

**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMAS DE INGENIERÍA CIVIL
ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA VÍA
UBICADA EN LA CALLE 10 EN EL MUNICIPIO DE ACACIAS – META**



Por:
Andrés Mauricio Bejarano Alcántara
Juan Pablo Lozano Céspedes



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMAS DE INGENIERÍA CIVIL
ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LA VÍA
UBICADA EN LA CALLE 10 EN EL MUNICIPIO DE ACACIAS – META**



Por:
Andrés Mauricio Bejarano Alcántara
Juan Pablo Lozano Céspedes

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de ingeniero civil

Aprobado por:
I.C. Jessica María Ramírez Cuello, M.Sc.
Directora

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Angulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

ING. JESSICA MARÍA RAMÍREZ CUELLO
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, 06 de febrero de 2020

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedicamos principalmente a nuestros padres que con su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años lograron ayudarnos a llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

A la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomas por brindarnos el apoyo y orientación en la realización de este trabajo de grado que se concluye de la mejor manera.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo de grado realizado fue posible por todas aquellas personas que aportaron su apoyo y dedicación para cumplir con el fin de este. Primero que todo agradecer a Dios por guiarnos y permitirnos llegar a concluir el objetivo.

Agradecimientos a nuestros padres por todo el amor, la confianza, dedicación que mostraron a lo largo de estos años, generando motivación, inspiración y respaldo en todas las metas propuestas y cumplidas.

A la ingeniera Jessica María Ramírez Cuello, quien con su apoyo, guía, conocimiento y experiencia pudimos hacer posible la realización de este trabajo de grado.

Y por último a la Universidad Santo Tomas, por permitirnos concluir esta etapa de nuestras vidas, por la orientación y guiarnos en la realización de este trabajo de grado.

RESUMEN

Actualmente el municipio de Acacias se encuentra en auge en cuando a vías, esto con el fin de poder conectar más sectores y generar un crecimiento poblacional y urbanístico. La vía de interés es la calle 10 ubicada al sur del municipio, es considerada una vía importante que conecta varios barrios. Esta vía se encuentra en mal estado, con desniveles que generan grandes daños a los vehículos que pasan por el sector.

La principal contribución es el mejoramiento de una importante vía del municipio con el cual genera un crecimiento poblacional y urbanístico positivo para los involucrados, se decidió realizar los diseños enfocados en un mejoramiento duradero, es por esto que se empleó una estructura de pavimento rígido, estos diseños fueron realizados por medio de la metodología AASHTO 93 y PCA 84, que en la actualidad son los más utilizados.

En este proyecto se realizaron tres apiques en 3 diferentes lugares a lo largo de la vía a mejorar, esto con el fin de poder conocer las características mecánicas del suelo existente y determinar si es necesario mejoramiento o es un suelo estable, en este caso el suelo existente según el ensayo CBR sumergido arrojó valores inferiores a los requeridos para ser un suelo óptimo, es decir que el suelo requiere un mejoramiento, con esto se asegura un comportamiento de la estructura de pavimento óptimo.

En los diseños se tuvieron en cuenta la disposición de bordillos o en su defecto sin confinamiento, esto con el fin de tener mejores alternativas y decidir cuál es la mejor o la correcta para el sitio de disposición. Se decidió un mejoramiento con piedra rajón, base granular sin tratar y un concreto MR- 43.

La aplicación de este proyecto tiene como fin presentarlo a la alcaldía municipal para entrar en revisión y poder implementarlo en la vía debido a su gran importancia para el municipio y tener la posibilidad de ejecutar el mismo.

Para concluir se puede describir que el tipo de suelo no se encuentra en óptimas condiciones para un adecuado comportamiento de la estructura de pavimento. Así mismo se tiene en cuenta que el suelo existente no cumple con las especificaciones INVIAS, lo que no es posible implementarlo en parte de la estructura. Para finalizar se puede concluir que con la implementación de este proyecto se podrá mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector y en general del municipio.

Palabras Clave: AASHTO, Geotecnia, Material de Río, Pavimento Rígido, PCA y Tránsito.

ABSTRACT

Currently, the municipality of Acacias is booming in time to roads, this in order to connect more sectors and generate population and urban growth. The road of interest is the 10th street located south of the municipality, it is considered an important road that connects several neighborhoods. This road is in poor condition, with slopes that generate great damage to vehicles that pass through the sector.

The main contribution is the improvement of an important road of the municipality with which it generates a positive population and urban growth for those involved, it was decided to make the designs focused on a lasting improvement, that is why a rigid pavement structure was used, these Designs were made using the AASHTO 93 and PCA 84 methodology, which are currently the most used.

In this project, three wall lamps were made in 3 different places along the road to be improved, this in order to be able to know the mechanical characteristics of the existing soil and determine if improvement is necessary or is a stable soil, in this case the soil existing according to the submerged CBR test yielded values lower than those required to be an optimal soil, that is to say that the soil requires improvement, this ensures an optimal pavement structure behavior.

The designs took into account the provision of curbs or otherwise without confinement, this in order to have better alternatives and decide which is the best or the correct one for the disposal site. An improvement was made with stone rajón, granular base without treating and a concrete Mr-43.

The purpose of this project is to present it to the municipal mayor's office for review and to implement it on the road due to its great importance for the municipality and to have the possibility of executing it.

To conclude it can be described that the type of soil is not in optimal conditions for an adequate behavior of the pavement structure. It is also taken into account that the existing land does not meet INVIAS specifications, which is not possible to implement in part of the structure. Finally, it can be concluded that with the implementation of this project, the quality of life of the inhabitants of the sector and in general of the municipality can be improved.

Key Word: AASHTO, Geotechnics, PCA, Rigid Pavement, River Material, and Transit.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	15
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
3.	JUSTIFICACIÓN.....	17
4.	OBJETIVOS.....	18
4.1.	OBJETIVO GENERAL	18
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5.	ALCANCE.....	19
6.	MARCO DE REFERENCIA	20
6.1.	MARCO TEÓRICO	20
6.1.1	Estudio de Tránsito	20
6.1.2	Estudio de Suelos	21
6.1.3	Ensayo CBR.....	22
6.1.4	Método AASHTO (1993) – Pavimento Rígido	22
6.1.5	Metodología PCA (Portland Cement Association, 1984) – Pavimento Rígido 26	
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	31
6.2.1	Vías primarias	31
6.2.2	Vías secundarias.....	31
6.2.3	Vías terciarias	32
6.2.4	Pavimento	32
6.2.5	Pavimento rígido	32
6.2.6	Subrasante.....	32
6.2.7	Berma.....	32
6.2.8	Bombeo.....	32
6.2.9	Bordillos	33
6.2.10	Cunetas.....	33
6.2.11	Alcantarillas.....	33
6.2.12	Eje simple estándar o eje sencillo.....	33
6.2.13	Eje tandem.....	33
6.2.14	Eje tridem.....	33
6.2.15	Vehículos livianos	33
6.2.16	Vehículos comerciales	33
6.2.17	Volumen de tránsito	34
6.2.18	Tránsito promedio diario	34
6.2.19	Tránsito existente.....	34
6.2.20	Tránsito atraído.....	34
6.2.21	Tránsito generado.....	34
6.2.22	Factor camión	34
6.3.	ESTADO DEL ARTE.....	34
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	35
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO	36
6.5.1	Acacias – Meta.....	36
7.	EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA.....	39
8.	METODOLOGÍA	40
8.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS.....	41
8.1.1	Revisión bibliográfica	41

8.1.2	Estudios del suelo existente en la zona.....	41
8.1.3	Diseño de la estructura de pavimento	42
8.1.4	Elaboración de planos y esquemas.....	42
8.1.5	Investigación	43
8.1.6	Recomendaciones y conclusiones finales	43
8.2.	POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	43
8.2.1	Aforos.....	43
8.2.2	Ensayos de laboratorio.....	43
8.2.3	Material crudo de rio.....	44
9.	ETAPA 1 (ESTUDIO DE SUELOS – APIQUES).....	45
9.1.	GEOTECNIA.....	45
9.2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO	46
9.2.1	Clasificación del Suelo	47
9.2.2	Determinación de la resistencia del suelo	51
9.3.	ESTUDIO DE TRANSITO.....	53
9.4.	FACTORES AMBIENTALES Y CLIMÁTICOS	54
10.	ETAPA 2 (MATERIAL CRUDO DE RIO).....	57
10.1.	RECOLECCIÓN DE MATERIAL DE RIO	57
10.2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO	57
10.2.1	Clasificación del Suelo	58
10.2.2	Determinación de la resistencia del Suelo	66
11.	DISEÑOS DE PAVIMENTO RÍGIDO POR LA METODOLOGÍA AASHTO Y PCA 84.....	93
11.1.	METODOLOGÍA IVANOV.....	71
11.2	DISEÑO EMPLEANDO METODOLOGÍA AASHTO 93.....	72
11.2.1	Parámetros de Diseño	72
11.2.2	Número de ejes equivalentes.....	72
11.3.	DISEÑO EMPLEANDO METODOLOGÍA PCA 84.....	77
12.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	81
13.	RESULTADOS E IMPACTOS	83
14.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	85
14.1.	CONCLUSIONES	85
14.2.	TRABAJOS FUTUROS.....	86
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	87
16.	ANEXOS.....	88

LISTA DE FIGURAS

Figura 6-1. Tipos de vehículos. Fuente: [2]	20
Figura 6-2. Muestras - Estudio de suelos. Fuente: [4]	21
Figura 6-3. Equipo para el ensayo CBR. Fuente: [4]	22
Figura 6-4. Calculo del número de ejes admisibles para el análisis de fatiga por carga	28
Figura 6-5. Factor de erosión (Sin confinamiento lateral).	29
Figura 6-6. Factor de erosión (con confinamiento lateral).	30
Figura 6-7. Localización municipio de Acacia - Meta. Fuente: [8].....	37
Figura 6-8. Municipio de Acacias - Meta. Fuente: [9]	38
Figura 6-9. Localización zona de estudio. Fuente: [9]	38
Figura 7-1. Metodología	40
Figura 9-1. Realización de apiques	45
Figura 9-2. Toma de muestra inalterada – CBR	46
Figura 9-3. Limite Liquido - Cazuela de Casagrande	49
Figura 9-4. Limite Liquido - Cazuela de Casagrande	49
Figura 9-5. Limite Liquido - Cazuela de Casagrande.....	50
Figura 9-6. Limite Plástico – Material existente	51
Figura 9-7. Obtención muestra inalterada – material existente.....	52
Figura 9-8. Molde CBR sumergido – Muestra inalterada.....	52
Figura 9-9. Aplicación de la carga – Muestra inalterada.....	53
Figura 9-10. Composición Vehicular.....	54
Figura 9-11. Temperatura de diseño. Fuente: Autores.....	55
Figura 9-12. Precipitación de diseño. Fuente: Autores.	56
Figura 10-1. Tamices utilizados – Granulometría.....	59
Figura 10-2. Tamizador – Granulometría	59
Figura 10-3. Limite Liquido - Material crudo de Rio	60
Figura 10-4. Limite Liquido - Material crudo de Rio	61
Figura 10-5. Golpes – Proctor Modificado	63
Figura 10-6. Secuencia de Golpes.	64
Figura 10-7. Sistematización de golpes.....	64
Figura 10-8. Muestra Proctor Modificado.....	64
Figura 10-9. Muestra Proctor Modificado	65
Figura 10-10. Muestra Compactada	65
Figura 10-11. Muestra después de la compactación	66
Figura 10-12. Aplicación de carga (CBR) material de rio.....	67
Figura 10-13. Lavado de material de Rio.....	68
Figura 10-14. Material de Rio en Horno.....	69
Figura 10-15. Material crudo de Rio	69
Figura 10-16. Material descargado de la Maquina de los Ángeles.	69
Figura 10-17. Material que pasa el Tamiz N° 12	70
Figura 10-18. Lavado de Material de Rio.....	70
Figura 11-1. Estructura de Pavimento Rígido – Metodología AASHTO.....	76
Figura 11-2. Estructura de Pavimento Rígido – Metodología AASHTO (Sin Berma)	77
Figura 11-3. Estructura de Pavimento Rígido – Metodología PCA 84.....	79
Figura 11-4. Estructura de Pavimento – Metodología PCA 84 (Sin Berma)	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 6-1. Carril de diseño	21
Tabla 6-2. Valores de K cuando la losa se apoya sobre una capa granular o una capa estabilizada con cementante hidráulico	23
Tabla 6-3. Serviciabilidad final, Pf	24
Tabla 6-4. Valores de CD recomendados.	24
Tabla 6-5. Niveles de confiabilidad R recomendados.	24
Tabla 6-6. Algunos valores de fractil de la ley de normal centrada, Zr.	24
Tabla 6-7. Coeficiente de transferencia de carga, J	25
Tabla 6-8. Dimensiones recomendadas de los pasadores, dovelas o barras de transferencia.....	25
Tabla 6-9. Dimensión recomendada de la barra de anclaje. H, L Y S son el espesor de la losa, la longitud de la barra y la separación entre barras respectivamente	25
Tabla 6-10. Longitud Máxima	26
Tabla 6-11. Estimación del factor carril K2	26
Tabla 6-12. Estimación de K3 para la proyección de tráfico	27
Tabla 6-13. Dimensiones recomendadas de los pasadores, dovelas o barras de transferencia.....	31
Tabla 6-14. Dimensiones recomendadas de la barra de anclaje. H, L Y S son el espesor de la losa, la longitud de la barra y la separación entre barras respectivamente	31
Tabla 6-15. Marco Normativo	35
Tabla 6-16. Área del municipio de Acacias.....	37
Tabla 7-1. Equipo de Investigación y Trayectoria.....	39
Tabla 9-1. Ensayos de Laboratorio.....	46
Tabla 9-2. Tamices.....	48
Tabla 9-3. CBR SUMERGIDO.....	53
Tabla 9-4. Tránsito Promedio Diario	54
Tabla 9-5. TMAP de Diseño	55
Tabla 9-6. PMA de Diseño	55
Tabla 10-1. Ensayos de Laboratorio.....	57
Tabla 10-2. Ensayo Modificado de Compactación	62
Tabla 10-3. Clasificación del suelo.....	63
Tabla 10-4. Granulometrías de las muestras de ensayo	68
Tabla 10-5. Tipos de Granulometría para el ensayo.....	68
Tabla 10-6. Resultados Obtenidos – Maquina de los Ángeles.	70
Tabla 11-1. CBR – Metodología IVANOV.....	71
Tabla 11-2 Número de ejes equivalentes N8.2.....	73
Tabla 11-3. Variables de Diseño – Metodología AASHTO	74
Tabla 11-4. Valores Calculados – Metodología AASHTO	75
Tabla 11-5. Elementos adicionales de la estructura de Pavimento Rígido	75
Tabla 11-6. Estructura de Pavimento Rígido – Metodología AASHTO.....	76
Tabla 11-7. Datos Iniciales – Metodología PCA 84	77
Tabla 11-8. Datos Obtenidos – Metodología PCA 84.....	78
Tabla 11-9. Datos Obtenidos – Metodología PCA 84 (Sin Berma).....	79
Tabla 12-1. Requisitos mínimos según INVIAS sub-base granular	81

<i>Tabla 13-1. Resultados</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 13-2. Impactos.....</i>	<i>83</i>

LISTA DE ECUACIONES

<i>Ecuación 6-1. Módulo de Reacción de la Subrasante</i>	<i>23</i>
<i>Ecuación 6-2. N8.2 Ejes equivalentes.</i>	<i>23</i>
<i>Ecuación 6-3. N, ejes – Metodología PCA.....</i>	<i>26</i>
<i>Ecuación 11-1. Metodología IVANOV</i>	<i>71</i>
<i>Ecuación 11-2. Cálculo espesor estructura de pavimento rígido</i>	<i>74</i>

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años las vías en Colombia se han ido mejorando e implementando modelos para que se unan nuevas regiones y se genere un crecimiento económico y un crecimiento poblacional. Existen muchas vías que aún no se han reparado y están en un estado llamado comúnmente “destapadas”, las cuales sus aspectos no son los óptimos para que fluya el tránsito en los diferentes sectores donde está ubicada la vía, generando grandes problemas tanto ambientales, sociales y económicos. La ubicación de este proyecto se encuentra en el municipio de Acacias – Meta, uno de los más importantes del departamento, este se encuentra en crecimiento económico, social y cultural, es por esto que necesita como prioridad vías en buen estado para que contribuyan con su crecimiento. Los barrios Pablo Emilio Riveros, Dorado Alto, Alcaraván, Urbanización Villa del Prado y Urbanización Everest son barrios que se encuentran en una de las entradas al Municipio y lo que los convierten en importantes ya que existen varias zonas de expansión las cuales ayudan con su crecimiento poblacional y son muy complementarios al municipio.

La vía en época de lluvia se encuentra afectada debido a que se logra un gran deterioro a la calzada y alcantarillas y en sequías al pasar el tránsito se levanta polvo lo que puede ocasionar graves enfermedades en las personas residentes. La implementación de una estructura de pavimento determinada en el sector es de vital importancia, ya que daría solución a todas las problemáticas presentadas. Una estructura bien diseñada, cumpliendo con todos los parámetros establecidos daría una mejora en la comunidad que se ve beneficiada por dicha obra civil. Una de las funciones que debe cumplir una vía que queda al interior del municipio es que se conecte con una vía principal para que se convierta en importante, esto dará vía libre hacia vías primarias y se generará menor tiempo en la movilidad.

El tema genera gran expectativa ya que en cualquier parte las personas quieren buscar comodidades, nuevas formas de vivir, tranquilidad, algo básico para una buena calidad de vida de las personas, es en donde una vía en buen estado ayudaría en gran parte a dar solución o contribuir en lograr dichas condiciones necesarias para el ser humano. El mejoramiento de las vías es importante ya que genera empleo, directa e indirectamente, reduce el tiempo en el desplazamiento y restablece algunas viviendas que estaban vulneradas por el mal estado de las vías cercanas. La vía por su cercanía a uno de las entradas del municipio está directamente conectada a la vía principal del municipio, donde pasa el mayor tránsito del municipio y es necesario que todas las vías que se conectan a la principal estén en óptimo estado para un mejor crecimiento económico, social y cultural. Este proyecto de grado contiene la respectiva recopilación de las problemáticas existentes en el sector para luego analizarlos y dar su solución; las diferentes definiciones y teorías expuestas para la elaboración del proyecto; la metodología a utilizar para su desarrollo, además de un paso a paso respectivo para establecer el proceso adecuado que se debe seguir para el desarrollo del proyecto de grado; se exponen los resultados esperados con el fin de proponernos a lograrlos y los respectivos impactos que se pueden llegar a lograr con la implementación del trabajo de grado.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál sería el impacto que tendría la construcción de la estructura de pavimento en este sector para la sociedad futura?

