

DISEÑO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 22 ENTRE CALLES 15 Y 18 DEL
DISTRITO TURÍSTICO Y CULTURAL DE RIOHACHA - LA GUAJIRA



CRISTIAN JOSE PERALTA LOPEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTA DE INGENIERÍA CIVIL

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ D.C. – 2020

DISEÑO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CARRERA 22 ENTRE CALLES 15 Y 18 DEL
DISTRITO TURÍSTICO Y CULTURAL DE RIOHACHA - LA GUAJIRA

Presentado por:

CRISTIAN JOSE PERALTA LOPEZ

Director de Trabajo de Grado:

ING. FELIPE ALFREDO RIAÑO PÉREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTA DE INGENIERÍA CIVIL

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ D.C. – 2020

Tabla de contenido

Introducción	8
1. Planteamiento	9
1.1 Formulación del problema.....	10
2 Objetivos	11
2.1 Objetivo general	11
2.2 Objetivos específicos	11
3 Delimitaciones.....	12
3.1 Delimitación espacial	12
3.2 Delimitación temporal	14
4 Marco teórico	15
5 Metodología	28
5.1 Tipo de investigación.....	28
5.2 Población	28
5.3 Recolección de la información	28
5.3.1 Características del suelo.....	29
5.3.2 Estimación del tránsito.....	29
5.3.3 Software de cálculo.....	29
5.3.4 Calculo de la estructura de pavimento.....	29

6	Diseño de pavimento.....	31
6.1	Módulo de reacción de la sub rasante(k).....	31
6.2	Estimación del tránsito futuro.....	32
6.2.1	Periodo de Diseño.	35
6.2.2	Calculo del espectro de carga.....	36
6.3	Módulos del concreto (Mr).....	38
6.4	Factores de ajuste.....	38
6.4.1	Factor de seguridad carga.....	38
6.4.2	Factor de mayoración de repeticiones.....	38
6.5	Dimensionamiento de la estructura de pavimento.....	39
6.6	Modulación de losas.....	41
6.6.1	Barras transversales.....	42
6.6.2	Barras longitudinales.....	42
6.7	Característica final de la estructura de pavimento.....	43
6.8	Cantidades de obras.....	45
7	Conclusiones.....	46
8	Recomendaciones.....	47
9	Bibliografía.....	48

Lista de figuras

Figura 1 - Mapa de Colombia y Departamento de La Guajira.....	12
Figura 2 - Distrito Turístico y Cultural de Riohacha.	13
Figura 3 - Ubicación del proyecto.....	13
Figura 4.Carrera 22 entre 15 y 18	14
Figura 5 - Clasificación de los pavimentos.	16
Figura 6 - Estructura de pavimento flexible.....	16
Figura 7 - Estructura de pavimento Rígido.	17
Figura 8 - Estructura de pavimento semirrígido.....	18
Figura 9- Estructura de pavimento articulado.	18
Figura 10 - Capas de un pavimento.....	19
Figura 11. Monograma relación CBR y Modulo reacción.....	20
Figura 12. Esquema de ensayo de placa.....	21
Figura 13. Criterio de fatiga.	23
Figura 14. criterio de erosión.	23
Figura 15. Barra de transferencia	27
Figura 16 - Estructura de la metodología de diseño.....	30
Figura 17. Clasificación vehicular.	34
Figura 18. Peso máximo por eje.....	34

Figura 19.. Peso bruto por tipo de camión35

Figura 20. software BS-PCAA.....40

Figura 21. Calculo del espesor de la losa41

Figura 22. Configuración de losa de diseño44

Lista de tablas

Tabla 1. Configuración de camiones	25
Tabla 2. Periodo de diseño	26
Tabla 3. Cuadro resumen de la exploración geotécnica en la zona de estudio.	31
Tabla 4. Módulo de reacción Combinado.	32
Tabla 5-TPDs	33
Tabla 6. Distribución de camiones.	33
Tabla 7. Tasa de crecimiento.....	36
Tabla 8. Número de vehículos totales para el periodo de diseño.....	37
Tabla 9. Composición vehicular por pesos máximo.	37
Tabla 10. Espectro de carga.	37
Tabla 11. Factor de carga.	38
Tabla 12. factor de mayoración de repeticiones.....	39
Tabla 13. Parámetro de diseño	40
Tabla 14. Barra transversal.....	42
Tabla 15. Barra longitudinal.....	43
Tabla 16. Cuadro de cantidades	45

Introducción

El presente trabajo pretende dimensionar una estructura de pavimento rígido, para la carrera 22 entre calles 15 y 18 del Distrito Turístico y Cultural de Riohacha, debido a que se encuentra en un estado sin pavimentar y sería una alternativa de descongestión a la calle 15 o “troncal del caribe”, esta vía posee una longitud de doscientos setenta y seis metros y diez metros de ancho, dentro del área de influencia de encuentra un colegio, bodegas de construcción, conjuntos residenciales y viviendas multifamiliares.

Realizar la investigación documental de los temas más importante para el desarrollo del trabajo, sin dejar a un lado temas de importancia en los diferentes tipos de pavimentos, enmarcado en la normativa vigente, además de desarrollar el modelo metodológico del presente proyecto.

Luego de la recolección y análisis de los principales datos de diseño como el tránsito, suelo y materiales, además de todos los factores utilizados por la metodología de la Portland Cement Association PCA-84, podemos realizar el diseño de la estructura de pavimento, de acuerdo con la normativa del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), en su manual de diseño para pavimento de concreto de bajos, medios y altos volúmenes.

Mediante el programa de BS-PCAA desarrollado por la Universidad del Cauca dimensionaremos la estructura, realizaremos la modulación de la losa y definiremos los parámetros para las barras de transferencia y barras de amarre.

1. Planteamiento

El Distrito Turístico y Cultural de Riohacha ha tenido un crecimiento acelerado de urbanizaciones ilegales en las zonas periféricas de la ciudad, a consecuencia de esto la administración municipal ha tenido dificultades en desarrollar su Plan de Ordenamiento territorial (POT), debido a que algunas aprobaciones en las construcciones no corresponden a lo establecido en dicho plan y los recursos destinadas no son empleados para los fines que fue autorizado en un principio, por consecuencia, las inversiones en infraestructura disminuye para el cubrimiento de nuevas obras como son la de saneamiento básico, que tiene especial atención por el impacto ambiental y preservación de los recursos naturales

En efecto, las vías de Riohacha se encuentran sin pavimentar en gran porcentaje de la malla vial como lo resalta el POT 2016-2019, según Acuerdo N° 006/2019, pág. 103. “La red vial del casco urbano de Riohacha tiene en el año 2011, una extensión de 335,75 kilómetros, cifra que representa una disponibilidad de 10,7 kilómetros de vías por cada km² del área urbana. Llama la atención que el 56,7% (190,4 km) de esas vías están sin pavimentar”

Además, en el bajo porcentaje de vías pavimentadas, también podemos observar el deterioro en ellas, por culpa de esto la movilidad en algunos sectores de la ciudad se ve drásticamente afectada, puesto que estas estructuras de pavimentos son construidas de igual espesor en toda la ciudad sin tener en cuenta el tráfico que transita sobre ellas, aumentado el consumo de la vida útil más rápido o en su defecto ya superándola.

