barras de $\phi$ 9,5 mm (3/8")			Barras de $\phi$ 12,7 mm (1/2")			Barras de $\phi$ 15,9 mm (5/8")					
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
<b>Acero de <math>f_y=187,5</math> MPa (40.000 psi)</b>												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,20	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,20	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,85	0,85	0,80		1,20	1,20	1,20
250		0,45	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,20	1,20	1,10
<b>Acero de <math>f_y=280</math> MPa (60.000 psi)</b>												
150	0,65	1,20	1,10	1,00	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
175		1,05	0,95	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

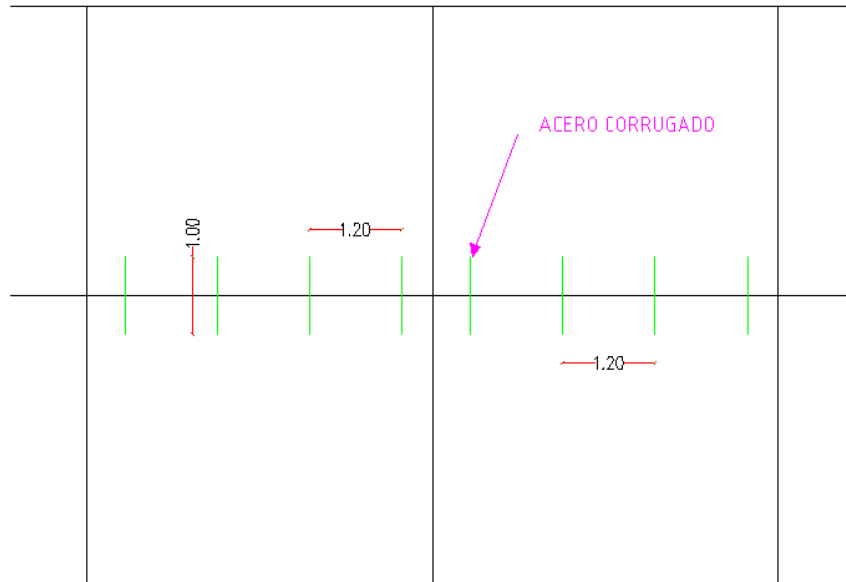
Fuente. Manual de diseño de pavimentos de concreto de Invias.

**Figura 24. Distribución de las barras de transferencia.**



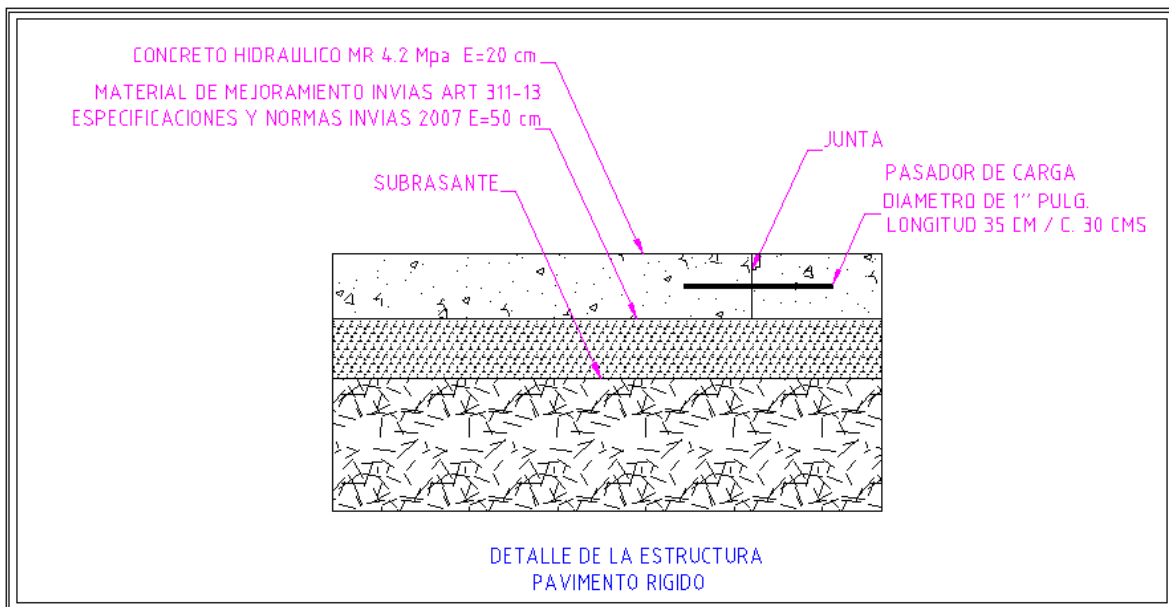
Fuente. Propia

**Figura 25. Distribución de las barras de transferencia.**



Fuente. Propia

**Figura 26. Esquema del dimensionamiento del pavimento rígido.**



Fuente. Propia



## 7. DIAGNÓSTICO

Evaluated por esta consultoría las necesidades que afronta continuamente el sector productivo como comunitario, derivados del estado actual de los tramos a intervenir, se determinó que es necesario su mejoramiento, conservación y pavimentación, pues cada día su deterioro se incrementa debido a la intensidad de las lluvias y a que la vía Melgar - Carmen de Apicala ya se encuentra es más de un 90% pavimentada, lo que está atrayendo, generando y desarrollando mayor tránsito en la región.