Debido a la falta de una estructura de pavimento en la vía ubicada en la calle 10 en el municipio de Acacias – Meta, se han presentado distintos problemas socioeconómicos, de movilidad, ambientales y de salud en las personas lo que ha generado una disminución en el crecimiento urbanístico del sector. Los anteriores problemas se pueden evidenciar diariamente en las diferentes vías que no están en óptimo estado, encharcamiento debido a las lluvias, lo que puede llegar a ocasionar enfermedades debido a la reproducción de insectos, también se puede evidenciar el levantamiento de polvo lo que genera complicaciones respiratorias en los residentes del sector y baja una mala calidad de vida, los problemas de movilidad se basan en la demora del tránsito para su desplazamiento y los daños en los vehículos ocasionado por el mal estado de la vía. Con la implementación de la estructura de pavimento se pretende dar solución a los problemas socioeconómicos, aumentar la movilidad debido a su cercanía con la vía principal del municipio, reducir los daños ambientales que a su vez se reducirán los problemas de salud en la comunidad y esto aumentará un crecimiento urbanístico, haciendo uso de las zonas de expansión propuestas por el POT [1], generando beneficios mutuos tanto a la comunidad como al municipio, aumentando la calidad de vida de los residentes.

3. JUSTIFICACIÓN

El crecimiento poblacional y urbanístico es importante en el sector ya que la vía ubicada en la calle 10 se encuentra en el sur - occidente del municipio de Acacias – Meta, estando cerca de las zonas de expansión del municipio, crecimiento que traerá beneficios socioeconómicos en el sector.

La implementación de la estructura de pavimento determinada traerá consigo un beneficio para los habitantes del sector, ya que daría solución a la problemática que se presenta: encharcamientos, pérdida de tiempo, tránsito lento, daños vehiculares, propagación de enfermedades y baja calidad de vida de la comunidad que intervienen a lo largo de la vía. Son algunos de los problemas que se solucionarían con el diseño e implementación de la estructura de pavimento en la vía relacionada.

El proyecto se articula con la línea de pavimentos, ya que se podrá implementar los conocimientos adquiridos en dicha línea y ponerlos en práctica para la realización de este proyecto. Lo anterior con el fin de saber interpretar cada situación que se presente y dar su respectiva y correcta solución.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudio y diseños para la estructura de pavimento de los barrios Pablo Emilio Riveros, Dorado Alto, Alcaraván Urbanización Villa del Prado y Urbanización Everest en el municipio de Acacias – Meta.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si el tipo de suelo existente en la vía es adecuado para su uso, a través de su caracterización, teniendo en cuenta las normas INVIAS.
- Definir las variables necesarias para el diseño del pavimento.
- Calcular la variable tránsito de la vía en estudio a través de aforos vehiculares y teniendo en cuenta la metodología de diseño.
- Estimar la capacidad portante de la sub-rasante (CBR) por medio de estudios de suelos.
- Analizar el material crudo del rio Guayuriba para su utilización como capa de sub-base, teniendo en cuenta las normas INVIAS.

5. ALCANCE

El presente proyecto tiene como fin realizar los estudios necesarios para realizar un diseño en los barrios Pablo Emilio Riveros, Dorado Alto, Alcaraván, Urbanización Villa del Prado y Urbanización Everest y fomentar un crecimiento urbanístico que beneficie al municipio de Acacias – Meta.

Las aspiraciones en la realización de este proyecto son:

- Analizar mediante un estudio de tránsito, el tipo y cantidad de flujo vehicular que circula por la vía, con el fin de identificar el tránsito existente en el sector.
- Mediante ensayos de laboratorio se pretende establecer las condiciones del suelo existente y determinar si son recomendables para el uso tanto de base como de sub-base en la estructura del pavimento.
- Diseñar la estructura de pavimento rígido mediante las metodologías AASHTO y PCA, con el fin de compararlas y escoger la más apropiada para su respectiva implementación.
- Realizar análisis de laboratorio al tipo de suelo obtenido del río Guayuriba, con el fin de identificar si es óptimo para el uso de sub-base granular, reduciendo así mismos, los costos de construcción de pavimentos en las ciudades aledañas al recurso hídrico. En caso de no satisfacer los requerimientos como material para sub-base, se evaluará su posible uso como material de mejoramiento de la subrasante.
- Establecer una ampliación de conocimientos prácticos a la hora de realizar un proyecto a futuro.

6. MARCO DE REFERENCIA

En la siguiente sección se podrá visualizar las diferentes metodologías existentes para el desarrollo del proyecto, con esto se pretende brindar una gran ayuda a la hora de tomar decisiones mejorando el criterio como futuros ingenieros.

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1 Estudio de Transito

Es la variable más importante en el diseño de una vía, el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura de pavimento.

- Tipos de vehículos: Según en INVIAS los vehículos se clasifican en diferentes categorías las cuales se muestran en la ilustración 1 [2]

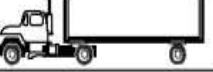
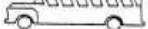
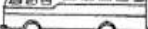
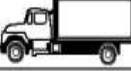
TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS			C3 Y C4	CAMION C3	
				CAMION C4	
				TRACTO-CAMION C2-S1	
BUSES	BUSETA			TRACTO-CAMION C2-S2	
	BUS			TRACTO-CAMION C3-S1	
	BUS METROPOLITANO		C5	TRACTO-CAMION C3-S2	
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUEÑO			TRACTO-CAMION C3-S3	
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE		> C5		

Figura 6-1. Tipos de vehículos.

Fuente: [2].

- Determinación del tránsito: Se puede presentar en dos situaciones, vías existentes y vías nuevas.
 - Vías existentes: Cuando existen registros históricos como por ejemplo conteos en vías nacionales y con ayuda de la tasa de crecimiento poblacional de la zona mediante registros del DANE. Cuando no existen registros históricos se debe realizar aforos y obtener el TPD (Transito promedio diario).

- Vías nuevas: Realizando estudios origen – destino mediante encuestas en la zona del proyecto para determinar patrones de viaje, tanto de carga como de pasajeros. Otra alternativa es mediante la aplicación de curvas de crecimiento de otras vías, utilizando la información de otras vías con características similares con el fin de estimar volúmenes de tránsito.
- Carril de diseño: Para el dimensionamiento de la estructura de pavimento interesa solamente el tránsito que pasa por un carril, al cual se denomina carril de diseño, que es aquel por el cual se espera que circule el mayor volumen de vehículos pesados. [2]

Tabla 6-1. Carril de diseño

Número de carriles.	Porcentaje de vehículos pesados en el carril de diseño.
2	50
4	45
6+	40

Fuente: [3]

6.1.2 Estudio de Suelos

El método consiste en realizar perforaciones sobre la superficie del terreno para obtener muestras particulares del subsuelo. Con ello se sabe la capacidad de carga del suelo, así como las virtudes o irregularidades que pudiera beneficiar o afectar al proyecto.

La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aún con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos. [4]



Figura 6-2. Muestras - Estudio de suelos.

Fuente: [4]

Los ensayos a realizar son los siguientes:

- Análisis Granulométrico por Tamizado
- Límites de Atterberg
- Humedad óptima
- Proctor Modificado
- CBR (California Bearing Ratio)

6.1.3 Ensayo CBR

El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala.

Según la norma ASTM D 1883-07, el CBR es un ensayo de carga que usa un pistón metálico, de 0.5 pulgadas cuadradas de área, para penetrar desde la superficie de un suelo compactado en un molde metálico a una velocidad constante de penetración de 1.27 mm/min. Se define CBR, el parámetro del ensayo, como la relación entre la carga unitaria en el pistón requerida para penetrar 0.1" (2.54 cm) y 0.2" (5.08 cm) en el suelo ensayado, y la carga unitaria requerida para penetrar la misma cantidad en una piedra picada bien gradada estándar; esta relación se expresa en porcentaje. [4]



Figura 6-3. Equipo para el ensayo CBR.
Fuente: Autores

6.1.4 Método AASHTO (1993) – Pavimento Rígido

Las variables necesarias para emplear este método de diseño son: [3]

- Subrasante: Caracterizada a través del módulo de reacción de la subrasante k. Si la losa se apoya directamente sobre la subrasante, el k que se utiliza en el diseño es aquel que se obtenga en la subrasante. Si la losa se apoya sobre una capa granular de subrasante o base el k de manera obvia incrementa.

$$K = 2.55 + 52.5 * \log (CBR) \text{ --- } CBR \leq 10\%$$

$$K = 46 + 9.08 (\log (CBR))^{4.34} \text{ --- } CBR > 10\%$$

Ecuación 6-1. Módulo de Reacción de la Subrasante

Tabla 6-2. Valores de K cuando la losa se apoya sobre una capa granular o una capa estabilizada con cementante hidráulico.

K subrasante		Valores de K							
		Capa granular no tratada							
		10 cm		15 cm		22,5 cm		30 cm	
Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci
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
K subrasante		Capa estabilizada con cementante hidráulico							
		10 cm		15 cm		20 cm		25 cm	
Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci
20	73	60	220	80	300	105	400	135	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900	-	-

Fuente: [3]

- Transito: Se caracteriza a través del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que circulan en el carril y el periodo de diseño.

$$N_{8.2} = TPD * \frac{K1}{100} * \frac{K2}{100} * 365 * \frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} * FC$$

Ecuación 6-2. N8.2 Ejes equivalentes.

- Propiedades mecánicas de la losa de concreto: Los parámetros mecánicos son el módulo elástico E_c y el de rotura M_R , medidos a los 28 días.
- Índice de serviciabilidad: Este índice tiene en cuenta el estado inicial y final de serviciabilidad del pavimento que se diseñará y construirá. El estado de serviciabilidad se evalúa de manera cuantitativa asignando un valor entre 0 y 5, donde 5 es el máximo valor, asumiendo que el pavimento se encuentra en perfecto estado de serviciabilidad.

Tabla 6-3. Serviciabilidad final, Pf

Tipo de vía	Serviciabilidad final, pf
Autopista	3.0
Colectores	2.5
Calles comerciales e industriales	2.25
Calles residenciales y estacionamientos	2.0

Fuente: [3]

- Condiciones ambientales y drenaje: Los coeficientes de drenaje para las capas de base y sub-base se selecciona de acuerdo a las características del material, la calidad del drenaje y porcentaje de tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta niveles de humedad próxima a la saturación. Este porcentaje se calcula como la relación entre el número de días promedio que llueve en la zona donde se construirá la estructura y los 365 días del año.

Tabla 6-4. Valores de CD recomendados.

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	Más del 5 %
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: [3]

- Confiabilidad (R): Tiene en cuenta el grado de incertidumbre que se presenta durante la estimación de las variables de diseño anteriormente mencionadas. Introduce para tal fin un factor de seguridad al diseño.

Tabla 6-5. Niveles de confiabilidad R recomendados.

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad R (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectoras	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: [3]

Tabla 6-6. Algunos valores de fractil de la ley de normal centrada, Zr.

R (%)	50	70	75	80	85	90	92	94	95	98	99.99
Zr	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0	0.524	0.674	0.841	1.037	1.282	1.405	1.555	1.645	2.054	3.750

Fuente: [3]

- Coeficientes de transferencia de carga (J): Es un parámetro adimensional que tiene en cuenta la capacidad que tienen los pasadores en una estructura de pavimento rígido de transferir o distribuir cargas en la zona más propensa a fallar (juntas). Este parámetro adimensional tiene en cuenta el efecto que genera sobre las juntas y sobre la transferencia de carga de confinamiento lateral de la losa.

Tabla 6-7. Coeficiente de transferencia de carga, J

COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J)	
Juntas con pasadores, losa confinada.	2.7
Juntas con pasadores, losa no confinada.	3.2
Juntas sin pasadores, losa confinada.	4.2
Juntas sin pasadores, losa no confinada.	4.4

Fuente: [3]

- Las dimensiones de los pasadores y de las barras de anclaje (diámetro y longitud).

Tabla 6-8. Dimensiones recomendadas de los pasadores, dovelas o barras de transferencia.

Espesor de losa (cm)	Diámetro del pasador (Pulgadas)	Longitud pasador (cm)	Separación entre centros de barras (cm)
14 - 15	3/4	35	30
16 - 18	7/8	35	
19 - 20	1	35	
21 - 23	1 1/8	40	
24 - 25	1 1/4	45	
26 - 28	1 3/8	45	
29 - 30	1 1/2	50	

Fuente: [3]

Tabla 6-9. Dimensión recomendada de la barra de anclaje. H, L Y S son el espesor de la losa, la longitud de la barra y la separación entre barras respectivamente.

H (cm)	Barras de Φ 3/8"				Barras de Φ 3/8"				Barras de Φ 5/8"			
	L (cm)	S (cm)			L (cm)	S (cm)			L (cm)	S (cm)		
		3.05	3.35	3.65		3.05	3.35	3.65		3.05	3.35	3.65
Acero de $f_y = 280$ Mpa (40000 psi)												
15	45	80	75	65	60	120	120	120	70	120	120	120
17.5		70	60	55		120	110	100		120	120	120
20		60	55	50		105	100	90		120	120	120
22.5		55	50	45		95	85	80		120	120	120
25		45	45	40		85	80	70		120	120	120
Acero de $f_y = 420$ Mpa (60000 psi)												
15	65	120	110	100	85	120	120	120	100	120	120	120
17.5		105	95	85		120	120	120		120	120	120

20	90	80	75	120	120	120	120	120	120
22.5	80	75	65	120	120	120	120	120	120
25	70	65	60	120	115	110	120	120	120

Fuente: [3]

- Longitud máxima de la losa: No debe exceder los 6 metros, y debe cumplir con la relación de esbeltez.

Tabla 6-10. Longitud Máxima

$$\frac{L_{\text{máx}}}{L_{\text{máx}}} = \frac{1,25 * b}{25 * h}$$

Fuente: [3]

6.1.5 Metodología PCA (Portland Cement Association, 1984) – Pavimento Rígido

Las variables necesarias para emplear este método de diseño son: [5]

- Subrasante: Esta variable se caracteriza a través del módulo de reacción de la subrasante K (en Mpa/m), si la losa se apoya directamente sobre la subrasante se utiliza dicha K. Cuando la losa se apoya sobre una base granular o estabilizada, se debe mejorar el valor de K siguiendo los valores de la tabla (13.11 – Libro Pavimentos: Materiales, construcción y diseño – Hugo Alexander Rondón Quintana y Fredy Alberto Reyes Lizcano).
- Transito: Esta variable se caracteriza por el número de ejes pesados que se determina por la carga y configuración de dichos números de ejes, que circulan en el carril y el periodo de diseño. Este número de ejes se calcula con la siguiente ecuación:

$$N_{\text{ejes}} = \# \frac{\text{ejes}}{\text{día}} * \frac{k_2}{100} * 365 * k_3 * n$$

Ecuación 6-3. N, ejes – Metodología PCA

Tabla 6-11. Estimación del factor carril K2.

TPD (Vehículo/día)	Dos carriles en una dirección	Tres carriles en una dirección
	Factor carril, k2 (%)	
1000	100	-
2000	95	-
3000	91	78
4000	89	76
5000	87	74
6000	85	73
7000	84	72
8000	83	70

9000	82	69
10000	81	68
15000	78	65
20000	75	63
30000	72	59
40000	68	57
60000	-	54
80000	-	52

Fuente: [5]

Tabla 6-12. Estimación de K3 para la proyección de tráfico.

Tasa de crecimiento anual de tránsito, r (%)	Periodo de diseño, n=20 años	Periodo de diseño, n=40 años
k3		
1.0	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2.0	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3.0	1.3	1.8
3.5	1.4	2.0
4.0	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5.0	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6.0	1.8	3.2

Fuente: [5]

- Propiedades mecánicas de la losa de concreto: Se caracteriza a través del módulo de rotura MR en Mpa, medidos a los 28 días.
- Empleo de pasadores y confinamiento lateral con berma de concreto para la losa. El método tiene en cuenta la resistencia, durabilidad y por ende el espesor de la losa, es función del empleo o no de pasadores en las juntas transversales y de elementos que ayuden a confinarla.
- Factor de seguridad (FSC): Tiene en cuenta el grado de incertidumbre que se presenta durante la estimación de las variables de diseño anteriormente mencionadas. Para tal fin, el método recomienda incrementar la carga en 1.1 o 1.2 veces (FSC = 1.1 o 1.2) cuando las vías son de medios o altos volúmenes de tráfico, respectivamente. Cuando la vía sea terciaria o de bajos volúmenes de tráfico, se puede emplear FSC = 1.0.
- Como cualquier método de diseño mecanicista, el de la PCA (1984) consiste en comparar por ensayo y error (iterando principalmente espesores de capas y propiedades de materiales), los estados de esfuerzo a tracción a los que es sometida la losa de concreto con aquellos que admite.

- Espesor de tanteo: Se debe definir un espesor de losa inicial para comenzar las iteraciones.
- Esfuerzo equivalente: Se debe determinar los esfuerzos equivalentes a tracción promedios a los cuales va a estar expuesta la losa. Estos esfuerzos se deben hallar mediante un numero de tablas expuestas, se debe tener en cuenta el valor de K (Normal o mejorada), el confinamiento de la losa y el espesor de la losa de concreto.

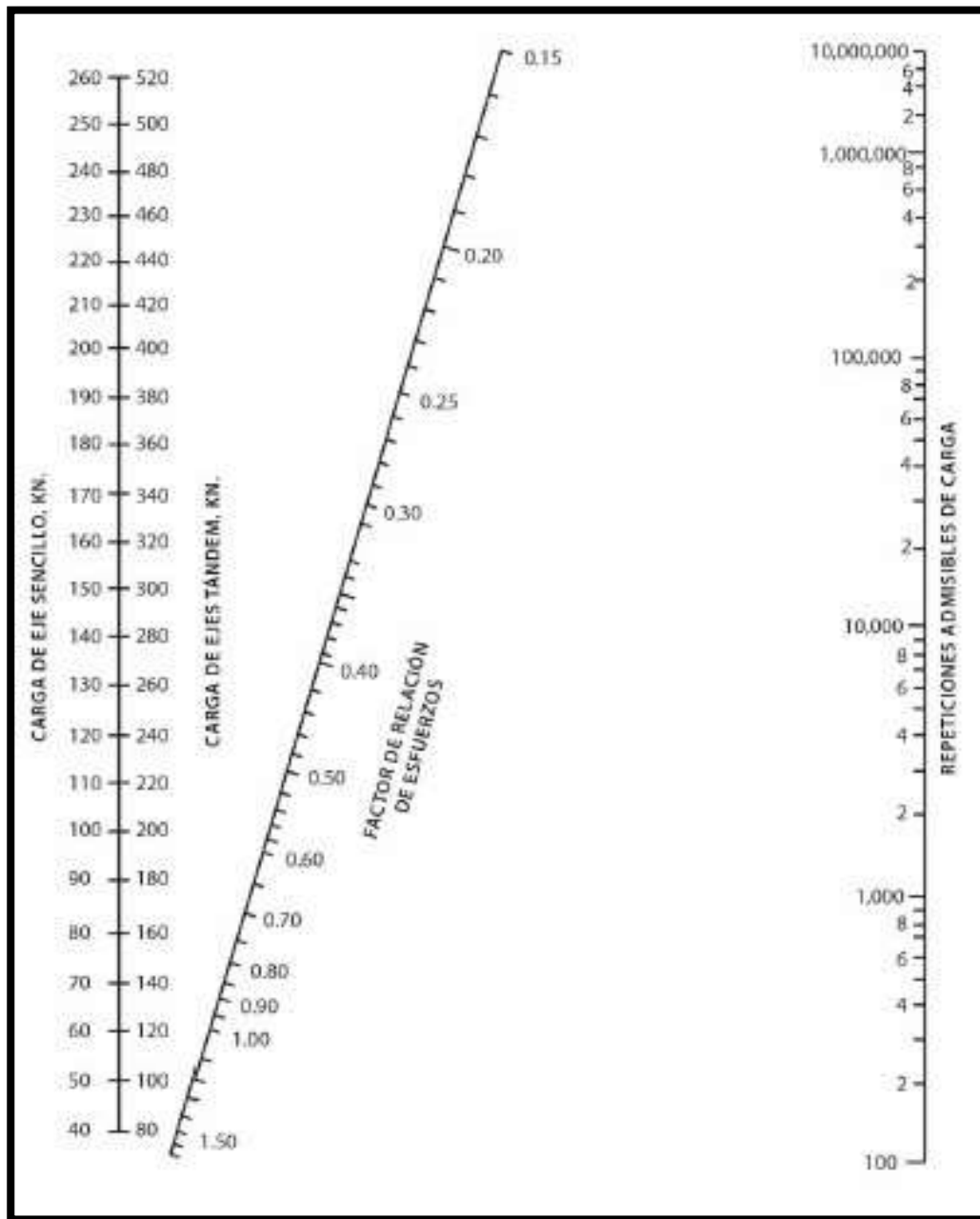


Figura 6-4. Cálculo del número de ejes admisibles para el análisis de fatiga por carga.

