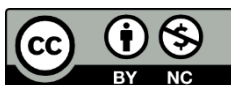


**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMATICAS DE INGENIERIA
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO PARA EL BARRIO MI
LLANURA EN VILLAVICENCIO- META**



Por:
JAIRO ALEXANDER ROMERO SEGURA



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2021**

**PROYECTO DE APLICACIÓN EN TEMATICAS DE INGENIERIA
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO PARA EL BARRIO MI
LLANURA EN VILLAVICENCIO- META**



Por:
JAIRO ALEXANDER ROMERO SEGURA

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

Aprobado por:
I.C. Juan Manuel Salgado Díaz, MSc.
Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2021**

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

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

Juan Manuel Salgado Díaz
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, 15 de julio del 2021

RESUMEN

La falta de una estructura de pavimento que permita la movilidad en el barrio mi llanura en Villavicencio, genera inconvenientes en el sector, y al ser una ruta que conecta con una avenida principal es muy transitada, el proyecto busca diseñar una estructura de pavimento rígido por la metodología de Portland Cement Association una de las más usadas y eficientes en estos diseños.

Se realizarán aforos, estudios de suelos, clima y temperatura, con el fin de analizar todos los aspectos que conllevan realizar un diseño y determinar una estructura para las condiciones encontradas. También se hará uso de softwares que permitan encontrar una estructura eficiente y óptima cumpliendo los parámetros diseño y las normas establecidas.

En el diseño de pavimento para el barrio mi Llanura se determinó que no es necesario realizar tratamientos a la base granular, sin embargo, para la subrasante es recomendable realizar un tratamiento con cal, para mejorar sus capacidades, ya que se encuentra sobre el límite permisible. Por lo tanto, se debe tener presente este factor en los costos a la hora de llevar a cabo la realización del diseño.

El uso de programas facilita la verificación de los diseños de pavimentos y genera una mayor confianza en estos. Y mediante iteraciones, se determinó que el diseño de pavimentos rígido cumple con todos los parámetros y normas en las condiciones del sector, y se logra evidenciar en el espesor de la losa de concreto una estructura habitual para estos tipos de pavimentos, aunque cuenta con una base granular mínima, pero suficiente para cumplir con los parámetros de diseño.

Palabras Clave: *pavimento rígido, metodología PCA, diseño, BS-PCA, estructura.*

ABSTRACT

The lack of a pavement structure that allows mobility in the Mi Llanura neighborhood in Villavicencio, generates inconveniences in the sector, and being a route that connects with a main avenue is very busy, the project seeks to design a rigid pavement structure for Portland Cement Association methodology is one of the most used and efficient in these designs.

Gauges, soil, climate and temperature studies will be carried out in order to analyze all the aspects involved in making a design and determining a structure for the conditions found. Software will also be used to find an efficient and optimal structure, complying with the design parameters and established standards.

In the design of the pavement for the Mi Llanura neighborhood, it was determined that it is not necessary to treat the granular base, however, for the subgrade it is advisable to perform a treatment with lime, to improve its capabilities, since it is above the permissible limit. Therefore, this cost factor must be taken into account when carrying out the design.

The use of programs facilitates the verification of pavement designs and generates greater confidence in them. And through iterations, it was determined that the rigid pavement design complies with all the parameters and standards in the conditions of the sector, and it is possible to show in the thickness of the concrete slab a common structure for these types of pavements, although it has a minimal granular base, but sufficient to meet design parameters.

Key Word: *rigid pavement, PCA methodology, design, BS-PCA, structure.*

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
3.	JUSTIFICACIÓN	15
4.	OBJETIVOS	16
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	16
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
5.	ALCANCE	17
6.	MARCO DE REFERENCIA	18
6.1.	MARCO TEÓRICO	18
6.1.1	Transito Promedio Diario (TPD)	18
6.1.2	Tasa De Crecimiento Anual (R).....	18
6.1.3	Módulo De Reacción (K)	18
6.1.4	Módulo De Rotura (Mr)	19
6.1.5	Transito.....	19
6.1.6	Factor carril	19
6.1.7	Proyección de tráfico (k3).....	20
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	21
6.2.1	Pavimento	21
6.2.2	Pavimento Rígido.....	21
6.2.3	Resistencia Del Pavimento	21
6.2.4	División De Capas.....	21
6.2.5	Periodo De Diseño	21
6.2.6	Base Granular	21
6.2.7	Subbase Granular	22
6.2.8	Subrasante.....	22
6.2.9	CBR (Californian bearing ratio)	22
6.2.10	Capas estabilizadas.....	22
6.2.11	MR (Modulo resiliente).....	22
6.2.12	Transito Atraído	22
6.2.13	Tipos de ejes con su carga máxima.....	22
6.2.14	Factor de seguridad	23
6.2.15	Análisis de esfuerzo o fatiga	23
6.2.16	Análisis de erosión.....	23
6.3.	ESTADO DEL ARTE	23
6.4.	MARCO NORMATIVO.....	25
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO (OPCIONAL).....	26
6.5.1	Localización	26
6.5.2	Climatología	28
6.5.3	Precipitación	28
7.	METODOLOGÍA.....	29
7.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	29

7.2.	POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	30
8.	ETAPAS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	31
8.1.	PRECIPITACION.....	31
8.2.	TEMPERATURA	31
8.3.	AFOROS VEHICULAR	32
8.4.	ESTUDIO DE SUELOS	35
8.5.	DISEÑO POR LA METODOLOGIA PCA	39
9.	ANALISIS DE RESULTADOS	44
10.	RESULTADOS E IMPACTOS	45
10.1.	RESULTADOS ESPERADOS	45
10.2.	IMPACTOS.....	45
11.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	46
11.1.	CONCLUSIONES	46
11.2.	TRABAJOS FUTUROS	46
	BIBLIOGRAFÍA.....	47

LISTA DE TABLAS

Tabla 6.1. Valores de k cuando la losa se apoya sobre una capa granular o una capa estabilizada con cemento hidráulico.	19
Tabla 6.2. Estimación del factor carril	20
Tabla 6.3. Proyección de tráfico	20
Tabla 6.4 Estado del arte	24
Tabla 6.5. Marco normativo.....	25
Tabla 6.6. Estado Actual de las vías del barrio mi Llanura en Villavicencio - Meta	27
Tabla 7.1 Población, muestras, variables e instrumentos de recolección de datos	30
Tabla 8.1 Precipitación de diseño	31
Tabla 8.2 Temperatura de diseño	32
Tabla 8.3 aforos vehiculares	33
Tabla 8.4 Aforo Vehicular	34
Tabla 8.5 Parámetros de diseño para un TPD mínimo.....	35
Tabla 8.6 Realización de apique	35
Tabla 8.7 Composición del suelo	36
Tabla 8.8 límites de atterberg.....	38
Tabla 8.9 Resultados de CBR (Californian bearing ratio)	38
Tabla 8.10 Distribución de ejes de vehículos pesados	39
Tabla 8.11 Modulo de reacción combinado	39
Tabla 8.12 datos de entrada en BS-PCA	39
Tabla 8.13 resultados con espesor de losa de 17cm	41
Tabla 8.14 resultados con espesor de losa de 18 cm	42
Tabla 10.1. Tabla de resultados	45
Tabla 10.2. Impactos.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 6.1 Tipos de ejes con su carga máxima	23
Figura 6.2. Localización general del sector de estudio	27
Figura 7.1. Metodología	29
Figura 8.1 Factores de ponderación para determinar la TMAP	32
Figura 8.2 formato de aforo vehicular	34
Figura 8.3 tamices	36
Figura 8.4 copa de Casagrande	36
Figura 8.5 grafica limite liquido	37
Figura 8.6 Carta de plasticidad	37
Figura 8.7 Grafica esfuerzo deformación	38
Figura 8.8 ingreso de datos de ejes de vehículos pesados	40
Figura 8.9 resultados con espesor de losa 17 cm	41
Figura 8.10 resultados con espesor de losa 18 cm	42
Figura 8.11 Estructura de pavimento rígido	43
Figura 8.12 Estructura de pavimento rígido en la calzada	43

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 6.1 Tasa de crecimiento anual.....	18
Ecuación 6.2 Modulo de reacción de la subrasante	18
Ecuación 6.3 Numero de ejes equivalentes.	19

1. INTRODUCCIÓN

El estado actual de la red vial en Colombia, según el instituto nacional de vías se divide en muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo, teniendo en el departamento del Meta una red vial sin pavimentar en un 23.75% en estado bueno, 28.30% regular y 56.16% en estado malo. (Instituto Nacional de Vías, 2019), demostrando las falencias del departamento en la materia y la necesidad de mejorarla.