1.1 Formulación del problema

¿Cómo diseñar una estructura de pavimento rígido bajo la metodología de la Portland Cement Association PCA-84, en la carrera 22 entre calles 15 y 18 del Distrito Turístico y Cultural de Riohacha - La Guajira?

2 Objetivos

Los objetivos a continuación mostrados es el rumbo del desarrollo del proyecto.

2.1 Objetivo general

Diseñar la estructura de pavimento rígido mediante la metodología de la Portland Cement Association PCA-84, para una modelación optima, en la carrera 22 entre calles 15 y 18 del Distrito Turístico y Cultural de Riohacha - La Guajira.

2.2 Objetivos específicos

- Recolectar información documental para el diseño de estructuras de pavimentos rígidos.
- Analizar la información para el diseño de la estructura según los criterios de la Portland Cement Association PCA-84, que permitan el dimensionamiento de la estructura de pavimento.
- Calcular la estructura de pavimento por el software de BS-PCAA, para su aplicación en la carrera 22 entre calles 15 y 18 de la ciudad de Riohacha.

3 Delimitaciones

Las delimitaciones espaciales y temporales nos permiten conocer e lugar y tiempo donde se va a desarrollar el proyecto.

3.1 Delimitación espacial

El presente proyecto, se ejecutará en el Departamento de la Guajira ubicado en el extremo norte de la república de Colombia, en el Municipio de Riohacha ubicado al sur-oeste en del departamento, en el Distrito Turístico Y Cultural de Riohacha, en la comuna No 5 en el barrio las tunas, comprendido en la carrera 22 entre calles 15 y 18.

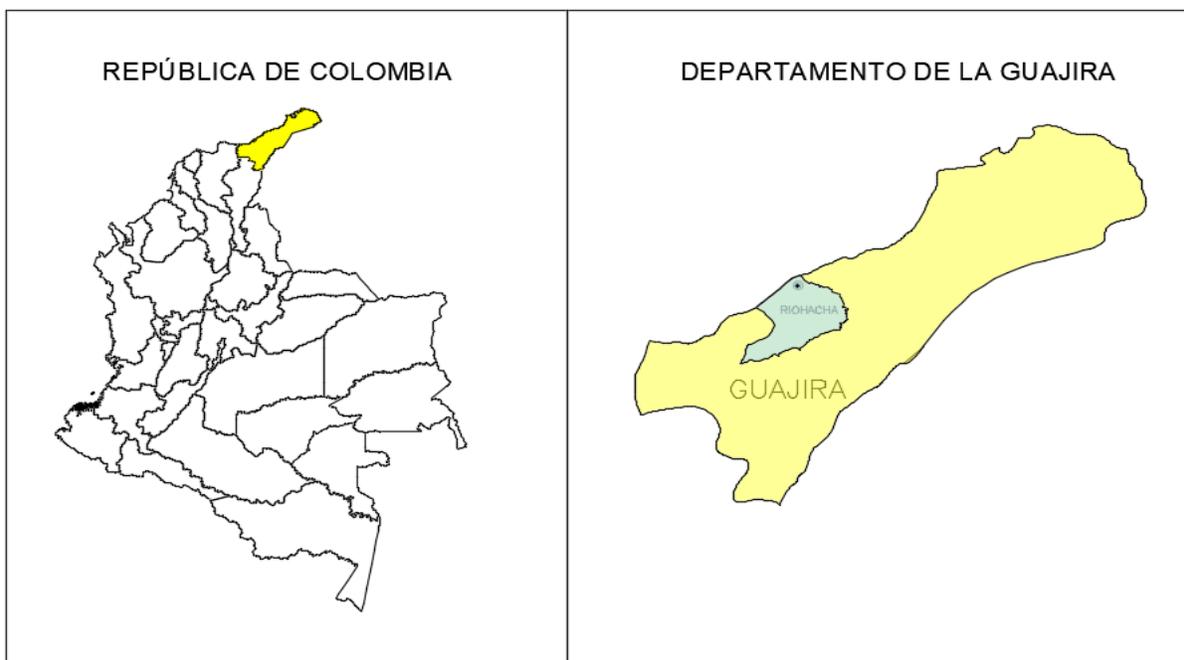


Figura 1 - Mapa de Colombia y Departamento de La Guajira.



Figura 2 - Distrito Turístico y Cultural de Riohacha.

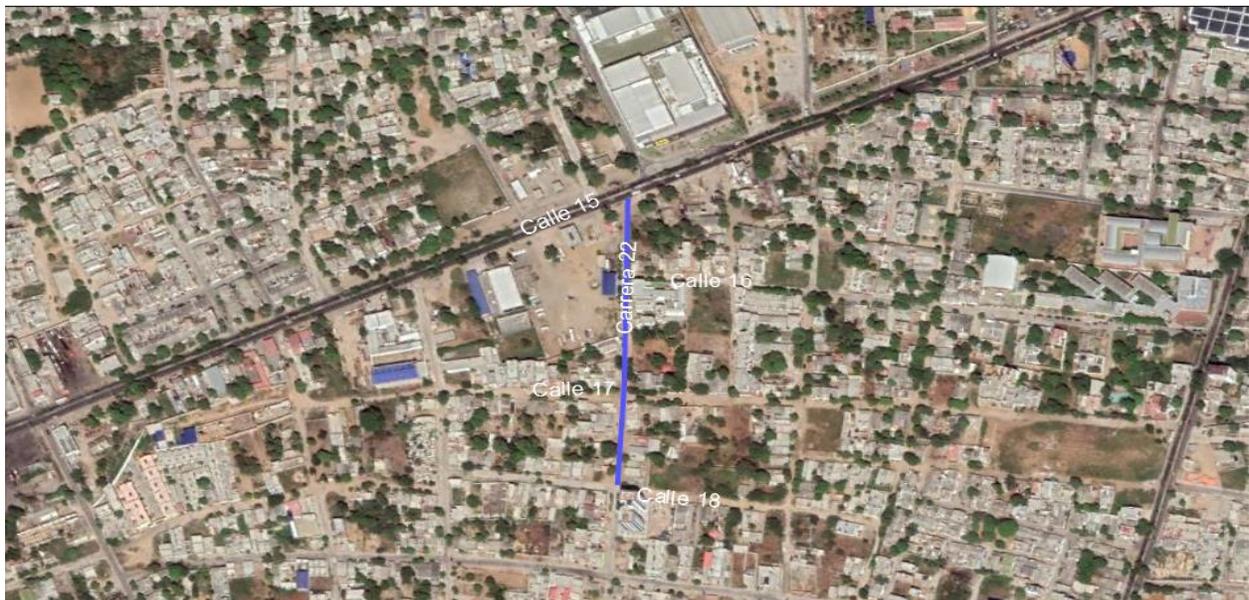


Figura 3 - Ubicación del proyecto.