Fuente: [5]

- Factor de erosión: Para realizar el análisis por erosión, se debe calcular el factor de erosión que producen los diferentes tipos de ejes con su respectiva magnitud, se deben hallar mediante un numero de tablas expuestas, se debe tener en cuenta el valor de K (mejorado), el confinamiento, los pasadores y el espesor de la losa de concreto.

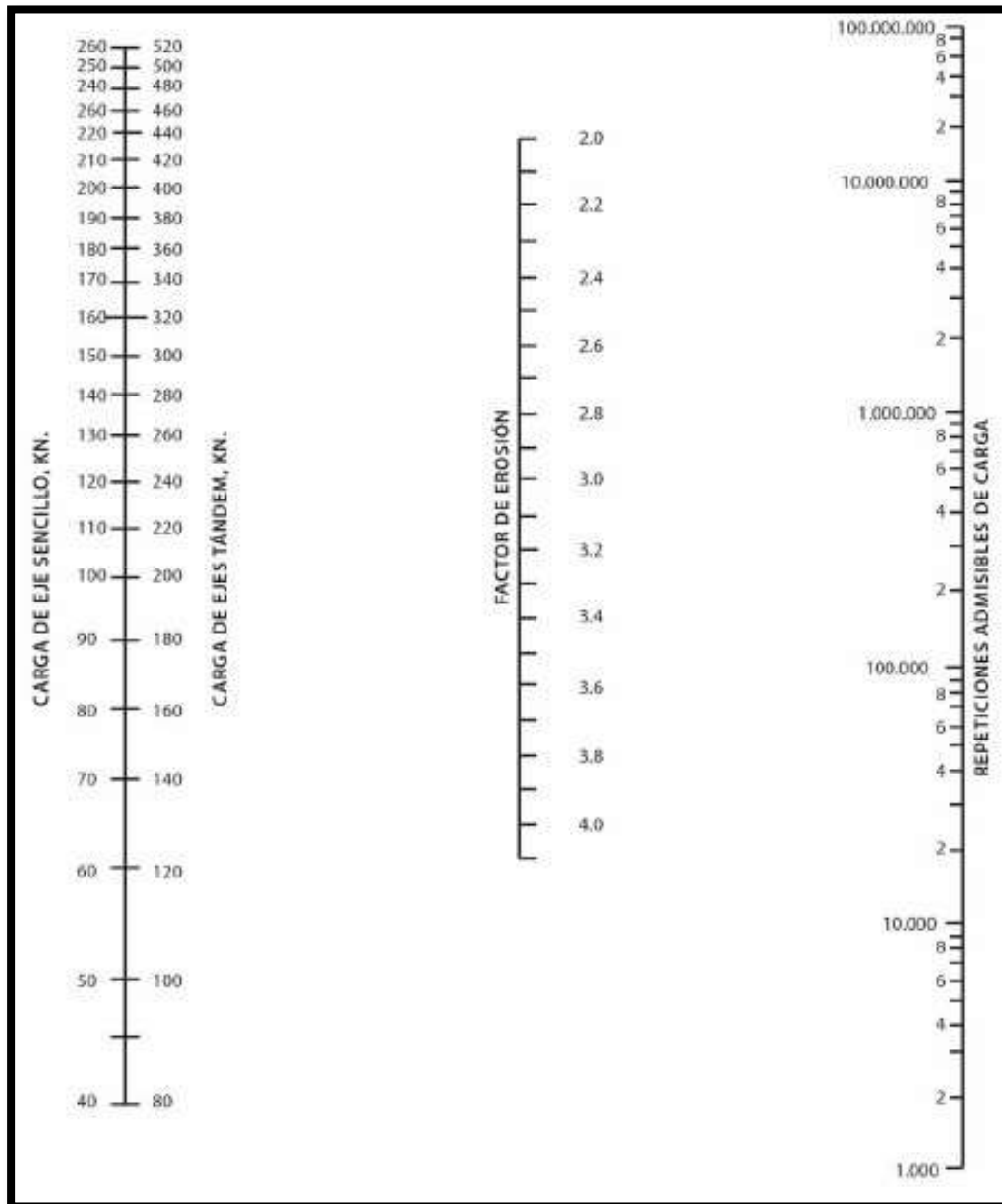


Figura 6-5. Factor de erosión (Sin confinamiento lateral).
Fuente: [5]

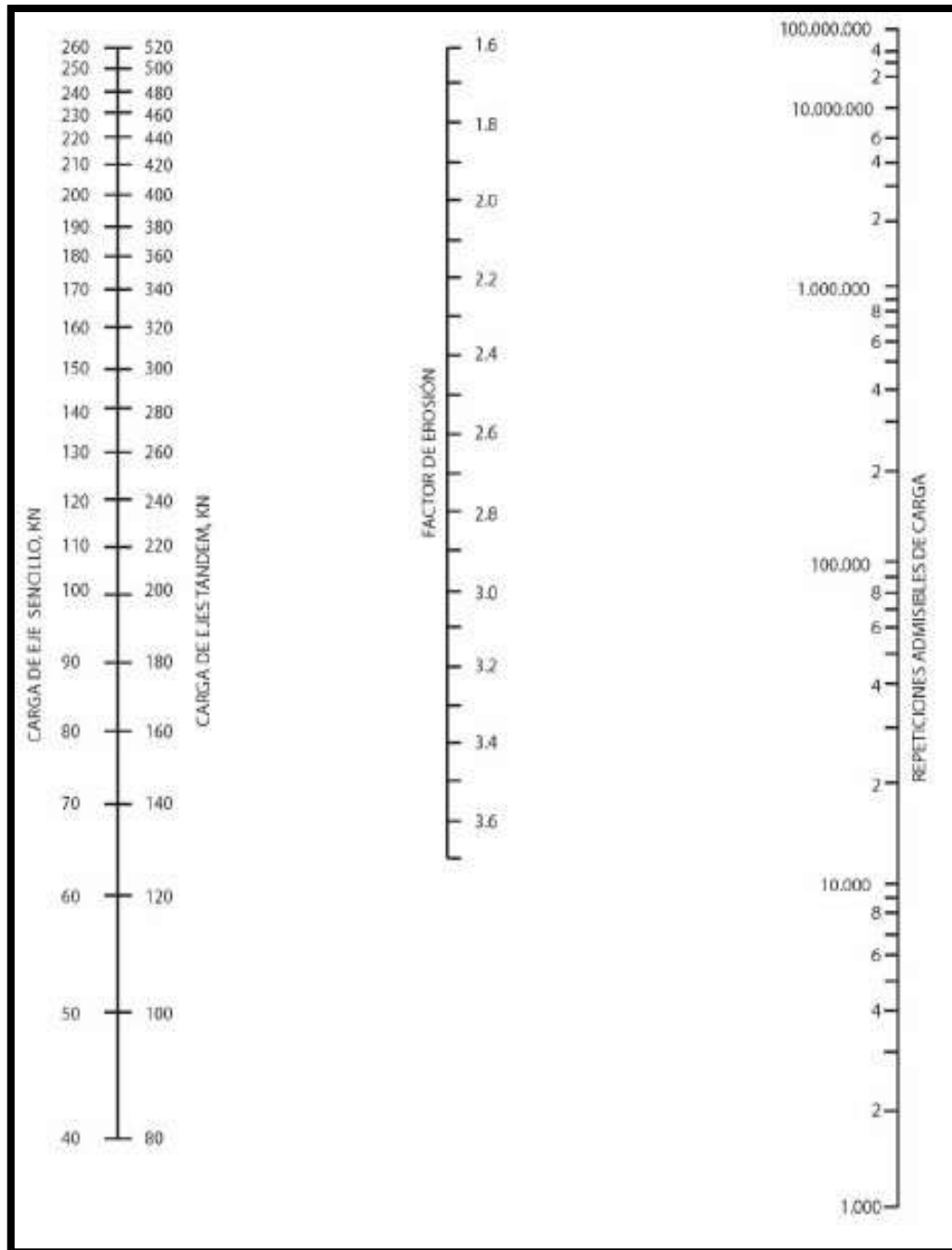


Figura 6-6. Factor de erosión (con confinamiento lateral).

Fuente: [5]

- Pasadores, barras de anclaje y dimensiones de losas: Las dimensiones de los pasadores y de las barras de anclaje (diámetro y longitud), y su respectiva separación se determinan con base a las siguientes tablas: [3]

Tabla 6-13. Dimensiones recomendadas de los pasadores, dovelas o barras de transferencia.

Espesor de losa (cm)	Diámetro del pasador (Pulgadas)	Longitud pasador (cm)	Separación entre centros de barras (cm)
14 - 15	3/4	35	30
16 - 18	7/8	35	
19 - 20	1	35	
21 - 23	1 1/8	40	
24 - 25	1 1/4	45	
26 - 28	1 3/8	45	
29 - 30	1 1/2	50	

Fuente: [3]

Tabla 6-14. Dimensiones recomendadas de la barra de anclaje. H, L Y S son el espesor de la losa, la longitud de la barra y la separación entre barras respectivamente.

H (cm)	Barras de Φ 3/8"				Barras de Φ 3/8"				Barras de Φ 5/8'			
	L (cm)	S (cm)			L (cm)	S (cm)			L (cm)	S (cm)		
		3.05	3.35	3.65		3.05	3.35	3.65		3.05	3.35	3.65
Acero de $f_y = 280$ Mpa (40000 psi)												
15	45	80	75	65	60	120	120	120	70	120	120	120
17.5		70	60	55		120	110	100		120	120	120
20		60	55	50		105	100	90		120	120	120
22.5		55	50	45		95	85	80		120	120	120
25		45	45	40		85	80	70		120	120	120
Acero de $f_y = 420$ Mpa (60000 psi)												
15	65	120	110	100	85	120	120	120	100	120	120	120
17.5		105	95	85		120	120	120		120	120	120
20		90	80	75		120	120	120		120	120	120
22.5		80	75	65		120	120	120		120	120	120
25		70	65	60		120	115	110		120	120	120

Fuente: [3]

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 Vías primarias

Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países.

Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto. Las carreteras consideradas como Primarias deben funcionar pavimentadas. [2]

6.2.2 Vías secundarias

Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria.

Las carreteras consideradas como Secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado. [2]

6.2.3 Vías terciarias

Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias. [2]

6.2.4 Pavimento

Estructura conformada por diferentes capas (carpeta asfáltica o losa de concreto, base granular, subbase granular) que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Esta estructura debe soportar las cargas transmitidas por el tránsito existente y soportar los cambios en condiciones climáticas, su vida útil es de 10 a 20 años según el tipo de pavimento. [2]

6.2.5 Pavimento rígido

Este tipo de pavimento está constituido por una losa de concreto hidráulico apoyada directamente sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado la cual se denomina sub-base del pavimento rígido. Tiene una vida útil de 20 años. [2]

6.2.6 Subrasante

De la calidad de esta capa depende en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo constante bajo las cargas del tránsito. [2]

6.2.7 Berma

Las bermas son aquella parte de la corona del pavimento que se encuentra aledaña a la superficie de rodamiento y que tiene como función principal proporcionar un espacio adecuado para la detención de vehículos en emergencia. Tienen un ancho promedio de 0.50 y 2.00 metros dependiendo de la importancia de la carretera. Tiene una pendiente transversal algo mayor a la superficie del pavimento para permitir una adecuada evacuación de las aguas lluvia. [2]

6.2.8 Bombeo

Se entiende como bombeo a la pendiente transversal que se da en las carreteras para permitir que el agua que cae directamente sobre ellas escurra hacia sus dos hombros. En pavimentos flexibles la pendiente debe ser del 2%, en cambio, en

pavimentos rígidos la pendiente debe ser de 1.5%. Es considerada una obra de drenaje. [2]

6.2.9 Bordillos

Son estructuras que se colocan en el borde exterior del acotamiento en las secciones y forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos o bajantes, evitando erosiones en los taludes y saturación de estos. [2]

6.2.10 Cunetas

Son canales que se adosan a los lados de la corona de la vía paralelamente al eje longitudinal y reciben el agua superficial del talud y de la superficie de rodamiento. [2]

6.2.11 Alcantarillas

Este tipo de estructura es la responsable del drenaje transversal, es decir del paso del agua a través de la obra, es una dirección maso menos perpendicular a ella. [2]

6.2.12 Eje simple estándar o eje sencillo

Es un eje en cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas. [2]

6.2.13 Eje tándem

Es aquel constituido por dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos. [2]

6.2.14 Eje tridem

Es aquel constituido por tres ejes sencillos con rueda doble en los extremos. [2]

6.2.15 Vehículos livianos

Son aquellos vehículos de menos de 5 toneladas de capacidad tales como automóviles, camionetas, camperos, etc. Estos no se consideran para el cálculo de la estructura de pavimento por cuanto su efecto destructivo es despreciable. [2]

6.2.16 Vehículos comerciales

Son aquellos vehículos de más de 5 toneladas de capacidad tales como camiones, buses, remolques, etc. Una forma fácil de reconocerlo es que en su suspensión trasera tienen al menos un eje sencillo con doble rueda en sus extremos. Estos son los vehículos que se deben considerar para fines de diseño estructural. [2]

6.2.17 Volumen de tránsito

Es el número de vehículos que circulan en ambas direcciones por una sección de vía durante un periodo específico de tiempo. Esto puede ser horario, diario, semanal, etc. [2]

6.2.18 Tránsito promedio diario

Es el volumen de tránsito durante un periodo de tiempo, dividido por el número de días del periodo. Abreviadamente se denota como TDP. Según el periodo utilizado para medir el volumen de tránsito, el TPD puede ser anual, mensual o semanal, denominándose TPDA, TPDM y TPDS, respectivamente. [2]

6.2.19 Tránsito existente

Es aquel que se presenta la vía antes de ser pavimentada. [2]

6.2.20 Tránsito atraído

Es el volumen de tránsito que, sin cambiar ni su origen ni su destino, puede ocupar la futura vía pavimentada como ruta alterna, afluyendo a ella a través de otras vías ya existentes. [2]

6.2.21 Tránsito generado

Es el volumen de tránsito que resulta como consecuencia del desarrollo económico y social de la nueva zona de influencia. [2]

6.2.22 Factor camión

Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes sencillos con carga equivalente a 8.2 toneladas, correspondientes al paso de un vehículo comercial (bus o camión). [2]

6.3. ESTADO DEL ARTE

Según algunos proyectos elaborados en la ciudad de Bogotá en cuanto al diseño de pavimentos rígidos, comparando los resultados obtenidos entre las metodologías AASHTO y PCA, se obtuvieron mejores resultados por la metodología PCA, debido a que la metodología AASHTO presenta espesores de las losas de menores dimensiones, por lo que cabe la posibilidad de que el pavimento falle por fatiga o por erosión. En cuanto a la metodología PCA garantiza un análisis más certero en cuanto al espesor requerido de la losa para asegurar el cumplimiento por erosión y fatiga, evitando así el deterioro del pavimento. [5]

Sin embargo, se realizará el análisis y diseño de las metodologías AASHTO y PCA, con el fin de constatar los resultados obtenidos por los distintos proyectos realizados anteriormente.

El manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito nos genera una vista más amplia en cuanto a las diferentes variables y características que se deben tener en cuenta para el tipo de volumen que va a tener la estructura de pavimento a diseñar. Nos brinda un punto de vista más amplio y poder escoger diferentes factores importantes a tener en cuenta. [6]

Para la revisión de la obtención de datos requeridos para el diseño de la estructura de pavimento, se tuvo en cuenta el diseño de un pavimento rígido en Cantón Baba provincia de los Ríos, para el cual se elaboraron diferentes estudios y ensayos para lograr diseñar la estructura. Algunos estudios presentes en el documento que son de utilidad para la realización de este trabajo son: estudio de tránsito, estudio topográfico, estudio de suelos. [7]

En cuanto al material que se recolectara del río Guayuriba, se lograron identificar algunos ensayos realizados al mismo en el sector del puente el Palmar en la vía que conduce al municipio de San Carlos de Guaroa, del cual se pudo concluir que el material cumple con los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos para uso en concreto de acuerdo a la norma NTC 174 para la elaboración de concreto, por lo que se considera óptimo para la utilización en proyectos de obra civil. [8]. Con esta información obtenida, se identifica que el material del río Guayuriba es óptimo para su uso en obras civiles, por lo que será necesario verificar si este es útil como material de sub-base o como material de mejoramiento. [9]

6.4. MARCO NORMATIVO

Tabla 6-15. Marco Normativo

NORMA [8]	DESCRIPCIÓN
Especificaciones generales para la construcción de carreteras 2013.	INVIAS (Instituto Nacional de Vías) ha considerado mantener actualizado la documentación de carácter normativo y reglamentario que sirve como guía de diferentes actividades relacionadas a la construcción de carreteras.
Capítulo 3 – Afirmados Sub-bases y Bases.	Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos sobre afirmados, sub-bases y bases granulares y estabilizadas.
Capítulo 3 – Artículo 310-13. Conformación de la calzada existente.	Esta sección consiste en la escarificación, la conformación, la renivelación y la compactación del afirmado existente, con o sin adición de material de afirmado o de sub-base granular; así como la conformación o reconstrucción de cunetas.