La vía en el barrio mi Llanura en Villavicencio – Meta, se encuentra en mal estado, como una de las muchas en el departamento, no cuenta con una estructura de pavimento que soporte las cargas generadas por el tránsito y los cambios climáticos, esto se evidencio mediante una visita de campo, por lo tanto, esto ha generado inconvenientes en términos de movilidad y para las personas que habitan en el sector.

Debido al crecimiento poblacional del municipio, es de vital importancia contar con una eficiente infraestructura vial, diseñar un pavimento requiere de varios estudios que se deben realizar y analizar para determinar la opción más factible, demostrando los procesos que llevan a esta conclusión mediante las normas establecidas por el INVIAS y Portland Cement Association (PCA).

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El estado actual de las vías del barrio mi Llanura en Villavicencio - Meta, se encuentran deplorables, debido a la ausencia de una estructura de pavimento que soporte las cargas inducidas por el tránsito, ya que en el barrio no se ha intervenido lo suficiente, y al ser vías principales para el barrio el tránsito de vehículos es elevado, y esto ha generado inconvenientes en la movilidad.

La vía al no contar con una carpeta de rodadura se encuentra en la intemperie, y el levantamiento de polvo provocado por el tráfico es abundante, las precipitaciones también son un contratiempo, interfiriendo el desplazamiento de vehículos y personas en el sector que transitan a diario por esta vía, siendo así que los habitantes del barrio tienen que tomar rutas alternas en las cuales los tiempos de transporte aumentan y congestionan otras vías.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué estructura de pavimento se adecua mejor a las necesidades del barrio mi Llanura en Villavicencio- Meta en términos de durabilidad y economía?

3. JUSTIFICACIÓN

El diseño de un pavimento que cumpla con las necesidades del sector, tanto económicamente como en durabilidad, mejorara el acceso y la movilidad del barrio mi Llanura, con los barrios aledaños y la vía para salir al anillo vial una vía principal del municipio, disminuyendo los tiempos de desplazamiento y generando una descongestión en otras vías.

La importancia de realizar un diseño para este sector, es debido al crecimiento poblacional y la expansión demográfica tanto en el municipio como en el sector. También teniendo en cuenta el estado actual de la vía que se encuentra sin ninguna estructura de pavimento y sin obras de drenaje, lo que dificulta su tránsito y más en temporadas de altas precipitaciones.

Otros problemas secundarios, que se mitigarían con la realización de estos diseños serían la durabilidad de los vehículos que transitan a diario por estas vías, y problemas respiratorios debido al levantamiento de polvo que se produce por no tener una capa de rodadura, también aumentaría el comercio en el barrio debido a una mejor movilidad.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la estructura de pavimento rígido más eficiente y óptimo para el barrio mí Llanura en Villavicencio- Meta.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Examinar la temperatura y precipitaciones en la zona para tomar las medidas pertinentes en el diseño del pavimento rígido.
- Determinar el tránsito de las vías objeto de estudio mediante la realización de aforos.
- Analizar las propiedades mecánicas del suelo del barrio mí Llanura en Villavicencio.
- Identificar los índices y factores requeridos teniendo en cuenta la metodología de diseño.

5. ALCANCE

Para la realización de un diseño de pavimento se deben tener en cuenta diferentes variables, al analizar las propiedades mecánicas del suelo es necesario la realización de varios ensayos, como sondeos y apiques, para conocer la capacidad portante del suelo (CBR), que es una de las más importantes a la hora de diseñar.

La realización de un tránsito promedio diario (TPD), permitirá conocer el volumen de tránsito y el tipo que circula en la vía, para conocer el daño que le harán a la estructura, también es necesario identificar el tránsito atraído y generado, a partir de la posible construcción y contemplarla en el diseño.

Según Monsalve Lina, Giraldo Laura y Maya Jessica, para un diseño de pavimento rígido por el método Portland Cement Association (PCA), se requieren de unas variables como el tránsito, el módulo resiliente, la fatiga y además de propiedades de los materiales, para establecer las distintas alternativas estructurales que se tienen para esa zona, los diseños para el barrio mí Llanura en Villavicencio- Meta, seguirán estos mismos lineamientos debido a que se basan en el mismo método.

Las características del pavimento deben ser capaces de soportar los cambios climáticos, por tal razón es pertinente tener en cuenta estos factores.

6. MARCO DE REFERENCIA

Los métodos de diseño de pavimentos son guías elaboradas por entidades gubernamentales u organizaciones, que brindan información y herramientas necesarias para el diseño de estructuras de pavimentos, unas de las más importantes son la AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials), INVIAS (Instituto Nacional de Vías) (Salamanca Niño & Zuluaga Bautista, 2014), y PCA (Portland Cement Association).

6.1. MARCO TEÓRICO

6.1.1 Transito Promedio Diario (TPD)

Es un factor muy importante en el diseño de pavimentos, este es obtenido mediante conteos y aforos para conocer el volumen de tráfico que circula por una vía, con el fin de conocer las cargas presentes y a futuro a las que estarán sometidas la estructura de pavimento.

6.1.2 Tasa De Crecimiento Anual (R)

La tasa de crecimiento anual es un parámetro a tener en cuenta, debido a que las estructuras de pavimento se diseñan a un periodo n de años dependiendo de tipo, y el tránsito que circula actualmente no será el mismo en n años, y es necesario que la estructura pueda soportarlo, se calcula mediante la ecuación 6.1.

$$r = \sqrt[n]{\frac{Tf}{Ti}} - 1$$

Ecuación 6.1 Tasa de crecimiento anual.

Donde:

r: tasa de crecimiento anual.

Tf: tránsito en el año final.

Ti: tránsito en el año cero.

n: número de años tomados en cuenta del TPD

6.1.3 Módulo De Reacción (K)

El soporte que proporciona la subrasante o la subbase en una estructura de pavimento, está definida como el módulo de reacción (k) y este se divide para capas granulares no tratadas o estabilizadas con cemento hidráulico (PCA), como se observa en la tabla 6.1.

$$K_{\text{subrasante}} = 2.55 + 52.5 * \log(CBR)$$

Ecuación 6.2 Modulo de reacción de la subrasante

Tabla 6.1. Valores de k cuando la losa se apoya sobre una capa granular o una capa estabilizada con cemento 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 cemento hidráulico							
Mpa/m	pci	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: (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015),2015

6.1.4 Módulo De Rotura (Mr)

Las losas de concreto están bajo esfuerzos de compresión y tensión constantemente inducidas por el tránsito, los esfuerzos de compresión son despreciables al ser muy mínimos, pero los esfuerzos de tensión son altos por tal razón es una variable importante en el diseño, el módulo de rotura es importante para evitar el agrietamiento de la losa de concreto y determinar un espesor óptimo. (PCA)

6.1.5 Transito

El método de PCA contempla para hallar el transito distintas variables como el número de ejes pesados, la cantidad que circula por la vía y el periodo de diseño como se observa en la ecuación 6.2.

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

Ecuación 6.3 Numero de ejes equivalentes.

6.1.6 Factor carril

Es un parámetro importante que permite tener en cuenta cual es el carril más transitado y por lo tanto que recibirá mayormente las cargas.

Tabla 6.2. Estimación del factor carril

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: (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015), 2015

6.1.7 Proyección de tráfico (k_3)

Tabla 6.3. 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: (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015), 2015

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1 Pavimento

Se define como pavimento la unión de varias capas de material, que reciben y soportan una carga directa del tránsito y las transmiten a capas inferiores disipándola, proporcionando una capa de rodadura (Mba Lozano & Tabares Gonzalez, 2005).