3.2 Delimitación temporal

El desarrollo del proyecto se realizará en un periodo de 4 meses comprendida entre marzo, abril, mayo y junio. del año 2020, donde se realizará los trabajos de recopilación de información, análisis de datos, cálculo de la estructura de diseños, dimensionamiento de las losas de pavimentos, entrega del proyecto y sustentación



Figura 4. Carrera 22 entre 15 y 18

4 Marco teórico

Dentro de este marco desarrollaremos las definiciones más importantes que vamos a tratar dentro del presente proyecto.

Pavimento. De acuerdo con la definición en el texto guía Carreteras II de la Universidad Mayor de San Simón (UMSS), 2004, de Bolivia se entiende que:

“...un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos que transitaran y del volumen de tráfico.”

Los pavimentos son construidos sobre el terreno natural o sobre terraplenes los cuales denominamos como sub rasante, la estructura de esta constituidas por capas de diferentes materiales hasta generar una superficie adecuado para el tránsito de forma confortable y segura, su dimensionamiento se realiza de acuerdo con él volumen de tráfico que transitara en su vida útil.

Existen cuatro tipos de pavimentos convencionales como se muestra en la figura 4, estos adquieren su nombre de acuerdo con la respuesta estructural del pavimento.

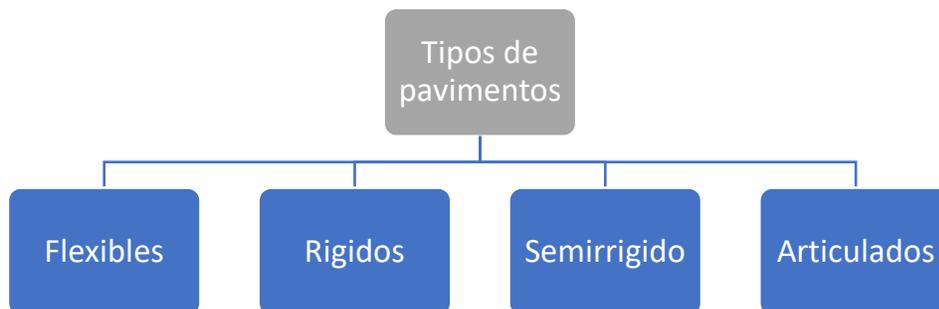


Figura 5 - Clasificación de los pavimentos.

Pavimento flexible. Según Kutz, (2011) “Los pavimentos flexibles son estructuras compuestas de varias capas. Las capas superiores generalmente se construyen con materiales que tienen una mejor calidad, mientras que las capas inferiores se construyen con materiales que tienen una calidad inferior que los materiales de la capa superior”, este tipo de pavimento está constituido por una mezcla asfáltica integrada por material bituminoso, agregados, filller y adicciones, para este estudio no se contemplara este tipo de pavimento, debido a que la todas la vías urbanas en la ciudad de Riohacha están construidas por pavimento rígido dando un periodo más largo de vida con poco mantenimiento.

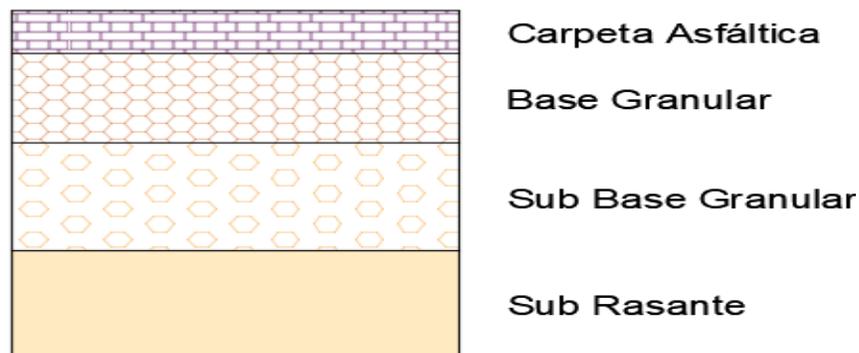


Figura 6 - Estructura de pavimento flexible.

También la estructura presenta capas de materiales granulares como bases, bases estabilizadas, sub bases, sub bases estabilizadas, capa de Reciclado de Pavimento Asfáltico (RAP), siempre que, presenten las condiciones de compactación según las especificaciones de carreteras del año 2013 del Instituto Nacional de Vías.

Pavimento rígido: Para Kutz (2011) “se refieren al pavimento construido con concreto de cemento portland (PCC). Este tipo de pavimento a menudo se analiza sobre la base de la teoría de

placas.” para este proyecto se propone este tipo de sistema de pavimento, una de las características más sobresalientes de su poco mantenimiento durante su vida útil.

Los pavimentos rígidos pueden estar soportado directamente sobre la sub rasante, o sobre una capa de material granular, como se muestra en la siguiente figura.

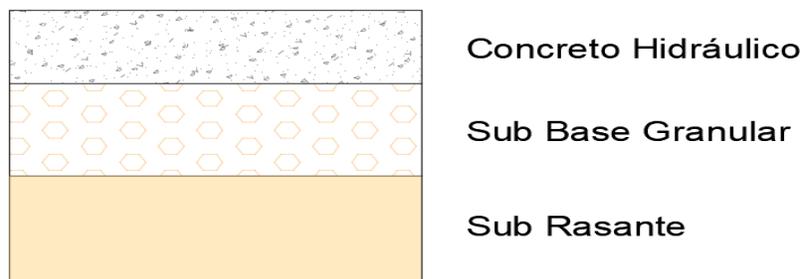


Figura 7 - Estructura de pavimento Rígido.

Los pavimentos rígidos se pueden dividir en cuatro tipos:

- Pavimento Articulado de Concreto Simple (JPCP)
- Pavimento Articulado de Concreto Reforzado (JRCP)
- Pavimento Continuo de Concreto Reforzado (CRCP)
- Pavimento de Concreto Pretensado (PCP).

El tipo de pavimento más utilizado es el Pavimento Articulado de Concreto Simple (JPCP). que consta de refuerzo de barras de transferencia que permiten la transmisión de carga y barras de amarre que permiten la unión entre losas, este tipo de pavimento rígido será el propuesto en este proyecto.

Pavimento semirrígido. Según el libro de Carreteras II (UMSS), 2004 “un pavimento semirrígido o compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir,

pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima”, como se definió anteriormente, este tipo de pavimento no se analizara para este proyecto.

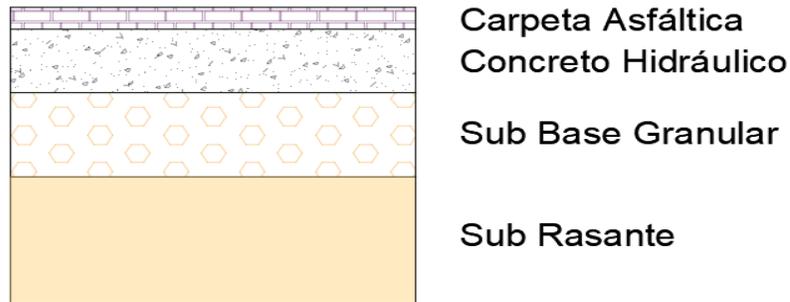


Figura 8 - Estructura de pavimento semirrígido

Pavimento articulado. De acuerdo con blog pavimento articulado, 2019 “están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme que puede estar ubicada sobre una capa delgada de arena”. Este tipo de pavimento es utilizado en la zona urbana para tráfico de vehículos livianos como autos, buses, y camiones pequeños, también son utilizados en vías en zonas de inestabilidad.