Capítulo 3 – Artículo 311-13. Afirmados.	Consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado sobre la subrasante terminada, o sobre un afirmado existente.
Capítulo 3 – Artículo 320-13. Sub-base granular.	Consiste en el suministro, transporte, colocación, humedecimiento o aireación, extensión y confirmación, compactación y terminado de material de sub-base granular aprobado sobre una superficie preparada, en una o varias capas.
Capítulo 3 – Artículo 330-13. Base granular.	Consiste en el suministro, transporte, colocación, humedecimiento o aireación, extensión y confirmación, compactación y terminado de material de sub-base granular aprobado sobre una superficie preparada, en una o varias capas.
Capítulo 5 – Artículo 500-13. Pavimento de concreto hidráulico.	Se refiere a la construcción de un pavimento de concreto hidráulico con juntas; y consiste en la elaboración, transporte, la colocación y el vibrado de una mezcla de concreto hidráulico en forma de losas, con o sin refuerzo; la ejecución y el sellado de juntas; el acabado, el curado y las demás actividades necesarias para la correcta construcción del pavimento de concreto hidráulico.
I.N.V. E-107. Preparación en seco de muestras de suelo por vía húmeda para análisis granulométrico y determinación de las constantes físicas.	Se emplea para preparar muestras de suelos para ensayos de plasticidad y análisis granulométrico, cuando las partículas de grano grueso de la muestra son blandas y fácilmente pulverizables, o cuando las partículas finas son muy cohesivas y ofrecen resistencia a desprenderse de las partículas gruesas.
I.N.V. E-123. Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.	Esta norma se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo. Granulometría.
I.N.V. E-125. Determinación del límite líquido de los suelos.	Esta norma se refiere a la determinación de límite líquido de los suelos, tanto por vía húmeda o por vía seca.
I.N.V. E-126. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.	Esta norma de ensayo se refiere a la determinación del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos. Se utiliza este método para la porción de suelo que pasa por el tamiz N° 40.
Sección 400 – Concreto Hidráulico.	Se reúnen las normas del INVIAS, donde se evidencian los diferentes procesos específicos en la construcción de un pavimento rígido.

Fuente: [8]

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

6.5.1 Acacias – Meta

El Municipio de Acacias se encuentra ubicado en la parte central de la república de Colombia, sobre llamado Piedemonte Llanero, en la zona Noroccidental del

Departamento del Meta. Está ubicado a 28 kilómetros de Villavicencio con vía totalmente pavimentada, con una extensión territorial aproximada de 1.129 Kilómetros cuadrados, distribuidos así: [1]

Tabla 6-16. Área del municipio de Acacias.

SUPERFICIE	AREA EN Has
AREA URBANA	967,56
AREA RURAL	111.972,44
AREA APROXIMADA	112.940,00

Fuente: [1]

Su composición topográfica está conformada por terrenos planos en extensión aproximada del 61.4% y territorio con pendientes que oscilan entre el 3% y 50% en extensión aproximada de 38.6%. La región ondulada está comprendida en las estribaciones de la Cordillera Oriental, en límites con el departamento de Cundinamarca. Los suelos son aptos para la agricultura y ganadería, ubicados en el grupo de los arcillosos arenosos con niveles de PH de 5.5, clasificados como ácidos.

El territorio presenta una climatología bien definida como los períodos de lluvias durante los meses de abril y noviembre, un período seco entre noviembre y marzo. Teniendo en cuenta que durante estos últimos años se presentó el fenómeno del Niño, el cual ha venido variando considerablemente estas épocas ocasionando la reducción del período de verano. El municipio sostiene una temperatura promedio de 27°C, por lo cual se considera el clima general “cálido”. Al Municipio de Acacias lo atraviesan importantes Ríos como son: El Guayuriba, Sardinata, Orotoy, Acacias y Acaciñas, entre otros, los cuales llevan corrientes menores como Caño Hondo, Cola de Pato, La Unión, Caño la Chiripa, Chichimene, Caño la Danta y Caño Conejo.

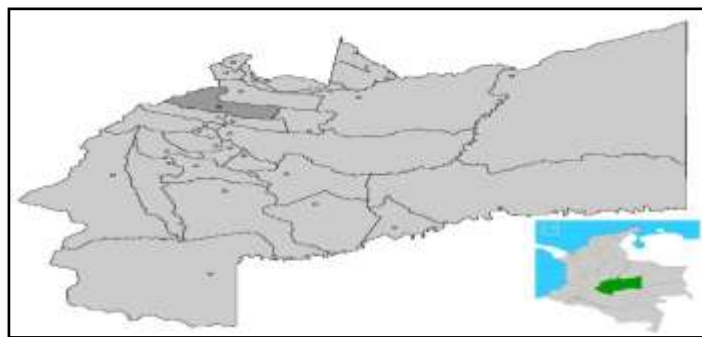


Figura 6-7. Localización municipio de Acacia - Meta.

Fuente: [1]

Los barrios Pablo Emilio Riveros, Dorado Alto, Alcaraván, Urbanización Villa del Prado y Urbanización Everest son barrios que se encuentran en una de las entradas al Municipio y lo que los convierten en importantes ya que existen varias zonas de expansión las cuales ayudan con su crecimiento poblacional y son muy complementarios al municipio, estos barrios son unos de los 67 barrios que tiene

Acacias según datos suministrados por la Secretaria de Planeación y Desarrollo Municipal.

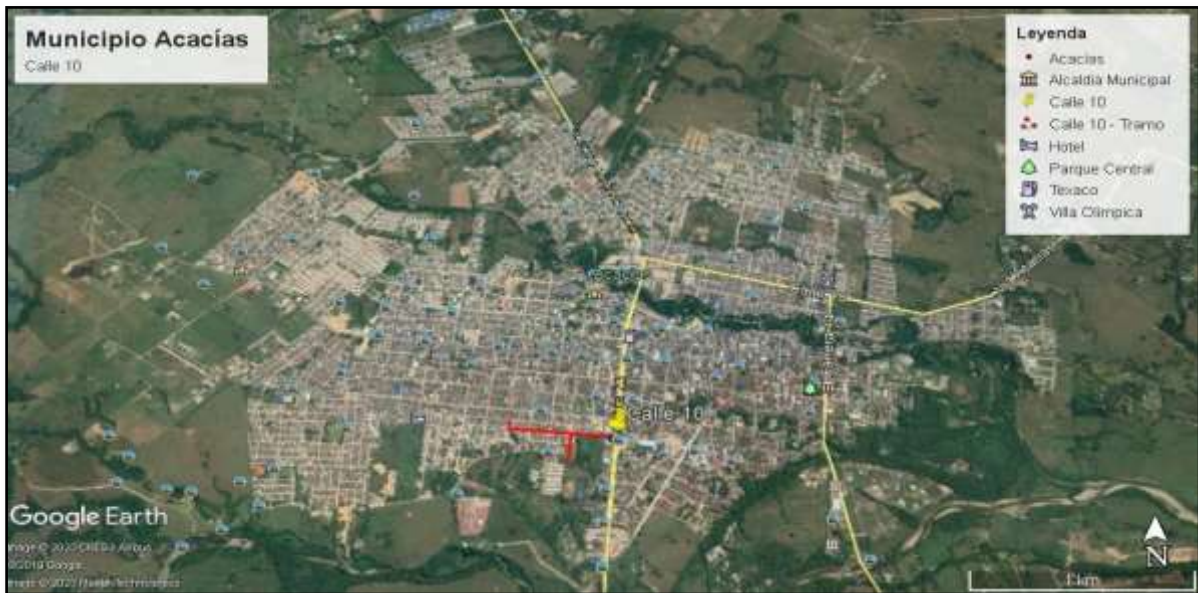


Figura 6-8. Municipio de Acacias - Meta.
Fuente: [10]

El municipio de Acacias se encuentra a una altitud media de 539 m.s.n.m. Como se puede observar en la ilustración 8, la línea roja es donde se encuentra exactamente la zona de estudio, redondeando los barrios anteriormente mencionados. [10]



Figura 6-9. Localización zona de estudio.
Fuente: [10]

7. EQUIPO DE INVESTIGACIÓN Y TRAYECTORIA

Tabla 7-1. Equipo de Investigación y Trayectoria

Personal	Nombre	Perfil	Experiencia
Estudiantes	Juan Pablo Lozano Céspedes	Estudiante de Ingeniería Civil 10° semestre.	- Diseño de la estructura de pavimento para la vía que comunica el barrio Morichal, con los barrios Guaratara 1, Santa Ana y Nuevo Milenio en el municipio de Acacias-Meta
	Andrés Mauricio Bejarano Alcántara	Estudiante de Ingeniería Civil 10° semestre.	- Diseño de la estructura de pavimento para la vía que comunica el barrio Morichal, con los barrios Guaratara 1, Santa Ana y Nuevo Milenio en el municipio de Acacias-Meta. - Diseño geométrico de un tramo de vía de 2.5 Km que conduce hacia el municipio de Supatá, Cundinamarca.
Director	Jessica María Ramírez Cuello	Ingeniera Civil. Magister en Ingeniería Civil con énfasis en infraestructura vial.	- 8 años de experiencia general, 2 años de docencia en instituciones de educación superior. Líder de semillero de investigación SISCO. Director en proyectos de investigación. Director en proyectos aplicados a la ingeniería civil.

Fuente: Autores.

8. METODOLOGÍA

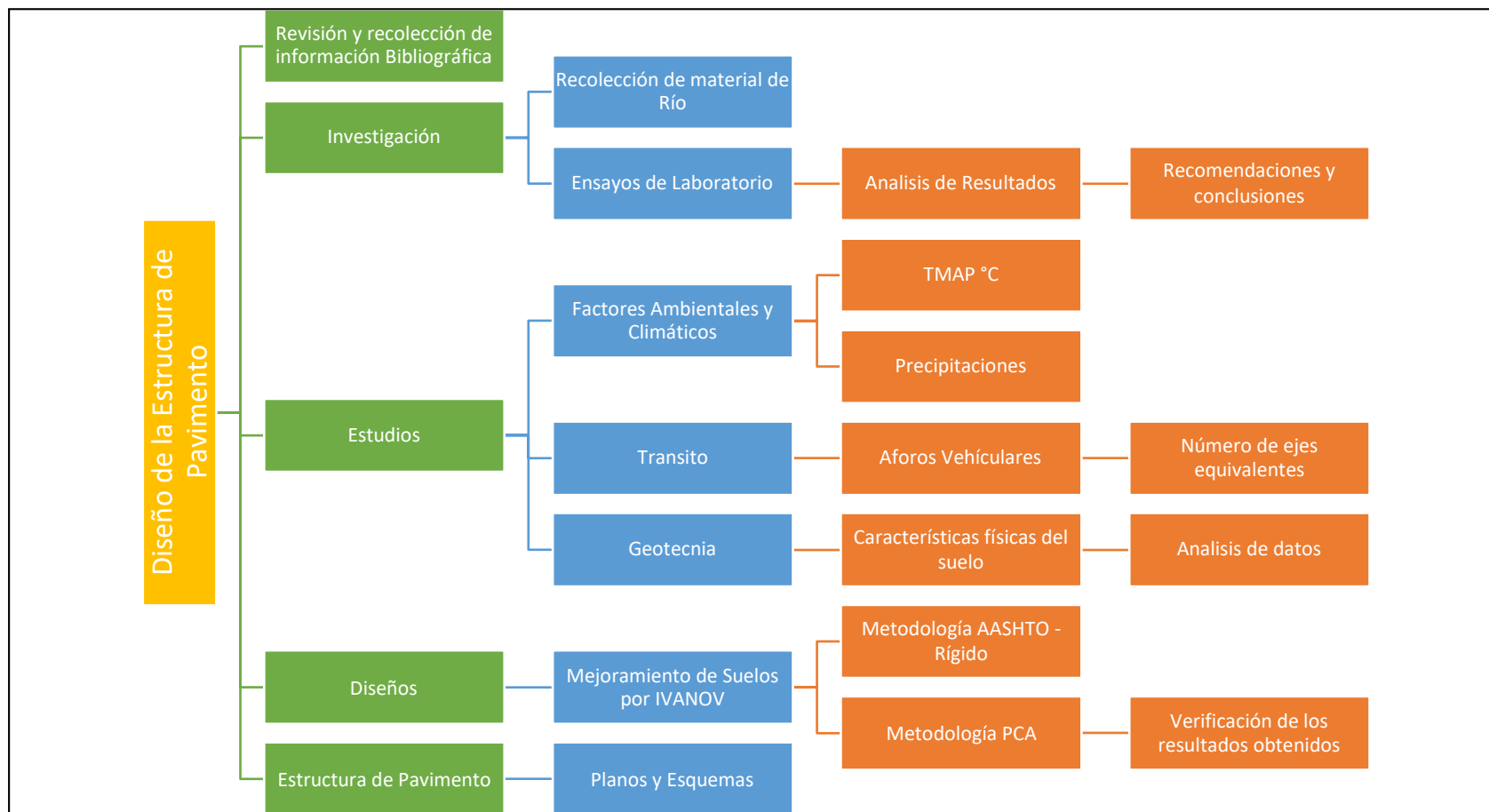


Figura 7-1. Metodología
Fuente: Autores

8.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

Para el siguiente capítulo se tuvieron en cuenta todas las etapas realizadas durante la ejecución de este proyecto, se da su respectiva descripción de cada una secuencialmente, iniciando desde la revisión bibliográfica y finalizando en planos y esquemas.

8.1.1 Revisión bibliográfica

Es necesario identificar distintas fuentes confiables, de no más de 5 años de antigüedad, con el fin de obtener los mejores resultados en cuanto al diseño de la estructura. Para ello se escogieron 30 fuentes distintas, provenientes de tesis de distintos estudiantes de diferentes universidades, así como artículos científicos, libros reconocidos para el diseño de estructuras de pavimentos, entre otros. Este paso se tendrá en cuenta durante todo el desarrollo del proyecto.

8.1.1.1. Recolección de información bibliográfica

Realizada la respectiva revisión de las fuentes bibliográficas, se procederá a la recolección de la información necesaria para el desarrollo del proyecto, tales como metodologías de diseño de pavimento rígido, procedimiento para el análisis del tipo de suelo, determinación del número de ejes equivalentes, espesores mínimos de las distintas capas de pavimento, factores de impacto de los diferentes tipos de vehículos, entre otros.

8.1.2 Estudios del suelo existente en la zona

Se planea recopilar la información necesaria para el diseño de la estructura de pavimento, tales como el tránsito promedio diario que circula por el sector, el tipo de suelo presente en el lugar, las propiedades mecánicas del suelo, las condiciones climáticas mensuales de la región, estratigrafía del suelo, nivel freático de la zona, capacidad portante del suelo.

8.1.2.1. Tránsito

Para estimar el tránsito promedio diario en el sector, para ello se deben realizar aforos los cuales se basan en el conteo manual de vehículos que transitan por la vía de diferentes categorías por 7 días, de 6am a 8 pm, y realizar un promedio de la cantidad de vehículos en la semana.

8.1.2.2. Geotecnia

En cuanto a las propiedades mecánicas del suelo, se deberán adquirir distintas muestras del mismo en diferentes puntos, con el fin de determinar las características mecánicas del suelo y el tipo de estructura de pavimentación que se debe implementar para este tipo de suelo. Con las muestras adquiridas, se pretende

realizar la estratigrafía del suelo en los diferentes puntos de adquisición de las muestras y determinar el nivel freático de la zona.

Para lograr determinar la capacidad portante del suelo, se deberán realizar un apique de 1,5 metros de profundidad, con el fin de extraer una muestra con la compactación natural del suelo y así mismo garantizar la inalteración de la muestra para su análisis en el laboratorio. Una vez allí, la muestra deberá ser sumergida por mínimo 4 días, con el fin de conseguir la condición más crítica del mismo. El ensayo de laboratorio se denomina ensayo CBR.

8.1.2.3. Factores ambientales y climáticos

En cuanto a las condiciones ambientales y climáticas, se recopilará la información de las distintas estaciones ubicadas en la región, a través del IDEAM, con el fin de conocer la temperatura media anual ponderada y las precipitaciones presentes en la vía.

8.1.2.4. Análisis de datos

Al recopilar la información necesaria de la vía, se procederá a analizar los datos obtenidos, esto con el fin de verificar si cumplen con las especificaciones exigidas por INVIAS para el diseño de carreteras. En el caso de que el suelo no cumpla con diferentes parámetros, se evaluará si es necesario reemplazar el suelo presente en el lugar o realizar un mejoramiento del suelo con los diferentes métodos existentes (cal, cemento, drenes verticales, vibro flotación).

8.1.3 Diseño de la estructura de pavimento

Se planea diseñar una estructura de pavimento rígido por los métodos AASHTO y PCA, los cuales son los más recomendados en cuanto al diseño de pavimento rígido. Para ello será necesario determinar el número de ejes equivalentes, el CBR del suelo, el tránsito promedio diario, la dirección y la cantidad de carriles de la vía, la tasa de crecimiento poblacional, el ancho del carril, el tipo de vehículos que transitan en la vía, el factor de seguridad de carga el cual depende de la importancia de la vía, las propiedades mecánicas de la losa, la cantidad de días de lluvia al año, temperatura de la zona, confiabilidad de la vía, el tipo de confinamiento de la vía, índice de serviciabilidad, el módulo de reacción de la sub-rasante, condiciones ambientales y de drenaje.

8.1.3.1. Verificación de los resultados obtenidos

Se realizará una verificación de los resultados obtenidos al realizar el diseño de la estructura de pavimento rígido mediante el método AASHTO y PCA, con el fin de obtener los mejores resultados.

8.1.4 Elaboración de planos y esquemas

Una vez realizado el diseño de la estructura de pavimento, se pretende realizar los respectivos planos de la vía mediante el programa AutoCAD, con el fin de demostrar el resultado final del proyecto de grado.

8.1.5 Investigación

8.1.5.1 Recolección de material del río

De la misma manera, se pretende realizar la recolección del material necesario del río Guayuriba, con el fin de realizar los respectivos ensayos de laboratorio, para así, obtener las propiedades mecánicas del mismo.

8.1.5.2 Análisis de resultados de material del río

Recolectado el material necesario, se procederá a realizar los respectivos ensayos de laboratorio, con el fin de determinar las propiedades físico-mecánicas del material, clasificando las partículas presentes en este, límite de elasticidad, límite plástico y la capacidad portante que posee.

8.1.6 Recomendaciones y conclusiones finales

Al finalizar el diseño de la estructura y analizar los datos obtenidos del material de río, se brindarán las recomendaciones y conclusiones respectivas de lo proyectado en el proyecto. Se concluirá si el material es óptimo para el uso de sub-base granular, o como material de mejoramiento, la comparación entre los diferentes métodos de diseño de pavimentos, entre otros.

8.2. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

8.2.1 Aforos

Para el desarrollo de la recopilación del TPD en la vía de estudio se requiere la disposición de una o dos personas en las diferentes ubicaciones donde se va a realizar cada aforo, esto con el fin de llevar un conteo de forma visual de los diferentes vehículos que transiten por cada lugar establecido para cada aforo.

8.2.2 Ensayos de laboratorio

Para el desarrollo del material que será utilizado para cada ensayo de laboratorio se requiere de un grupo de personas en cada sitio donde se deba extraer el suelo para su debida caracterización, regularmente se realiza cada 250 metros a lo largo de la vía. Los instrumentos a utilizar en campo y laboratorio son los estipulados para cada actividad.

