

**APLICACIÓN EN TEMÁTICAS DE INGENIERÍA
ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL
BARRIO SAMÁN DE LA RIVERA EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO-
META**



Por:

**Juan Sebastián Quintero Beltrán
Juan Sebastián Sánchez Montañez**



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

**APLICACIÓN EN TEMÁTICAS DE INGENIERÍA
ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO DEL
BARRIO SAMÁN DE LA RIVERA EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO-
META**



Por:
Juan Sebastián Quintero Beltrán
Juan Sebastián Sánchez Montañez

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

Aprobado por:
I.C. Jessica Ramírez Cuello MSc.
Director

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, 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

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

I.C. Manuel Eduardo Herrera Pabón, M.Sc.
Decano Facultad de Ingeniería Civil

DEDICATORIA

A Dios, por permitirnos llegar hasta este punto y darnos salud para lograr cada uno de nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la ingeniera Jessica María Ramírez por su guía, paciencia, comprensión y valiosos consejos a lo largo del trabajo realizado, que fueron fundamentales para desarrollar cada una de las actividades del proyecto y que serán útiles a lo largo de nuestra vida laboral y personal.

A nuestras familias, por su comprensión y apoyo constante.

Y a todas las personas que de una u otra forma aportaron para la realización de este proyecto.

RESUMEN

En el barrio Samán de la Rivera se evidencia la ausencia de una estructura de pavimento óptima para realizar que facilite el desplazamiento a diferentes puntos o lugares, por lo esto se propuso el diseño de la estructura de pavimento con el fin de brindarle a la comunidad una alternativa que sea duradera, segura y económica que aporte al crecimiento no solo de la comunidad sino también del municipio.

Inicialmente, fue necesario realizar los estudios de suelo para revisar las características físicas del mismo y obtener la capacidad portante de la subrasante, por otro lado, se analizaron las variables climatológicas de temperatura y precipitación media anual y por último se revisó la composición vehicular y la población mediante los censos suministrados por el DANE con el fin de obtener la tasa de crecimiento requerida para el cálculo del número de ejes equivalentes.

Cabe resaltar que las metodologías de diseño empleadas son SHELL, la cual se basa en evaluar el estado de esfuerzos y deformaciones inducidos por el tránsito, el clima, entre otros y PCA, que analiza la fatiga y erosión en pavimentos rígidos.

Finalmente se seleccionó la estructura más adecuada para el sector, teniendo en cuenta un pavimento que requiera de menos mantenimiento y una mayor vida útil.

Palabras Clave: CBR, Granulometría, Metodología PCA, Metodología Shell, Pavimento.

ABSTRACT

In the Samán de la Rivera neighborhood, the absence of an optimal pavement structure is evidenced to facilitate the movement to different points or places, for this reason the design of the pavement structure was proposed in order to provide the community with a An alternative that is durable, safe and economical that contributes to the growth not only of the community but also of the municipality.

Initially, it was necessary to carry out soil studies to review its physical characteristics and obtain the bearing capacity of the subgrade, on the other hand, the climatological variables of temperature and average annual precipitation were analyzed and finally the vehicular composition and the population through the censuses provided by DANE in order to obtain the growth rate required to calculate the number of equivalent axes.

It should be noted that the design methodologies used are SHELL, which is based on evaluating the state of stresses and deformations induced by traffic, weather, among others, and PCA, which analyzes fatigue and erosion in rigid pavements. Finally, the most suitable structure for the sector was selected, taking into account a pavement that requires less maintenance and a longer useful life.

Key Word: CBR, Granulometry, PCA Methodology, Shell Methodology, Pavement.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
3.	JUSTIFICACIÓN.....	16
4.	OBJETIVOS.....	17
4.1.	OBJETIVO GENERAL	17
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
5.	ALCANCE.....	18
6.	MARCO DE REFERENCIA	19
6.1.	MARCO TEÓRICO	19
6.1.1.	Subrasante	19
6.1.2.	Tránsito	20
6.1.3.	Metodología Portland Cement Association (1984)	23
6.1.4.	Metodología SHELL	25
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	27
6.2.1.	Ingeniería de pavimentos	27
6.2.2.	6.2.2. Clasificación de los pavimentos	28
6.2.3.	Tránsito	28
6.2.4.	Clima	29
6.2.5.	Obras de drenaje y subdrenaje	29
6.3.	ESTADO DEL ARTE.....	30
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	32
7.	METODOLOGÍA	34
7.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	34
7.1.1.	Etapa preliminar, revisión bibliográfica y diagnóstico de la vía	34
7.1.2.	Etapa 1, Estudios para los diseños de las estructuras de pavimento	34
7.1.3.	ETAPA 2, DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	35
7.2.	POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
8.	ETAPA 1. ESTUDIOS PARA LOS DISEÑOS DE LA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO.....	37
8.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	37
8.2.	TRÁNSITO DE DISEÑO	37
8.2.1.	Composición vehicular	38
8.3.	ESTUDIO DE SUELOS	40
8.3.1.	Toma de muestras y ensayos de laboratorio	41
8.3.2.	Descripción general de suelo	42
8.3.3.	Análisis del cbr de diseño.....	44
8.4.	ESTUDIO CLIMÁTICO	45
8.4.1.	Temperatura.....	45
8.4.2.	Precipitación.....	48
9.	ETAPA 2. DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO	51
9.1.	METODOLOGÍA SHELL	51

9.1.1.	Tránsito	51
9.1.2.	. Módulo Resiliente de la Subrasante.....	53
9.1.3.	Diseño del Pavimento Flexible	54
9.2.	METODOLOGÍA PCA.....	56
9.2.1.	Tránsito	56
9.2.2.	Módulo de Reacción de la Subrasante.....	56
9.2.3.	Diseño de Pavimento Rígido	57
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
11.	RESULTADOS E IMPACTOS	60
12.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	61
12.1.	CONCLUSIONES.....	61
12.2.	TRABAJOS FUTUROS	62
	BIBLIOGRAFÍA	63
	ANEXOS	65

TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 8.1 CALLE 42 SUR CON CARRERA 38, ESTADO ACTUAL EN AFIRMADO.	37
ILUSTRACIÓN 8.2. CALLE 42 SUR 37, ESTADO ACTUAL EN AFIRMADO	37
ILUSTRACIÓN 8.3. BUS INTERMUNICIPAL ESTACIONADO EN EL BARRIO.	40
ILUSTRACIÓN 8.4. UBICACIÓN DE LOS APIQUES REALIZADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO. ...	41
ILUSTRACIÓN 8.5. MUESTRAS DE SUELO	42
ILUSTRACIÓN 8.6. ENSAYO DE PENETRACIÓN DE CONO DINÁMICO.	42
ILUSTRACIÓN 8.7. EXCAVACIÓN PARA EL ESTUDIO DE SUELOS EN LA ZONA DE ESTUDIO..	43
ILUSTRACIÓN 9.1. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE	56
ILUSTRACIÓN 9.2. VENTANA DEL SOFTWARE BS-PCAA.	58
ILUSTRACIÓN 9.3. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO.....	58

LISTA DE TABLAS

TABLA 6.1. VALORES DEL MÓDULO DE REACCIÓN DE SUBRASANTE (K).	19
TABLA 6.2. ESTIMACIÓN DEL FACTOR CARRIL K ₂	21
TABLA 6.3. ESTIMACIÓN DE K ₃ PARA LA PROYECCIÓN DE TRÁFICO.	22
TABLA 6.4. CARGAS POR EJE DE ACUERDO CON LOS MÁXIMOS AUTORIZADOS POR EL MINISTERIO DE TRANSPORTE (T).....	22
TABLA 6.5. ESTADO DEL ARTE.....	30
TABLA 6.6. MARCO NORMATIVO.....	32
TABLA 7.1. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL PROYECTO	36
TABLA 8.1. COMPOSICIÓN VEHICULAR.....	38
TABLA 8.2. LOCALIZACIÓN DE APIQUES.	40
TABLA 8.3. CARACTERÍSTICAS DE CADA UNO DE LOS APIQUES	43
TABLA 8.4. CBR DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO	44
TABLA 8.5. CBR DE DISEÑO	44
TABLA 8.6. DATOS DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.....	45
TABLA 8.7. TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA Y TEMPERATURA DE DISEÑO	47
TABLA 8.8. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES.	48
TABLA 8.9. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	49
TABLA 9.1. CENSOS DE LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO.	51
TABLA 9.2. NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES (N _{8.2}).	53
TABLA 9.3. METODOLOGÍA INA.....	53
TABLA 9.4. ESTRUCTURA Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO POR FATIGA Y AHUELLAMIENTO.....	55
TABLA 9.5. RESPUESTAS ESTRUCTURALES EN LAS INTERFACES Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO POR FATIGA Y AHUELLAMIENTO.	55
TABLA 9.6. CÁLCULO DE NÚMERO DE EJES.....	56
TABLA 11.1. RESULTADOS DEL PROYECTO.....	60
TABLA 11.2. IMPACTOS DEL PROYECTO.	60

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 6.1. Módulo resiliente para CBR menores del 10%.	19
Ecuación 6.2. Módulo de reacción de subrasante.....	19
Ecuación 6.3. Módulo de reacción de subrasante para CBR menores del 10%. ..	19
Ecuación 6.4. Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas.	20
Ecuación 6.5. Factor camión.	20
Ecuación 6.6. Número de ejes por la metodología PCA.	21
Ecuación 6.7. Relación de esfuerzos	24
Ecuación 6.8. Método Shell.....	25
Ecuación 6.9. Deformación por compresión.....	27
Ecuación 6.10. Esfuerzo por compresión.....	27
Ecuación 8.1. Ecuación de Temperatura media mensual	45
Ecuación 9.1. Módulo de reacción de la subrasante.	57

TABLA DE GRÁFICAS

GRÁFICA 8.1. COMPOSICIÓN VEHICULAR.....	39
GRÁFICA 8.2. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	46
GRÁFICA 8.3. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL PONDERADA.....	47
GRÁFICA 8.4. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL	49
GRÁFICA 8.5. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	50
GRÁFICA 9.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POR EL MÉTODO LINEAL	52
GRÁFICA 9.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POR EL MÉTODO EXPONENCIAL.....	52
GRÁFICA 9.3. DETERMINACIÓN DEL CBR DE DISEÑO.	54

1. INTRODUCCIÓN

Las obras de infraestructura vial son uno de los elementos fundamentales en una política pública orientada al crecimiento de una ciudad, que trae consigo grandes beneficios económicos y sociales, en su mayoría, cuando estas estructuras se encuentran en zonas de alta productividad, en el ámbito comercial, industrial, turístico y agrícola. [1] Este tipo de construcciones brindan una reducción de costos operativos de los vehículos que frecuentemente transitan por la zona, por otro lado, el factor de tiempo y contaminación del ambiente, son aspectos que se observan afectados por la escasez de estas obras civiles en el municipio. Cabe resaltar, que la infraestructura vial en el país se ha convertido en uno de los principales aspectos a mejorar en los planes de desarrollo, debido a las condiciones no óptimas en las que se encuentran algunas de las vías urbanas.

De 120 países, Colombia ocupa el puesto 97 en la relación kilómetro-habitante y la densidad de carreteras pavimentadas es de 0.013km/km², siendo una de las menores de América; en calidad de infraestructura vial, de 133 países, Colombia ocupa el puesto 101, siendo inferior a Chile (37), México (57), Brasil (67), Uruguay (75), Argentina (89) y Ecuador (99) [2], con base en los presentes datos, se puede apreciar las falencias de manejo por parte de la secretaría de infraestructura vial. Por otro lado, se observó que los afectados por la ausencia de estructuras de pavimentos y mantenimientos a las estructuras existentes son directamente algunos barrios del municipio, en donde no se realiza ninguna clase de estudio o propuesta de diseño con el fin de solucionar dichas dificultades que poseen los usuarios de la zona.

Teniendo en cuenta las dificultades que presentan algunos sectores del municipio de Villavicencio, se observó la necesidad de proponer varias alternativas de diseño de estructuras de pavimento para el barrio Samán de la Rivera, por el método Shell y PCA siendo el primero para pavimentos de tipo flexible y el segundo rígido, esto con el fin de sugerir, cuál de las dos propuestas se adecuaba más a las necesidades del barrio.

Durante la realización de un diseño de una estructura de pavimento, se debe tener en cuenta varios aspectos, siendo algunos de estos, el tránsito, suelo, la temperatura y precipitación media anual, entre otros aspectos que pueden afectar la funcionalidad de la estructura, reduciendo directamente su vida útil y su calidad de servicio a los usuarios que transitan por la misma.