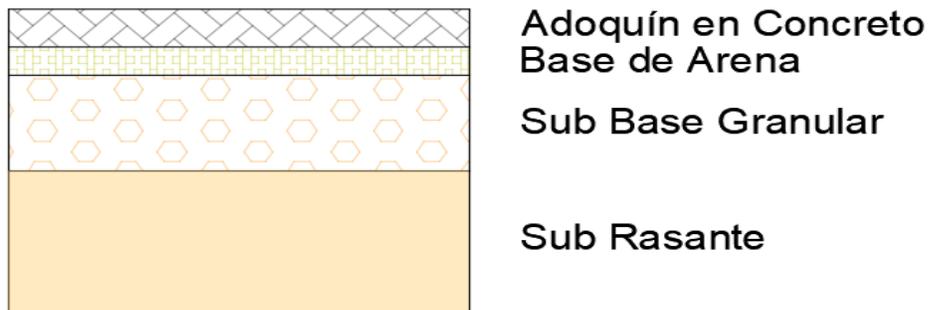


Figura 9- Estructura de pavimento articulado.

La configuración típica de este tipo de pavimento está en soportar la superficie de rodadura sobre una capa de arena, y esta sobre una capa de material granular, con el fin de

corregir las deformaciones causadas por el tráfico generalmente se realiza sobre terrenos altamente inestable con el fin de hacerle mantenimiento periódico de bajo costo.

Estructuras de un pavimento. Las estructuras generales están conformadas por diferentes capas de materiales, estos tienen la función de disipar las cargas y reducir los efectos sobre la sub rasante

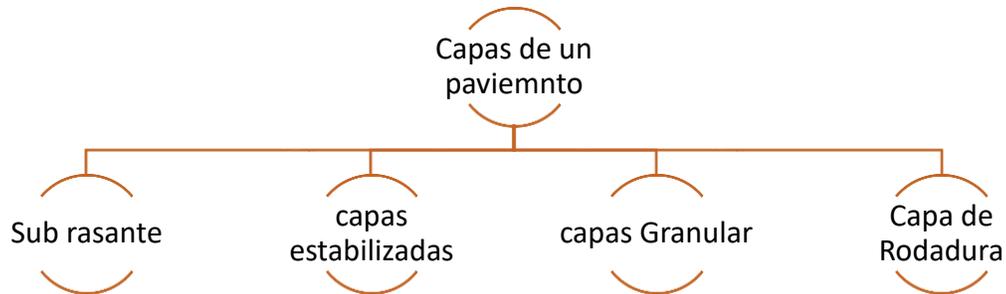


Figura 10 - Capas de un pavimento

Sub rasante. Una de las partes más importantes para el diseño y construcción de un pavimento es la sub rasante, debido a que, es la base donde se soportará la estructura de pavimento.

“Se llama subrasante al suelo de cimentación del pavimento, pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado; o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimientos del diseño geométrico de la vía a proyectar.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular, tales como: GW, GP, SW, SM, ML o incluso SC, siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad” según Salas, 2012, pág. 42.

Es la parte que soporta la estructura de pavimento esta puede estar constituida por el terreno natural como gravas, arenas y arcillas no plásticas, por terraplenes de material seleccionado, estos tienen que estar compactados a mínimo un 90% de la densidad máxima seca.

CBR. California Bearing Ratio en sus siglas en ingles, es el ensayo más característico para evaluar la capacidad de soporte de los suelos, consiste en la penetración de un pistón sobre una muestra de suelo, este resultado es comparado con muestras patrón del ensayo original a una profundidad de 0.1” y 0.2”. en la figura siguiente se puede observar la relación que existen entre el CBR y el módulo de reacción de la sub rasante

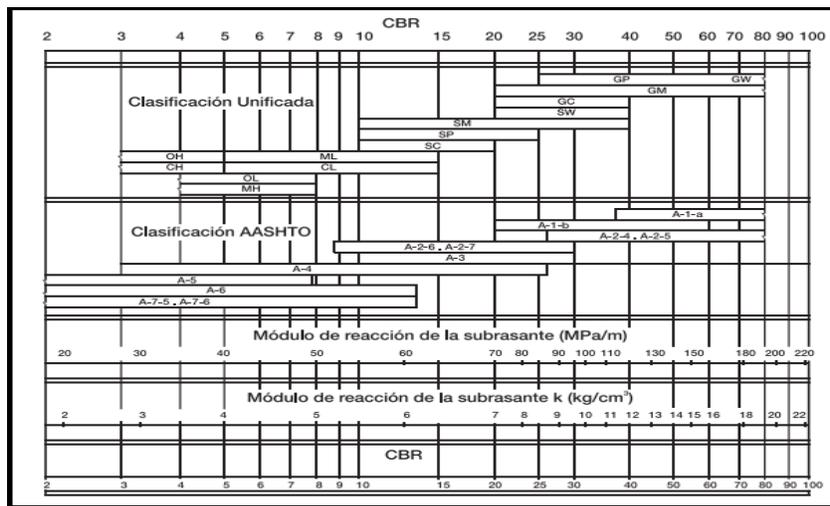


Figura 11. Monograma relación CBR y Modulo reacción

Módulo reacción(k). Para diseños de pavimento rígidos, el parámetro utilizado es el k que se determina como la precisión necesaria por el plato de carga para producir una deformación, por lo general el ensayo directo utilizado para es el ensayo de placa, para efectos de este proyecto se trabajara con ecuaciones de correlación con el CBR

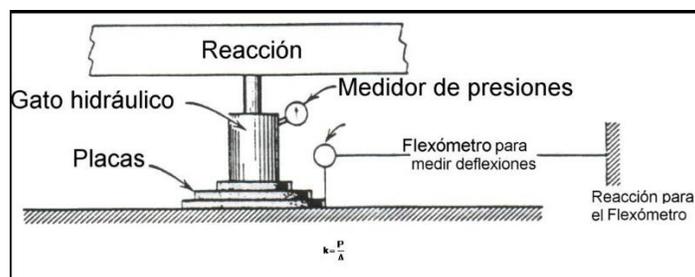


Figura 12. Esquema de ensayo de placa.

Capas granulares. Están constituidas por materiales seleccionados y clasificados, que deben cumplir ciertas características establecida en la Norma INVIAS, de acuerdo al manual de carretera (2012),” Las capas granulares conforman la estructura resistente del pavimento, siendo las principales responsables de absorber y distribuir adecuadamente al terreno las tensiones que genera el tráfico, de manera que no se produzcan deformaciones excesivas ni permanentes”

Las capas granulares son consideradas como bases y sub bases, esto lo determina su granulometría y las características mínimas establecida dicha norma.

Capas estabilizadas. La mejor forma de mejorar las características de algún material puede ser mediante la utilización de productos estabilizantes de acuerdo con Maldonado, 2013.