8.2.3 Material crudo de río

Este material granular será extraído de una cantera cercana al río Guayuriba con el fin de realizar los respectivos ensayos de laboratorio para saber si cumple con los requerimientos para sub-base granular de la estructura de pavimento o como estabilizante de la sub-rasante.

9. ETAPA 1 (ESTUDIO DE SUELOS – APIQUES)

9.1. GEOTECNIA

Dentro de los estudios requeridos para el diseño y construcción, uno de los más importantes son el ensayo de CBR, en el cual se evidencia la capacidad que soporta el suelo, frente a diferentes deformaciones.

Se desarrolló el estudio de las características físicas del suelo en el Municipio de Acacias (Meta), en la calle 10 con el propósito de realizar el diseño del pavimento para el sector.

Para ello, se vio en la necesidad de realizar 3 apiques en la zona a una profundidad de 1.5 metros, con el fin de extraer una muestra inalterada del suelo a dicha profundidad e identificar la capacidad portante del mismo en condiciones críticas (sumergido).



Figura 9-1. Realización de apiques
Fuente: Autores



Figura 9-2. Toma de muestra inalterada – CBR
Fuente: Autores

9.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

Se realizaron los procedimientos descritos en la norma INVIAS para la caracterización física del suelo. Los ensayos realizados se encuentran descritos en la tabla 17 – Ensayos de Laboratorio.

Tabla 9-1. Ensayos de Laboratorio

ENSAYOS DE LABORATORIO		
CLASIFICACION DEL SUELO	Análisis granulométrico	I.N.V E- 123 – 13
	Límites de consistencia	I.N.V E- 125 – 13
	Límite plástico e índice de plasticidad	I.N.V E- 126 – 13
	Humedad de los suelos usando horno microondas	I.N.V E- 135 – 13
DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL SUELO	CBR	I.N.V E- 148 – 13

Fuente: [8]

Estos ensayos son realizados, con el fin de evaluar si el suelo óptimo para su uso en la estructura de pavimento, o si es necesaria la implementación de un material de mejoramiento del mismo.

Equipos utilizados

- Cazuela de Casagrande
- Ranurador
- Espátula flexible
- Probeta plástica
- Placa de vidrio esmerilado
- Recipiente de humedad con tapa
- Prensa
- Molde cilíndrico de metal rígido de 6"
- Disco espaciador
- Aparato medidor de expansión
- Trípode
- Sobrecargas metálicas
- Pistón de penetración
- Tanque
- Horno
- Placa de metal perforada
- Horno microondas
- Mortero porcelana
- Tamices
- Tamizadora mecánica

9.2.1 Clasificación del Suelo

9.2.1.1 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico se utiliza para determinar la granulometría de los materiales propuestos que se vayan a emplear para así brindar el cumplimiento de las especificaciones en concordancia con la distribución de las partículas del material.

La muestra obtenida se secó a temperatura ambiente en su totalidad, este se colocó sobre una superficie lisa y nivelada y se mezcló el material completamente volteando en su totalidad la muestra tres veces. Luego de esto, se formó una pila de material y se aplano la pila con un palustre. Este material obtenido se cuarteo, y se obtuvo una muestra representativa para el desarrollo del ensayo.

La muestra obtenida se pasó por el tamiz de 2.0mm (No. 10), obteniendo 2 porciones (una retenida en el tamiz y, la otra, material que pasa el tamiz). La fracción retenida en el tamiz se lavó con el fin de liberarlo de partículas finas adheridas. El material resultante se secó en el horno a una temperatura de 60 °C. Una vez seca la muestra, se mezcló el material con la fracción pasante del tamiz.

Seleccionando los tamices mencionados en la tabla 18 (Tamices), se encajaron los tamices de manera decreciente con respecto al tamaño de sus aperturas, y se procedió a depositar la muestra en los tamices. Se agitaron estos por medio de una tamizadora mecánica por 2 minutos.

Tabla 9-2. Tamices

Tamices	
3/4"	19.0 mm
3/8"	9.5 mm
N° 4	4.75 mm
N°10	2.00 mm
N°20	850 µm
N°40	425 µm
N°60	250 µm
N°140	106 µm
N°200	75 µm

Fuente: [8]

Los tamices se desmontaron y se comprobó que la operación estuviera terminada al evidenciar que no pasaba más del 1% de la parte retenida al tamizar durante un minuto. Las partículas que quedaban atrapadas en la malla, se separaron usando un cepillo. Por último, se determinó la masa de cada fracción retenida en el tamiz en una balanza y se anotó el valor de cada uno.

9.2.1.2 Límites de consistencia

El límite líquido se usa con otras propiedades del suelo con el fin de establecer una correlación en cuanto su comportamiento frente a la compresibilidad, compactibilidad, consistencia y resistencia al corte.

Para cada apique realizado, se tomaron muestras al tener una variación en el tipo de suelo y además cada 50 cm. Las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente y de cada una de estas, se sacaron 200 g de material que pasara el tamiz de 425 µm (No. 40).

Al espécimen obtenido, se le agrego una pequeña cantidad de agua, con el fin de mezclar homogéneamente la muestra, y lograr la consistencia necesaria. Para este ensayo se realizaron 3 sub-muestras, de las cuales se requería obtener la consistencia suficiente para cerrar la ranura formada en el suelo a partir de 15-25, 20-30, 25-35 golpes respectivamente.

Para ello se colocó una cantidad adecuada de suelo mezclado con agua en la cazuela encima del punto donde esta descansa en la base. Se comprimió y extendió con la espátula flexible para nivelarla, dejándola a una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor (Ver Figura 13. Cazuela de Casagrande).



Figura 9-3. Limite Liquido - Cazuela de Casagrande.
Fuente: Autores.

Al tener el suelo en la cazuela, se dividió este con una pasada firme del ranurador desde la parte más alta a la parte más baja del borde de la cazuela y se procedió a girar la cazuela a una velocidad de 2 revoluciones por segundo (Ver Figura 14. Cazuela de Casagrande).



Figura 9-4. Limite Liquido - Cazuela de Casagrande.
Fuente: Autores.

Al entrar en contacto las 2 partes del suelo en el fondo de la ranura a lo largo de 13 mm, se detuvo la cazuela y se tomaron la cantidad de golpes necesarios para cerrar la ranura formada en el suelo. Así mismo se tomó una tajada del suelo utilizado en el ensayo, se colocó en un recipiente con tapa, con masa conocida, se pesó el recipiente con la porción de suelo y se transfirió al horno a una temperatura constante de 110°C. Pasadas 24 horas, se sacó el recipiente del horno e inmediatamente se anotó el valor de la masa (esto para evitar la absorción de humedad higroscópica). Este procedimiento se realizó para cada una de las muestras y con los golpes necesarios para el ensayo.



Figura 9-5. Limite Liquido - Cazuela de Casagrande
Fuente: Autores

9.2.1.3 Límite plástico e índice de plasticidad

El límite plástico se usa con otras propiedades del suelo con el fin de establecer una correlación en cuanto su comportamiento frente a la compresibilidad, compactibilidad, permeabilidad, expansión y contracción y resistencia al corte.

Para este ensayo se tomó una porción de muestra (20 g) que paso el tamiz de 425 μm (No. 40) y se mezcló junto con agua, hasta conseguir una consistencia adecuada que permitiera enrollar el material sin que este se pegase en las manos. De este espécimen, se tomó una porción de 2.0g, con la cual se formó una masa elipsoidal. Con esta masa se formaron rollos de un diámetro de 3.2 mm (1/8") a una velocidad promedio de 90 recorridos de la palma de la mano por minuto. Al llegar a este diámetro, se dividió en varios trozos y se juntaron comprimiéndolo con los pulgares, para volver a formar la masa elipsoidal y proceder a enrollar nuevamente. Se repitió este procedimiento hasta cuando el rollo de 3.2 mm se desmorono y no permitió nuevamente ser enrollado hasta 3.2 mm de diámetro.

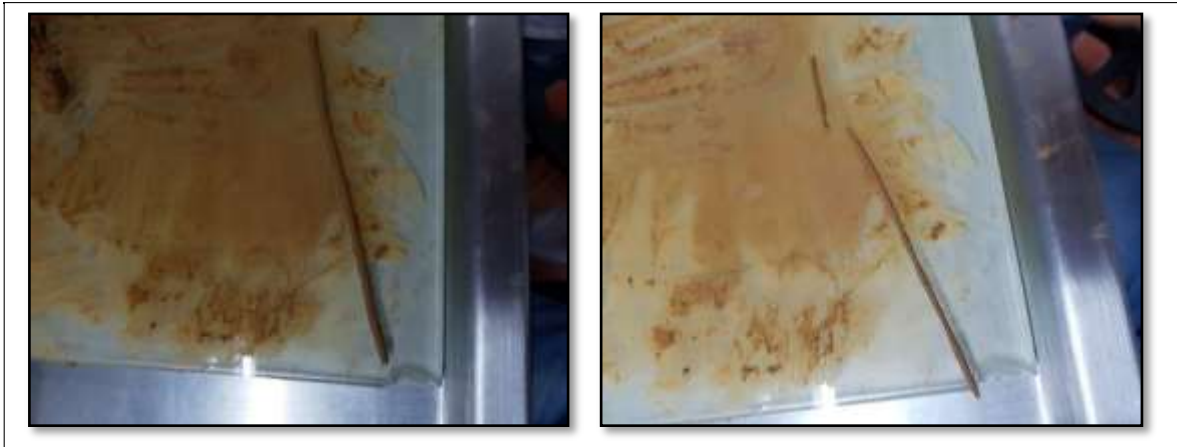


Figura 9-6. Limite Plástico – Material existente.
Fuente: Autores.

Se recogieron las porciones del suelo desmoronado y se colocaron en un recipiente con masa conocida, para así determinar su humedad con ayuda del horno a una temperatura de 110°C. Todo el procedimiento se repitió para obtener un segundo rollo y comparar los resultados.

9.2.1.4 Humedad de los suelos usando hornos microondas

El contenido de agua de los materiales es una de las propiedades más significativas de los suelos y es empleado para determinar las correlaciones que tienen los suelos, además que, con suelos con grano fino, su consistencia depende de la cantidad de agua que estos contengan.

Para realizar este procedimiento, se identificó la masa del recipiente limpio en el cual se depositará el material a determinar la humedad. Una vez hecho esto, se colocó el espécimen de suelo en el recipiente y se anotó su masa en conjunto.

Luego de esto, se ubicó el recipiente en el horno microondas por tres minutos a una temperatura de 150°C evitando así el sobrecalentamiento del material. Al pasar los 3 minutos, se retiró el recipiente con el material del horno, se anotó el valor de su masa junto con el recipiente y luego se mezcló cuidadosamente con una espátula para posteriormente volver a calentar el material por 1 minuto. Este procedimiento se realizó hasta que la muestra demostrara un cambio en su masa de 0.1%.

9.2.2 Determinación de la resistencia del suelo

9.2.2.1 California Bearing Ratio (CBR)

Este ensayo se utiliza con el fin de determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales compactados de subrasante, sub-base y base, para su empleo en pavimentos de carreteras, evaluando su calidad, bajo efectos controlados de humedad y densidad.

Para la preparación de la muestra, se vio en la necesidad de hacer un apique en el suelo de la vía del proyecto a una profundidad de 1.5 m, y allí obtener una muestra inalterada del suelo para su respectivo ensayo.



Figura 9-7. Obtención muestra inalterada – material existente.
Fuente: Autores.

Se enraso el espécimen, y se cubrió con papel vinipel, con el fin de evitar pérdidas en su humedad. Ubicando un papel filtro sobre la placa base, se procedió a instalar la muestra junto con el molde en su base, de tal manera que el disco espaciador quedara en la parte superior. Se retiró el disco espaciador, y se acomodó la placa perforada con vástago ajustable y sobre esta, las sobrecargas necesarias para producir la presión necesaria en el suelo (5.0 lb). Se sumergió el molde con la placa y las sobrecargas, ubicando sobre este, un trípode con un medidor, el cual midió la expansión de la muestra. El molde se dejó sumergido por un total de 7 días.

Luego del periodo de inmersión, se sacó el molde del tanque y se retiró el agua retenida en la parte superior de este, sosteniendo firmemente la placa y las pesas de sobrecarga en su posición. Posteriormente, se dejó escurrir el molde durante aproximadamente 15 minutos.



Figura 9-8. Molde CBR sumergido – Muestra inalterada.
Fuente: Autores.

Por último, se situó el molde en la prensa, junto con las sobrecargas, y se aplicó carga a una velocidad uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Para obtener la curva de penetración esfuerzo, se hizo necesario obtener los valores de carga en los desplazamientos: 0.64 mm (0.025"), 1.27 mm (0.050"), 1.91 mm (0.075"), 2.54 mm (0.100"), 3.18 mm (0.125"), 3.81 mm (0.150"), 4.45 mm (0.175"), 5.08 mm (0.200"), 7.62 mm (0.300"), 10.16 mm (0.400") y 12.70 mm (0.500"). En el caso de que la maquina estuviera cerca de su límite de carga antes de alcanzar los 12.70 mm se hace la anotación hasta el punto máximo obtenido. [8]

Para este caso, la muestra se cargó en ambas caras del molde, con el fin de corroborar resultados.



Figura 9-9. Aplicación de la carga – Muestra inalterada.
Fuente: Autores.

Tabla 9-3. CBR SUMERGIDO
CBR SUMERGIDO

	Presiones (")	Presiones (mm)	Esfuerzos (Mpa)	Esfuerzos de Referencia (Mpa)	Relación de Soporte (CBR) (%)
APIQUE					
	0.100	2.540	0.291	6.900	4.22
	0.200	5.080	0.453	10.300	4.40

Fuente: Autores

9.3. ESTUDIO DE TRANSITO

En cuanto a la variable del tránsito promedio diario, se llevaron a cabo los conteos manuales de vehículos que transitan por la vía de diferentes categorías por 7 días,

de 6am a 8 pm, y se realizó un promedio de la cantidad de vehículos que transitan la zona obteniendo los niveles de transito existente.

Tabla 9-4. Tránsito Promedio Diario.

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO											
	Automóvil	Microbús	Buseta	Bus Intermunicipal	C2P	C2G - camión	C2G - volqueta	C3 - camión	C3 - volqueta	C3 S2	C3 - S3
TPD'S	1401	16	11	9	87	26	34	9	3	0	2
Composición vehicular	87.65%	0.98%	0.69%	0.58%	5.44%	1.63%	2.11%	0.58%	0.21%	0.00%	0.13%
TPD'S	1598										

Fuente: Autores

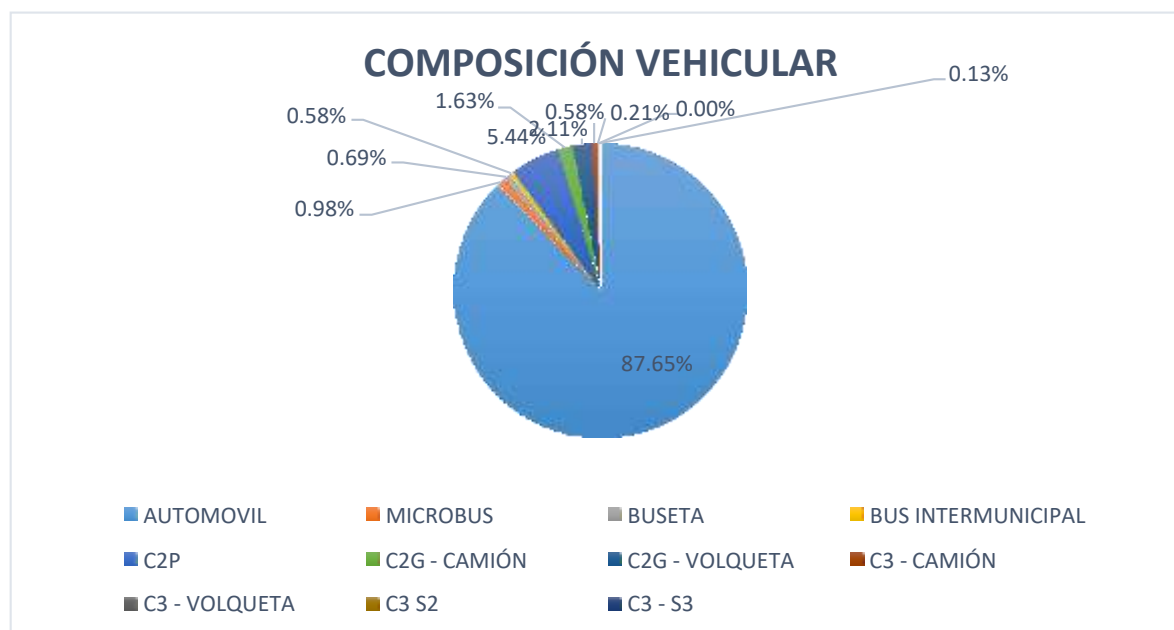


Figura 9-10. Composición Vehicular.

Fuente: Autores.

9.4. FACTORES AMBIENTALES Y CLIMÁTICOS

Los factores ambientales y climáticos influyen en cuanto al diseño de la estructura de pavimento, por lo cual se vio en la necesidad de solicitar datos a la entidad IDEAM para lograr determinar estas variables.

Para la obtención de los datos de temperatura y precipitación media anual de la ciudad de Acacias, se tuvieron en cuenta los datos obtenidos de la estación Unillanos. Se eligió esta estación por contener la mayor cantidad de datos.

Tabla 9-5. TMAP de Diseño.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA Y TEMPERATURA DE DISEÑO			
AÑO	TMAP °C	FP Promedio	TMAP DE DISEÑO
2009	22.31	1.29	22.45
2010	22.31	1.29	
2011	21.79	1.21	
2012	21.89	1.22	
2013	22.41	1.31	
2014	22.82	1.38	
2015	22.90	1.40	
2016	23.01	1.42	
2017	22.66	1.35	
2018	22.44	1.32	

Fuente: Autores.

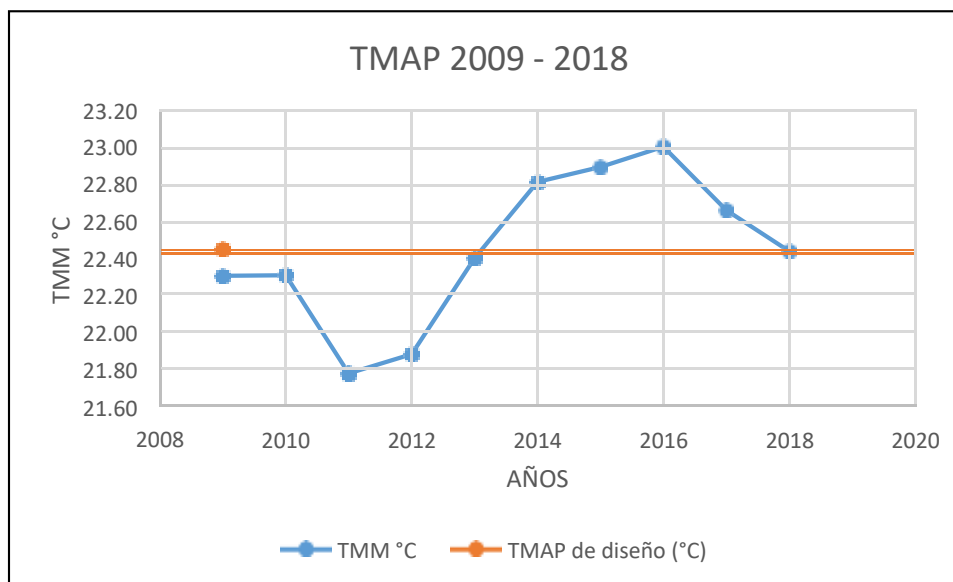


Figura 9-11. Temperatura de diseño.