Es importante tener en cuenta que las mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más usuales para crear el pavimento urbano, ya que este tiene un buen rendimiento de soportar cargas y permite el tránsito de vehículos sin transferir grandes daños a la estructura. [3]

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Un buen acceso vehicular garantiza calidad de vida, facilitando la entrada y salida a sitios de salud, educación y recreación. El barrio Samán de la Rivera, se encuentra localizado en el municipio de Villavicencio – Meta, en el cual se puede evidenciar en su mayoría la ausencia de una estructura de pavimento que brinde a los usuarios una superficie adecuada para el rodamiento de los automóviles y un cómodo tránsito de sus usuarios a sus destinos en un menor tiempo. Por esta razón se sugiere el diseño de diferentes alternativas de estructura de pavimento con el fin de definir la alternativa más viable con base aspectos económicos, de seguridad, comodidad y durabilidad de la estructura.

Cabe resaltar, que los tramos en el barrio que tienen vías construidas se encuentran en mal estado, dado que no se realizó el debido mantenimiento, lo cual requiere de una pronta rehabilitación, por ende, un diseño que brinde a la comunidad del barrio una mejor calidad de vida en términos de tiempo y movilidad.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué estructura de pavimento es la más viable para la malla vial del barrio Samán de la Rivera, en el Municipio de Villavicencio-Meta?

3. JUSTIFICACIÓN

La ausencia de una estructura de pavimento en buenas condiciones, en la zona de estudio, afecta directamente la movilidad vehicular de la comunidad, generando impactos sociales y económicos negativos. Cabe mencionar que Villavicencio es una de las ciudades con mayores precipitaciones en el país de acuerdo a datos revisados del IDEAM, causando dificultades al tránsito vehicular y peatonal. Por otro lado, también afecta la economía de los transportadores de alimentos y los vehículos de servicio público, causando daños a los automotores y arriesgando la vida de los usuarios.

La definición de la alternativa de estructura de pavimento más viable para la malla vial en el barrio Samán de la Rivera, permitirá el desplazamiento rápido, cómodo y seguro de los habitantes del mismo, brindando una mejor entrada y salida, lo cual impactará positivamente el desarrollo económico, social y cultural de la zona.

Para la selección de la mejor alternativa se presentaron diseños de estructuras de pavimento, en los cuales están, el pavimento flexible y pavimento rígido, teniendo en cuenta la cuantificación del tránsito, los cambios climáticos y el estado del suelo. Por consiguiente, se analizaron ciertos aspectos como: los costos, la durabilidad y la capacidad portante del suelo. Esto con el fin de ofrecer la mejor alternativa más viable para el sector de estudio.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Definir la alternativa de estructura de pavimento más viable para la malla vial del barrio Samán de la Rivera en el municipio de Villavicencio - Meta.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el número de ejes equivalentes que transitan por el carril de diseño mediante un aforo vehicular.
- Identificar la caracterización física y mecánica de la estructura existente del pavimento a través de un estudio de suelo que consta de la realización de tres (3) apiques.
- Determinar el CBR (California Bearing Ratio) de diseño por la metodología INA (instituto nacional del asfalto).
- Analizar las condiciones climáticas que afectan directamente la estructura de pavimento

5. ALCANCE

En el presente trabajo se seleccionó una alternativa de diseño de pavimento para la malla vial del Barrio Samán de la Rivera, la cual se basó en primera instancia, en la definición de las variables de diseño como son el tránsito, la subrasante, propiedades mecánicas de los materiales y el clima y también en la metodología a utilizar. Estas variables permitieron tener el conocimiento previo de las condiciones en las cuales la estructura de pavimento está expuesta. [4]

La estimación de cada una de las variables depende de la naturaleza de estas; el tránsito promedio diario, mediante la realización de aforos vehiculares, el CBR de diseño y las características físicas y mecánicas de los diferentes estratos del suelo, a partir de sondeos y/o apiques, la temperatura media anual y la precipitación ponderada, teniendo en cuenta la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio.

Esto con el fin de brindar la alternativa más viable, con base en la obtención de los materiales que esta requiere para su construcción, la vida útil de la estructura, el mantenimiento a largo plazo y el tipo de terreno en el cual se llevó a cabo la misma, proporcionando una funcionalidad óptima, cumpliendo con los estándares que establece la norma INVIAS.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo presenta las teorías que abarcan las metodologías SHELL y PCA, para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos respectivamente.

6.1.1. Subrasante

Es importante considerar su potencial expansivo y su capacidad portante, la cual se expresa a través de su resistencia al corte y/o rigidez bajo carga cíclica. Es necesario caracterizar la subrasante a través de la relación de soporte de california (CBR), del módulo de reacción de subrasante (K) o del módulo resiliente (Mr), dependiendo del tipo de estructura y del método empleado. [5]

El módulo resiliente (Mr), indica que tan rígido es un material bajo carga cíclica del tipo resiliente y es un parámetro de gran importancia cuando el diseño de pavimento se realiza por métodos racionales. [5]

$$Mr = 1500 * CBR(psi), para CBR < 10\%$$

Ecuación 6.1. Módulo resiliente para CBR menores del 10%.

El módulo de reacción de subrasante (K), cuantifica de manera indirecta la rigidez bajo carga monotónica de la subrasante. El K es utilizado principalmente para el diseño de pavimentos rígidos. [5]

$$K = 2.55 + 52.5 \log(CBR), para CBR \leq 10\%$$

Ecuación 6.2. Módulo de reacción de subrasante

$$K = 46 + 9.08[\log(CBR)]^{4.34}, para CBR > 10\%$$

Ecuación 6.3. Módulo de reacción de subrasante para CBR menores del 10%.

Tabla 6.1. Valores del módulo de reacción de subrasante (K).

K subrasante		Valores de K							
		Capa granular no tratada							
		10 cm		15 cm		22.5 cm		30 cm	
Mpa/m	psi	Mpa/m	psi	Mpa/m	Psi	Mpa/m	psi	Mpa/	Psi
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							
Mpa/m	psi	10 cm		15 cm		20 cm		25 cm	
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: Pavimentos Materiales, construcción y diseño

6.1.2. Tránsito

Esta variable es difícil de establecer y caracterizar, ya que los vehículos que circulan por una vía presentan diferentes magnitudes, configuraciones de ejes, presiones de inflado, velocidad de circulación y numero de llantas. Por lo general se caracterizan a través del número de ejes equivalentes de 8.2 o 13 toneladas que circulan en el carril y el periodo de diseño (N). para el cálculo de esta variable se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$N = TPD * \frac{k1}{100} * \frac{k2}{100} * 365 * \frac{(1 + r)^n}{\ln(1 + r)} * FC$$

Ecuación 6.4. Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

Donde:

N = Número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas.

TPD = Tránsito promedio diario.

K1 = Porcentaje de vehículos pesados.

K2 = Factor carril.

r = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

n = Periodo de diseño en años.

FC = Factor camión.

Para el cálculo del factor camión se realizó la siguiente ecuación:

$$FC = \frac{FDB + FDC}{\# VC}$$

Ecuación 6.5. Factor camión.

Donde:

FC = Factor camión.

FDB= Factor de daño de buses

FDC= Factor daño de camiones

#VC= Número de vehículos comerciales

En cuanto a la metodología PCA, el método que se emplea para caracterizar esta variable es el número de ejes pesados de determinada carga y configuración, que circulan en el carril y en el periodo de diseño (Nejes, ver Ecuación 6.6)

$$Nejes = \frac{\#ejes}{día} * \frac{k2}{100} * 365 * k3 * n$$

Ecuación 6.6. Número de ejes por la metodología PCA.

Donde:

Nejes = Numero de ejes equivalentes.

#ejes/día = Número de vehículos pesados (buses y camiones).

k2 = Factor carril (determinado empleando la tabla 1 del anexo 2).

k3 = Proyección del tráfico (empleando la tabla 2 del anexo 2).

n = Periodo de diseño en años.

Los valores de las variables k1 y k2 se determinan a partir de las siguientes tablas:

Tabla 6.2. Estimación del factor carril k2.

TPD [vehículo/día]	Dos carriles en una dirección	Tres carriles en una dirección
	Factor carril, k_2 [%]	
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: Metodología de diseño PCA (Portland Cement Association, 1984).

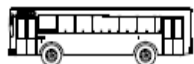
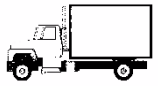
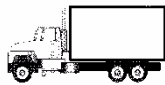
Tabla 6.3. Estimación de k_3 para la proyección de tráfico.

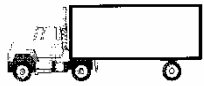
Tasa de crecimiento anual de tránsito, r [%]	Periodo de diseño, $n = 20$ años	Periodo de diseño, $n = 40$ años
	k_3	
1.0	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2.0	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3.0	1.3	1.8
3.5	1.4	2.0
4.0	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5.0	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6.0	1.8	3.2

Fuente: Metodología de diseño PCA (Portland Cement Association, 1984).

En el diseño de pavimento Rígido, para el cálculo de las cargas actuantes estimadas a acumular durante el periodo de diseño, se acogió lo estipulado en dos resoluciones del ministerio de transporte siendo estas: Resoluciones 4100 de 2004 y 2888 de 2005, en estas la entidad establece los límites de los pesos y dimensiones para los vehículos de carga que tienen autorizado transitar en el territorio nacional, en la Tabla 6.4 , se presentan las cargas por eje para cada tipo de vehículo:

Tabla 6.4. Cargas por eje de acuerdo con los máximos autorizados por el ministerio de transporte (t)

Tipo de Vehículo	Esquema	Eje Direccional (t)	Eje del Tracto - Camión (t)	Eje del Remolque o Semiremolque (t)
BUS		 6.0	 8.0	
C2-PEQUEÑO		 2.45	 6.0	
C2 GRANDE		 6.0	 11.0	
C3		 6.0	 22.0	
C4		 14.0	 22.0	

Tipo de Vehículo	Esquema	Eje Direccional (t)	Eje del Tracto - Camión (t)	Eje del Remolque o Semiremolque (t)
C2-S1		$\overline{\text{I}}$ 6.0	$\overline{\text{I}}$ 11.0	$\overline{\text{I}}$ 11.0
C2-S2		$\overline{\text{I}}$ 6.0	$\overline{\text{I}}$ 11.0	$\overline{\text{II}}$ 22.0
C3-S1		$\overline{\text{I}}$ 7.0	$\overline{\text{II}}$ 22.0	$\overline{\text{I}}$ 11.0
C3-S2		$\overline{\text{I}}$ 7.0	$\overline{\text{II}}$ 22.0	$\overline{\text{II}}$ 22.0
C3-S3		$\overline{\text{I}}$ 7.0	$\overline{\text{II}}$ 22.0	$\overline{\text{III}}$ 24.0
C2-R2		$\overline{\text{I}}$ 6.0	$\overline{\text{I}}$ 11.0	$\overline{\text{I}}$ $\overline{\text{I}}$ 11.0 11.0
C3-R2		$\overline{\text{I}}$ 7.0	$\overline{\text{II}}$ 22.0	$\overline{\text{I}}$ $\overline{\text{I}}$ 11.0 11.0
C4-R2		$\overline{\text{II}}$ 14.0	$\overline{\text{II}}$ 22.0	$\overline{\text{I}}$ $\overline{\text{I}}$ 11.0 11.0

6.1.3. Metodología Portland Cement Association (1984)

La metodología de la PCA (1984) consiste en comparar por ensayo y error, los estados de esfuerzo a tracción a los que es sometida la losa de concreto con aquellos que admite. Lo anterior con el fin de controlar el agrietamiento que puede desarrollar la losa debido al fenómeno de fatiga por carga. De la misma forma, el método emplea un mecanismo por ensayo y error para el controlar la erosión.

El propósito general del método PCA (Portland Cement Association) es generar diseños con espesores mínimos que se reflejen en menores costos anuales de construcción y mantenimiento. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio con bajos costos de mantenimiento, pero el costo de inversión inicial será alto. Si el espesor no es el adecuado, los costos prematuros y elevados de mantenimiento e interrupciones en el tráfico sobrepasaran los bajos costos iniciales. Una correcta ingeniería requiere que los diseños de espesores balanceen apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento. [6]

El método fue desarrollado por P. Fordyce y R. Packard para pavimentos de concreto simple, con juntas y sin dovelas.