En las visitas de campo se socializo con la comunidad la problemática que se presenta, la cual manifestó un descontento general con el estado de la vía, argumentando la falta de mantenimientos preventivos y rutinarios y quejándose de la falta de interés y presencia del estado en solucionar estas problemáticas mencionadas. Esto afianzo más la necesidad de establecer por medio de este trabajo de las posibles alternativas de diseño para la rehabilitación, mejoramiento y adecuación de las vías a intervenir.

Identificada las causas que han originado los deterioros de los tramos, se procedió a realizar los estudios, diseños y alternativas necesarios por parte de este trabajo de grado, que mejoraran las condiciones viales para satisfacer las necesidades del sector productivo y comunitario.

## **8. LIMITACIONES Y FORTALEZAS**

### **8.1 LIMITACIONES**

- ❖ Falta de Presupuesto para la construcción de los tramos de vía.
- ❖ Oposición de la comunidad a la ejecución de la obra en tramos puntuales.
- ❖ Falta de interés por parte de las administraciones en el desarrollo del proyecto.
- ❖ Problemas de drenaje por terrenos planos.
- ❖ El tránsito de tractores agrícolas y movilización del ganado que generan restricción en movilidad vehicular.

### **8.2 FORTALEZAS**

- ❖ Valorización de los suelos productivos
- ❖ Mejoramiento en la conectividad
- ❖ Desarrollo agropecuario
- ❖ Desarrollo económico
- ❖ Desarrollo turístico
- ❖ Desarrollo urbanístico

## 9. RESULTADOS

Este trabajo de grado entrega:

- ❖ Levantamiento topográfico con planos
- ❖ Estudio del tránsito
- ❖ Determinación de la capacidad portante del suelo de subrasante
- ❖ Diseños de las alternativas de pavimentos con perfiles
- ❖ Evaluación económica.
- ❖ Conclusiones y recomendaciones.
- ❖ Registro fotográfico.

## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 10.1 CONCLUSIONES

- ❖ Se evaluaron las necesidades del sector productivo y comunitario, las cuales se tuvieron en cuenta para los estudios y diseños de las alternativas de pavimento.
- ❖ Se pudo establecer teniendo en cuenta la inspección ocular, en los tramos a intervenir, evidencia del estado de deterioro, a un nivel crítico de serviciabilidad. Debido a la prolongación de la vida útil sin tener en cuenta el período de diseño de la estructura de pavimento existente.
- ❖ La falta de mantenimientos preventivos y rutinarios redujo el período de diseño, teniendo como resultado una acelerada patología de pavimento tanto estructurales, superficial y deformaciones que aplican para este caso.
- ❖ Según el método observacional que se implementó para verificación al funcionamiento de drenaje de la vía, mostro carencia de obras de drenaje y subdrenaje que mitigaran los daños ocasionados a la estructura del pavimento. Lo que requiere tener en cuenta en las distintas alternativas de diseño en los tramos de vía a intervenir.
- ❖ Con la implementación de metodologías de diseño existentes para determinar los espesores mínimos de la estructura y teniendo en cuenta los parámetros de diseños se pudo determinar que la mejor alternativa de diseño para los tramos a intervenir es el pavimento flexible basado en menor inversión económica, por facilidad en el mantenimiento y la serviciabilidad.
- ❖ Los tramos a intervenir requieren atención inmediata por parte del Estado.
- ❖ Las vías secundarias y terciarias están en un total abandono, por tal motivo se hace un llamado a las administraciones locales para que formulen proyectos de infraestructura vial y gestionen los recursos de alguna manera para sacar adelante un sector de comunidad, llevar desarrollo y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

## **10.2 RECOMENDACIONES**

- ❖ Todas las actividades que se desarrollen producto de esta consultoría deben ser realizadas teniendo en cuenta el manual de especificaciones para la construcción de carreteras y normas de ensayos del Invias 2013.
  
- ❖ Se deben concluir las obras de drenaje y subdrenaje necesarias que permitirán mantener la estabilidad de los tramos durante el período de la vida útil.
  
- ❖ Todos los materiales que se utilicen para la construcción de las diferentes capas de los pavimentos propuestos, deberán cumplir los requisitos de calidad contemplados en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras del INVÍAS 2013.
  
- ❖ Se deben realizar mantenimientos preventivos y rutinarios para la conservación de la estructura del pavimento.

# ANEXO A. SECCIONES TRANSVERSALES