6.2.2 Pavimento Rígido

Son aquellos que están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre una base granular o la subrasante, debido a su alta rigidez y coeficiente de elasticidad, los esfuerzos producidos por el tránsito se disipan en un área muy amplia. (Monsalve Escobar, Giraldo Vasquez, & Maya Gaviria, 2012)

6.2.3 Resistencia Del Pavimento

Uno de los rasgos más importantes de la estructura es la resistencia, ya que esta es la que permite disminuir los esfuerzos destructivos del tránsito y del medio ambiente. (Mba Lozano & Tabares Gonzalez, 2005)

6.2.4 División De Capas

La división de capas que se hace en una estructura de pavimento se debe a un factor económico, las capas superiores son las que reciben un mayor esfuerzo por tal razón deben ser resistentes y de materiales no tan económicos, así que se busca que tengan un espesor mínimo, mientras que las capas inferiores generalmente se conforman de materiales que se encuentran en el ambiente y son económicos. (Mba Lozano & Tabares Gonzalez, 2005).

6.2.5 Periodo De Diseño

Toda estructura de pavimento se diseña a un periodo de tiempo en años, es decir tiene una vida útil, después de esto requerirá de rehabilitaciones para su funcionamiento eficiente, puede ser desde cambiar la carpeta asfáltica o varias capas, cuando hay cambios significativos en la pendiente, alineamiento geométrico y otros factores son declarados obsoleta. (Rico Rodriguez , Tellez Gutierrez, & Garnica Anguas, 1998).

6.2.6 Base Granular

Es una capa de la estructura de pavimento ya sea flexible, rígido o semirrígido en este último se debe tratar o ser estabilizada, las demás se componen de material granular no tratado, cuya función es transmitir las cargas a las capas inferiores, ayudar con el drenaje y procesos constructivos, sus espesores varían dependiendo

del pavimento, para el flexible se encuentra entre 10 cm a 30 cm en el rígido de 10 cm a 25 cm. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

6.2.7 Subbase Granular

Es la capa inferior a la base y está por encima de la subrasante se conforma de agregados pétreos de un costo muy bajo, cumple las mismas funciones de la base granular, su diferencia yace en los espesores para cada tipo, en flexible varía entre 10cm a 50cm en rígidos de 10cm a 30cm. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

6.2.8 Subrasante

Es la capa que soporta la estructura de pavimento, las cargas producidas por el tránsito en última instancia y cambios climáticos (terreno natural), la calidad de esta definirá los espesores para las capas superiores y si es de muy mala calidad debe ser mejorada. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

6.2.9 CBR (Californian bearing ratio)

Es un ensayo ampliamente usado para el diseño de pavimentos, se realiza en laboratorios con muestras inalteradas, no funciona sobre suelos friccionantes o gruesos como gravas y arenas, permite determinar el CBR propiedad mecánica del suelo. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

6.2.10 Capas estabilizadas

Las estabilizaciones de capas pueden ser mediante la adicción de químicos o aplicando mecanismos físicos, con el fin de mejorar las capacidades de la estructura de pavimento y reducir los espesores de la misma. (Peralta Lopez, 2020)

6.2.11 MR (Modulo resiliente)

Es un ensayo realizado en laboratorio sobre muestras inalteradas que indica que tan rígido es un material bajo carga cíclica, permitiendo conocer los esfuerzos y deformaciones en un pavimento. (Rondon Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

6.2.12 Transito Atraído

Es el transito que circulara una vez este realizada la vía por la ventajas o beneficios que trae esta al realizarse. (Monsalve Escobar, Giraldo Vasquez, & Maya Gaviria, 2012).

6.2.13 Tipos de ejes con su carga máxima

Los vehículos transmiten las cargas al pavimento a través de las ruedas y estas se encuentran divididas en ejes simple, tandem y tridem de acuerdo al tipo de vehículo. (Instituto nacional de vías y Ministerio de transporte, 2008)

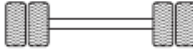
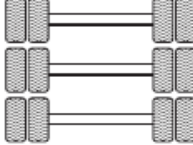
Descripción	Configuración	Peso, t
Eje simple direccional		6.0
Eje simple llanta doble		11.0
Eje tandem llanta doble		22.0
Eje tridem llanta doble		24.0

Figura 6.1 Tipos de ejes con su carga máxima
Fuente: (Instituto nacional de vías y Ministerio de transporte, 2008)

6.2.14 Factor de seguridad

El factor de seguridad está relacionado directamente con el TPD, en función del tipo de vía y el volumen de tráfico pesado que circula (Gonzales Sosa & Vanegas Gomez , 2016)

6.2.15 Análisis de esfuerzo o fatiga

Analiza las cargas que se inducen permanentemente en la estructura de pavimento rígido, manteniéndolas en unos rangos seguros para evitar la presencia de patologías (Revelo Rivera, 2019).

6.2.16 Análisis de erosión

Analiza y limita las deflexiones en diferentes puntos de la losa de concreto, como juntas, esquinas y bordes de la losa, para evitar patologías y fenómenos como el bombeo. (Robles Robles, 2018)

6.3. ESTADO DEL ARTE

Se han realizado varias investigaciones, tesis y especializaciones en el diseño de pavimentos rígidos, los cuales están enfocados en resolver una problemática

similar, mediante los métodos de diseño que se tendrán en cuenta para realizar el diseño del barrio mí Llanura.

Tabla 6.4 Estado del arte

Año	Autor	Título	Descripción	Aporte
2012	Monsalve Lina, Giraldo Laura y Maya Jessica	Diseño de pavimento flexible y rígido	Consiste en diseñar un pavimento flexible por AASHTO y uno rígido por el método de PCA, determinando los espesores y cuál es el más óptimo.	Contar con diseños en diferentes condiciones, determinando el método más óptimo que se adapte a las necesidades requeridas.
2015	Mora Cano Andrés David, Arguelles Sáenz Camilo Alberto	Diseño de pavimento rígido para la urbanización caballero y Góngora, municipio de Honda - Tolima	Comparar los diferentes métodos para diseñar estructuras de pavimento rígido determinando las diferencias entre estos y su comportamiento llevado a una situación real.	La realización de diseños de pavimentos rígidos por diferentes métodos, comparando los resultados en una situación real.
2016	Gisela Patricia Gonzales Sosa, Emiro Félix Vanegas Gómez	Comparación de las metodologías AASTHO y PCA para el diseño de pavimento rígido	En este documento buscan establecer una comparación de dos metodologías de diseño de pavimentos rígidos, las más usadas en la actualidad buscando una perspectiva más amplia sobre cual método utilizar.	De acuerdo a los resultados obtenidos la única diferencia entre estas metodologías son los espesores de la estructura, siendo la de PCA más holgada.
2018	Ramiro Hernán Robles	Diseño de un pavimento rígido para el segmento vial de la carrera 2 este entre la calle 41B sur y calle 42A sur del barrio la victoria la localidad de san Cristóbal de la ciudad de Bogotá	Se enfocaba en el diseño de un pavimento rígido para una vía al sur del barrio la victoria en Bogotá, en el cual se basaron en dos métodos AASHTO y PCA, determinado diferentes alternativas para los espesores de losas de concreto.	La utilización de softwares (BS-PCAA) para el diseño de estructuras en pavimentos rígidos por PCA.
2019	Christian Kevin Michán Lezcano	Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía publica Cajamarca	Se llevó a cabo la comparación de los dos métodos más usados para la realización de pavimentos rígidos, la AASHTO y PCA, concluyendo que por el método de PCA, los espesores encontrados cumplen con todos los lineamientos requeridos.	Los diseños realizados por el método de PCA tienden a obtener una estructura más grande, y por lo tanto cumplen con las normas establecidas para estos tipos de diseños.
2019	Revelo Rivera Jhonatan Alexander	Diseño de una estructura de pavimento rígido en un segmento vial entre los municipios de San Gil y Charala	Realización de un diseño de pavimento rígido por el método de PCA y AASHTO, que sea eficiente y permita comunicar los municipios de san gil y charala en	Debido al crecimiento poblacional los diseños deben ser cada vez más completos, la información y datos con los que se realicen