Los pasos generales que se deben ejecutar para dimensionar las losas de pavimentos por el método PCA (1984) son:

1. Definir variables de diseño: subrasante, tránsito, módulo de rotura de la losa, pasadores o no, confinamiento o no y factor de seguridad de carga (FSC).
2. Espesor de tanteo: se define un espesor de losa inicial para comenzar las iteraciones. Se recomienda definir inicialmente espesores pequeños de losa para luego irlos incrementando a medida que se ejecuten las iteraciones.
3. Esfuerzo equivalente. Determinar los esfuerzos equivalentes a tracción promedios (σ_t) a los cuales va estar expuesta la losa empleando las tablas 3 a 5 del anexo 2, lo cual es necesario para realizar el análisis de fatiga. Se debe determinar un σ_t por tipo de eje (simple, tándem y tridem).
4. Factor de relación de esfuerzos, utilizado para el cálculo del número de ejes admisibles que se permite circular en la losa por determinado tipo de eje y carga.

$$\text{Relación de esfuerzos (RE)} = \frac{\sigma_t}{MR}$$

Ecuación 6.7. Relación de esfuerzos

MR: Modulo de rotura del concreto

Básicamente este parámetro puede ser entendido como la relación entre un esfuerzo actuante en la losa y su resistencia. Es decir, si dicha relación presenta magnitud elevada, el método asume que el esfuerzo actuante es alto en comparación con la resistencia de la losa, y en este caso de manera obvia, el número de ejes que podría admitir la losa disminuye. Caso contrario, si esta relación presenta una magnitud pequeña, el método asume que el esfuerzo actuante es pequeño en comparación con la resistencia de la losa, y en este caso, el número de ejes que podría admitir la losa incrementa. Incluso en algunos casos, cuando la relación de esfuerzos es muy pequeña, la losa puede permitir el paso indefinido de ejes.

5. Número de ejes admisibles para análisis por fatiga. Con la relación de esfuerzos establecida se calcula, empleando la figura 1 del anexo 2, el número de ejes que es capaz de resistir o admitir la losa para no desarrollar agrietamientos por fatiga. Este cálculo se ejecuta para todos los diferentes tipos de ejes con su respectiva magnitud.
6. Análisis de fatiga. Para realizar el análisis por fatiga debido a cargas, se debe calcular la relación entre la variable tránsito (Nejes, ecuación 6-5) y el número de ejes que admite la losa (establecido en el numeral anterior). Esta relación, denominada por algunos autores como consumo de fatiga, se debe calcular para todos los diferentes tipos de ejes con su respectiva magnitud, y la sumatoria de todas ellas no puede ser superior a 1 (si se expresan todas las relaciones en porcentaje, como tradicionalmente se hace empleando el método de diseño, entonces el valor máximo permitido es de 100%).

7. 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, empleando las tablas 6 al 11 del anexo 2.
8. Número de ejes admisibles por erosión. Una vez establecido el factor de erosión de los diferentes tipos de ejes con su respectiva magnitud, se calcula el número de ejes que es capaz de resistir o admitir la losa para no desarrollar escalonamiento progresivo de las losas o desgaste por fricción con la plataforma (erosión), empleando la figura 2 o la 3 del anexo 2.
9. Análisis por erosión. Por último, se calcula la relación entre la variable tránsito (Nejes, ecuación 6-5) y el número de ejes que admite la losa por erosión (establecido en el numeral anterior). Esta relación se debe calcular para todos los diferentes tipos de ejes con su respectiva magnitud, y la sumatoria de todas ellas no puede ser superior a 1 (si se expresan todas las relaciones en porcentaje, como tradicionalmente se hace empleando el método de diseño, entonces el valor máximo permitido es de 100%).

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 en las tablas 12 y 13 del anexo 2. Asimismo, la longitud de las losas se determina empleando las ecuaciones (1) y (2) del anexo 2 sin excederse de 6 m.

6.1.4. Metodología SHELL

El método de diseño consiste en elegir espesores y características de los materiales, módulos y relaciones de poisson (E y μ) de las diversas capas del pavimento, de tal forma que la deformación por tracción (ϵ_t) y la deformación por compresión (ϵ_z), permanezcan dentro de los límites admisibles durante el periodo de diseño del pavimento.

- **Deformación permanente:** limita la deformación por compresión en la subrasante (ϵ_z) y el esfuerzo máximo de compresión sobre ésta (σ_z).
- **Fatiga de las capas asfálticas:** limita el grado de deformación por tensión en la base de la capa de concreto asfáltico (ϵ_t).

6.1.4.1. Criterio de agrietamiento por fatiga Shell

El cálculo de la deformación admisible se realizó aplicando la ley de Shell:

$$\epsilon_t = (0.856Vb + 1.08)E1^{-0.36} \left(\frac{Ndis}{K} \right)^{-0.2}$$

Ecuación 6.8. Método Shell.

Donde:

ϵ_t : Deformación máxima a tracción bajo las capas asfálticas

V_b : Volumen de asfalto de la mezcla (%) – ($V_b = 11\%$)

E_1 : Modulo dinámico de la mezcla asfáltica (N/m^2)

N_{dis} : Ejes equivalentes de 8.2 ton para el periodo de diseño

K : Coeficiente de Calage (se incluye criterio del método australiano de diseño) – ($K=10.0$).

La ecuación de fatiga de la SHELL fue desarrollada para una confiabilidad del 50%. El método australiano de diseño de pavimentos presenta un criterio adicional de confiabilidad que consiste en escoger un factor de desplazamiento para un determinado nivel de confiabilidad. Teniendo en cuenta la importancia del proyecto, el nivel de confiabilidad corresponde al 50%.

De la ecuación anterior, se despeja el valor de los ejes equivalentes de 8.2 ton que admite la estructura de pavimento diseñada, para la deformación por tracción actuante en la fibra inferior de la capa asfáltica. Dicho número de ejes que admite la estructura se comparará con el número de ejes equivalentes de 8.2 ton proyectados para el periodo de diseño en el carril de diseño. Mediante dicha comparación se determinará el porcentaje de consumo de vida a la fatiga, el cual deberá ser inferior al 100%, para concluir que la estructura modelada puede soportar el número de repeticiones esperadas.

6.1.4.2. Criterio de deformación permanente sobre la subrasante

El ahuellamiento está relacionado con la capacidad de la estructura para soportar los esfuerzos y deformaciones generadas en el suelo de Subrasante por las cargas del tránsito; al controlar el ahuellamiento, se evita la falla estructural por acumulación de deformaciones.

6.1.4.3. Deformación vertical por compresión

La deformación y el esfuerzo a compresión sobre la Subrasante, obtenidos para la estructura modelada, se emplean para determinar el cumplimiento de la misma frente a esta sollicitación.

De acuerdo con Shell, la relación entre la deformación por compresión y las repeticiones, está dada por:

$$N = \left(\frac{0.018}{\epsilon_z} \right)^4$$

Ecuación 6.9. Deformación por compresión.

Donde:

ϵ_z : deformación unitaria vertical en la superficie de la Subrasante, strain

N: número de ejes equivalentes de 8.2 t

Existen funciones de transferencia para el criterio de falla por ahuellamiento que no controlan el fenómeno con la deformación unitaria por compresión, sino a través del esfuerzo vertical por compresión (σ_z) en la superficie de la Subrasante.

6.1.4.4. Esfuerzo por compresión

Se evaluó adicionalmente el ahuellamiento teniendo en cuenta el esfuerzo vertical de compresión sobre la subrasante para lo cual se propone la utilización del criterio de Dormon – Kerhoven, quienes lo expresan de la siguiente manera:

$$\sigma_z = \frac{0.007 * E_{SBR}}{1 + 0.7 \log N}$$

Ecuación 6.10. Esfuerzo por compresión

Donde:

σ_z : Esfuerzo máximo de compresión sobre la Subrasante, MPa

E_{SBR} : Módulo de la Subrasante, MPa

N: Número de ejes equivalentes de 8.2 ton

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1. Ingeniería de pavimentos

Los pavimentos para carreteras y vías urbanas son estructuras viales multicapa, contruidos por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales compuestas por materiales seleccionados. Estas estructuras son diseñadas para soportar las cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales (función estructural). Así mismo, deben diseñarse con el fin de ofrecer un paso cómodo, seguro y confortable al parque automotor que se imponga sobre su superficie en determinado periodo de tiempo (objetivo funcional). [5]

Las estructuras de pavimentos tienen un factor fundamental para tener en cuenta al momento de realizar el diseño respectivo según su funcionalidad, en este caso se

habla del tránsito, el cual es la variable que influye en la estructura debido al paso de vehículos que transiten por la zona de estudio, se realiza el análisis respectivo el cual depende del número de ejes del vehículo y el peso para el cual está diseñado.

También es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El termino, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación.

Las denominadas mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más habituales para crear el pavimento urbano, ya que tienen un buen rendimiento de soporte y permiten el paso constante de vehículos sin sufrir grandes daños.

6.2.2. Clasificación de los pavimentos

A lo largo de la historia los pavimentos han tenido una clasificación, en la cual se generalizan 4 clases distintas: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos, pavimentos semirrígidos y pavimentos articulados. Teniendo como funcionalidad soportar las cargas impuestas por el tránsito durante su vida útil.

6.2.2.1. Pavimentos Flexibles

Este tipo de pavimento están conformados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

6.2.2.2. Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido.

6.2.3. Tránsito

El tránsito es una variable importante a la hora de realizar el diseño de una estructura de pavimento nuevo o el mejoramiento de una existente. El dimensionamiento de los pavimentos depende de las cargas más pesadas por eje esperadas en el carril de diseño durante el periodo adoptado, ya sea para pavimentos flexibles (10 años), rígidos (20 años) y articulados (20 años).

La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo del dimensionamiento del pavimento. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de operación de los vehículos

(en especial las lentas en zonas de estacionamiento de vehículos pesados), la canalización del tránsito, entre otras. [7]

6.2.4. Clima

El cambio climático es uno de los factores de los cuales afecta en gran magnitud la estructura del pavimento, debido a las fuertes lluvias y cambios de temperatura, la lluvia por su acción directa en la estructura hace que se eleve el nivel freático y afecte la resistencia, compresibilidad y los cambios volumétricos de la subrasante. Los cambios de temperatura generan esfuerzos muy elevados en los pavimentos rígidos, lo cual hace que estos esfuerzos superen la carga de los vehículos que circulan sobre la estructura.

6.2.5. Obras de drenaje y subdrenaje

6.2.5.1. Drenaje

Las estructuras de drenaje tienen como objetivo controlar el agua que llega a la vía y la afectan por escurrimiento superficial, independientemente que las aguas hayan caído sobre o fuera de la vía. Las obras de drenaje más comunes son:

- El bombeo
- Los bordillos
- Los lavaderos
- Las cunetas
- La vegetación
- Zanjas de coronación
- Las alcantarillas

6.2.5.2. Subdrenaje

El subdrenaje en las carreteras permite reducir los efectos desfavorables del agua interna sobre la estabilidad de las calzadas y de las explanaciones. El agua interna tiene normalmente dos orígenes, interior y exterior. El agua de lluvias no se evacua totalmente por los dispositivos de drenaje superficial, parte se infiltra a través de los taludes, de las bermas u ocasionalmente del pavimento. Los objetivos del drenaje interno de las carreteras son:

- Facilitar la ejecución de las explanaciones durante la fase de construcción de la carretera.
- Aumentar la capacidad portante de la subrasante y reducir así el espesor del pavimento.
- Abatimiento de un nivel freático.
- Eliminación de aguas de filtración.

6.3. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se evidencian algunos de los estudios que tienen una aplicación en el presente proyecto y que aportan a la ejecución de la metodología de este.