“La estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico logrando así que se modifiquen las características de los suelos. Se dice que es la corrección de una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su plasticidad y así mejorar su comportamiento como material constitutivo de un pavimento”.

La adicción de productos químicos o aplicando mecanismos físicos, genera el mejoramiento de características como resistencia, plasticidad, permeabilidad, capacidad portante entre otras, con el fin de mejorar las capacidades y disminuir la estructura del pavimento.

Superficie de rodadura. La superficie final donde transitan los vehículos los denominamos capa de rodadura, esta tiene que ser cómoda, confortable y segura, esta puede estar construida por diferentes tipos de material como el concreto hidráulico, una mezcla bituminosa o una superficie en adoquín.

Método PCA-84. La metodología de diseño de la Portland Cement Association. (PCA), este procedimiento se fundamenta los criterios de fallas por fatigas y erosión, causados por el paso de la carga, según Montejo, 2002, pág. 320 “la PCA es aplicable a los diferentes tipos de pavimentos rígidos...tiene en cuentas algunas consideraciones que antes no se habían cubierto por algunos métodos”, como lo dice al autor la metodología tiene en cuentas factores como el efecto de la transferencia de carga, efectos de las bermas de concreto y los criterios de fallas.

Criterio de fatiga. El análisis para evaluar los esfuerzos producidos en los bordes de las losas del pavimento, debido a la aplicación de las cargas impuestas por el tráfico. Becerra, 2012, pág. 145 “Las tensiones más críticas se dan cuando la posición de las cargas está ubicada en el borde del pavimento y equidistantes de las juntas transversales de contracción dentro de un paño”, se debe cuantificar el consumo de la fatiga con un valor cercano a 100%, debido a que un valor menor producirá una estructura sobredimensionada.

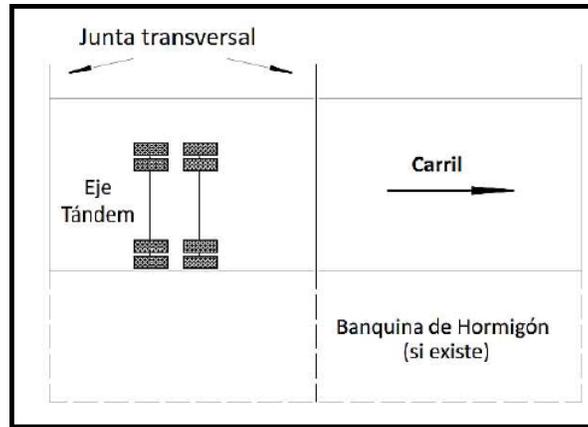


Figura 13. Criterio de fatiga.

Criterio de erosión. Los esfuerzos de erosión están relacionados con la capacidad de la pérdida de material del soporte de la losa, de acuerdo con Becerra, 2012, pág. 146 “Las deflexiones más críticas ocurren en la esquina de la losa, cuando la carga se ubica en la junta transversal de contracción, con las ruedas cercanas a la esquina”, el esfuerzo producido en la esquina de la losa produce el efecto denominado bombeo que se define como la expulsión de material debajo de la losa por la acumulación de agua y el lavado del material de soporte.

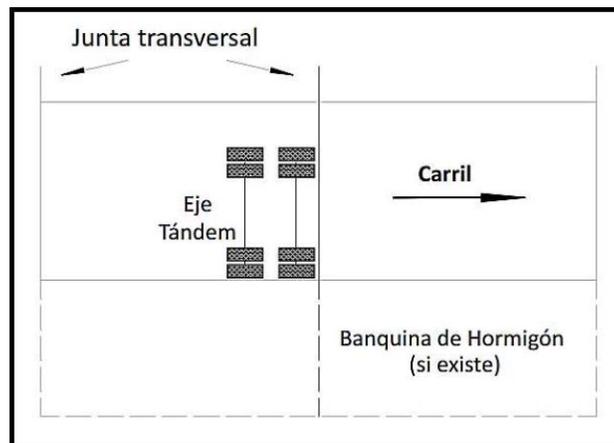


Figura 14. criterio de erosión.

Factor de seguridad por carga (FSC). La PCA recomienda multiplicar los valores de las cargas esperadas por un factor de seguridad de acuerdo con el nivel de tráfico que está presente, como lo

determina Montejo, 2002.” ... se clasifican en cuatros FSC con valores entre 1 y 1.3” como se muestran a continuación

- FSC = 1.0, para caminos, avenidas residenciales, dónde los volúmenes de tránsito de vehículos pesados sean bajo
- FSC = 1.1, para autopistas y vías principales, donde el volumen de tránsito de vehículos pesados sea moderado.
- FSC = 1.2, para vías importantes, dónde el tránsito deba ser ininterrumpido, y exista un alto volumen de tránsito pesado.
- FSC = 1.3, sólo para casos especiales, en los que la vía se la única y no pueda ser interrumpida

Variables de diseño. Para el dimensionamiento de la estructura de pavimento, se tendrán que tener diferentes tipos de variable, la confiabilidad de un diseño está relacionada con el manejo adecuado de las tomas de datos y procesamiento de la información de las variables, entre las cuales están el tránsito, periodo de diseño, sub rasante, materiales para soporte del pavimento, características del concreto, juntas y barras de transferencia.

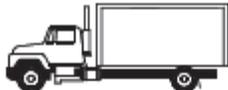
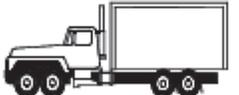
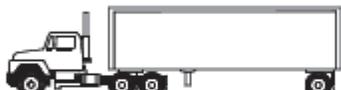
Tránsito. Es considerada la variable más importante en el dimensionamiento de los pavimentos, debido a proporciona la capacidad de carga que soportara la estructura de pavimento durante su vida útil, acuerdo a Kutz ,2011

“el flujo de tráfico en las carreteras se compone de varios tipos de vehículos, las cargas de tráfico de diseño se expresan en forma de repeticiones de carga de eje de vida útil de diseño por incremento de carga y configuración de eje de hecho, las características del tráfico se describen

como el número de repeticiones de una carga de un solo eje de 18,000 lb (80 kilonewtons). Esto generalmente se conoce como la carga equivalente de un solo eje (ESAL)”

El tránsito que circula en una vía se clasifica en diferentes tipos como automóviles, buses y camiones, de acuerdo con su configuración de ejes simple, tándem, tridem. El paso de cada vehículo se transforma a un eje equivalente de 18000 lb, debido a las repeticiones de pasada de cada vehículo se genera la carga que puede soportar la estructura de pavimento durante su vida útil.

Tabla 1. Configuración de camiones

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión rígido de dos ejes simples.
3		Camión rígido de dos ejes: un eje simple más un eje tándem.
4		Camión rígido de dos ejes: un eje tándem rueda simple más un eje tándem rueda doble.
2S1		Tractocamión de dos ejes simples y un semirremolque con un eje simple.
2S2		Tractocamión de dos ejes simples y un semirremolque con un eje tándem.
2S3		Tractocamión de dos ejes simples y un semirremolque con un eje tridem
3S1		Tractocamión de dos ejes: un eje simple más un eje tándem y un semirremolque con un eje simple
3S2		Tractocamión de dos ejes: un eje simple más un eje tándem y un semirremolque con un eje tándem
3S3		Tractocamión de dos ejes: un eje simple más un eje tándem y un semirremolque con un eje tridem

Distribución de carga por eje. La metodología de la PCA, trabaja bajo el sistema de espectro de carga, para esto debemos conocer la distribución de carga por eje, esto se puede obtener por métodos como:

- Censos para el proyecto
- Estadística pasada de obras similares
- Estudios de medición de pesos en movimiento en vías similares, la obtención de esta distribución es la parte más difícil de obtener.