Tabla 6.4 Estado del arte

Año	Autor	Título	Descripción	Aporte
		departamento de Santander (k00+000-k01+000)	Santander, que debido a su crecimiento y su mala infraestructura vial es imprescindible.	deben ser los más actuales y de entidades calificadas.
2019	Salas Rojas Natalia, Sossa Caballero Andrés Felipe	Diseño de pavimento rígido de las vías de la inspección de policía del municipio de playa rica del municipio de San Antonio Tolima	Se diseñará una estructura de pavimento rígido que soporte las cargas del tránsito, teniendo en cuenta las características del terreno, con el fin de garantizar la durabilidad y calidad de la obra.	La importancia de realizar diferentes diseños, nos permite conseguir el diseño más eficiente y optimo que se adapte a las necesidades del sector.
2020	Peralta López Cristian José	Diseño en pavimento rígido de la carrera 22 entre calles 15 y 18 del distrito turístico y cultural de Riohacha - La Guajira	Se realiza un diseño de pavimento rígido por el método PCA, para el distrito turístico y cultural de Riohacha, ya que no cuenta con una carpeta asfáltica y es una vía principal que ayudara a la descongestión de otras vías.	Todos los diseños deben estar acompañados de recomendaciones que permitan maximizar la vida útil de estos, además de los materiales que se deben usar para no afectar el diseño.

Fuente: Autor, 2021

6.4. MARCO NORMATIVO

Tabla 6.5. Marco normativo

Normativa	Entidad	Descripción
Artículo 500.1 Del 2013	Instituto Nacional De Vías	Se refiera a la construcción de un pavimento de concreto hidráulico con juntas, y consiste en la elaboración, transporte, colocación y vibración de una mezcla de concreto hidráulico en forma de losas con o sin refuerzo, y todas las actividades necesarias para la correcta construcción.
Artículo 500.2 Del 2013	Instituto Nacional De Vías	En este se especifica todos los materiales necesarios para la construcción de un pavimento en concreto hidráulico, como el cemento, agua, agregados finos-gruesos, petrografía, adictivos, aceros, curado y productos para las juntas.
Artículo 500.3 Del 2013	Instituto Nacional De Vías	Se refiere a la logística de producción, transporte, colocación y las condiciones del proyecto, como el perfil de la vía, el espacio. Se debe seleccionar el equipo más

Tabla 6.5. Marco normativo

Normativa	Entidad	Descripción
		adecuado en términos de calidad y rendimiento.
Normas De Ensayos De Materiales Sección 200 Del 2013	Instituto Nacional De Vías	En esta se evalúa y dicta las normas de ensayos para agregados pétreos, como las impurezas, el muestreo, análisis granulométrico, resistencia a la degradación, solidez de los agregados, densidad relativa entre otros.
Normas de ensayos de materiales sección 300 del 2013	Instituto Nacional De Vías	En esta se evalúa el muestreo, la cantidad de ensayos y la densidad del cemento hidráulico.
Normas De Ensayos De Materiales Sección 400 Del 2013	Instituto Nacional De Vías	En esta sección nos indica como es el muestreo, la elaboración y curado de cilindros de concreto hidráulico, para los ensayos de compresión y flexión, el asentamiento permitido, la densidad, el contenido de aire, como en la fabricación y la calidad de los materiales como el agua.
Normas De Ensayos De Materiales Sección 600 Del 2013	Instituto Nacional De Vías	En esta sección se refiere a los ensayos para la estabilización de suelos, como la proporción necesaria de cal a partir del pH, la preparación de mezclas, relaciones de humedad y densidad del suelo cemento, resistencia a la compresión de suelos con cal entre otros ensayos.

Fuente: Autor, 2021

6.5. MARCO GEOGRÁFICO (OPCIONAL)

6.5.1 Localización

El municipio de Villavicencio se encuentra localizado en el piedemonte de la cordillera oriental, al noroccidente del departamento del Meta, y a 109 kilómetros al sur de la capital de Colombia, Bogotá.

El diseño del pavimento rígido contemplara la calle 8 y parte de la carrera 5b como se observa en la figura 6.4



Figura 6.2. Localización general del sector de estudio
Fuente: Google Earth

Como se puede observar en la Tabla 6.65, la vía no cuenta con una carpeta de rodadura que permita la movilidad del barrio con la avenida principal, por lo tanto, se ven forzados a buscar rutas alternas aumentando los tiempos de desplazamiento.

Tabla 6.6. Estado Actual de las vías del barrio mi Llanura en Villavicencio - Meta

 Vía en afirmado, en estado regular, calle 8	 Intersección en pavimento rígido en estado regular, carrera 5b
--	--

Fuente: Autor, 2021

6.5.2 Climatología

El municipio de Villavicencio cuenta con un clima tropical que es muy cálido y húmedo, que ronda por los 20°C (Celsius) siendo la mínima, hasta los 32°C la máxima, en promedio se encuentra entre los 25.5°C, y con una humedad relativa de 67% hasta 83%. (IDEAM, 1993)

6.5.3 Precipitación

El promedio anual de lluvia es de 4383 mm, cuenta con temporadas de bajas precipitaciones que van desde los meses de diciembre a marzo, y de altas precipitaciones en los meses de abril a noviembre. (IDEAM, 1993)

7. METODOLOGÍA

El proyecto seguirá los lineamientos establecidos en el método de PCA (Portland Cement Association), además de los reglamentos del INVIAS (Instituto Nacional de Vías), en el cual se encuentra establecido los diferentes tipos de diseño de pavimento.

7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

La realización del proyecto debe tener en cuenta las actividades que se relacionan con los objetivos y el alcance, y están divididos en cuatro etapas como se muestran en la figura 7.1.

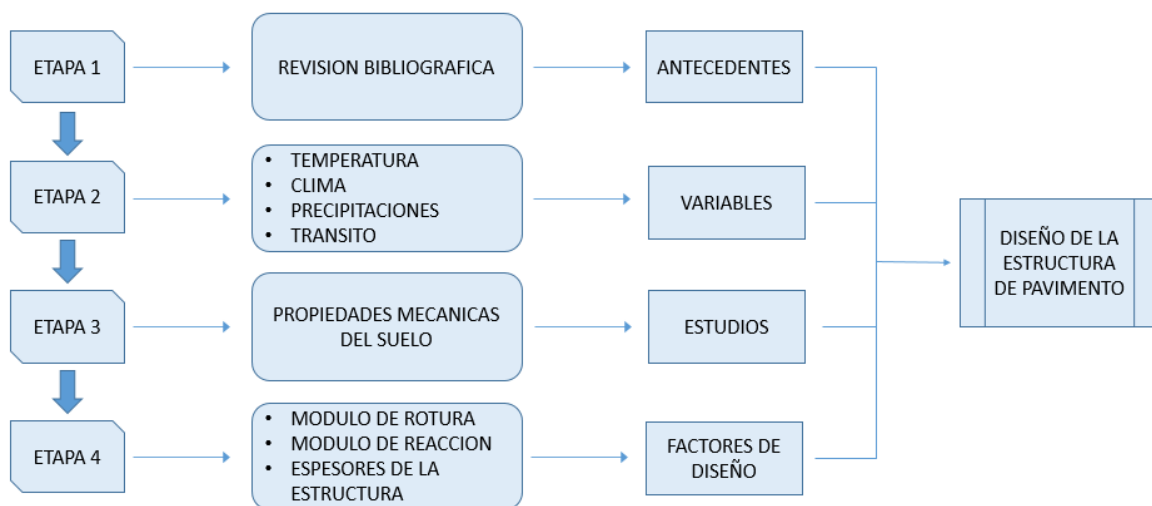


Figura 7.1. Metodología
Fuente: Autor, 2021

La primera etapa es la búsqueda de referencias bibliográficas con la metodología PCA, para tener referentes con información actual que permita orientar los objetivos del proyecto de grado en una dirección apropiada.

La segunda etapa consiste en recopilar información de las variables de temperatura y precipitaciones en Villavicencio, mediante las estaciones pluviográficas del IDEAM, para analizar y determinar las características climáticas de la región. Encontrando la temperatura y precipitación de diseño para el proyecto de grado.