Tabla 6.5. Estado del arte

Título del proyecto	Año	Autores	Objetivo	Aporte al proyecto
Estudios y diseños de la estructura de pavimento rígido del barrio Villas del Alcaraván-Villavicencio. [8]	2020	Danna Maritza Gómez Mosquera; Edier López Mora.	Realizar los estudios y diseños del pavimento rígido por el método PCA del barrio Villas del Alcaraván de Villavicencio-Meta.	Se realizó el análisis de la implementación de la estructura de pavimento rígido por la metodología PCA, teniendo en cuenta los factores climáticos ya que están ubicados en el mismo municipio.
Estudios y diseños de la estructura de pavimento para la vía ubicada en la calle 10 en el municipio de Acacias-Meta. [9]	2020	Andrés Mauricio Bejarano Alcántara; Juan Pablo Lozano Céspedes.	Realizar los estudios 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.	Se observó la importancia que poseen las obras de drenajes superficiales cuando se está desarrollando el diseño de vías urbanas en un municipio, ya que teniendo en cuenta esos factores se previenen daños en la estructura de pavimento.
Diseño de la estructura de pavimento, implementando geoceldas para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500 en San		Miller Escarraga Lopez; Maria Paula Mejia Romero.	Diseñar la estructura de pavimento flexible implementando geoceldas como material de confinamiento; cumpliendo con las especificaciones técnicas del INVIAS y las Normas ASTM.	Se realizó un análisis en la utilización de geoceldas para el mejoramiento en la estructura de un pavimento flexible, esto para identificar los factores o puntos críticos

Tabla 6.5. Estado del arte

Título del proyecto	Año	Autores	Objetivo	Aporte al proyecto
José del Guaviare-Guaviare. [10]	2019			para la utilización del mismo.
Diseño de tres tipos de estructura de pavimento para las vías internas del barrio caracolí ubicado en el kilómetro 3 vía del amor del municipio de Villavicencio-Meta. [11]	2018	Karem Mayerly Peña Garcia; Leidy Katherine Cubides Garnica; Conrado Orozco Angel.	Diseñar tres tipos de estructura de pavimento para las vías internas del condominio Parcelación Caracolí ubicado en el kilómetro 3 vías del amor del municipio de Villavicencio Meta.	Se pudo evidenciar las diferentes metodologías que se utilizaron y adoptamos algunas de ellas para el diseño de la estructura de nuestro proyecto.
Definición de alternativas de diseño del pavimento vía Arauca-Caracol, municipio de Arauca. [12]	2012	Nevis Elena Rodríguez Yanez; Fabio Arnold Torres Pabón; Alba Rocío Arias Melo.	Definir alternativas de diseño de la estructura de pavimento flexible.	Se realizó el análisis de las alternativas de la estructura en pavimento flexible, para determinar los factores importantes a tener en cuenta a la hora de escoger el diseño.
Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA en una vía pública, cajamarca - 2019 [13]	2019	Christian Kevin Minchán Lezcano	Hacer un análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante las metodologías AASHTO Y PCA en una vía pública de Cajamarca.	Se analizó la implementación de juntas en la estructura de pavimento debido a la baja resistencia a la tensión que posee el concreto y se procedió a considerar esta implementación en el diseño de la estructura mediante la metodología PCA, con el fin

Tabla 6.5. Estado del arte

Título del proyecto	Año	Autores	Objetivo	Aporte al proyecto
				de garantizar su vida útil.
Diseño de pavimento flexible de la carrera 8ª entre calles 64 y 67 barrio parrales - Torremolino en el municipio de Ibagué, mediante el uso del método SHELL [14]	2013	Andrés Mauricio Castro Murcia	Diseñar la estructura de pavimento flexible por la metodología SHELL de la carrera 8ª entre calles 64 y 67 barrio parrales - Torremolino en el municipio de Ibagué.	Se analizó el uso de la metodología SHELL por el método racional y se implementaron las variables necesarias que garantizan una estructura de pavimento adecuada.

Fuente: Autoría propia.

6.4. MARCO NORMATIVO

Tabla 6.6. Marco Normativo

NORMA	RELACIÓN
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. [15].
ARTÍCULO 230 MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE	Consiste en la eventual disgregación del material de la subrasante existente, el retiro o adición de materiales, la mezcla, humedecimiento o aireación, compactación y perfilado final, de acuerdo con la presente especificación, y con las dimensiones, alineamientos y pendientes, señalados en los planos del proyecto y las instrucciones del Interventor. [15].
ARTICULO 351-13 BASE TRATADA CON CEMENTO	Consiste en la construcción de una capa de base tratada con cemento, constituida por una mezcla uniforme de agregados pétreos, cemento hidráulico, agua y eventualmente aditivos, de acuerdo con las dimensiones, alineamiento y secciones indicados en los documentos del proyecto. [15]
ARTICULO 311-13 AFIRMADO	Consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación de los materiales de afirmado sobre la subrasante terminada, o sobre un afirmado existentes, de acuerdo con la presente especificación, los lineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos. [15] .

**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. [15].

AASHTO, 1993

Consiste en la metodología para definir las variables y espesores de cada una de las capas que compone la estructura de pavimentos.

Fuente: Autoría propia.

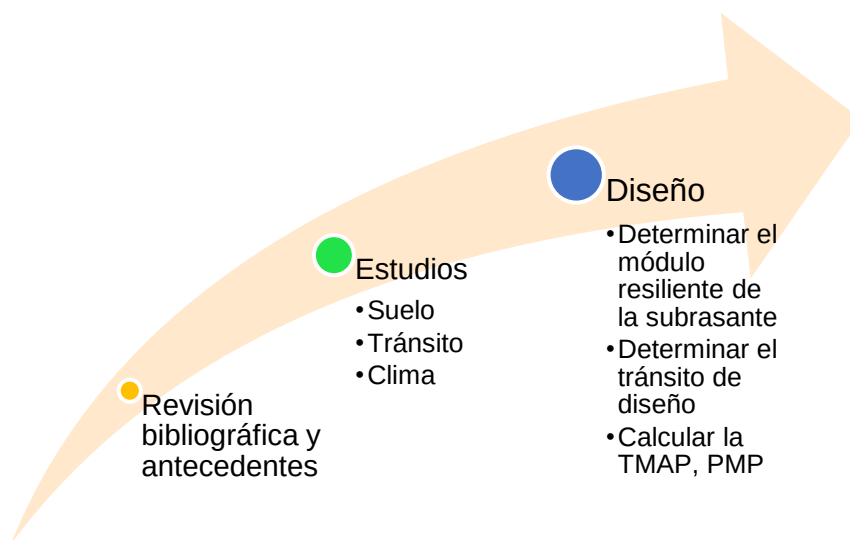
7. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto determinamos tres etapas metodológicas descritas a continuación:

7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

De acuerdo con los objetivos propuestos, se presentan las actividades con las cuales se lleva a cabo el desarrollo del proyecto:

Gráfico 7-1. Metodología del Proyecto



7.1.1. Etapa preliminar, revisión bibliográfica y diagnóstico de la vía

Se realiza una revisión bibliográfica de metodologías de diseño, manuales, libros a fines al estudio realizado y diferentes proyectos, para definir la temática a trabajar.

7.1.2. Etapa 1, Estudios para los diseños de las estructuras de pavimento

7.1.2.1. Descripción del proyecto

Para determinar los estudios necesarios, se realizó una visita de campo con el fin de conocer el tramo vial existente, y así conocer su estado y las condiciones en las que se encuentra el mismo, evaluando los estudios requeridos para el desarrollo del proyecto.

7.1.2.2. Tránsito de diseño

Para determinar el tránsito de diseño se realizó un estudio por medio de aforos vehiculares, los cuales se realizaron en 2 días hábiles y 1 día no hábil, en un lapso

de 12 horas, teniendo en cuenta el número y tipo de vehículos que transitaron para analizar el daño que puede sufrir la estructura de pavimento.

7.1.2.3. Estudio de suelos

Se realizaron apiques cada 250m para extraer la muestra de suelo, se analizaron las características y propiedades que posee, teniendo en cuenta el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad y otras características de resistencia como el CBR de la zona de estudio.

7.1.2.4. Estudio climático

Se realizó un análisis en las estaciones pluviométricas más cercanas a la zona de estudio, teniendo en cuenta 10 años de estudio para las precipitaciones y temperaturas según la estación.

7.1.3. ETAPA 2, DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

7.1.3.1. Determinación del módulo resiliente de la subrasante

Este módulo se obtuvo por medio del estudio de suelo, identificando que tan resistente es el suelo para cargas cíclicas.

7.1.3.2. Determinar el tránsito de diseño

Se realizó el conteo de vehículos que circulan por la vía trazada, con el fin de determinar el tránsito con el cual se diseñó la estructura de pavimento.

7.1.3.3. Calcular el TMAP, PMM

Se realizó el cálculo de la temperatura media anual promedio (TMAP) y la precipitación media mensual (PMM), con el fin de garantizar buenas obras de drenaje y que estos no realicen cambios volumétricos en la estructura de pavimento.

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

En este proyecto se identificó población, diferentes muestras, variables e instrumentos de recolección de datos:

Tabla 7.1. Población, muestras, variables e instrumentos de recolección de datos del proyecto

Población	Los habitantes del barrio samán de la rivera en el municipio de Villavicencio
Muestras	Poblacional, vehicular, precipitaciones, temperatura, apiques.
Variables	Clima, Tránsito, Subrasante
Instrumentos de recolección de datos	Formatos de conteos vehicular, GPS, IDEAM, PDC.

Fuente: Autoría propia

8. ETAPA 1. ESTUDIOS PARA LOS DISEÑOS DE LA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

8.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El barrio Samán de la Rivera, cuenta con vías en afirmado y pavimento flexible, son de uso residencial y el espacio público construido en su mayoría ha sido intervenido por los propietarios de las viviendas, los anchos de calzada varían entre 6 y 7 metros aproximadamente.

En cuanto al pavimento flexible existente, este presenta en su mayoría grietas longitudinales debido al constante tránsito de vehículos pesados, condiciones climáticas y la ausencia de obras de mantenimiento y drenaje.

A continuación, se presenta el estado en el que se encuentra la vial actualmente.



Ilustración 8.1 Calle 42 sur con carrera 38, estado actual en afirmado.

Fuente: Autoría Propia.



Ilustración 8.2. Calle 42 sur 37, estado actual en afirmado

Fuente: Autoría Propia.

8.2. TRÁNSITO DE DISEÑO

El presente proyecto tiene como fin seleccionar la mejor alternativa para la zona de estudio teniendo en cuenta que se realizará el diseño de una estructura en pavimento flexible con proyección de 10 años y otra en pavimento rígido con una vida útil aproximada de 20 años, contados a partir del presente año 2020, en este año se calculan los valores de TPD y las variables de diseño para el cálculo de los ejes equivalentes de 8.2 Ton (N). para el desarrollo del diseño se requiere un estudio detallado de los vehículos que transitarán por la vía generando cargas sobre la estructura, para ello se realizó un aforo, el cual se llevó a cabo durante tres días, como se explicó en el acápite 7.1.2.2. En la Tabla 8.1 se registran los vehículos que transitan por la zona de estudio con su respectivo tipo y cantidad.

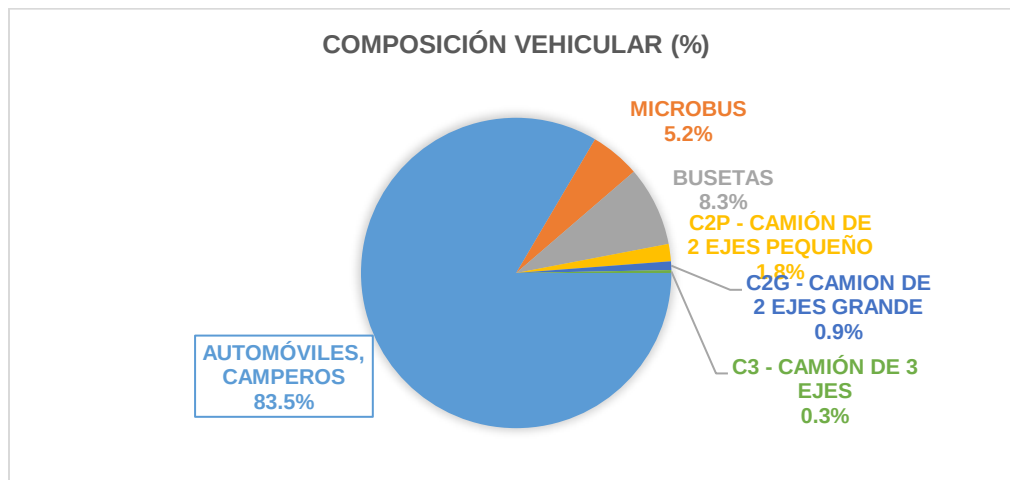
8.2.1. Composición vehicular

Tabla 8.1. Composición Vehicular

FECHA	AUTOMÓVILES, CAMPEROS	MICROBUS	BUSETAS	C2P - CAMIÓN DE 2 EJES PEQUEÑO	C2G - CAMION DE 2 EJES GRANDE	C3 - CAMIÓN DE 3 EJES	C4 - CAMIÓN DE 4 EJES	C5 - CAMIÓN DE 5 EJES	TOTAL
Martes, 10 de marzo de 2020	191	51	43	10	10	2	0	0	
Total	191	51	43	10	10	2	0	0	
Jueves, 12 de marzo de 2020	172	0	12	3	0	0	0	0	
Total	172	0	12	3	0	0	0	0	
Sábado, 14 de marzo de 2020	451	0	27	6	0	2	0	0	
Total	451	0	27	6	0	2	0	0	
Total General	814	51	82	19	10	4	0	0	
TPD	271	17	27	6	3	1	0	0	325
Composición vehicular (%)	83.40	5.20	8.30	1.80	0.90	0.30	0.00	0.00	100

Fuente: Autoría propia

Gráfica 8.1 Composición vehicular



Fuente: Autoría propia

En la Gráfica 8.1, se observa que el 83.5% de la población de la zona objeto de estudio se moviliza en automóviles, teniendo en cuenta que hay ausencia de vehículos de transporte público en el barrio. Cabe resaltar que las busetas que se tomaron en cuenta son pertenecientes a algunos residentes, los cuales son ingresados para el estacionamiento de estos.