Periodo de diseño. Predecir la vida útil de un pavimento es demasiado complejo, la proyección de tránsito debe de ser lo más exactas posibles, como lo define Montejo, 2002, pág. 323 “dado que es difícil predecir el tránsito con suficiente aproximación para un término demasiado largo. Común mente se toma un lapso de 20 años como periodo para diseños de pavimentos rígido”, es fundamental dimensionar la vida útil que se proyecta al pavimento hacer tener un dimensionamiento óptimo de la estructura.

Tabla 2. Periodo de diseño

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito.	30 – 50 años.
Interurbana con altos volúmenes de tránsito.	20 – 50 años.
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito.	15 – 25 años.
Revestida con bajos volúmenes de tránsito.	10 – 20 años.

Modulación de losas. Consiste en el dimensionamiento de las losas de pavimentos para prevenir los efectos de retracción térmica, existen dos criterios de acuerdo el manual de diseños de pavimento rígido de bajos medios y altos volúmenes de tráfico, el primero nos habla que la

relación largo ancho debe estar comprendida entre 1 y 1.3, el segundo es la relación largo igual a entre 20 y 24 veces el espesor de la losa, las secciones delimitadas se conocen como juntas.

Juntas. Son las divisiones del pavimento o dimensionamiento de las losas, son de gran importancia para controlar los esfuerzos de contracción y expansión de concreto, esto permiten inducir y controlar la figuración de las losas, existen juntas de tipo longitudinal y transversal.

Barras de transferencia. Son barras de acero liso de diámetro entre $\frac{3}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ ", sirven para la transmisión de las cargas de los vehículos de una losa a otra, se ubican en las juntas transversales, y se ubican en el centro del espesor de la losa.

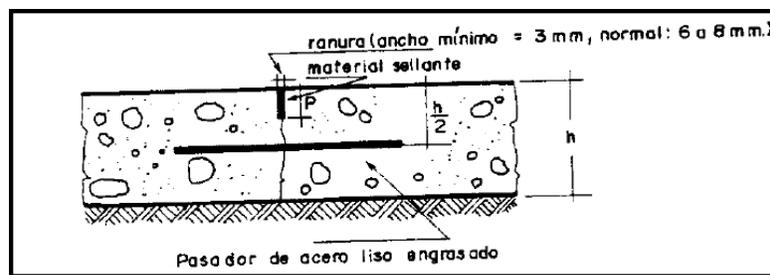


Figura 15. Barra de transferencia

Sello de juntas. Una característica importante en la vida útil del pavimento es el sello según Brockenbrough,2009 “El sellado de juntas prohíbe la infiltración de agua en la base del pavimento y evita que los incompresibles se alojen dentro de la cavidad de la junta”

Como observamos el marco teórico abarca las terminologías más importantes dentro de la elaboración de las estructuras de pavimento pavimentos, como diferentes tipos comparaciones para ilustrar las diferencias que existen en los pavimentos, así hacer al lector mas

5 Metodología

El desarrollo de toda investigación debe ser establecido entre los diferentes tipos de investigación de las cuales tenemos son: histórica, documental, descriptiva, correlacional, explicativa o causal, estudio de caso, experimental, otros

5.1 Tipo de investigación

Este proyecto desarrollara un el tipo de investigación descriptiva como lo define Danhke 1989 (Citado por Hernández, Fernández y Baptista, 2003, pág. 45), los estudios descriptivos “miden, evalúan o recolectan datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar”, es decir, se recolectarán los datos para el análisis del diseño de los pavimentos rígidos.

5.2 Población

Debido a que el estudio se basa en un proyecto de aplicación, la población identificada para este proyecto son los habitantes del barrio las tunas, sector de la comuna No 5 de la ciudad de Riohacha, ubicados en la carrera 21 entre calles 15 y 18.

5.3 Recolección de la información

La recolección de las diferentes variables, es de vital importancia para el desarrollo del proyecto.

5.3.1 Características del suelo.

Se tiene como base de información los datos suministrados por la Alcaldía de Riohacha, la cual muestra resultados realizados a apiques, ensayos de caracterización y ensayo del penetrometro dinámico de cono realizado en el tramo de la carrera 21 entre calles 15 y 18 de la ciudad de Riohacha.

5.3.2 Estimación del tránsito.

Mediante la proyección del tráfico, de acuerdo la información recolectada por la Secretaria de Vías del Municipio de Riohacha, se realizará la estimación de la capacidad de la vía en eje equivalentes, utilizando la metodología del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en su manual para bajos volúmenes de tráfico.

5.3.3 Software de cálculo.

El dimensionamiento de la estructura de pavimento lo realizaremos mediante el software BS-PCAA versión 2018, desarrollado en la universidad del cauca, por los ingenieros Efraín de Jesús Solano Fajardo y Carlos Alberto Benavides Bastida, este programa este basado en la metodología de la PCA-84, permitiéndonos evitar los errores realizados por los monogramas del método, también facilita hacer un proceso interactivo para realizar la sensibilización del diseño.

5.3.4 Calculo de la estructura de pavimento.

Para el diseño de la estructura de pavimento, se deben de conocer variables de capacidad de la sub rasante y el tránsito en ejes equivalentes, se procede a realizar el dimensionar la estructura mediante el software, luego del procesamiento de la información obtener la estructura de pavimento para el periodo de diseño establecido.

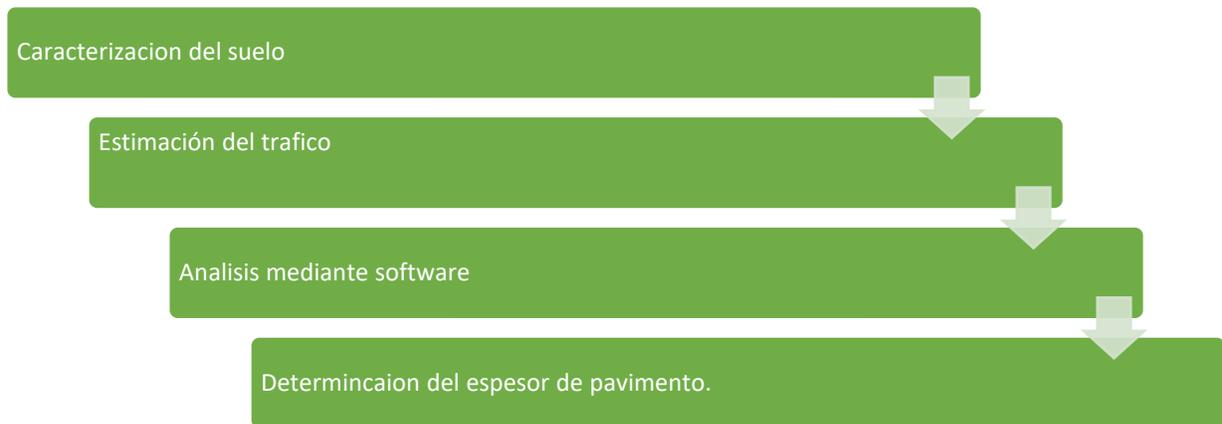


Figura 16 - Estructura de la metodología de diseño.