La variable de transito se determinará mediante aforos vehiculares, para los cuales se desplazará a la zona de estudio durante tres días de la semana, que se distribuirán en dos días hábiles y un día no laboral, para conocer el volumen de tránsito y los tipos de vehículos, con el fin de hallar el transito promedio diario (TPD) y la cantidad de vehículos pesados.

La tercera etapa consiste en la realización de un apique manual a 1.5 metros de profundidad, para determinar la composición y las propiedades mecánicas del suelo, determinando el CBR de la subrasante, y poder tomar las medidas pertinentes para que el diseño de la estructura de pavimento rígido cumpla.

La cuarta etapa consiste en determinar las variables finales, enfocadas en la estructura de pavimento, como son el módulo de reacción, el número de ejes y las repeticiones de estos, mediante fórmulas y tablas ya establecidas por la metodología de diseño PCA.

Las variables se introducirán en el software BS-PCA, especializado en el diseño de estructuras de pavimentos rígidos, para determinar los espesores de la estructura de pavimento que cumpla con la erosión y esfuerzos que se puedan presentar.

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

Tabla 7.1 Población, muestras, variables e instrumentos de recolección de datos

Ítem	Descripción
Población	Habitantes del barrio mí Llanura
muestras	Estudios y diseños de pavimentos
Variables	Tránsito, clima, subrasante, propiedades mecánicas de los materiales, pasadores, confinamiento
Instrumentos de medición	Metodología PCA, formato para conteo vehicular, pica, pala, moldes de CBR, límites de atterberg

Fuente: Autor, 2021

8. ETAPAS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

8.1. PRECIPITACION

Los datos de las precipitaciones en el municipio de Villavicencio en un periodo de 10 años, se obtuvieron de las estaciones SENA y UNILLANOS del IDEAM, sumando las precipitaciones en todos los meses de cada año, y calculando la precipitación media anual de diseño (PMA) para el pavimento, obteniendo una precipitación de 4013.81 milímetros (mm).

Tabla 8.1 Precipitación de diseño

Precipitaciones	
Año	Suma de precipitación anual (mm)
2010	4125.50
2011	3582.90
2012	4011.30
2013	4304.49
2014	3869.59
2015	3909.00
2016	3804.40
2017	4215.09
2018	4196.85
2019	4118.98
PMA Diseño (mm)	4013.81

Fuente: Autor, 2021

8.2. TEMPERATURA

Los datos de temperatura de los últimos 4 años no se encontró información completa, por ende, se optó por tomar de los últimos 6 años siguientes, determinando la temperatura de diseño para el pavimento rígido, con los datos de temperatura media mensual (TMM) de cada año, y con factores de ponderación obtenidos de la figura 8.1.

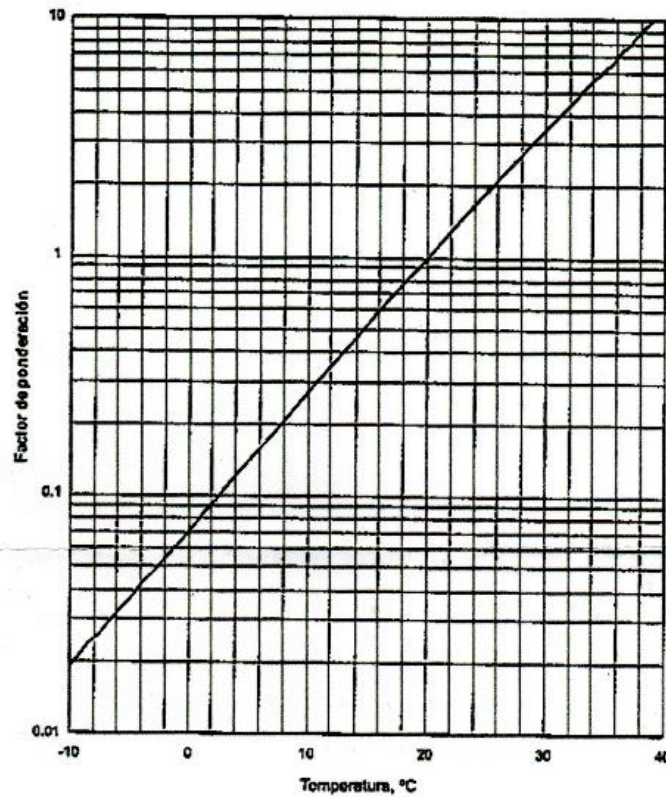


Figura 8.1 Factores de ponderación para determinar la TMAP
Fuente: (Higuera sandoval , 2011)

Se asigno un promedio del factor ponderado de cada año, y con este hallar la temperatura media anual ponderada (TMAP) con la cual se diseñará, obteniendo una temperatura de 23.88°C.

Tabla 8.2 Temperatura de diseño

Temperatura	
AÑO	TMAP °c
2010	24.2
2011	23.2
2012	24.1
2014	23.8
2015	25.2
2016	22.8
TMAP Diseño °c	23.88

Fuente: Autor, 2021

8.3. AFOROS VEHICULAR

Se realizo el aforo vehicular para conocer el transito promedio diario (TPD) los dias 17 y 18 de marzo del 2021, siendo estos dias habiles en los horarios de 7:30 am a 5:30 pm. Adicional a este aforo se realizo uno en un dia no laboral cumpliendo con la metodologia planteada, en el dia 3 de abril del 2021 en los mismos horarios establecidos anteriormente.

Tabla 8.3 aforos vehiculares

	
Buseta de transporte publico	Camión de carga y camión mixer de concreto
	
Volqueta eje tándem y automóvil	Camión y microbús

Fuente: Autor, 2021

Documentando el paso de los vehículos y camiones en los formatos del INVIAS según su clasificación.

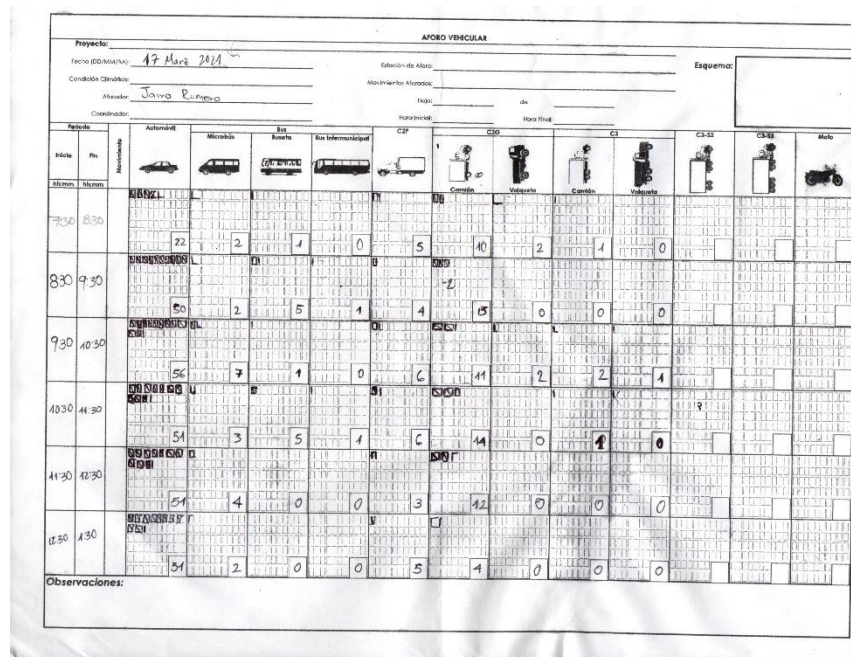


Figura 8.2 formato de aforo vehicular
Fuente: Autor, 2021

Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla según el tipo de vehículo clasificado por el INVIAS.