Ilustración 8.3. Bus intermunicipal estacionado en el barrio.

Fuente: Autoría propia

8.3. ESTUDIO DE SUELOS

El conocimiento de los parámetros y del tipo de suelo en donde se llevó acabo la propuesta de diseño, es uno de los parámetros más importante para dar inicio al proyecto, ya que es un factor que puede causar ciertos límites al momento de soportar las diferentes capas de la estructura y su respectivo tránsito.

Para esto, se realizaron 3 apiques a lo largo de la zona de estudio, su ubicación se presenta en la Ilustración 8.4.

Tabla 8.2. Localización de apiques.

Apique N°	1	2	3
Coordenadas	4°5'27.834"N 73°39'54.4428"W	4°5'29.364"N 73°39'53.9712"W	4°5'26.2212"N 73°39'57.366"W

Fuente: Autoría propia.



Ilustración 8.4. Ubicación de los apiques realizados en la zona de estudio.

Fuente: Google Earth

8.3.1. Toma de muestras y ensayos de laboratorio

Se realizaron 3 apiques sobre la vía proyectada a una profundidad de 1,50 m, se analizaron tres capas a cada .0.5 metros, durante el procedimiento se tomaron muestras representativas de suelo, para posteriormente analizar cada una y obtener su caracterización y clasificación, las cuales se presentan en la Tabla 8.3, finalmente los ensayos realizados son los siguientes:

- Granulometría (I.N.V. E-123-07)
- Límites de atterberg
- Penetración dinámica de cono (I.N.V. E-172-07)
- Proctor modificado (I.N.V. E-142-07)



Ilustración 8.5. Muestras de suelo

Fuente: Autoría propia



Ilustración 8.6. Ensayo de penetración de cono dinámico.

Fuente: Autoría propia

8.3.2. Descripción general de suelo

Mediante la realización de apiques ubicados en diferentes puntos en donde se trazó la vía a diseñar, se obtuvo el perfil del suelo sin presencia de nivel freático.



Ilustración 8.7. Excavación para el estudio de suelos en la zona de estudio.

Fuente: Autoría propia.

En cada apique realizado se especificó cada espesor y tipo de suelo por perfil de suelo y sus coordenadas geográficas, la identificación visual realizada teniendo como referencia su color y consistencia, la cual se presenta en la Tabla 8.3:

Tabla 8.3. Características de cada uno de los apiques

APIQUE	MUESTRA	DESCRIPCIÓN	PROFUNDIDAD			SUCS	LL	LP	IP
			DESDE	HASTA	PROFUNDIDAD				
1	1	Material de relleno color gris, arena con presencia de gravas.	0	0.5	0.5	SM	0	0	0
1	2	Limo inorgánico de baja plasticidad color amarillo oscuro con betas naranjas.	0.5	1	0.5	ML	21	15	6
1	3	Limo inorgánico de baja plasticidad color amarillo oscuro con betas naranjas.	1	1.5	0.5	ML	22	15	7
2	1	Material de relleno color gris, arena con presencia de gravas.	0	0.55	0.55	SM	0	0	0
2	2	Limo inorgánico de baja plasticidad color amarillo oscuro con betas naranjas.	0.55	1	0.45	ML	21	15	6
2	3	Limo inorgánico de baja plasticidad color amarillo oscuro con betas naranjas.	1	1.5	0.5	ML	22	16	6
3	1	Material de relleno color gris, arena con presencia de gravas.	0	0.7	0.7	SM	0	0	0
3	2	Limo inorgánico de baja plasticidad color amarillo oscuro con betas naranjas.	0.7	1.2	0.5	ML	20	15	5
3	3	Limo inorgánico de baja plasticidad color amarillo oscuro con betas naranjas.	1.2	1.5	0.3	ML	24	15	9

Fuente: Autoría propia.

Se observó que en cada uno de los apiques realizados existe una caracterización de suelo similar, siendo en el primer estrato un material de relleno de color gris de tipo arena limosa con mezcla de arena y limo mal gradada (SM), el cual posee un

índice de plasticidad de 0%. Por otro lado, en el segundo estrato se encontró un suelo de tipo limo inorgánico de baja plasticidad de color amarillo oscuro con betas naranjas, el cual tiene un índice de plasticidad (IP) de 5%, y finalmente el último estrato es del mismo tipo que el segundo diferenciándose en el valor del índice de plasticidad el cual es 9%.

A partir de los ensayos realizados previamente en el área de estudio se observó que la mayoría de los materiales encontrados tienen un límite líquido menor a 50 lo cual los clasifica como arcilla y limos.

8.3.3. Análisis del cbr de diseño

Tabla 8.4. CBR del ensayo de penetración dinámica de cono

Apique	CBR %
1	9.18
2	8.99
3	8.86

Fuente: Autoría propia.

Para establecer el CBR de diseño se utilizó la Metodología Instituto del Asfalto (INA), teniendo en cuenta los datos obtenidos en el estudio de suelos. Cabe resaltar que, en condiciones sumergidas, la capacidad portante del suelo puede disminuir entre un 2 y 3%, teniendo como referencia que las precipitaciones anuales ascienden a más de 1200mm. Con base en lo anterior el valor de CBR de diseño a utilizar en los diseños de 6%.

Tabla 8.5. CBR de diseño

CBR	#	Valor de diseño (%)	Valor de diseño según el nivel de tránsito
8.86	3	100	60
8.99	2	66.66	60
9.18	1	33.33	60
CBR de Diseño		9	

Fuente: Autoría Propia

8.4. ESTUDIO CLIMÁTICO

Las condiciones climáticas son importantes para conocer el comportamiento que tendrá la estructura de pavimento al momento de estar expuesta a las mismas. Los valores de la precipitación y la temperatura afectan directamente el contenido de humedad de la estructura de pavimento, que de igual manera influye en la capacidad de soporte de las capas del pavimento y por otro lado en su desempeño.

8.4.1. Temperatura

Tabla 8.6. Datos de temperatura media mensual de los últimos 10 años

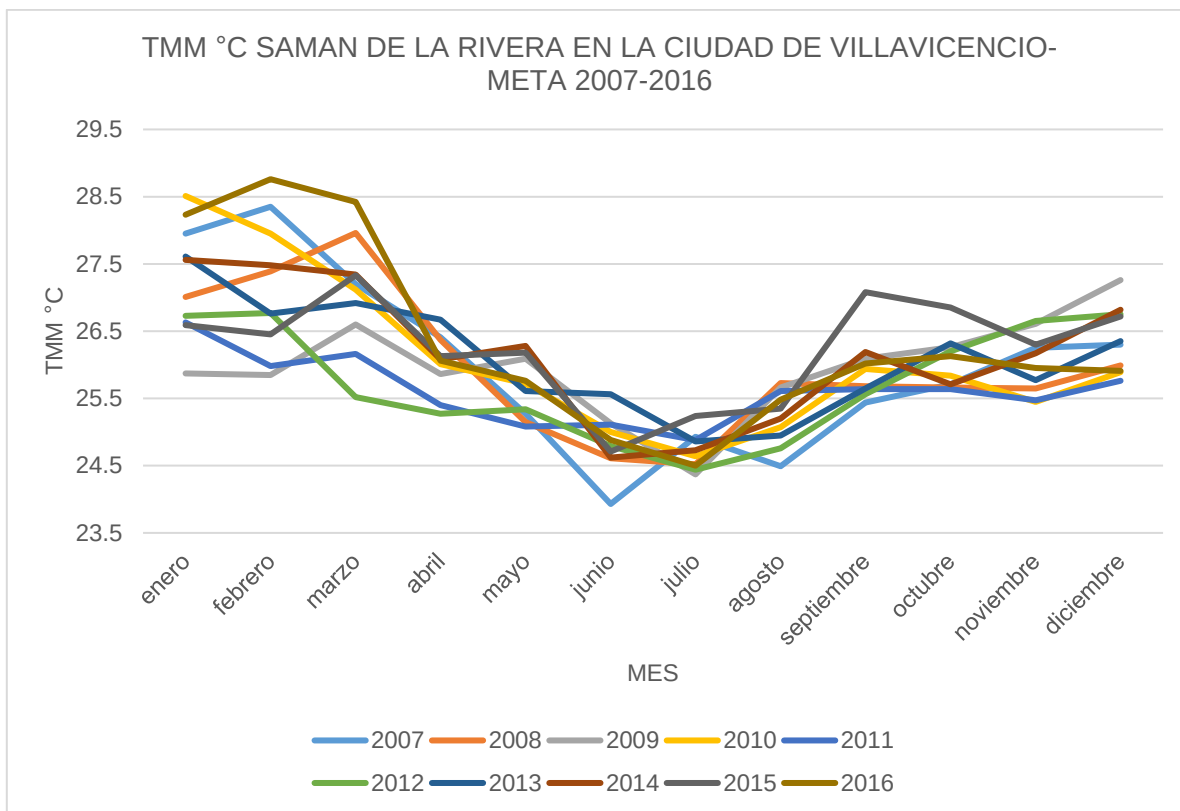
TEMPERATURA (°C)										
MES	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
enero	27.95	27.01	25.87	28.51	26.63	26.73	27.61	27.56	26.59	28.23
febrero	28.35	27.39	25.85	27.95	25.98	26.77	26.76	27.48	26.45	28.76
marzo	27.2	27.96	26.6	27.12	26.16	25.52	26.92	27.34	27.33	28.42
abril	26.41	26.37	25.86	26.01	25.4	25.27	26.67	26.08	26.13	26.06
mayo	25.27	25.15	26.09	25.72	25.08	25.34	25.61	26.28	26.18	25.76
junio	23.93	24.61	25.13	25	25.11	24.79	25.56	24.62	24.71	24.88
julio	24.93	24.52	24.37	24.64	24.88	24.44	24.86	24.73	25.24	24.5
agosto	24.49	25.73	25.66	25.07	25.61	24.76	24.95	25.2	25.35	25.48
septiembre	25.44	25.68	26.09	25.94	25.64	25.56	25.65	26.19	27.08	26.02
octubre	25.71	25.66	26.26	25.84	25.64	26.2	26.32	25.71	26.85	26.13
noviembre	26.25	25.65	26.61	25.45	25.47	26.65	25.77	26.17	26.3	25.95
diciembre	26.3	25.99	27.26	25.89	25.76	26.75	26.35	26.82	26.72	25.91
TMM	312.23	311.72	311.65	313.14	307.36	308.78	313.03	314.18	314.93	316.1

Fuente: IDEAM

$$TMM = 20.348 + 17.5683 * \log Fg$$

Ecuación 8.1. Ecuación de Temperatura media mensual

Gráfica 8.2. Temperatura media mensual



Fuente: Autoría propia.