Fuente: Autores

Tabla 9-6. PMA de Diseño.

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (PMA) DE LA CIUDAD DE ACACIAS ENTRE LOS AÑOS 2009 - 2016	
AÑO	PMA (mm)
2009	4354.0
2010	5488.0
2011	4956.0
2012	3224.5
2013	4517.0

2014	2999.0
2015	4089.0
2016	4249.0
PMA de diseño (mm)	4234.6

Fuente: Autores.

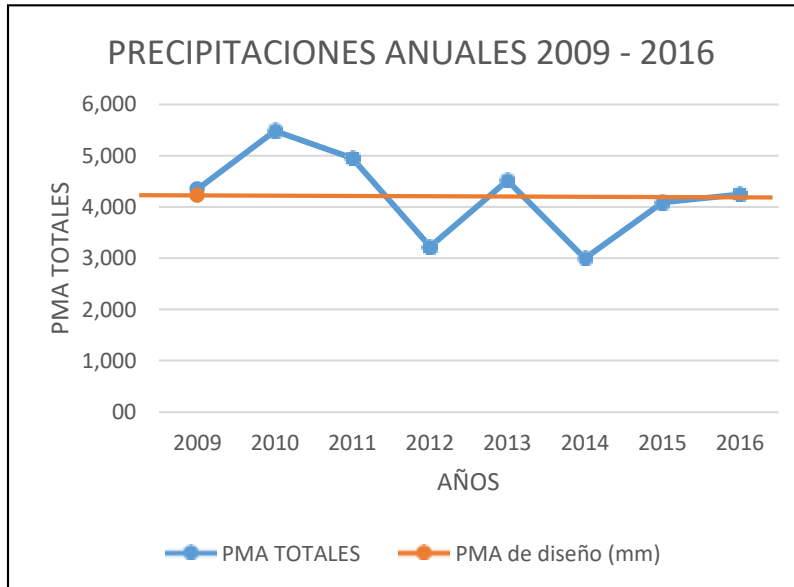


Figura 9-12. Precipitación de diseño.
Fuente: Autores.

10. ETAPA 2 (MATERIAL CRUDO DE RIO)

10.1. RECOLECCIÓN DE MATERIAL DE RIO

Se recolecto el material necesario para la realización de todos los ensayos de laboratorio en la cantera ubicada en el rio Guayuriba, vía Acacias. Fue necesaria la recolección de 4 bultos de 50 kg.

10.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

Se realizaron los procedimientos descritos en la norma INVIAS para la caracterización física del suelo. Los ensayos realizados se encuentran descritos en la tabla 23 (Ensayos de laboratorio).

Tabla 10-1. Ensayos de Laboratorio.

ENSAYOS DE LABORATORIO		
CLASIFICACION DEL SUELO	Análisis granulométrico	I.N.V E- 123 - 13
	Límites de consistencia	I.N.V E- 125 - 13
	Límite plástico e índice de plasticidad	I.N.V E- 126 - 13
	Humedad de los suelos usando horno microondas	I.N.V E- 135 - 13
	Ensayo modificado de compactación	I.N.V E- 142 - 13
DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL SUELO	CBR	I.N.V E- 148 - 13
	Degradación de los agregados de tamaño menores de 37.5 mm por medio de la máquina de los ángeles	I.N.V E- 218 - 13

Fuente: [8]

Equipos utilizados

- Cazuela de Casagrande
- Ranurador
- Espátula flexible
- Probeta plástica
- Placa de vidrio esmerilado
- Recipiente de humedad con tapa
- Prensa
- Molde cilíndrico de metal rígido de 6"
- Disco espaciador
- Aparato medidor de expansión
- Trípode

- Sobrecargas metálicas
- Pistón de penetración
- Tanque
- Martillo de operación manual
- Balanzas
- Horno
- Tamices
- Recipientes
- Placa de metal perforada
- Máquina de los Ángeles
- Esferas de acero
- Horno microondas
- Mortero porcelana

10.2.1 Clasificación del Suelo

10.2.1.1 Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico se utiliza para determinar la granulometría de los materiales propuestos que se vayan a emplear para así brindar el cumplimiento de las especificaciones en concordancia con la distribución de las partículas del material.

La muestra obtenida se secó a temperatura ambiente en su totalidad, este se colocó sobre una superficie lisa y nivelada y se mezcló el material completamente volteando en su totalidad la muestra tres veces.

Luego de esto, se formó una pila de material y se aplano la pila con un palustre. Este material obtenido se cuarteo, y se obtuvo una muestra representativa para el desarrollo del ensayo.

La muestra obtenida se pasó por el tamiz de 2.0mm (No. 10), obteniendo 2 porciones (una retenida en el tamiz y, la otra, material que pasa el tamiz). La fracción retenida en el tamiz se lavó con el fin de liberarlo de partículas finas adheridas. El material resultante se secó en el horno a una temperatura de 60 °C. Una vez seca la muestra, se mezcló el material con la fracción pasante del tamiz.

Seleccionando los tamices mencionados en la Tabla 24 (Tamices), se encajaron los tamices de manera decreciente con respecto al tamaño de sus aperturas, y se procedió a depositar la muestra en los tamices. Se agitaron estos por medio de una tamizadora mecánica por 2 minutos.



Figura 10-1. Tamices utilizados – Granulometría.
Fuente: Autores



Figura 10-2. Tamizador – Granulometría.
Fuente: Autores

Los tamices se desmontaron y se comprobó que la operación estuviera terminada al evidenciar que no pasaba más del 1% de la parte retenida al tamizar durante un minuto. Las partículas que quedaban atrapadas en la malla, se separaron usando un cepillo. Por último, se determinó la masa de cada fracción retenida en el tamiz en una balanza y se anotó el valor de cada uno.

10.2.1.2 Límites de consistencia

Para el material de río se dejó secar a temperatura ambiente y de este, se sacaron 200 g de material que pasara el tamiz de 425 μm (No. 40).

Al espécimen obtenido, se le agrego una pequeña cantidad de agua, con el fin de mezclar homogéneamente la muestra, y lograr la consistencia necesaria. Para este ensayo se realizaron 3 sub-muestras, de las cuales se requería obtener la consistencia suficiente para cerrar la ranura formada en el suelo a partir de 15-25, 20-30, 25-35 golpes respectivamente.

Para ello se colocó una cantidad adecuada de suelo mezclado con agua en la cazuela encima del punto donde esta descansa en la base. Se comprimió y extendió con la espátula flexible para nivelarla, dejándola a una profundidad de 10 mm en el punto de su máximo espesor.

Al tener el suelo en la cazuela, se dividió este con una pasada firme del ranurador desde la parte más alta a la parte más baja del borde de la cazuela y se procedió a girar la cazuela a una velocidad de 2 revoluciones por segundo

Al entrar en contacto las 2 partes del suelo en el fondo de la ranura a lo largo de 13 mm, se detuvo la cazuela y se tomaron la cantidad de golpes necesarios para cerrar la ranura formada en el suelo. Así mismo se tomó una tajada del suelo utilizado en el ensayo, se colocó en un recipiente con tapa, con masa conocida, se pesó el recipiente con la porción de suelo y se transfirió al horno a una temperatura constante de 110°C. Pasadas 24 horas, se sacó el recipiente del horno e inmediatamente se anotó el valor de la masa (esto para evitar la absorción de humedad higroscópica).



Figura 10-3. Limite Liquido - Material crudo de Río.
Fuente: Autores



Figura 10-4. Limite Liquido - Material crudo de Rio.
Fuente: Autores

10.2.1.3 Límite plástico e índice de plasticidad

Para este ensayo se tomó una porción de muestra (20 g) que paso el tamiz de 425 μm (No. 40) y se mezcló junto con agua, hasta conseguir una consistencia adecuada que permitiera enrollar el material sin que este se pegase en las manos. Sin embargo, el material utilizado no permitió la formación de rollos, ya que el material no presenta plasticidad.

10.2.1.4 Humedad de los suelos usando hornos microondas

El contenido de agua de los materiales es una de las propiedades más significativas de los suelos y es empleado para determinar las correlaciones que tienen los suelos, además que, con suelos con grano fino, su consistencia depende de la cantidad de agua que estos contengan.

Para realizar este procedimiento, se identificó la masa del recipiente limpio en el cual se depositará el material a determinar la humedad. Una vez hecho esto, se colocó el espécimen de suelo en el recipiente y se anotó su masa en conjunto.

Luego de esto, se ubicó el recipiente en el horno microondas por tres minutos a una temperatura de 150°C evitando así el sobrecalentamiento del material. Al pasar los 3 minutos, se retiró el recipiente con el material del horno, se anotó el valor de su masa junto con el recipiente y luego se mezcló cuidadosamente con una espátula para posteriormente volver a calentar el material por 1 minuto. Este procedimiento se realizó hasta que la muestra demostrara un cambio en su masa de 0.1%.

10.2.1.5 Ensayo modificado de compactación

El ensayo modificado de compactación se emplea con el fin de determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco del suelo. El objetivo de esto es lograr identificar la humedad óptima de compactación y posteriormente realizar el ensayo de CBR.

Para ello se utilizó un molde metálico del diámetro indicado según la granulometría del material y además de la cantidad de golpes y capas necesarias para lograr la compactación necesaria para el ensayo (ver tabla 25 – Ensayo Modificado de Compactación), un martillo de 44.48 N con una caída libre de 457.2 mm.

Tabla 10-2. Ensayo Modificado de Compactación.

MÉTODO	A	B	C
DÍAMETRO DEL MOLDE	101.6 mm (4")	101.6 mm (4")	152.4 mm (6")
MATERIAL	Pasa tamiz de 4.75 mm (No. 4)	Pasa tamiz de 9.5 mm (3/8")	Pasa tamiz de 19.0 mm (3/4")
CAPAS	5	5	5
GOLPES/CAPA	25	25	56
USO	Si 25% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25% de la masa, se puede usar el Método A, pero se requerirá la corrección por sobre tamaños (Ver numeral 1.4) y, en este caso, el uso del Método A no reporta ninguna ventaja	Si 25% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 9.5 mm (3/8"). Sin embargo, si en este tamiz queda retenida entre 5 y 25% de la masa, se puede usar el Método B, pero se requerirá la corrección por sobre tamaños. En este caso, la única ventaja de usar el Método B en lugar del Método C, es que se necesita menos cantidad de muestra y el molde pequeño es más fácil de usar	Si 30% o menos de la masa del material queda retenida en el tamiz de 19.0 mm (3/4")
OTRO USO	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se deben usar los Métodos B o C	Si este requisito de granulometría no se puede cumplir, se debe usar el Método C	

Fuente: [8]

En este caso, el material cumple con el método B ya que menos del 25% del material queda retenido en el tamiz de 9.5 mm (3/8"), sin embargo, se empleó el método C,

ya que el molde utilizado para la realización de este método (152.4 mm de diámetro) es el mismo empleado para el ensayo CBR.

Determinado el método a utilizar, se determinó la masa del molde junto con la placa y se prepararon las muestras reduciendo su contenido de humedad al aire libre, con el fin de realizar el ensayo por vía seca. Una vez seco el material, se procesó el material por el tamiz correspondiente (3/4”) para así realizar la compactación del mismo. Se prepararon 6 muestras con variación de 2% en su contenido de humedad. No se vio en la necesidad de realizar curado en la muestra ya que según la clasificación de la USCS (GW) no se requiere este procedimiento. Ver tabla 26 (Clasificación del Suelo).

Tabla 10-3. Clasificación del suelo.

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	TIEMPO DE CURADO (h)
GW, GP, SW, SP	No requiere
SW, SP	3
Todos demás suelos	16

Fuente: [8]

Preparada cada una de las muestras, se dio paso al proceso de compactación, para el cual se requerían 5 capas de muestra, la primera de estas capas se esparció una quinta parte de la cantidad utilizada para el ensayo (6 kg) vertiendo uniformemente y oprimiendo suavemente la superficie utilizando el martillo de operación manual, con el fin de obtener un suelo que no presentara un estado esponjoso. Para cada una de las capas se efectuaron 56 golpes realizados verticalmente con el martillo de operación manual manteniéndolo firmemente sin superar los 5° de tolerancia. Estos golpes se llevaron a cabo a una velocidad aproximada de 25 golpes por minuto.



Figura 10-5. Golpes – Proctor Modificado.

Fuente: Autores

En cuanto a los golpes, estos fueron efectuados según el patrón (Ver figura 23 – Secuencia de golpes) en los primeros 9 golpes, y posteriormente se realizaron los golpes sistemáticamente (Ver figura 24 – Sistematización de golpes)

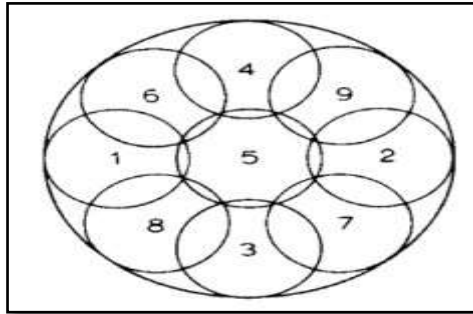


Figura 10-6. Secuencia de Golpes.
Fuente: [8]

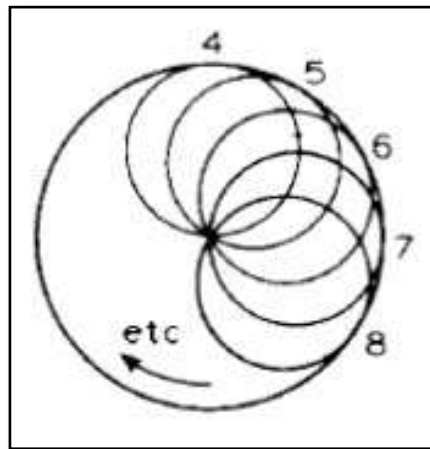


Figura 10-7. Sistematización de golpes
Fuente: [8]

Una vez terminada la compactación, se removió el collar del molde (Ver figura 25 – Muestra Compactación), se procedió a enrasar la muestra (Ver figura 26 – Muestra Enrasada) y finalmente determinar la masa del molde junto con la muestra compactada. Para este caso no se removió la placa base para determinar la masa de la muestra, ya que, se puede perder suelo o agua cuando la muestra es muy húmeda.



Figura 10-8. Muestra Proctor Modificado.
Fuente: Autores.



Figura 10-9. Muestra Proctor Modificado.
Fuente: Autores

Como paso final del ensayo, se extrajo del molde la probeta compactada (Ver figura 27 Muestra Compactada) se tomó la totalidad o una parte representativa de la muestra para lograr determinar su humedad. En el caso que se obtuvo la totalidad de la muestra, esta se desborono para conseguir una facilidad en el proceso de secado (Ver figura 28 – Muestra después de la compactación).



Figura 10-10. Muestra Compactada.
Fuente: Autores



Figura 10-11. Muestra después de la compactación
Fuente: Autores

10.2.2 Determinación de la resistencia del Suelo.

10.2.2.1 California Bearing Ratio (CBR)

Este ensayo se utiliza con el fin de determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales compactados de subrasante, sub-base y base, para su empleo en pavimentos de carreteras, evaluando su calidad, bajo efectos controlados de humedad y densidad.

Para la preparación de la muestra, se tuvo en cuenta la granulometría y la tabla 25 del ensayo modificado de compactación (ver tabla 25- ensayo modificado de compactación), para el cual, en este caso, se utilizó el método C, el cual requirió de 6 kg de material pasante del tamiz $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) y 5 capas compactadas. Cada muestra se preparó con el contenido de humedad óptimo, obtenido en el ensayo modificado de compactación. Sin embargo, el molde utilizado en este ensayo, es de mayor altura (177,8 mm), debido a que se debe emplear un disco espaciador, el cual permitirá la colocación de las 2 sobrecargas metálicas y una placa de metal perforada, en el caso que el ensayo de CBR sea sumergido.

Se ajustó el molde a la placa base y se unió junto al collar de extensión. Posteriormente se insertó el disco espaciador dentro del molde y encima de este se colocó papel filtro. Una vez hecho esto se procedió a la compactación.

En este caso, la compactación de cada capa se realizó de manera diferente para cada muestra. Para la primera muestra, se efectuaron 10 golpes con el martillo de

operación manual a cada una de las capas, la segunda muestra, con un total de 25 golpes y finalmente la tercera muestra, con un total de 56 golpes. Esto se llevó a cabo, con el fin de obtener el CBR al 95% de compactación.

Terminada la compactación, se quitó el collar de extensión y se enrasó el espécimen. El molde se desmontó de la placa base, se anotó el valor de su masa y se volvió a montar en la placa base, pero de manera inversa. Se retiró el disco espaciador, y se acomodó en el espacio las sobrecargas necesarias para producir la presión necesaria en el suelo (5.0 lb).

Por último, se situó el molde en la prensa, junto con las sobrecargas, y se aplicó carga a una velocidad uniforme de 1.27 mm (0.05") por minuto. Para obtener la curva de penetración esfuerzo, se hizo necesario obtener los valores de carga en los desplazamientos: 0.64 mm (0.025"), 1.27 mm (0.050"), 1.91 mm (0.075"), 2.54 mm (0.100"), 3.18 mm (0.125"), 3.81 mm (0.150"), 4.45 mm (0.175"), 5.08 mm (0.200"), 7.62 mm (0.300"), 10.16 mm (0.400") y 12.70 mm (0.500"). En el caso de que la máquina estuviera cerca de su límite de carga antes de alcanzar los 12.70 mm se hace la anotación hasta el punto máximo obtenido. [8]



Figura 10-12. Aplicación de carga (CBR) material de río.
Fuente: Autores

10.2.2.2 Prueba de desgaste en la máquina de los Ángeles

Este tipo de ensayo se realiza con el fin de conocer la degradación que tiene un agregado como resultado a la combinación de la abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio y una cantidad de esferas metálicas las cuales estarán definidas con respecto a la granulometría del material.

Para el caso del material de río, se tiene en cuenta la tabla 27 (Granulometrías de las muestras de ensayo), de la cual se escoge la más similar a la granulometría obtenida, y así mismo, las cantidades de material necesarias para la realización del ensayo.

Tabla 10-4. Granulometrías de las muestras de ensayo.

TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g			
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRIA			
		A	B	C	D
37.5 (1 1/2")	25.0 (1")				
25.0 (1")	19.0 (3/4")	1250 +- 25			
19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	1250 +- 25			
12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1250 +- 10	2500 +- 10		
9.5 (3/8")	6.3 (1/4")	1250 +- 10	2500 +- 10	2500 +- 10	
6.3 (1/4")	4.75 (No. 4)			2500 +- 10	
4.75 (No. 4)	2.36 (No. 8)				5000 +-10
	Total	5000 +-10	5000 +-10	5000 +-10	5000 +-10

Fuente: [8]

En el caso del material de río, la granulometría que más se adapta a la obtenida es el tipo A. En el caso de la granulometría tipo A, la cantidad de esferas de acero necesarias para el ensayo es de 12 según la tabla 28 (Tipos de Granulometría para el ensayo).

Tabla 10-5. Tipos de Granulometría para el ensayo.

GRANULOMETRIA	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA, g
A	12	5000 +- 25
B	11	4584 +-25
C	8	3330 +-20
D	6	2500 +- 15

Fuente: [8]

Conociendo la cantidad de esferas necesarias para el ensayo y la cantidad de material necesario, se procedió a lavar y secar el material durante 24 horas a 110°C de cantidades necesarias de material tamizado para el ensayo. Se comprobó que el tambor de acero rotatorio estuviera limpio en su totalidad, y se procedió a la colocación del material junto con las 12 esferas de acero.



Figura 10-13. Lavado de material de Río.

Fuente: Autores



Figura 10-14. Material de Río en Horno.
Fuente: Autores



Figura 10-15. Material crudo de Río.
Fuente: Autores

El tambor se hizo girar a una velocidad constante de 200 rad/minuto hasta completar las 500 revoluciones en total. Se descargó el material en el tambor y se realizó una separación del material utilizando el tamiz No. 12. El material retenido en el tamiz se lavó y se secó durante 24 horas a una temperatura constante de 110°C. El material seco se pesó y se anotó su valor correspondiente.



Figura 10-16. Material descargado de la Maquina de los Ángeles.
Fuente: Autores



Figura 10-17. Material que pasa el Tamiz N° 12.
Fuente: Autores



Figura 10-18. Lavado de Material de Río.
Fuente: Autores

Los resultados obtenidos del ensayo se resumen en la tabla 29 (Resultados Obtenidos – Maquina de los Ángeles).

Tabla 10-6. Resultados Obtenidos – Maquina de los Ángeles.

MATERIAL CRUDO DE RÍO				
Método según Granulometría	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Pérdida (g)	% Pérdida
A	5014	4450	564	11.25

Fuente: Autores.

11. DISEÑOS DE PAVIMENTO RÍGIDO POR LA METODOLOGÍA AASHTO 93 Y PCA 84

11.1. METODOLOGÍA IVANOV

Para poder emplear estas metodologías debemos tener un parámetro fundamental como es el CBR de la subrasante existente, como se pudo observar anteriormente el CBR arrojó un valor de 4,40% corresponde a un suelo en un mal estado, lo que corresponde realizar un mejoramiento a la plataforma de soporte (Subrasante). Para lo anterior se decidió emplear la metodología propuesta por IVANOV, esta consiste en un mejoramiento empleando piedra rajón. En la actualidad este tipo de mejoramiento es muy común y muy confiable.

Para esta metodología se emplea la siguiente ecuación:

$$E_{eq} = \frac{E_{SR}}{1 - \frac{2}{\pi} \left[1 - \frac{1}{n^{3.5}} \right] \tan^{-1} \left[n \times \frac{h_{rajón}}{2a} \right]}$$

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{E_{rajón}}{E_{SR}}}$$

Ecuación 11-1. Metodología IVANOV

Donde:

- E eq: Módulo equivalente de subrasante mejorada.
- E SR: Módulo de elasticidad de la subrasante.
- E rajón: Módulo de elasticidad del rajón.
- h rajón: Espesor del material rajón.
- a: Constante con valor igual a 15.

Los valores obtenidos empleando esta metodología se resumen a continuación en donde se obtiene con 30 cm de mejoramiento de material rajón un CBR mejorado de 5.85%, con este CBR mejorado es posible diseñar con las metodologías propuestas.

Tabla 11-1. CBR – Metodología IVANOV

CBRinferior	4,40
CBRsuperior	10,00
ESR	440,00
Erajón	672,89
Hrajón	30,00
A	15,00
N	1,19
Eeq.	585,32
CBReq.	5,85

Fuente: Autores

11.2 DISEÑO EMPLEANDO METODOLOGÍA AASHTO 93

11.2.1 Parámetros de Diseño

El presente diseño se sustenta en lo establecido por la metodología AASHTO 93, en lo cual establece parámetros como los siguientes:

- Número de ejes equivalentes
- CBR
- Módulo de reacción de la subrasante
- Módulo elástico
- Módulo de rotura del concreto
- Módulo de reacción combinado de la plataforma
- Coeficiente de drenaje
- Coeficiente de transferencia de carga
- Índice de serviciabilidad final
- Confiabilidad
- Desviación
- Error estándar
- Logaritmo de la variable de transito
- Índice de serviciabilidad
- Ancho de la calzada
- Número de Días de Lluvia al Año
- Porcentaje de Número de Días de Lluvia al Año

11.2.2 Número de ejes equivalentes

Este número equivale al número de ejes simples de 8.2 TON que pasaran por el carril de diseño y durante el periodo de diseño. Este valor es importante ya que de aquí se parten muchos criterios para el diseño de la estructura de pavimento.

Para determinar este número de ejes equivalentes se necesitan variables como: TPD, % de vehículos pesados, % de carril de diseño, tasa de crecimiento, periodo de diseño y el factor camión.

Para la determinación de la tasa de crecimiento se hizo con base a los valores proyectados de población hechos por el DANE, en un periodo de 2005 a 2020, esto se hace ya que se puede analizar que si el crecimiento poblacional del sector aumenta traerá consigo un crecimiento en el tránsito.

Para la determinación del % de carril de diseño, se debe tener en cuenta la dimensión de la vía a intervenir, en este caso el ancho de la vía es de 7 metros, lo que nos indica que el % es del 50%.

Los valores obtenidos del número de ejes equivalentes para la estructura de pavimento rígido están descritos en la 29 (Número de ejes equivalentes N8.2).

[3]

Tabla 11-2 Número de ejes equivalentes N8.2

NUMERO DE EJES EQUIVALENTES (N8,2)		
% VEHICULOS PESADOS	11,37	%
FACTOR CAMIÓN	1,43	
TPD	1598	Veh/Día
% DISMINUCIÓN CARRIL	50	%
TASA DE CRECIMIENTO	2,35%	%
PERIODO DE DISEÑO		
RIGIDO	20	AÑOS
RIGIDO	1,21, E+06	

Fuente: Autores

- El módulo de reacción de la subrasante se emplea una interpolación según el valor obtenido por la ecuación descrita anteriormente para $CBR < 10\%$. La interpolación se desarrolla según el tipo de material a emplear, en este caso se eligió base granular no tratada de 15 cm. El valor del módulo de reacción de la subrasante mejorada es de 189.18 Pci.
- Las propiedades mecánicas de la losa de concreto son: Módulo elástico (E_c) es de 30000Mpa (4351200 Psi) y módulo de rotura (M_R) es de 4.2 Mpa (609.17 Psi).
- El nivel de confiabilidad (Z_r): Este nos permite incluir un grado de seguridad en el proceso de diseño, esto en cuanto a su comportamiento frente al tránsito y condiciones ambientales que se presenten en el periodo de diseño. En este caso se determinó un nivel de confiabilidad del 90%, esto corresponde a un Z_r : -1.282.
- El índice de serviciabilidad (ΔPSI): Este corresponde a la habilidad específica de una sección de pavimento para servir al tránsito, es por eso que se deben elegir tanto una serviciabilidad inicial como una final. La inicial es con base al diseño del pavimento, calidad y construcción. La final es con base a la falla funcional del pavimento. Los datos que se adoptaron para el cálculo de este son: Serviciabilidad inicial de 4.2 lo que significa un buen estado de la vía, y la serviciabilidad final de 2.0 adoptando este valor debido a que la vía es una calle residencial. El índice de serviciabilidad es de 2.2.
- Para determinar el coeficiente de drenaje se deben tener algunos parámetros en cuenta como lo son el número de días de lluvia al año, con este se determina el porcentaje de lluvia al año. Se adopta que el comportamiento que tiene el lugar frente a la evacuación del agua es regular, de acuerdo a esto se puede determinar el coeficiente de drenaje que es de 0.90.

- Error normal combinado (So): Este se debe tener en cuenta el error o desviación del diseño, la variación de las propiedades de los materiales, subrasante, tránsito, condiciones climáticas y calidad de la construcción. Para la construcción nueva en pavimento rígido se tiene un error normal combinado de 0.35.
- Coeficiente de transferencia de carga (J): Este coeficiente nos permite escoger un parámetro adimensional que tiene en cuenta la capacidad que tienen los pasadores en una estructura de pavimento rígido de transferir las cargas en la zona más propensa a fallar como son las juntas. En este caso se determinó un valor de 2.7 que significa que al momento de construirse las losas estas estarán con pasadores y confinadas. El confinamiento significa que estarán con 0.20 m que serán los bordillos en concreto prefabricados. [3]

Los valores de los parámetros establecidos anteriormente están resumidos en la tabla 32 (Variables de diseño – Metodología AASHTO):

Tabla 11-3. Variables de Diseño – Metodología AASHTO

VARIABLES DE DISEÑO		
Número de ejes equivalentes	E+06	1,21E+06
CBR	%	5,85
Módulo de reacción de la subrasante	Ksubr - Pci	157,31
Módulo elástico	Ec - Psi	4351200
Módulo de rotura del concreto	MR - Psi	609,17
Módulo de reacción combinado de la plataforma	K - Pci	189,18
Coeficiente de drenaje	Cd	0,90
Coeficiente de transferencia de carga	J	2,7
Índice de serviciabilidad final	Pf	2,0
Confiabilidad	R (%)	90
Desviación	Zr	-1,282
Error estándar	So	0,35
Logaritmo de la variable de tránsito	LOG(W18)	6,082022852335050
Índice de serviciabilidad	Δpsi	2,2
Ancho de la calzada	Metros	7,0
Número de Días de Lluvia al Año (Estación UNILLANOS 35035070)	No. Días	217
Porcentaje de Número de Días de Lluvia al Año	%	59

Fuente: Autores

Con los parámetros descritos anteriormente se determina el espesor de la losa de acuerdo a la siguiente ecuación por la metodología AASHTO:

$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_o + 7.35 \times \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times P_f) \times \log\left(\frac{MR \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_s}{K}\right)^{0.25}}\right)}\right)$$

Ecuación 11-2. Cálculo espesor estructura de pavimento rígido.

Con los parámetros establecidos anteriormente y reemplazando en la ecuación anterior se estableció un espesor de la losa de 7" (18 cm).

Tabla 11-4. Valores Calculados – Metodología AASHTO

VALORES CALCULADOS		
Ecuación 13.15		6,081965399231480
Espesor de la losa de concreto	D (Pulgadas)	7
Espesor de la losa de concreto	D (Cm)	18

Fuente: Autores

Adicionalmente las losas requieren algunos elementos adicionales para que su comportamiento sea óptimo y cumplan con las solicitudes del tránsito existente. Lo anterior se ve resumido en la Tabla 34 (Elementos adicionales de la estructura de Pavimento Rígido)

Tabla 11-5. Elementos adicionales de la estructura de Pavimento Rígido

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO		
Espesor de la losa de concreto	h1 - cm	18
Espesor de base granular	h2 - cm	15
Espesor mejoramiento (Rajón)	h3 - cm	30
Pasadores	cm	9,0
P	cm	3,6
L Max	m	4,5
	m	4,4
	m	6
Relación de esbeltez	Cumple	1,25
Diámetro del pasador	Pulgadas	7/8
Longitud pasador	cm	35
Separación entre centro de barras	cm	30
Longitud barra de anclaje	cm	85
Acero de fy = 420 Mpa	Psi	60000
Diámetro de la barra de anclaje	Pulgadas	1/2
Espaciamiento del acero	cm	120

Fuente: Autores.

La estructura de pavimento se puede observar en la siguiente sección esquemática:

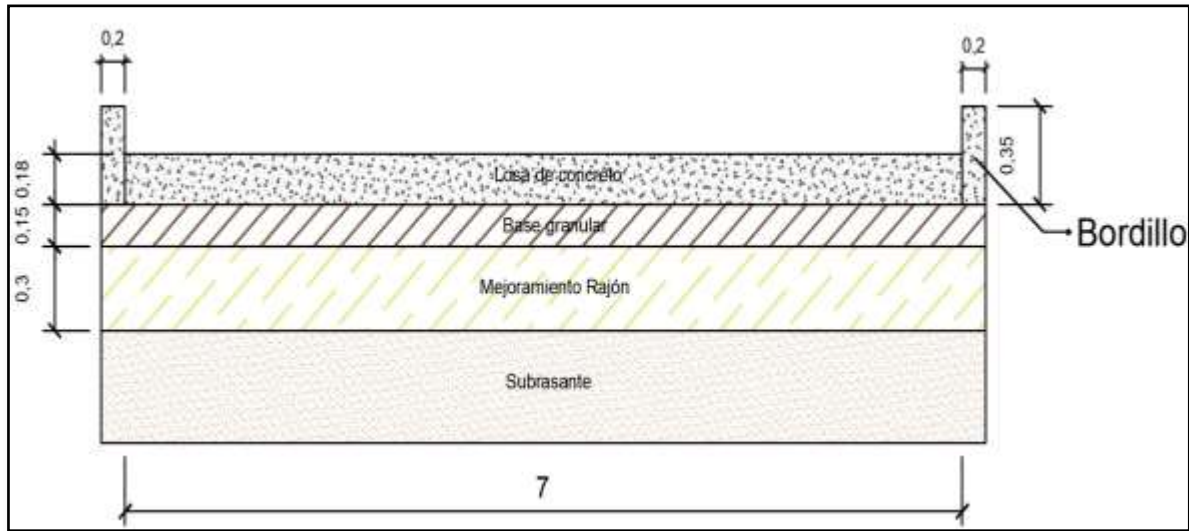


Figura 11-1. Estructura de Pavimento Rígido – Metodología AASHTO.
Fuente: Autores

Se decidió realizar un diseño adicional cambiando el coeficiente de transferencia de carga, en donde se iba a tener solo en cuenta el uso de pasadores mas no el confinamiento, en este caso el valor para dicho coeficiente es de 3.2, lo que por obvias razones el espesor de la losa va a cambiar aumentando su espesor.

Los resultados obtenidos para este nuevo diseño se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 11-6. Estructura de Pavimento Rígido – Metodología AASHTO

ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO		
Espesor de la losa de concreto	h1 - cm	20
Espesor de base granular	h2 - cm	15
Espesor mejoramiento (Rajón)	h3 - cm	30
Pasadores	cm	10,0
P	cm	4,0
	m	5,0
L max	m	4,4
	m	6
Relación de esbeltez	Cumple	1,25
Diámetro del pasador	Pulgadas	1
Longitud pasador	cm	35
Separación entre centro de barras	cm	30
Longitud barra de anclaje	cm	85
Acero de $f_y = 420$ Mpa	Psi	60000
Diámetro de la barra de anclaje	Pulgadas	1/2
Espaciamiento del acero	cm	120

Fuente: Autores

La estructura de pavimento se puede observar en la siguiente sección esquemática:

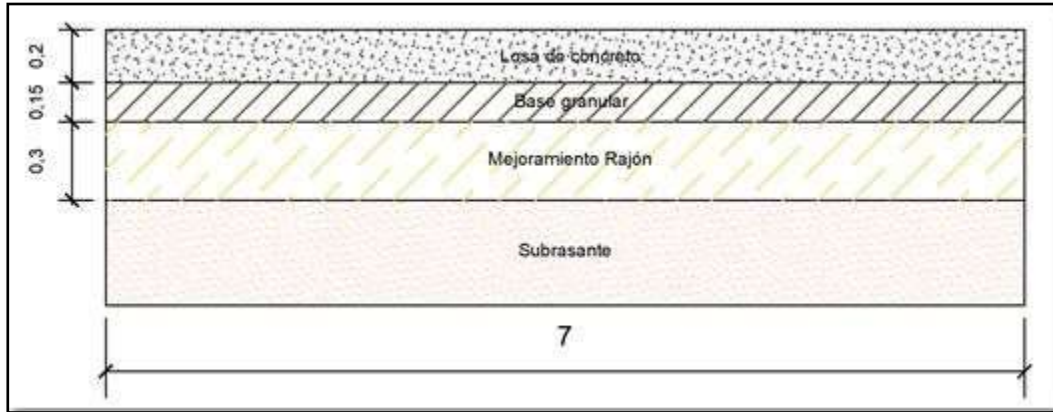


Figura 11-2. Estructura de Pavimento Rígido – Metodología AASHTO (Sin Berma)
Fuente: Autores

Estos dos diseños se presentan para tener un mejor análisis y poder comparar los resultados obtenidos, escogiendo al final el más conveniente para este caso.

11.3. DISEÑO EMPLEANDO METODOLOGÍA PCA 84

Algunos de los datos iniciales que se deben tener en cuenta para iniciar a diseñar con esta metodología son los siguientes:

Tabla 11-7. Datos Iniciales – Metodología PCA 84

Datos Iniciales	
CBR (%)	4,40
CBR Mejorado (%)	5,85
TPD (Veh/Día)	1598
r (%)	2,35%
MR (Mpa)	4,2
FSC (Vías residenciales o con bajo volumen de tránsito).	1,1
Pasadores y Confinamiento	Si
Vía	2 carriles
n (años)	20
Ancho de carril (m)	3,5
Base granular	No tratada
Espesor base (cm)	15
Espesor Mejoramiento Rajón(cm)	30

Fuente: Autores

Las variables que se requieren para esta metodología son las siguientes:

- La subrasante como se había mencionado anteriormente se relaciona con el módulo de reacción de la subrasante, este depende del material en donde se vaya a apoyar la losa de concreto, en este caso se apoyará en una capa de base granular no tratada. El valor del módulo de reacción es de 51.402 Mpa/m.

- Para determinar el tránsito es importante clasificar los tipos de vehículos en los tipos de eje (Estándar, Tándem, Tridem), con esto se podrá tener el número de ejes por día que circulan en el carril y en el periodo de diseño, además de que se debe determinar una constante K2 que se basa en el factor carril y se estima con el TPD's calculado mediante los aforos realizados, el valor de la constante K2 es de 48.505%. La constante K3 depende del periodo de diseño y de la tasa de crecimiento, en este caso tiene un valor de 1.27.
- El factor de seguridad se determinar según el tipo de vía, en este caso se adopta un factor de seguridad de 1.1 (Vías residenciales o con bajo volumen de tránsito).
- Las propiedades mecánicas de la losa de concreto, en este caso se adopta un valor de 4.2 Mpa.
- Se determina que la losa debe tener pasadores y debe estar confinada.