Tabla 8.4 Aforo Vehicular

Aforo vehicular					
TIPO	Día 1	Día 2	Día 3	TOTAL	
Automóvil	486	507	537	1530	
microbús	39	38	10	87	
buseta	15	6	2	23	
bus intermunicipal	2	0	0	2	
C2P	43	38	26	107	
C2G camión	80	52	21	153	
C2G volqueta	4	4	1	9	
C3 camión	4	2	0	6	
C3 volqueta	1	0	0	1	
C3-S2	1	0	0	1	
TPD				640	

Fuente: Autor, 2021

Obteniendo como resultado un TPD de 640, siendo este un tránsito considerado bajo, por lo tanto, se opta por tomar los parámetros de diseño del TPD mínimo según el método PCA-84 para diseños de pavimentos rígidos. (PCA)

Tabla 8.5 Parámetros de diseño para un TPD mínimo.

Variables de diseño TPD de 1000	
factor carril (K2)	50%
tasa de crecimiento (r)	1%
proyecciones de tráfico (k3)	1.1
factor de seguridad de carga (FSC)	1
Periodo de diseño (n)	20 años

Fuente: Autor, 2021

8.4. ESTUDIO DE SUELOS

Se realizo un apique a 1.5 m de profundidad en la calle 8 con crr 5b en villavicencio, para determinar las características del suelo, y obtener los datos necesarios para el diseño del pavimento rigido.

Tabla 8.6 Realización de apique



Fuente: Autor, 2021

Con el ensayo de granulometria se determino que el material en la zona esta compuesto por gravas en un 1.29%, arenas con un 27.74% y finos siendo la mayor parte que pasa el tamiz 200 con un 70.79% como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 8.7 Composición del suelo

Composición	
Material	Porcentaje
Gravas (%)	1.29
Arenas (%)	27.74
Finos (%)	70.97

Fuente: Autor, 2021



Figura 8.3 tamices
Fuente: Autor, 2021

Se realizo los limites de atterberg para caracterizar su comportamiento, obteniendo el limite liquido (LL) mediante el equipo de casagrande como se observa en la figura 8.3.



Figura 8.4 copa de Casagrande
Fuente: Autor, 2021

contabilizando los golpes necesarios para que la muestra se uniera, se procede a pesar la muestra humeda y luego de secada en el horno a 60°C durante 24 horas,

restandolas para obtener el peso del agua y determinar el porcentaje de humedad de la muestra, dividiendo el peso del agua sobre el peso seco por 100, se realizo 3 veces este procedimiento para graficar y obtener el limite liquido al golpe 25 como lo indica el INVIAS siendo este de 27.1.

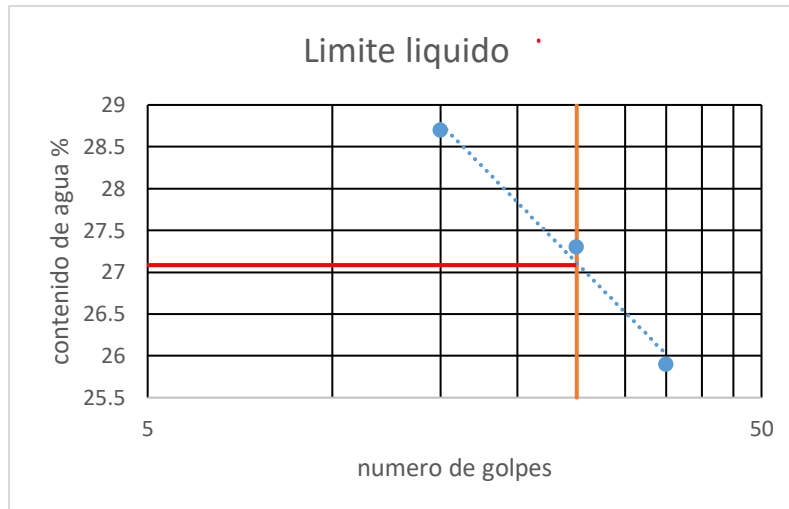


Figura 8.5 grafica limite liquido
Fuente: Autor, 2021

El limite plastico (LP) se determino mediante la realizacion de barritas del material, reduciendolas hasta los 3mm o cuando presenten fisuras, se determino el contenido de humedad en porcentaje de la misma forma del limite liquido y se promediaron para obtener el limite plastico de 13.25.

El indice de plasticidad (IP), es la diferencia entre el limite liquido y limite plastico, obteniendo un resultado para la muestra de suelo de 13.85, con los cuales se pudo clasificar el suelo en arcilla de baja plasticidad mediante la carta de plasticidad de la USCS.

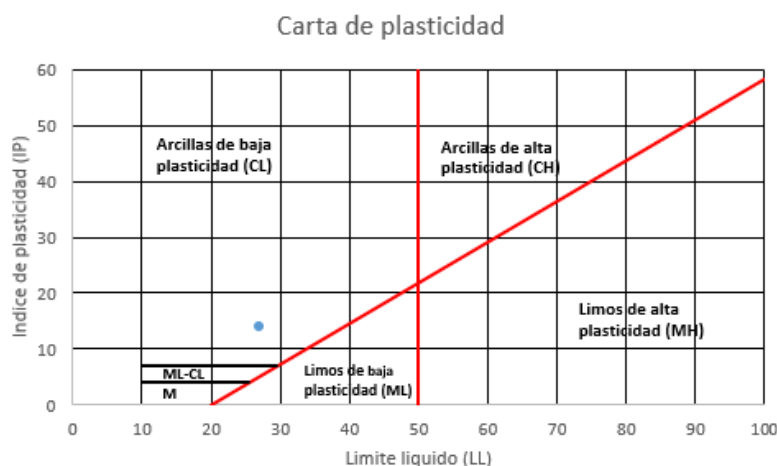


Figura 8.6 Carta de plasticidad
Fuente: USCS (sistema unificado de clasificación de suelos)

Tabla 8.8 límites de atterberg

Valores	
LL	27.1
LP	13.25
IP	13.85
Arcilla de baja plasticidad	
CL	

Fuente: Autor, 2021

Para el calculo del CBR se hallo en campo mediante el metodo de PDC (penetrometro dinamico de cono), y en laboratorio con el metodo de CBR inalterado sumergido durante 4 dias, posteriormente se llevo a una prensa para realizar la penetracion de un piston con área de 3 pulg² y a una velocidad constante, obteniendo la grafica esfuerzo deformacion.

La norma INVIAS indica que el CBR se determina a la penetracion en 0.1 pulg y 0.2 pulg obteniendo un CBR de 6.31%, se tomo como metodo de diseño el ensayo de CBR sumergido debido a las altas precipitaciones que se presentan en el municipio de villavicencio.

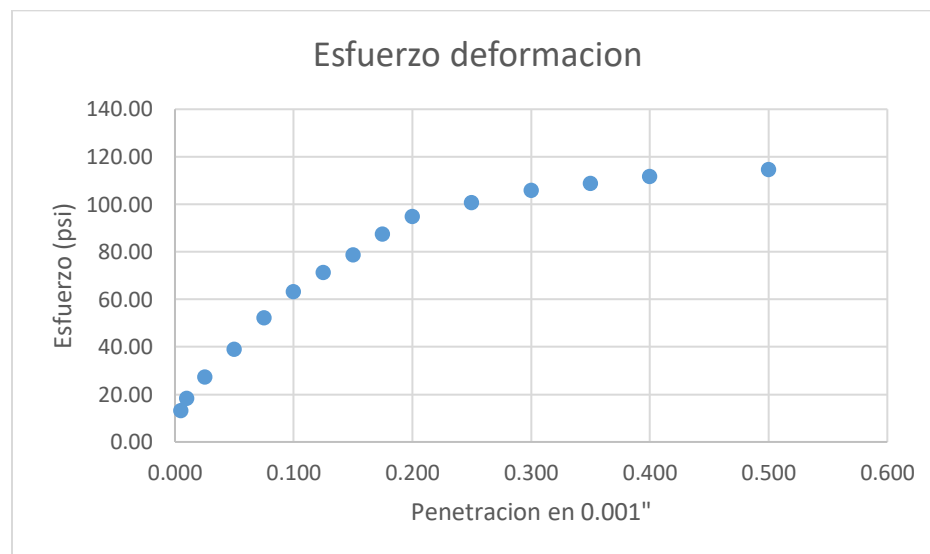


Figura 8.7 Grafica esfuerzo deformación

Fuente: Autor, 2021

Tabla 8.9 Resultados de CBR (Californian bearing ratio)

CBR	
PDC	6.89%
Sumergido	6.31%

Fuente: Autor, 2021

8.5. DISEÑO POR LA METODOLOGIA PCA

Para realizar el diseño en el programa BS-PCA, es necesario conocer el numero de repeticiones de los ejes (N), que pasaran por la via en el periodo de diseño de 20 años, tomando como referencia los vehiculos pesados, los cuales producen una mayor afectacion al pavimento.