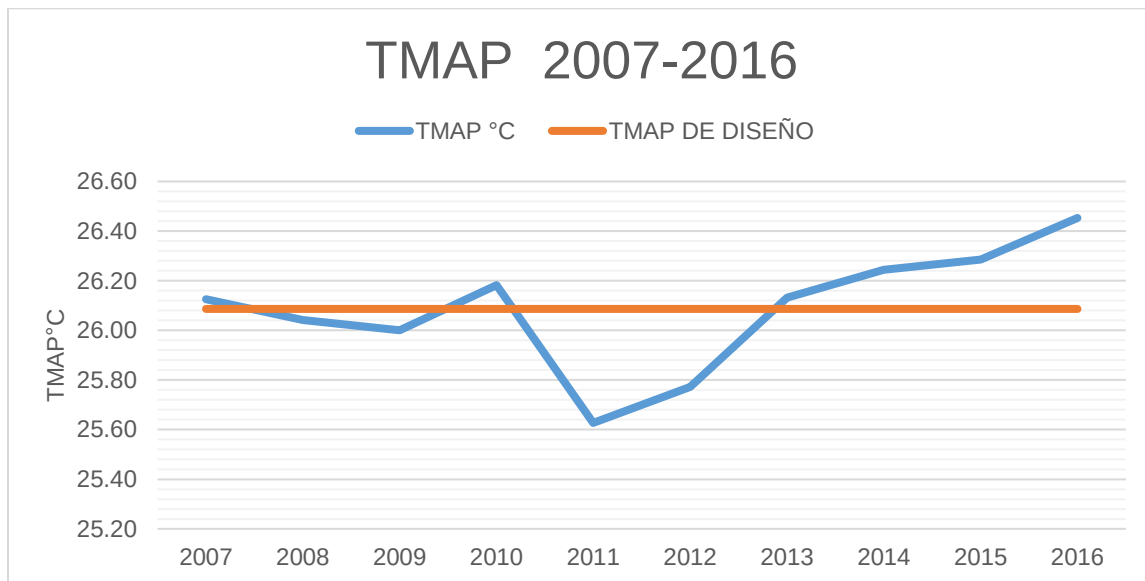
En la Gráfica 8.2 se puede observar que durante los últimos 10 años se presentó una variación de la temperatura promedio por en algunos meses, teniendo en cuenta que durante los 3 primeros meses del año su temperatura se eleva alrededor de los 27°C. Por otro lado, las temperaturas más bajas que presenta el municipio son en el mes de junio, julio y agosto.

Tabla 8.7. Temperatura Media Anual Ponderada y Temperatura de Diseño

TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA Y TEMPERATURA DE DISEÑO			
AÑO	TMAP °C	Fp Promedio	TMAP DE DISEÑO
2007	26.13	2.1325	26.09°C
2008	26.04	2.11	26.09°C
2009	26.00	2.10	26.09°C
2010	26.18	2.15	26.09°C
2011	25.63	2.00	26.09°C
2012	25.77	2.04	26.09°C
2013	26.13	2.13	26.09°C
2014	26.24	2.17	26.09°C
2015	26.29	2.18	26.09°C
2016	26.45	2.23	26.09°C

Fuente: Autoría propia.

Gráfica 8.3. Temperatura media mensual ponderada



Fuente: Autoría propia.

Como se presenta en la Gráfica 8.3, se observó una temperatura promedio de diseño de 26.09 °C, un clima tropical para el municipio de Villavicencio.

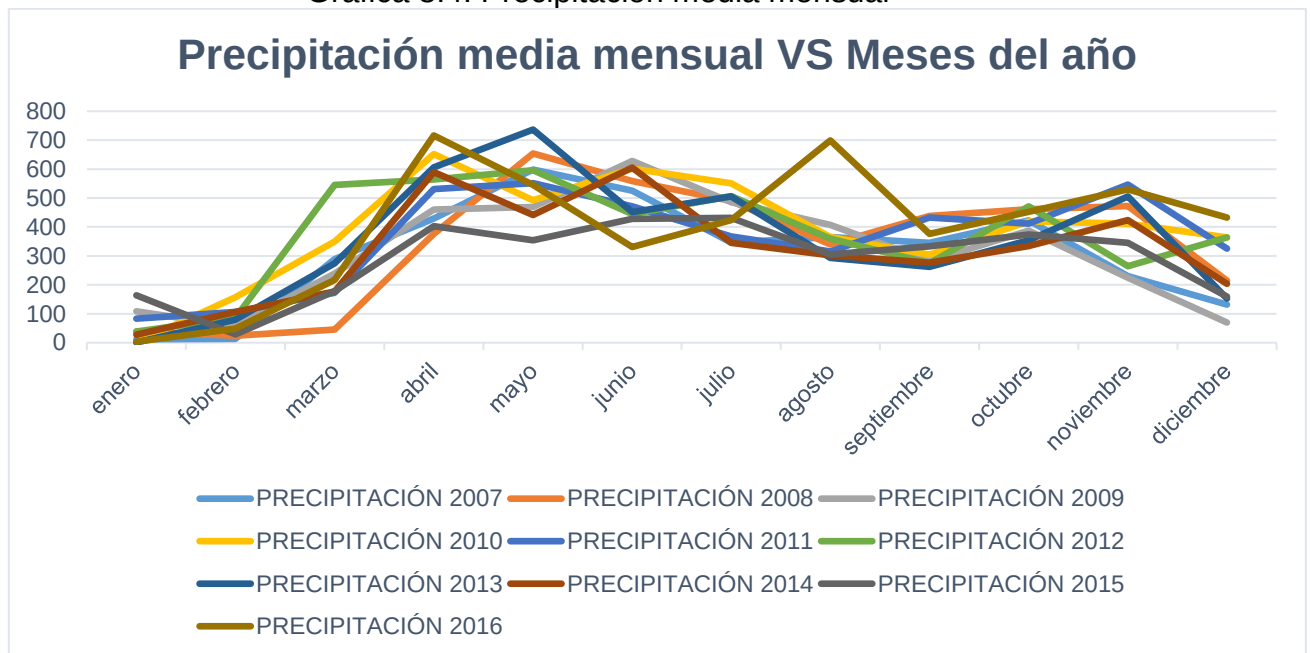
8.4.2. Precipitación

Tabla 8.8. Precipitaciones medias mensuales.

PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (mm)										
MES	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	11.9	38.27	108.3	0.42	83.09	38.55	0.76	27.7	163.66	3.47
Febrero	13.17	24.24	56.85	157.06	105.81	86.72	79.27	106.79	28.8	48.21
Marzo	288.57	45.39	238.66	349.55	172.51	545.81	274.55	177.46	177.62	216.47
Abril	428.82	376.2	460.14	652.1	530.98	563.77	605.7	590.11	402.71	716.27
Mayo	598.46	654.03	469.11	492.18	551.49	596.17	736.64	441.43	354.47	545.63
Junio	525.4	559.16	628.11	601.27	470.92	444.44	451.01	605.17	428.17	330.91
Julio	346.76	490.28	486.02	550.69	367.54	507.03	505.24	345.08	431.48	423.81
Agosto	365.33	340.14	407.34	364.6	314.84	359.94	293.22	301.97	304.83	698.71
Septiembre	344.84	437.97	281.92	303.97	432.22	274.62	262.67	276.22	333.08	376.48
Octubre	422.77	461.24	386.82	419.49	411.06	471.73	354.06	334.49	373.94	451.94
Noviembre	229.61	472.48	224.48	411.49	546.78	264.26	505.48	424.2	345.49	529.79
Diciembre	131.31	215.06	70.08	363.91	325.51	364.17	152.84	204.14	159.1	432.17
PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL	3706.94	4114.46	3817.83	4666.73	4312.75	4517.21	4221.44	3834.76	3503.35	4773.86

Fuente: Autoría propia.

Gráfica 8.4. Precipitación media mensual



Fuente: Autoría propia.

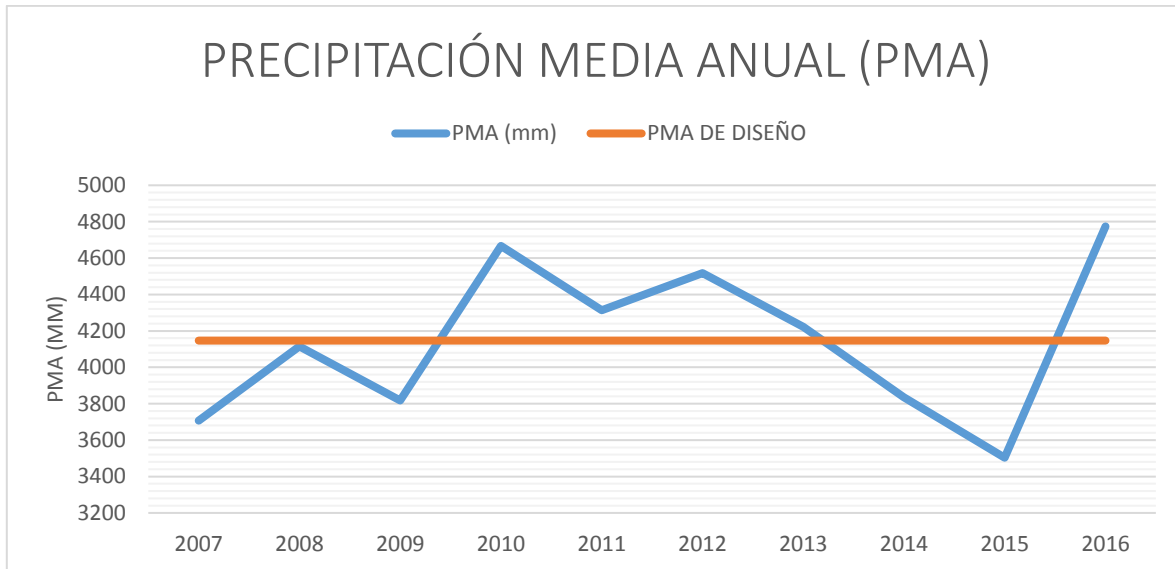
Se observa en la Gráfica 8.4 que en el año 2013 hubo un incremento en la precipitación con clima lluvioso en el mes de abril de 700 mm y los días más secos en el mes de febrero con precipitación entre 80 y 100 mm.

Tabla 8.9. Precipitación media anual

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (PMA) DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO ENTRE LOS AÑOS 2007 A 2016 (mm)		
Año	PMA (mm)	Promedio
2007	2872.89	3067.78
2008	2632.51	3067.78
2009	3499.69	3067.78
2010	3085.12	3067.78
2011	2716.97	3067.78
2012	3126.67	3067.78
2013	3033.05	3067.78
2014	3192.45	3067.78
2015	3033.05	3067.78
2016	3485.4	3067.78
TOTAL	3067.78	3067.78
PMA de Diseño (mm)	3067.78	

Fuente: Autoría propia.

Gráfica 8.5. Precipitación Media Anual



Fuente: Autoría propia.

Se observó que en los periodos con precipitaciones medias anuales más elevadas fueron en los años 2010 y 2016, por otro lado, los periodos más secos fueron en el 2007 y 2015 con un valor de precipitación media anual de 3500mm aproximadamente.

9. ETAPA 2. DISEÑOS DE LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO

Para realizar el diseño de una estructura de pavimento independientemente la metodología a emplear se debe obtener y calcular ciertos valores como lo son: estudio del tránsito, estudio de suelos para determinar el CBR de diseño y los valores de la temperatura promedio de la zona en donde se implementará la estructura.

Los datos por emplear en los siguientes diseños se encuentran en la ETAPA 1. ESTUDIOS PARA LOS DISEÑOS DE LA ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO, teniendo en cuenta que se realizarán dos estructuras, la primera en pavimento flexible por medio de la metodología Shell con un periodo de diseño de 10 años y la segunda en pavimento rígido en la metodología Portland Cement Association (PCA) con un periodo de diseño de 20 años.

9.1. METODOLOGÍA SHELL

En el presente capítulo se desarrollan los aspectos relacionados con el diseño de la estructura de pavimento flexible, en el cual se establecen cada uno de los cálculos y procedimientos respectivos a la realización del diseño de la estructura de pavimento, esto con el fin de presentar cada una de las etapas de este.

9.1.1. Tránsito

Para el tránsito de diseño en donde se calculó el número de ejes equivalentes. Este se llevó a cabo con base a los datos obtenidos por medio del aforo representado en la Tabla 8.1.

Tabla 9.1. Censos de la ciudad de Villavicencio.