Como podemos observar el cálculo del dimensionamiento de la estructura de pavimento, se puede desarrollar mediante la estructura metodológica que se muestra en la figura anterior.

6 Diseño de pavimento

La metodología de diseño de la Portland Cemento Association – 1984. (PCA-84), tiene como propósito definir los espesores de la losa de acuerdo con las características de los materiales y otros factores como el módulo de rotura del concreto, modulo elástico, el módulo de reacción de la sub rasante, tránsito, factor de seguridad de carga, factor de mayoracion de repeticiones.

6.1 Módulo de reacción de la sub rasante(k)

El módulo de reacción de la sub rasante se determinará mediante correlación con el California Bearing Ratio (CBR) de un análisis geotécnico de apiques realizados en la zona de estudio por la Alcaldía de la ciudad de Riohacha de la cual se extrajo la siguiente información.

Tabla 3. Cuadro resumen de la exploración geotécnica en la zona de estudio.

APIQUE N°	UBICACIÓN	CBR (%)
1	CR 22 -17	7.2
2	CR 22 -15	8.8
3	CR 22 -18	10.8
4	CR 22 -16	13.2
Promedio		10
Desviacion		2.59
CV		0.26

Fuente: Estudio geotécnico de la comuna 5, barrios las tunas.

Luego de realizar un análisis estadístico se determinó que el CBR de diseño para el tramo comprendido en la carrera 22 entre calles 15 y 18, será de 10%, para el cálculo del módulo de reacción de la sub rasante.

$$K \left(\frac{MPa}{m} \right) = 22,168 * \ln(CBR) + 3,5018$$

$$K \left(\frac{MPa}{m} \right) = 22,168 * \ln(10) + 3,5018 = 54.5 MPa$$

El k de diseño para la estructura de pavimento será 54.5Mpa, debido a las recomendaciones para diseños de pavimento preferiblemente se deberá soportar la losa sobre una capa de sub-base granular como mínimo de 15 cm para carreteras urbanas.

Tabla 4. Módulo de reacción Combinado.

Valor de k para sub-rasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³	MPa/m	Lb/pulg ³
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

Luego de realizar la interpolación del k combinado de acuerdo con la tabla 4, se obtiene un valor de 60.5 MPa, este será el valor de diseño para la losa de concreto.

6.2 Estimación del tránsito futuro

Luego de recolectar información correspondiente al tráfico vehicular, se calculará el espectro de carga con relación a las cargas máximas legales vigente para cada tipo de vehículo comercial, para el Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS).

Tabla 5-TPDs

DISTRIBUCCION DEL TRANSITO		
Tipo de vehiculos	TPDs	%
Autos	245	92%
Buses	4	2%
Camines	16	6%
Total	265	100%

El trafico mostrado en la tabla anterior, podemos observar la distribución de los autos, buses y camiones, para el cálculo de diseño de la estructura de pavimento, se tiene en cuenta solamente los buses y camiones, la distribución de los diferentes tipos de camiones lo podemos observar en la tabla 6.

Tabla 6. Distribución de camiones.

DISTRIBUCCION DE CAMINONES		
C2	8	50%
C3	6	38%
C3S3	2	13%
Total	16	100%

Para obtener los valores del espectro de carga y no contar con valores de pesos reales de los vehículos que circulan, este se asumirá respecto a la configuración de los vehículos comerciales y los pesos máximos legales vigentes para cada tipo de eje, en la figura 17, se muestran las configuraciones de eje por cada tipo de camión.

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Figura 17. Clasificación vehicular.

Fuente: Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes. INVIAS

De acuerdo con la figura 18 se observa el peso máximo por eje de acuerdo con su configuración, y la figura 19 podemos determinar el peso máximo bruto por tipo de camión.

Tipo de eje	Peso máximo por eje, kg
Eje sencillo	
Dos llantas	6,000
Cuatro llantas	11,000
Eje tándem	
Cuatro llantas	11,000
Seis llantas	17,000
Ocho llantas	22,000
Eje trídem	
Seis llantas	16,500
Ocho llantas	19,000
Diez llantas	21,500
Doce llantas	24,000

Figura 18. Peso máximo por eje

Fuente: Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes. INVIAS

Vehículos	Designación	Peso bruto vehicular kg	Tolerancia positiva de medición kg
Camiones	2	16.000	+/- 400
	3	28.000	+/- 700
	4	31.000	+/- 775
	4	36.000	+/- 900
	4	32.000	+/- 800
Tracto-camión con semirremolque	2S1	27.000	+/- 675
	2S2	32.000	+/- 800
	2S3	40.500	+/- 1.013
	3S1	29.000	+/- 725
	3S2	48.000	+/- 1.200
	3S3	52.000	+/- 1.300
Remolque	R2	16.000	+/- 400
Camión remolque	2R2	31.000	+/- 775
	3R2	44.000	+/- 1.100
	3R3	48.000	+/- 1.200

Figura 19.. Peso bruto por tipo de camión

Fuente: Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes. INVIAS

6.2.1 Período de Diseño.

Según. Montejo, 2002. "... común mente se toma un periodo de diseño de 20 años para calles y carreteras de bajos volúmenes", para este proyecto el periodo de diseño será de 20 años como lo recomienda Montejo es su libro, también debido al poco mantenimiento que se realiza después de construidos a los pavimentos en la ciudad.

6.2.2 Cálculo del espectro de carga.

para este proyecto no se cuentan con series historias de conteo vehicular, por lo cual se estimará el volumen vehicular mediante una ecuación de crecimiento exponencial, presentada en el manual de diseño de pavimentos con medios y altos volúmenes de tránsito.

$$N = (N_0) * \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

N= Es el número de vehículos que circulan durante el periodo de diseño:

N₀= Es el número de vehículos en el año 0 de puesta de servicio la vía.

r= Es la tasa de crecimiento anual de vehículos.

n= Número de años del periodo de diseño.

Tabla 7. Tasa de crecimiento.

TDPS	Tasas de crecimiento (%)				# Estaciones analizadas
	Total vehículos		Vehículos comerciales		
	Rango	Promedio	Rango	Promedio	
< 500	2.0 - 4.0 %	3,6%	2.0 - 4.0 %	2,9%	28
500 - 1000	3.0 - 6.0 %	3,4%	2.0 - 4.0 %	2,6%	49
1000 - 2500	3.0 - 6.0 %	4,3%	2.0 - 5.0 %	3,3%	134
2500 - 5000	3.0 - 6.0 %	4,3%	3.0 - 5.0 %	3,4%	144
5000 - 10000	3.0 - 6.0 %	4,5%	3.0 - 5.0 %	3,8%	146
> 10000	3.0 - 6.0 %	4,3%	3.0 - 6.0 %	3,8%	89

La tasa de crecimiento vehicular para este proyecto se estimará en 2% anual. Un rango aceptable para vías de bajo volúmenes de tráfico, como se muestra en la tabla 7. Los cálculos de los vehículos totales para el periodo de diseño.