Los vehiculos pesados se dividen en ejes simples y tandem con su respectiva carga como se observa en la siguiente tabla. Se suman los ejes en promedio diario y mediante la ecuacion 6.3 se obtiene el valor (N).

Tabla 8.10 Distribución de ejes de vehículos pesados

Carga KN	Numero de ejes	N
Ejes Simple		
50	36	144540
60	65	260975
110	99	397485
Eje tándem		
220	2	8030

Fuente: Autor, 2021

Se asume un espesor de base granular de 15 cm y mediante la ecuacion 6.2 se halla el k de la subrasante obteniendo un valor de 44.55 (Mpa), se procede a interpolar usando la tabla 6.1 para hallar un k combinado necesario para el diseño en PCA.

Tabla 8.11 Modulo de reacción combinado

Ksr (Mpa)	Kcomb (Mpa/m)
40	49
44.55	52.87
60	66

Fuente: Autor, 2021

Se definen las variables faltantes para el uso del programa como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 8.12 datos de entrada en BS-PCA

DATOS DE ENTRADA EN BS-PCA		
módulo de rotura concreto (MR)	4.5	Mpa
ancho de losa (a)	3	m
longitud de losa (l)	4	m
periodo de diseño (n)	20	Años
densidad del concreto	24	KN/m3

módulo de elasticidad del
concreto (E1) 28000 Mpa

Fuente: Autor, 2021

Se ingresan los valores (N) de los ejes con su respectiva carga en Kilonewtons (KN), para cada eje.

TRÁNSITO
Parámetros de Diseño PCA
Parámetros de Diseño AASHTO

Unidad Cargas : kN

Factor de Seguridad Carga : 1

Factor Mayoración Repeticiones : 1.1

Ejes
Simples
Rueda Simple

Ejes
Simples
Rueda Doble

Ejes
Tandem
Rueda Simple

Ejes
Tandem
Rueda Doble

Ejes
Tridem

#	Carga Eje	Repeticiones Esperadas
1	50	144450
2	60	260975
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		

Geometría Eje
Radio Carga [a] : 11.99 cm
Ancho Eje [D] : 182.88 cm

Aashto (Cálculo W82)
Exponente : 4
Carga Referencia (kN) : 65

Factores
Esfuerzo Equivalente : 1.6128
Factor Esfuerzo : 0.3584
Factor Erosión : 2.5071

Figura 8.8 ingreso de datos de ejes de vehículos pesados
Fuente: BS-PCA

Se asume un espesor de losa de concreto de 17 cm y se verifica que cumpla por erosion y esfuerzo teniendo en cuenta que estos deben ser menor al 100%

TRÁNSITO	Parámetros de Diseño PCA	Parámetros de Diseño AASHTO
Resistencia K del Apoyo :	52.87 Mpa/m K Combinado	
Espesor Losa [h1] :	17 cm	Capas : Una Capa
Longitud Losa [L] :	4 m	
Ancho Losa [W] :	3 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] :	0.5 m	
Factor de Trabazón de Agregados [AGG] :	0 Mpa	
	☒ Con Pasadores	
% Camiones al Borde :	0	
		Datos Ambientales Diferencial Temperaturas [dT] : 10 oF Coeficiente Térmico [alfa] : 5.500E-06 1/oF % Tránsito para Alabeo : 0
		Consumo Erosión (%) : 31.1002
		Consumo Esfuerzo (%) : 140.6695

Figura 8.9 resultados con espesor de losa 17 cm
Fuente: BS-PCA

Tabla 8.13 resultados con espesor de losa de 17cm

Consumo por erosión %	31.10	CUMPLE
Consumo por esfuerzo %	140.66	NO CUMPLE

Fuente: Autor, 2021

Como no cumple por esfuerzo se realiza una nueva iteracion aumentando el espesor de la losa a 18 cm obteniendo un resultado que cumple los parametros de erosion y esfuerzo.

BS-PCAA. Diseño de Pavimentos Rígidos [C:\Users\Alex Romero\Desktop\USTA\TESIS\BSPCA\diseño PAV rígido.pca]

Opciones Fórmulas Espectro Sensibilidad Terminar

Descripción:

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

Resistencia K del Apoyo: 52.87 Mpa/m K Combinado

Espesor Losa [h1]: 18 cm

Longitud Losa [L]: 4 m

Ancho Losa [W]: 3 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]: 0.5 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 (%): 15.1381

Consumo Esfuerzo (%): 22.4343

Figura 8.10 resultados con espesor de losa 18 cm
Fuente: BS-PCA

Tabla 8.14 resultados con espesor de losa de 18 cm

Consumo por erosión %	15.13	CUMPLE
Consumo por esfuerzo %	22.43	CUMPLE

Fuente: Autor, 2021

Es muy importante que los diseños de pavimentos rígidos cumplan estos dos factores de erosión y esfuerzo, para prevenir el fenómeno de bombeo y las fisuras o grietas a lo largo de su vida útil.

El diseño de pavimento rígido para el barrio mi Llanura por la metodología de PCA, se compone de una losa de concreto de 18 cm, MR de 4.5Mpa, una base granular de 15 cm y la subrasante, como se observa en la siguiente imagen.

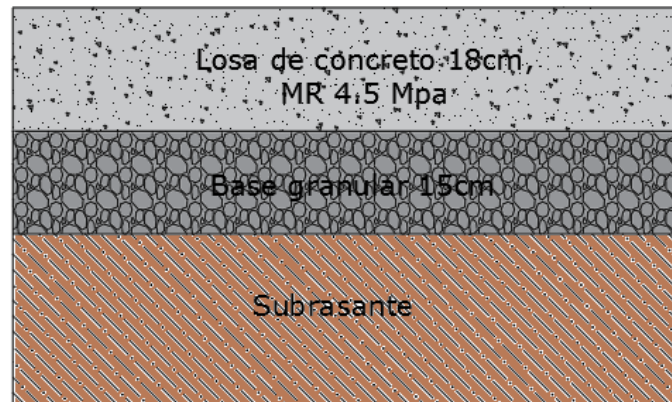


Figura 8.11 Estructura de pavimento rígido
Fuente: Autor, 2021

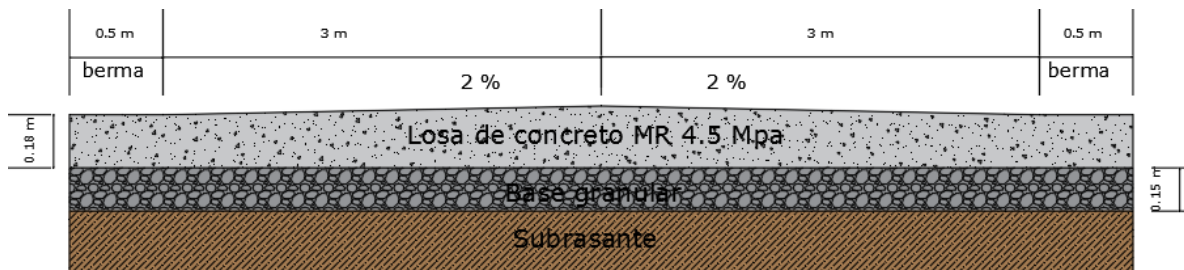


Figura 8.12 Estructura de pavimento rígido en la calzada
Fuente: Autor, 2021

9. ANALISIS DE RESULTADOS

Las precipitaciones en Villavicencio se analizaron en los últimos 10 años, encontrando precipitaciones anuales de 3500 y 4000 mm obtenidas de las estaciones de IDEAM, con un promedio de 4013.81 mm de todos los años, con la cual se determina que para realizar el ensayo de suelos y encontrar el CBR, es necesario realizarlo por el método sumergido.