Para determinar el espesor de la losa se hizo con la ayuda del programa suministrado por la plataforma TOPO3, llamado BS-PCAA, en este se deben incluir por cada eje el número de ejes, establece el factor de seguridad, e ingresar todos los demás datos anteriormente descritos. El objetivo del manejo de este programa es variar el espesor de la losa de concreto con el fin de que su comportamiento tanto por fatiga y por erosión sean menores al 100%, esto para garantizar que el desempeño y comportamiento sea el óptimo.

Para este diseño se realizaron diferentes variaciones del espesor de la losa, dando como resultado final un espesor de 21 cm, un consumo de erosión del 6.3851% y consumo de esfuerzo del 14.2987%, con esto se garantiza que las losas de concreto se comportarán de manera óptima. Lo anterior se puede observar de forma resumida en el siguiente cuadro:

Tabla 11-8. Datos Obtenidos – Metodología PCA 84

Datos Obtenidos (15cm)		
Espesor de la losa (cm)	21,00	
Ancho de Berma (cm)	20,00	
Análisis de Fatiga (%)	14,2987	
Análisis de Erosión (%)	6,3851	
Lmáx (m)	5,25	
	4,38	4,38
	6,00	
Relación de esbeltez	1,25	CUMPLE
Diámetro del pasador (Pulgadas)	1 1/8	
Longitud pasador (Cm)	40,00	
Separación entre centros de barras (Cm)	30,00	
Longitud barra de anclaje (cm)	85,00	
Acero de fy = 420 Mpa (Psi)	60000,00	
Diámetro de la barra de anclaje (Pulgadas)	1/2	
Espaciamiento del acero (cm)	120,00	

Fuente: Autores

La estructura de pavimento se puede observar en la siguiente sección esquemática:

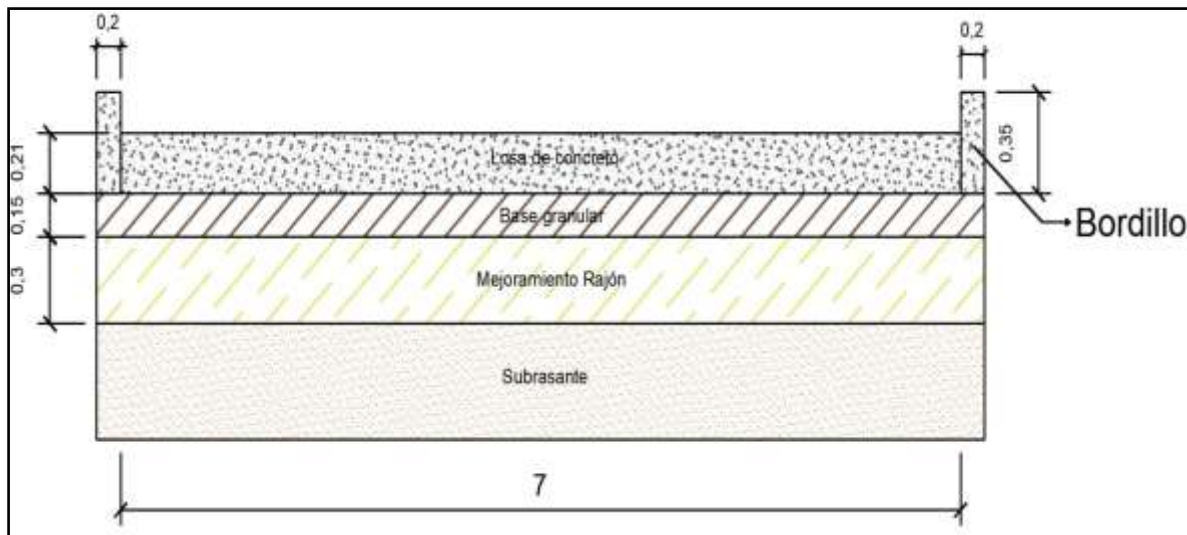


Figura 11-3. Estructura de Pavimento Rígido – Metodología PCA 84

Fuente: Autores

Al igual que en los diseños por la otra metodología en este se decidió realizar el mismo procedimiento en cuanto al doble diseño cambiando algunos factores, en este caso fue el mismo cambio, tener solo el uso de los pasadores sin tener en cuenta el confinamiento por medio de los bordillos de concreto prefabricado, arrojando los siguientes valores:

Tabla 11-9. Datos Obtenidos – Metodología PCA 84 (Sin Berma)

Datos Obtenidos (15cm)		
Espesor de la losa (cm)	24,00	
Ancho de Berma (cm)	0,00	
Análisis de Fatiga (%)	21,0129	
Análisis de Erosión (%)	8,9523	
Lmax (m)	6,00	
	4,38	4,38
	6,00	
Relación de esbeltez	1,25	CUMPLE
Diámetro del pasador (Pulgadas)	1 1/4	
Longitud pasador (Cm)	45,00	
Separación entre centros de barras (Cm)	30,00	
Longitud barra de anclaje (cm)	85,00	
Acero de $f_y = 420$ Mpa (Psi)	60000,00	
Diámetro de la barra de anclaje (Pulgadas)	1/2	
Espaciamiento del acero (cm)	120,00	

Fuente: Autores

Es claro el aumento del espesor de la losa debido al no confinamiento de la misma. El objetivo de este nuevo diseño es poder tener mejores alternativas para escoger la mejor teniendo en cuenta su comportamiento y demás.

La estructura de pavimento de este nuevo diseño se puede observar en la siguiente sección esquemática:

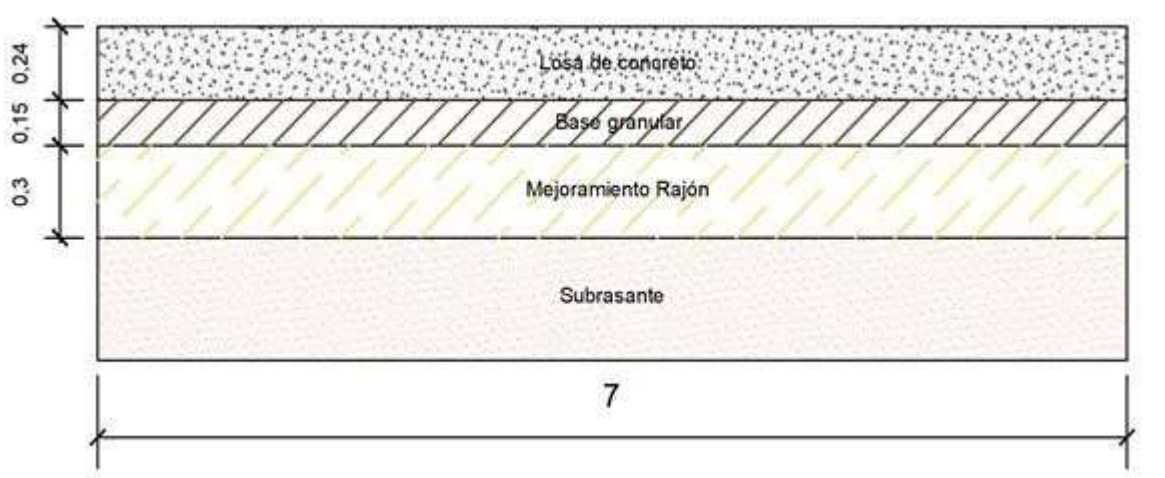


Figura 11-4. Estructura de Pavimento – Metodología PCA 84 (Sin Berma)
Fuente: Autores

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez analizado el suelo existente del tramo de estudio, se evidencia que el material del primer estrato de cada uno de los apiques (material granular grueso) cierra el surco con un número de golpes inferior a los 25 golpes, lo cual nos indica que el material no presenta plasticidad. En cuanto al resto de estratos presentes, se logró determinar el límite líquido de cada uno de estos sin mayor dificultad en el desarrollo del ensayo, y según los resultados obtenidos, los límites líquidos y de plasticidad son de gran similitud comparándolos entre sí, por lo que se puede afirmar que el suelo presente en todo el trayecto de la vía, no presenta cambios importantes en su comportamiento y se podría reutilizar como material de mejoramiento teniendo en cuenta las normas INVIAS.

En cuanto al estudio de tránsito, se evidencio que los automóviles o vehículos livianos son los más frecuentes en el tramo de estudio con un 87.65%, seguido del C2P (camión pequeño) solo con un 5.44%, esto quiere decir que actualmente la vía no requiere de una estructura de pavimento muy robusta, cabe resaltar que el crecimiento poblacional (obtenido del DANE) se proyecta a 20 años.

De los resultados obtenidos de los factores climáticos se pudo evidenciar que las precipitaciones de la ciudad están alrededor de los 4000mm, lo cual quiere decir que el suelo se debe considerar en condiciones saturadas, por lo que el CBR se determinó sumergido y lo importante de usar obras de drenaje a lo largo del tramo, como sumideros y bordillos.

Analizando los ensayos realizados al material crudo de río, se evidencio que cumple con las características físicas y mecánicas del INVIAS para ser utilizado como material de sub-base. A continuación, se relaciona lo expuesto:

Tabla 12-1. Requisitos mínimos según INVIAS sub-base granular

RIGIDO		1,21,E+06	Nivel de Tránsito (Invías)	NT2
Material Crudo de Río			Sub-Base Granular	Base Granular
Descripción visual del material en	Material granular		-	-
Terreno	grueso			
Material	MG		-	-
% Grava	43,20		-	-
% Arena	56,05		-	-
% Finos	0,75		-	-
LL %	NP		Cumple	-
LP %	NP		-	-
IP %	NP		Cumple	Cumple
Máquina de los Ángeles	11,25		Cumple	Cumple
Densidad Óptima	2,165		-	-

Humedad Óptima	7,60%	-	-
CBR 10 Golpes	54,80	-	-
CBR 25 Golpes	56,57	-	-
CBR 56 Golpes	80,38	-	-
CBR 100%	76,00%	Cumple	No Cumple
CBR 98% (Base Granular)	74,60%	-	No Cumple
CBR 95% (Sub-base Granular)	72,60%	Cumple	-
Estado		Cumple	No Cumple

Fuente: Autores

13. RESULTADOS E IMPACTOS

A continuación, se presenta los resultados e impactos que se obtuvieron a lo largo del desarrollo de este proyecto de grado con el fin de dar solución a una problemática en el municipio de Acacias y mejorar las condiciones de tránsito y movilidad del sector.

Tabla 13-1. Resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Propiedades mecánicas y físicas del suelo existente en la zona.	Ensayos de laboratorio realizados al material extraído cada 250 metros.	Determinar si el tipo de suelo existente en la vía es adecuado para su uso, a través de su caracterización, teniendo en cuenta las normas INVIAS.
Tránsito vehicular existente en la zona de estudio.	Aforos realizados en cada estación a lo largo de la vía.	Calcular la variable tránsito de la vía en estudio a través de aforos vehiculares y teniendo en cuenta la metodología de diseño.
CBR óptimo de diseño para la subrasante.	Ensayos de laboratorio al material extraído de la vía de estudio.	Estimar la capacidad portante de la sub-rasante (CBR) por medio de estudios de suelos.
Espesores de las capas de la estructura de pavimento.	Aplicación y realización de las metodologías AASHTO y PCA para pavimento rígido. Plano de los espesores obtenidos de las distintas capas	Seleccionar la estructura conveniente, teniendo en cuenta los análisis realizados a las diferentes estructuras calculadas con los distintos métodos de diseño.
Propiedades físicas y mecánicas del material crudo de río.	Ensayos de laboratorio realizados en la Universidad Santo Tomas.	Analizar el material crudo del río Guayuriba para su utilización como capa de sub-base, teniendo en cuenta las normas INVIAS

Fuente: Autores

Tabla 13-2. Impactos

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social	La población aledaña a la vía a intervenir se verá beneficiada ya que mejorará las condiciones sociales y aumentará la calidad de vida de las mismas.		Largo plazo
Económico	El sector se verá beneficiado en la parte económica ya que primero el municipio tendrá un nuevo acceso y con esto traerá turismo y demás, y por otro lado los habitantes del municipio o aledaños invertirán en el lugar debido a que tienen vías en buen estado lo que genera un impacto económico positivo en el sector.		Largo plazo
Académico	Como estudiantes de Ingeniería Civil, es importante poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, por eso es importante el desarrollo del proyecto ya que nos generara un impacto positivo para tomar decisiones a futuro en los diferentes proyectos.		Corto
	Facilitar una metodología de diseño, para futuros estudios de Pavimentos Rígidos, además de la		

	utilización del material de Río Guayuriba en otras investigaciones.	
Técnico	Este proyecto nos brindara un enfoque en el área de vías ya que podremos poner en práctica los conocimientos adquiridos y conseguiremos un criterio ingenieril, analítico y práctico para la elaboración de futuros proyectos funcionales e integrales.	Mediano

Fuente: Autores

14. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

14.1. CONCLUSIONES

- Los diseños realizados por la metodología PCA son más precisos dado que se hace un análisis evaluando la erosión y la fatiga, parámetros fundamentales en el correcto comportamiento de la estructura de pavimento.
- De acuerdo a que la vía es de tipo urbana se requiere la construcción de drenajes superficiales (sumideros) garantizando la salida de aguas lluvia y evite daños representativos a la estructura de pavimento.
- Se realizaron los diseños de acuerdo a las diferentes metodologías (AASHTO y PCA) con la capacidad portante en sus condiciones más desfavorables (sumergido) con el fin de que la estructura de pavimento rígido tenga un comportamiento óptimo en todas las condiciones.
- El tránsito existente en el sector es considerable para una estructura de pavimento con espesores considerables y que puedan prestar su servicio a lo largo de su periodo de diseño.
- El espesor escogido como diseño final de la losa de concreto es 0.21m de acuerdo a la metodología PCA, base granular de 0.15m, mejoramiento con piedra rajón de 0.30m y bordillos de 0.2m.
- Al momento de la ejecución de estos diseños se verifique el cumplimiento de los materiales, teniendo en cuenta los requisitos estipulados por el INVIAS para su correcto comportamiento de la estructura de pavimento.
- El tránsito empleado para la determinación del número de repeticiones de cada tipo de eje que circularán por los tramos de vía fue obtenido a partir de un conteo realizado durante tres días en el tramo de estudio.
- La finalidad de la exploración geotécnica para el diseño del pavimento consistió en precisar las características físicas y geo mecánicas de los estratos existentes, característicos del subsuelo, además se realizó la determinación del CBR de los suelos examinados in situ comparando la resistencia del suelo a la penetración con la del material patrón. Este método evalúa la calidad relativa de las subrasantes de los suelos, evaluándose las condiciones “in situ” y bajo condiciones de inmersión, correspondiente a la norma INVIAS.
- La exploración geotécnica para el Diseño del Pavimento se orientó al conocimiento del material de Subrasante y de las capas de Material Granular existente con base en una serie de ensayos de laboratorio convencionales tales como Granulometrías, Humedad Natural, límites de Atterberg, CBR

(sumergido), que permiten clasificar la Subrasante y los Materiales Granulares encontrados y de esta forma determinar la calidad relativa del material encontrado y por ende correlacionar de forma general la clasificación realizada con el comportamiento ingenieril de dicho material.

- Para el análisis de las propiedades y características de los Materiales Granulares y de la Subrasante existente se llevaron a cabo tres apiques a una profundidad promedio de 1.50 metros.
- De acuerdo con los perfiles estratigráficos obtenidos a partir de los apiques realizados se evidencia que el material es uniforme en su mayoría en los diferentes tramos, generalmente corresponde a arena limosa, con características plásticas que cumplen con las características de material relleno tipo INVIAS.

14.2. TRABAJOS FUTUROS

La propuesta es poder presentar este trabajo a la alcaldía de Acacias, Meta con el fin de que se pueda ejecutar y mejorar las condiciones de transporte y movilidad de esta parte del municipio.

Además, se tiene pensado que en un momento que se realice un posgrado se tengan mejores bases para la realización de un trabajo de grado con la misma temática de diseño de estructura de pavimento para una vía que lo solicite.

15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. d. A. -. Meta, «POT - Acacias - Meta,» [En línea]. Available: <http://www.acacias.gov.co/documentos/91/plan-de-ordenamiento-territorial/>. [Último acceso: Enero 2019].
- [2] A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras - Tomo 1, 2015.
- [3] H. A. R. Q. y. F. A. R. Lizcano, Pavimentos: Materiales, construcción y diseño., ECOE.
- [4] VISE, «VISE,» 2016. [En línea]. Available: <http://blog.vise.com.mx/para-qu%C3%A9-sirve-un-estudio-de-suelo>. [Último acceso: ENERO 2019].
- [5] *Metodología PCA*.
- [6] C. A. L. N. y. G. J. B. H. Jorge Alberto Álvarez Pabón, Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medianos y altos volúmenes de tránsito, Bogotá: Instituto Colombiano De Productores De Cemento, 2007.
- [7] M. E. M. Rivera, «Diseño de pavimento rígido para la vía Baba-La estrella,» Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 2011.
- [8] INVIAS, «Especificaciones generales para la construcción de carreteras,» 2013.
- [9] L. L. N. B. -. J. A. G. H. -. D. F. G. Cárdenas, «Caracterización del material de arrastre del rio Guayuriba a la altura del puente el palmar en la vía que conduce al Municipio De San Carlos De Guaroa – Departamento Del Meta,» 2014. [En línea]. Available: http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/5105/1/2014_caracterizacion_material_arrastre.pdf. [Último acceso: Enero 2019].
- [10] G. E. Pro, «Google Earth Pro,» [En línea]. Available: <https://www.google.com>. [Último acceso: Enero 2019].
- [11] I. A. D. M. C. -. I. C. A. A. Saenz, «Diseño de pavimento rigido para la urbanizacion caballero y gongora, municipio de honda - tolima,» 2015. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2687/1/dise%C3%B1o%20de%20pavimento%20rigido%20para%20la%20urbanizaci%C3%B3n%20Caballero%20Gongora%2C%20Municipio%20de%20Honda-Tolima.pdf>. [Último acceso: Enero 2019].

16. ANEXOS

Anexo 1: Factores Ambientales y Climáticos

Anexo 2: Aforos Vehiculares

Anexo 3: Tránsito promedio diario

Anexo 4: Factor camión y No. Ejes equivalentes (N8.2)

Anexo 5: Resumen general – Geotecnia.

Anexo 6: % Humedad - Material existente (Apique)

Anexo 7: Limites de Atterberg (Apique 1-2-3)

Anexo 8: Granulometría (Apique 1-2-3)

Anexo 9: Prueba 1 y Prueba 2 CBR sumergido (Muestra inalterada)

Anexo 10: Graficas Geotecnia

Anexo 11: Granulometría (Material Crudo de Rio)

Anexo 12: Limites de Atterberg (Material Crudo de Rio)

Anexo 13: Máquina de los Ángeles (Material Crudo de Rio)

Anexo 14: % Humedad - Material existente (Material Crudo de Rio)

Anexo 15: Proctor Modificado (Material Crudo de Rio)

Anexo 16: CBR (Golpes 10,25 y 56)

Anexo 17: CBR de diseño

Anexo 18: Diseños – AASHTO y PCA

Anexo 19: Planos y esquemas