Censo	Población
1985	189048
1993	219976
2005	356464
2006	366621
2007	376889
2008	387182
2009	397562
2010	407977
2011	418454
2012	428941

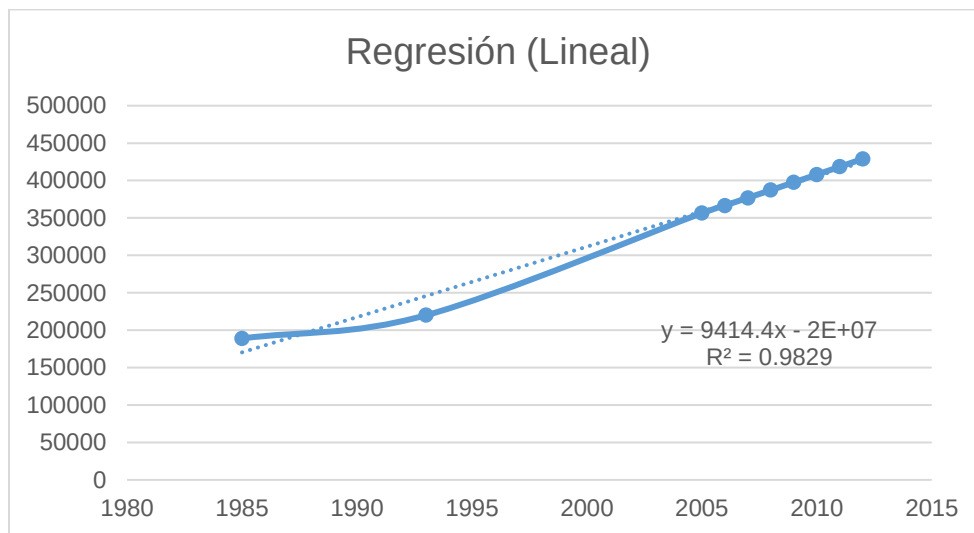
Fuente: DANE

Se realizó una regresión con los censos del DANE, los cuales son necesarios para tener conocimiento de la población en diferentes años, esto con el fin de obtener el valor de la tasa de crecimiento, los datos mostrados en la Tabla 9.1 corresponde a los censos mencionados.

Para determinar la tasa de crecimiento, se realizaron dos métodos lineal y exponencial con el propósito de observar cuál de los dos métodos muestra una curva de aproximación más cercana a 1, teniendo en cuenta que esto es un indicativo de cual método es más eficiente.

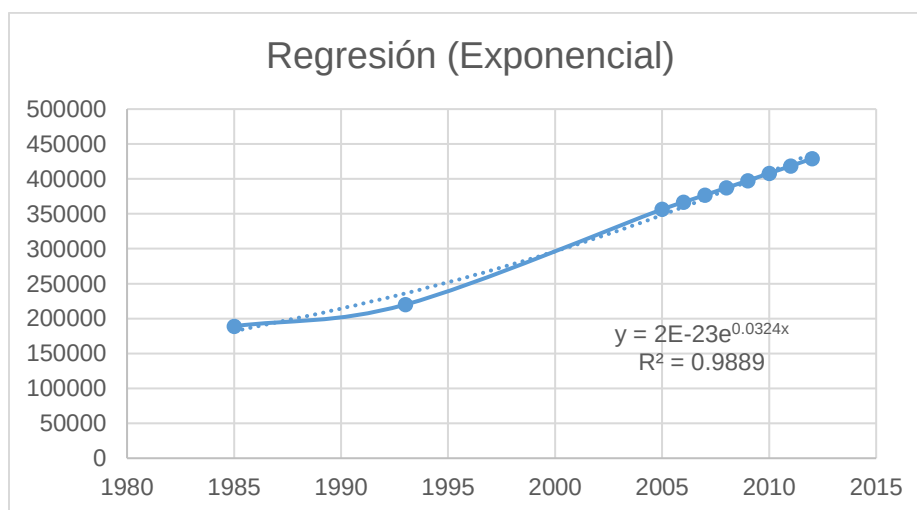
En la Gráfica 9.1 y Gráfica 9.2 se presentan las regresiones respectivas a cada método.

Gráfica 9.1. Análisis de regresión por el método lineal.



Fuente: Autoría propia.

Gráfica 9.2. Análisis de regresión por el método exponencial.



Fuente: Autoría propia.

De acuerdo con las regresiones presentadas, se determina que el método exponencial tiende aproximarse más a 1, por lo tanto, este método es el utilizado para el cálculo de la tasa de crecimiento.

9.1.1.1. Determinación de número de ejes

Para la determinación del número de ejes equivalentes N8.2, el cual define la carga que va a soportar la estructura de pavimento, para su cálculo se tiene en cuenta el tránsito promedio diario (TPD) y el porcentaje de vehículos pesados (K1) calculados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el factor carril (K2) el cual depende de la dirección de la vía y el ancho de calzada y el factor camión (FC), se calculó mediante la Ecuación 6.5 teniendo en cuenta la cantidad de vehículos pesados que transitan por la vía de estudio.

Tabla 9.2. Número de ejes equivalentes (N8.2).

Número de ejes equivalente (N8,2)		
TPD	325	veh/día
Porcentaje vehículos pesados (K1)	11.3	%
Factor carril (K2)	90	%
Período de diseño (n)	10	años
Factor camión (FC)	1.23	
Tasa de crecimiento (r)	0.03	%
N 8,2	172806.652	# de ejes

Fuente: Autoría propia.

Con los datos mencionados, se procede a realizar el cálculo de vehículos que transitarán durante el periodo de diseño, teniendo en cuenta el tipo de vehículo y las cargas que cada uno de estos le genera en la estructura de pavimento.

9.1.2. . Módulo Resiliente de la Subrasante

En el cálculo del CBR de diseño se empleó la metodología INA (Instituto Nacional del Asfalto) donde se determinaron los valores de diseño, según el nivel de tránsito, seleccionando el percentil más bajo, esto debido al número de vehículos que circulan por la zona de estudio.

Tabla 9.3. Metodología INA

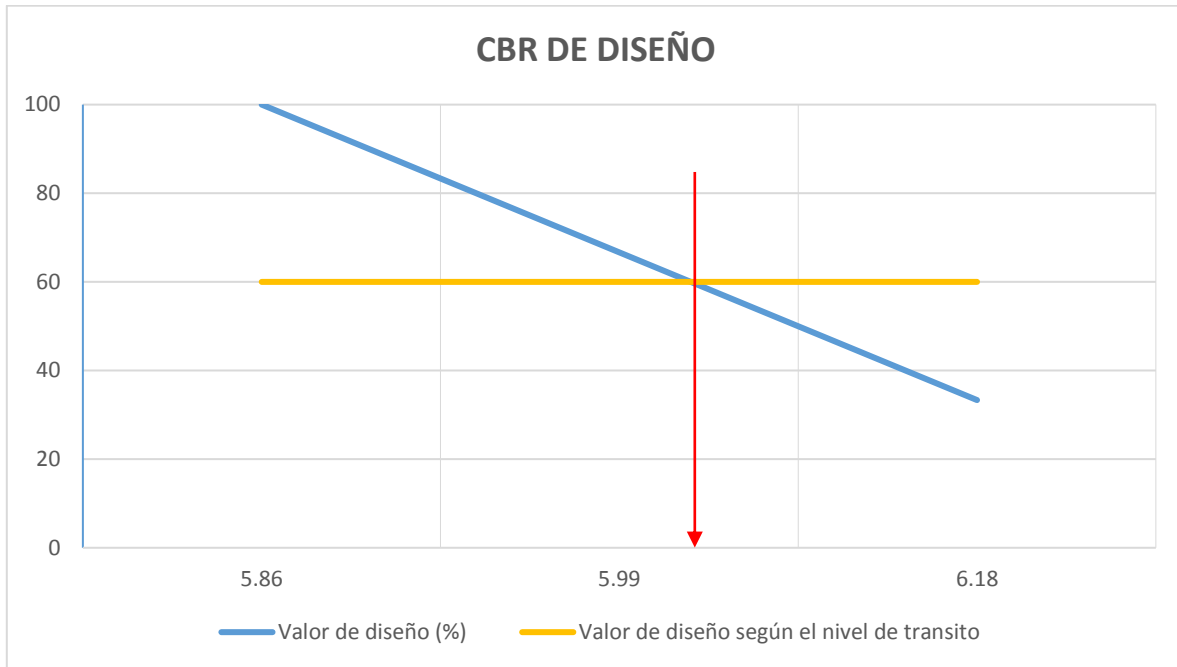
CBR (%)	#	Valor de diseño (%)	Valor de diseño según el nivel de tránsito
5.86	3	100	60
5.99	2	66.66	60
6.18	1	33.33	60

CBR de Diseño	6
----------------------	----------

Fuente: Autoría propia.

A partir de los resultados de la Tabla 9.3, se obtuvo la Gráfica 9.3, donde se presenta el porcentaje del valor del diseño Vs el CBR.

Gráfica 9.3. Determinación del CBR de diseño.



Fuente: Autoría propia.

De acuerdo con lo mencionado en el numeral 6.1.1, se determinó el valor del módulo resiliente de la subrasante para suelos con CBR<10%,

$$Mr = 100 * 6 = 600Mpa$$

9.1.3. Diseño del Pavimento Flexible

Para el diseño de la estructura en pavimento flexible por el método racional se recopilan las variables obtenidas a lo largo del documento y se utiliza el software WINDEPAV el cual emplea el modelo elástico multicapa.

Se realizaron los siguientes cálculos en Windepav:

Tabla 9.4. Estructura y criterios de evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Capa No.	Espesor (cm)	Módulo E (kgf/cm ²)	Relación de Poisson	Condición de interface
1	10	14266	0.35	Continua
2	25	2140	0.4	Continua
3	30	1121	0.4	Continua
4	Semi infinita	600	0.45	Continua

Fuente: Autoría propia.

Tabla 9.5. Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Capa No.	Profundidad (cm)	Sigma T (kgf/cm ²)		Sigma Z (kgf/cm ²)		Épsilon T (microstrain)		Épsilon Z (microstrain)	
1	0	1.14E+01	B	5.88E+00	A	410	B	-196	C
	10	- 6.31E+00	B	2.35E+00	B	-375	B	456	A
2	10	3.42E-01	B	2.35E+00	B	-375	B	935	B
	35	-4.97E-01	C	6.06E-01	B	-278	C	443	C
3	35	-6.80E-02	C	6.06E-01	C	-278	C	563	C
	65	-1.67E-01	C	2.26E-01	C	-176	C	316	C
4	65	-2.67E-04	A	2.26E-01	C	-176	C	371	C

Fuente: Autoría propia.

En la Tabla 9.5 se presentan los esfuerzos y deformaciones admisibles de acuerdo con el método racional y los valores que nos suministra el software WINDEPAV. Por último, se presenta el perfil del diseño de la estructura de pavimento con los datos obtenidos previamente.

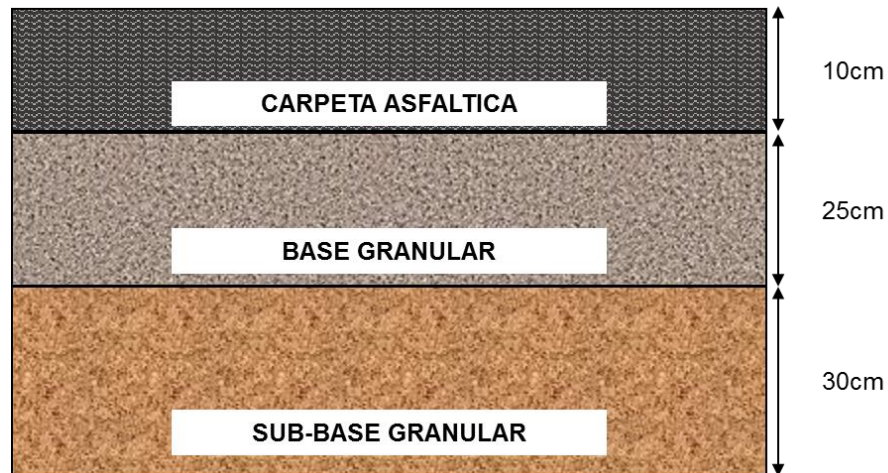


Ilustración 9.1. Estructura de pavimento flexible

Fuente: Autoría propia.

9.2. METODOLOGÍA PCA

9.2.1. Tránsito

Como se muestra en el capítulo 6.1.2, el método que se emplea para caracterizar esta variable es el número de ejes pesados de determinada carga y configuración, que circulan en el carril y en el periodo de diseño (Nejes, ver Ecuación 6.6)

Tabla 9.6. Cálculo de número de ejes

TIPO DE EJE	Carga	Factor de mayoración	Carga Mayorada	#Ejes/día	Nejes= #ejes/día x $k_2/100 \times 365$ $\times k_3 \times n$
EJE SIMPLE DELANTERO	5	1.1	5.5	6	56940
	6	1.1	6.6	31	294190
EJE SIMPLE RUEDA DOBLE	11	1.1	12.1	36	341640
EJE TANDEM	22	1.1	24.2	1	9490

Fuente: Autoría propia.