Los datos de temperatura de los últimos 4 años no se encontró información completa, por ende, se optó por tomar de los últimos 6 años siguientes, analizando los datos se evidencia que en la ciudad de Villavicencio tiene una temperatura media anual promedio (TMAP) de 24°C, esto con las precipitaciones la clasifican como una ciudad cálida y muy húmeda.

El CBR hallado en la subrasante por el método sumergido, dio un valor de 6.31%, por lo tanto, no requiere de un tratamiento para mejorarlo según las normas establecidas, pero debido a que la composición del suelo está conformada en un 70.79% de finos (arcillas) es recomendable realizar una estabilización con cal.

Los aforos vehiculares en el barrio mi Llanura son considerados bajos, ya que, con un TPD de 640 vehículos por día, se encuentra por debajo del mínimo que brinda la metodología de PCA con un TPD de 1000, su composición se divide en automóviles con un 79.72 %, microbuses con 4.53%, busetas 1.19% y camiones de tipo C2P 5.57% y C2G con un 7.97%, además de otros tipos de camiones con un porcentaje inferior al 1%.

La estructura de pavimento con una base granular de 15 cm y una losa de concreto de 18 cm, es óptima comparándola con otro diseño de pavimento rígido para el segmento vial de la carrera 2 del barrio la victoria en Bogotá, que con diferentes parámetros estableció estructuras con capas similares en la losa de concreto. En la base granular se aprecia una diferencia debido a diferentes volúmenes de tránsito pesado.

10.RESULTADOS E IMPACTOS

10.1. RESULTADOS ESPERADOS

Tabla 10.1. Tabla de resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Elaboración de los espesores de la estructura de pavimento	Programación mediante softwares	Objetivo general
Límite de atterberg, CBR, granulometría	Identificación de las propiedades del suelo	Objetivo específico 1
Obtención de la temperatura y precipitación media de la zona de estudio	Revisión bibliográfica y datos del IDEAM	Objetivo específico 2
Tránsito de diseño	Determinación del número de ejes equivalentes	Objetivo específico 3

Fuente: Autor, 2021

10.2. IMPACTOS

Tabla 10.2. Impactos

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Académico	Diseño de Pavimento	El diseño de pavimento rígido servirá como información y guía para proyectos futuros relacionados con la temática	Corto
Social	Mejor movilidad en el sector.	Tener el diseño con la mejor opción en términos de economía y eficiencia facilitara la ejecución del proyecto en un futuro	Largo
Económico	Menor inversión de recursos para el estudio de esta vía.	Contar con un diseño económico, fiable y eficiente con los parámetros establecidos en la metodología de diseño	Corto

Fuente: Autor, 2021

11. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

11.1. CONCLUSIONES

Las precipitaciones y temperaturas en la ciudad de Villavicencio la clasifican como una región cálida y muy húmeda, por lo tanto, el ensayo de suelo utilizado para hallar el CBR es por el método sumergido, obteniendo un valor exacto en comparación con otros métodos.

La subrasante no requiere de un tratamiento debido a que el CBR es mayor del 6%, pero se recomienda un mejoramiento de cal, debido a la composición del suelo y para evitar que se presenten patologías en la estructura en el futuro.

Los aforos realizados en el barrio mi Llanura evidenciaron un TPD considerado bajo, según la metodología PCA, por lo tanto, para el diseño de la estructura de pavimento, algunos parámetros se adoptaron los mínimos.

La base granular no requiere de un tratamiento, debido a que los parámetros para el diseño de la estructura de pavimento rígido, como la erosión y esfuerzo cumplieron con un base de un espesor de 15 cm. Realizar un tratamiento incurriría en un mayor costo en la estructura de pavimento, sin obtener cambios significativos.

El uso de programas de diseños de pavimentos por diferentes metodologías son una herramienta muy beneficiosa, en términos de tiempo y calidad de diseños, tener el proceso de inicio a fin, incentiva el uso de estos.

Los diseños de pavimentos rígidos tienen una proyección de vida útil de 20 años, y requieren de un menor mantenimiento, sin embargo, es necesario la realización de estos con el fin de preservar la estructura en buenas condiciones para el tránsito.

11.2. TRABAJOS FUTUROS

Como continuación de este trabajo de tesis y como en cualquier otro proyecto de aplicación en temáticas de ingeniería, existen diversas soluciones de diseño que quedan abiertas y en las que es posible continuar trabajando. Entre los posibles trabajos futuros se destacan:

- Utilizar módulos de rotura mayores para generar esfuerzos equivalentes bajos, que nos permitan diseñar espesores de losas mínimos.
- Diseñar con metodología racional y comparar espesores.
- Proporcionar alternativas para el diseño de pavimentos rígidos mediante softwares.
- Ofrecer una referencia para comparar el comportamiento de futuros diseños.

BIBLIOGRAFÍA

- Gonzales Sosa, G., & Vanegas Gómez, E. (2016). Comparación de las metodologías AASHTO y PCA para el diseño de pavimento rígido. [Trabajo de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio. Obtenido de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/5759?show=full>
- Higuera Sandoval, C. H. (2011). *Mecánica de pavimentos. principios básicos*. UPTC.IDEAM. (22 de 12 de 1993). IDEAM . Recuperado el 21 de 11 de 2019, de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>
- Instituto Nacional de Vias. (03 de julio de 2019). *Estado de la red vial criterio técnico primer semestre 2019*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/informacioninstitucional/9166-estado-de-la-red-vial-criterio-tecnico-primer-semester2019>
- Instituto nacional de vías y Ministerio de transporte. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-ydocumentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentosde-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file>
- Mba Lozano, Eduardo and Tabares González, Ricardo (2005) Diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en fase I de la vía acceso al barrio Ciudadela del Café-vía La Badea. Otra thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/579195>
- Monsalve Escobar, L. M., Giraldo Vásquez, L. C., & Maya Gaviria, J. (2012). *Diseño de Pavimento Flexible y rígido*. Armenia, Colombia.
- PCA, M. (s.f.). *Diseño de espesores para pavimentos de hormigón en carreteras y calles*. portland cement association. https://www.ibch.com/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=download&id=93&chk=2a99ed6bdebb2fdf1eafa419e00e2982&no_html=1
- Peralta Lopez, C. J. (2020). *Diseño en pavimento rígido de la carrera 22 entre calles 15 y 18 del Distrito Turístico y Cultural de Riohacha - La Guajira*. [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36319/PeraltaLopezCristianJose2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Revelo Rivera, J. A. (2019). *Diseño de una estructura de pavimento rígido en un segmento vial entre los municipios de San Gil y Charala departamento de Santander (K00+000 – K01+000)*. [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32000/ReveloRiveraJhonatanAlexander2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Rico Rodriguez , A., Tellez Gutierrez, R., & Garnica Anguas, P. (1998). Pavimentos flexibles. Problematica, metodologias de diseno y tendencias. *The National Academies of sciences engineering medicine*(104), 133. <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt104.pdf>
- Robles Robles, R. H. (2018). Diseño de un pavimento rígido para el segmento vial de la carrera 2 este entre la calle 41 b sur y calle 42 a sur del barrio la victoria la localidad de san Cristóbal de la ciudad de Bogotá. [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20452/RoblesRoblesRamiroHernan2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rojas , J., Maya , A., Gaviria, S., & Monsalve, J. (2017). *construccion de pavimentos rigidos en vias urbanas de bajo transito*. <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>
- Rondon Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos materiales, construccion y diseño*. Eco ediciones.
- Salamanca Niño, M., & Zuluaga Bautista, S. (2014). *Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e Instituto del asfalto para la vía la ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre los abscisas K19+250 a K25+750 ubicada en el departamento del Cesar*. [Trabajo de grado, Universidad Catolica de Colombia]. Repositorio. Recuperado el 07 de 2019, de https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2569/2/Dise%C3%B1oes tructura-pavimento-flexible-Aashto-Invias-Insituto-AsfaltoBarranca_Lebrija.pdf