9.2.2. Módulo de Reacción de la Subrasante

Para el cálculo del módulo de reacción de la subrasante se deben tener en cuenta el CBR de diseño, el cual para el presente proyecto es de 6, posteriormente con este valor se realiza la siguiente ecuación:

Ecuación 9.1. Módulo de reacción de la subrasante.

$$K_{sr} = 2.55 + 52.5 \log(CBR)$$

$$K_{sr} = 43.40294$$

Posteriormente se procede a calcular el Módulo combinado, el cual se determinó teniendo como referencia el módulo de reacción de la subrasante previamente calculado, se escogió un espesor de 15 cm debido a las buenas condiciones en las que encuentra el suelo, este valor de Ksr se localizó en la siguiente tabla:

K subrasante		Valores de K							
		Capa granular no tratada							
		10 cm		15 cm		22.5 cm		30 cm	
Mpa/m	psi	Mpa/m	psi	Mpa/m	Psi	Mpa/m	psi	Mpa/	psi
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							
Mpa/m	psi	10 cm		15 cm		20 cm		25 cm	
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	-	-

Como el valor de la variable Ksr es de 43.40294 Mpa/m, este se encuentra entre 40 y 60 Mpa/m por esta razón se procedió a realizar una interpolación obteniendo 51.8925 Mpa/m para el kcomb.

$$K_{comb} = 51.8925 \text{ Mpa/m}$$

9.2.3. Diseño de Pavimento Rígido

Para la determinación de las dimensiones de la losa evaluando la fatiga y erosión, se recurrió al software BS-PCAA, el cual ingresando el valor del K combinado en este caso Resistencia K del apoyo en el software se obtienen las dimensiones de la losa (espesor, longitud, ancho total).

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción:

TRÁNSITO **Parámetros de Diseño PCA** **Parámetros de Diseño AASHTO**

Resistencia K del Apoyo: 51.89 Mpa/m K Combinado

Espesor Losa [h1]: 20 cm

Longitud Losa [L]: 4.5 m

Ancho Losa [W]: 3.6 m

Módulo de Elasticidad [E1]: 28000 Mpa

Densidad [s1]: 2.4 Tn/m3

Relación de Poisson [u1]: 0.15

Módulo de Rotura [Sc]: 4.5 Mpa

Coefficiente de Variación [CV] (%): 15

Ancho de Berma [D0]: 0 m

Factor de Trabazón de Agregados [AGG]: 0 Mpa

☐ Con Pasadores

% Camiones al Borde: 0

Datos Ambientales

Diferencial Temperaturas [dT]: 10 oF

Coefficiente Térmico [alfa]: 5.500E-06 1/oF

% Tránsito para Alabeo: 0

Consumo Erosión (%): 0

Consumo Esfuerzo (%): 0

Ilustración 9.2. Ventana del software BS-PCAA.

Finalmente se realizó el perfil de diseño de la estructura de pavimento con los valores previamente calculados, este se presenta en la siguiente ilustración:

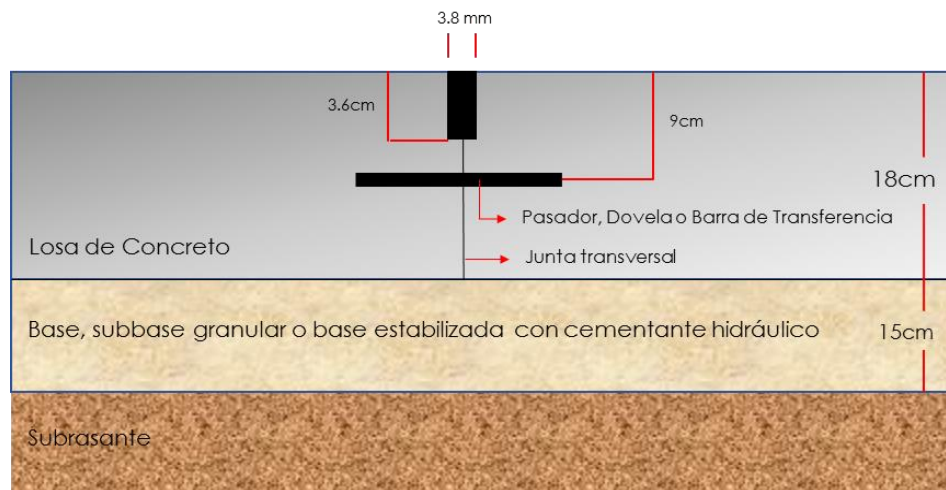


Ilustración 9.3. Estructura de pavimento rígido.

Fuente: Autoría propia.

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el estudio de suelo realizado, se conocieron las características físicas y mecánicas de este, evidenciando que el índice de plasticidad varía entre 5 y 9% y de acuerdo con las normas INVIAS no cumple como material de base o subbase, por lo que no sería posible su reutilización.

Las estadísticas de precipitación y temperatura en el municipio de Villavicencio, muestra que en los 3 primeros meses del año la temperatura se eleva alrededor de los 27°C, y los días más lluviosos se presentan en los meses abril y mayo con valores de 700 mm aproximadamente y los días más secos en el mes de febrero con precipitación entre 80 y 100 mm. Estos resultados brindan una idea de las condiciones en las que se encontrará expuesta la estructura durante su vida útil.

En el análisis de la composición vehicular mediante el aforo previamente realizado, se evidenció que el mayor porcentaje de vehículos que transitan por el área de estudio son automóviles, siendo estos en un 83.5% y por otro lado el menor porcentaje (1%) son vehículos pesados de tipo camión de dos ejes pequeño (C2P), los cuales cumplen tareas específicas como suministro de alimentos o recolección de basura.

11.RESULTADOS E IMPACTOS

Tabla 11.1. Resultados del proyecto.

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Identificación de las variables de diseño	Metodología para utilizar	Objetivo específico 1
Número de Ejes equivalentes	Tránsito	Objetivo específico 2
Caracterización de suelo existente	Estudio de suelo	Objetivo específico 3
CBR de diseño	Estudio de suelo	Objetivo específico 4
Temperatura y Precipitación de la zona	Variables de diseño y metodologías	Objetivo específico 5

Fuente: Autoría propia.

Tabla 11.2. Impactos del proyecto.

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Académico	Ser parte de puntos de referencia para investigaciones futuras en el tema de alternativas de tramos viales	Llevar a cabo la alternativa por parte del gobierno de la ciudad de Villavicencio	Corto
Social	Una vez rehabilitado el tramo vial, las condiciones de tránsito y circulación vehicular mejorarán de manera significativa	Contribuye a la calidad de vida de los usuarios debido a la eficiencia del transporte que se presentará en la zona relacionada a la construcción del tramo vial, llegando en menos tiempo a sus puntos de destino	Mediano
Económico	Al mejorar las condiciones de este sector, se acelerará la compra de viviendas del condominio convirtiéndose en un factor fundamental para aumentar el comercio.	Un aumento en la adquisición de vivienda en el sector por la mejora en el transporte y tránsito.	Mediano

Fuente: Autoría propia

12. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

12.1. CONCLUSIONES

- Conociendo que el tipo de la vía es urbana, se dedujo que es necesario construir obras de drenajes que garanticen la salida de aguas lluvia y evite daños representativos a la estructura de pavimento.
- Se realizaron los diseños de acuerdo con las diferentes metodologías (SHELL y PCA) con la capacidad portante en sus condiciones más desfavorables (CBR sumergido), con el fin de que la estructura de pavimento tenga un comportamiento óptimo en todas las condiciones.
- El espesor escogido como diseño final de la losa de concreto es 0.18m de acuerdo con la metodología PCA, base granular de 0.15m y bordillos de 0.2m.
- Al momento de la ejecución de estos diseños se requiere verificar el cumplimiento de los materiales, teniendo en cuenta los requisitos estipulados por el INVIAS para su correcto comportamiento en 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 geomecánicas 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.
- De acuerdo con los perfiles estratigráficos obtenidos a partir de los apiques realizados se evidencia que el material es uniforme, correspondiente a arena limosa, con características plásticas que no cumplen con los requisitos de calidad mínimo para ser usados como base y subbase de acuerdo con la norma INVIAS.
- El estudio climatológico presentó las variaciones de precipitación y temperatura en el municipio de Villavicencio, su temperatura se eleva a 27°C en los primeros meses del año y su precipitación alcanza los niveles más altos en los meses de abril y mayo.

- La estructura de Pavimento más viable para la malla vial del barrio Samán de la Rivera es la estructura de pavimento rígido dado que requiere de menos mantenimiento y brinda un mayor período de servicio.

12.2. TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto se realiza con el fin de ser guía de nuevos proyectos de diseños de pavimentos en vías urbanas, los cuales sigan o implementen las metodologías de PCA y SHELL, con el fin de garantizar un buen diseño a sus estructuras.

También se realiza para presentar los diseños a los entes gubernamentales, con el fin de que se pueda ejecutar y beneficiar a la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Payares, «El Heraldo,» Infraestructura vial y su impacto en el desarrollo, 2017. [En línea]. Available: <https://www.elheraldo.co/columnas-de-opinion/infraestructura-vial-y-su-impacto-en-el-desarrollo-425060>. [Último acceso: 13 03 2020].
- [2] Dane, «Documento técnico de infraestructura vial,» Taller de ediciones Dane, Bogotá, 2014.
- [3] C. Giordani y D. Leone, «Pavimentos 15,» Universidad tecnológica nacional, 03 03 2015. [En línea]. Available: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf. [Último acceso: 07 09 2019].
- [4] F. A. Reyes Lizcano, Diseño Racional de Pavimentos, Bogotá: Centro Editorial Javeriana, 2003.
- [5] H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, Pavimentos Materiales, construcción y diseño, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2015.
- [6] A. M. Fonseca, Ingeniería de Pavimentos Fundamentos, estudios básicos y diseño, vol. III, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2002, p. 5.
- [7] A. Montejó Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, Bogotá, 2002.
- [8] D. M. Gómez Mosquera y E. López Mora, «Repositorio USTA Villavicencio,» Estudios y diseños de la estructura de pavimento rígido del barrio Villas del Alcaraván - Villavicencio, 07 01 2020. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21717>. [Último acceso: 12 03 2020].
- [9] A. M. Bejarano Alcántara y J. P. Lozano Céspedes, «Repositorio USTA Villavicencio,» Estudios y diseños de la estructura de pavimento para la vía ubicada en la calle 10 en el municipio de Acacias-Meta., 06 02 2020. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21698>. [Último acceso: 12 03 2020].
- [10] M. Escarraga Lopez y M. P. Mejia Romero, «Repositorio USTA Villavicencio,» Diseño de la estructura de pavimento, implementando geoceldas y suelo cemento, para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500 en san José del Guaviare-Guaviare, 31 07 2019. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18418/2019MillerEscarraga.pdf?sequence=8&isAllowed=y>. [Último acceso: 15 10 2019].
- [11] K. M. Peña García, L. K. Cubides Garnica y C. Orozco Angel, «Repositorio Institucional UCC,» Diseño de tres tipos de estructura de pavimento para las vías internas del barrio Caracolí, ubicado en el kilómetro 3 vía del amor de la ciudad de Villavicencio Meta., 23 01 2019. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12494/6834>. [Último acceso: 22 09 2019].
- [12] N. E. Rodríguez, F. Arnold Torres y A. R. Arias, «Definición de alternativas de diseño del pavimento vía Arauca-Caracol, municipio de Arauca,» *L'esprit*

- Ingénieux* 03, vol. 03, nº 01, 2012.
<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/128>
- [13] C. K. Minchán Lezcano, «Universidad Privada del Norte,» Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA en una vía pública, Cajamarca-2019, 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22273/Minch%c3%a1n%20Lezcano%20Christian%20Kevin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 2020].
- [14] A. M. Castro Murcia, «Universidad Católica de Colombia,» Diseño de pavimento flexible de la carrera 8ª entre calles 64 y 67 barrio parrales-torremolino en el municipio de Ibagué, mediante el uso del método SHELL, 2013. [En línea]. Available: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2172/1/Dise%c3%b1o-pa...pdf>. [Último acceso: 2020].
- [15] I. N. d. Vias, «Invias,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/42-servicios-de-informacion-al-ciudadano/glosario>. [Último acceso: 2019].
- [16] Portland Cement Association (PCA), *Metodología de diseño PCA 1984*, 1984.

ANEXOS

ANEXO 1. Estudio de Suelos

ANEXO 2. Determinación de Número de ejes equivalentes

ANEXO 3. Procesamiento Factores Climáticos

ANEXO 4. Diseño de Pavimentos por la metodología PCA