Tabla 8. Número de vehículos totales para el periodo de diseño.

Tipo de vehiculos	No	N
Buses	4	35474
C2	9	79817
C3	6	53211
C3S3	2	17737

Para el cálculo de espectro de carga tenemos que realizar la composición vehicular de acuerdo con la configuración de eje y peso máximo legal vigente.

Tabla 9. Composición vehicular por pesos máximo.

Eje Vehículo	Simple (Ton)	Simple doble (Ton)	Tamden (Ton)	Tridem (Ton)	Peso Total (Ton)
Buses	4	6			10
C2	6	10			16
C3	6		22		28
C3S3	6		22	24	52

Luego de realizar la composición vehicular, se procede a calcular los espectros de cargas como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10. Espectro de carga.

Tipo de eje	Peso max.	No de repeticiones	Factor Carril	N.total
Simple	4	35474	0.5	17737
Simple	6	150765		75383
Simple doble	6	35474		17737
Simple doble	10	79817		39908
Tamden	22	70948		35474
Tridem	24	17737		8869

6.3 Módulos del concreto (M_r)

El manual de diseño de pavimentos de concretos de bajo, medios y altos volúmenes de tráfico, recomienda utilizar valores entre el rango de 3.8 a 4.5 Mpa, para este proyecto se determinó utilizará un valor modular 4.0 MPa, es el parámetro fundamental para prevenir el criterio de falla por fatiga.

6.4 Factores de ajuste

La metodología PCA-84 considera entre sus parámetros dos factores de ajustes, el factor de ajuste por carga y el factor de ajuste por tránsito como se presentan a continuación.

6.4.1 Factor de seguridad carga.

Este proyecto se considera que el tráfico es de bajo volumen, lo cual el factor de será de 1.0, el cual afecta la carga del espectro de carga.

Tabla 11. Factor de carga.

FSC	
Tránsito	Factor
Bajo	1.0
Medio	1.1
Alto	1.2
Especial	1.3

6.4.2 Factor de mayoración de repeticiones

Para el proyecto se tomó una tasa de crecimiento anual del 2% y un periodo de diseño de 20 años lo cual establece un factor de 1.2, el cual afecta las repeticiones esperadas para dar un margen de seguridad por motivos

Tabla 12. factor de mayoración de repeticiones.

Tasas anuales de crecimiento de tránsito y sus correspondientes factores de proyección		
Tasa de crecimiento anual de tránsito %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3.5	1.4	2
4	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6	1.8	3.2

6.5 Dimensionamiento de la estructura de pavimento

Para el dimensionamiento de la estructura utilizaremos el software BS-PCAA desarrollado en la Universidad del Cauca, por los ingenieros Efraín de Jesús Solano Fajardo y Carlos Alberto Benavides Bastida, esta herramienta de licencia gratuita, se soporta en el método de PCA-84 para pavimentos rígidos, este software permite la interacción rápida, evitando los monogramas del método.



Figura 20. software BS-PCAA

El programa BS-PCAA, requiere el ingreso de los parámetros de condicionamiento para el dimensionamiento de la estructura, a partir de la interacción de diferentes parámetros, se realizan el análisis de sensibilidad para el consumo de erosión y fátiga, hasta obtener valores entre el 90 y 100% aproximadamente, sin sobrepasar este último.

Tabla 13. Parámetro de diseño

Parametro	Unidad	Valor
kcombinado	60.5	Mpa/m
Mr	4	Mpa
Ec	25000	Mpa
F. carga	1	-
F. tránsito	1.2	-

Luego de realizar el análisis de sensibilidad en el software, se obtuvo un espesor de 18 cm, el cual cumple con los criterios de fatiga y erosión al no sobrepasar el 100 % los valores de consumo en estos. Como se muestra en la siguiente figura.

Descripción :

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

Resistencia K del Apoyo :

Espesor Losa [h1] :

Longitud Losa [L] :

Ancho Losa [W] :

Módulo de Elasticidad [E1] :

Densidad [s1] :

Relación de Poisson [u1] :

Módulo de Rotura [Sc] :

Coefficiente de Variación [CV] (%) :

Ancho de Berma [D0] :

Factor de Trabazón de Agregados [AGG] :

Con Pasadores

% Camiones al Borde :

Datos Ambientales

Diferencial Temperaturas [dT] :

Coefficiente Térmico [alfa] :

% Tránsito para Alabeo :

Consumo Erosión (%) : **11.3671**

Consumo Esfuerzo (%) : **91.9415**

Figura 21. Calculo del espesor de la losa

6.6 Modulación de losas

Para la cuenta con un ancho de 10 metros, para el propósito de este diseño se propone que la vía quede de dos carriles con ancho cada uno de 3.3m, con una zona de bordillo-anden de 1.2m respectando los límites de colindancia de la calle, adoptaremos el criterio del manual de diseño de bajos volúmenes en concreto, que nos dice que la relación largo año, debe estar entre un rango de 1 a 1.3, la experiencia nos dice que esta relación debe estar lo más cerca posible a 1.

Para este proyecto de determino un ancho de 3.5m, lo que da una relación de 1.06, un valor aceptable dentro del rango descrito.

6.6.1 Barras transversales.

De acuerdo con la siguiente tabla 13, se puede determinar los parámetros de la barra a utilizar en las juntas transversales, mediante el espesor de la losa, con un espesor de 18 cm, se obtiene una barra de 7/8" de diámetro, con longitud individual de 0.35m y separación de 0.30m

Tabla 14. Barra transversal.

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

Fuente: Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes. INVIAS

6.6.2 Barras longitudinales

De acuerdo con la siguiente tabla 14, se puede determinar los parámetros de la barra de amarre para la junta, mediante los criterios de diámetro de la barra, espesor de la losa, ancho del carril y la resistencia a la fluencia, se asumen los siguientes valores $f_y=60000$ y diámetro de 1/2", de

acuerdo con los criterios anteriores se obtiene los siguientes datos para la barra de amarre o longitudinales, barra de longitud de 0.85 y separación de 1.2m

Tabla 15. Barra longitudinal.

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

Fuente: Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes. INVIAS

6.7 Característica final de la estructura de pavimento.

La estructura de pavimento propuesto, luego de realizar un análisis a todos los factores que afectan el diseño es el siguiente.

- ✓ Módulo de rotura de concreto: 4.0 MPa.
- ✓ Sub base granular: 15 cm
- ✓ Refuerzo transversal: barra lisa de $\phi = 7/8''$
- ✓ Refuerzo longitudinal: barra corrugada $\phi = 1/2''$

- ✓ Modulaci3n: 3.3 x 3.5 m
- ✓ Anden de 1 m
- ✓ Bordillo 0.2 m
- ✓ Sello y cord3n de juntas.

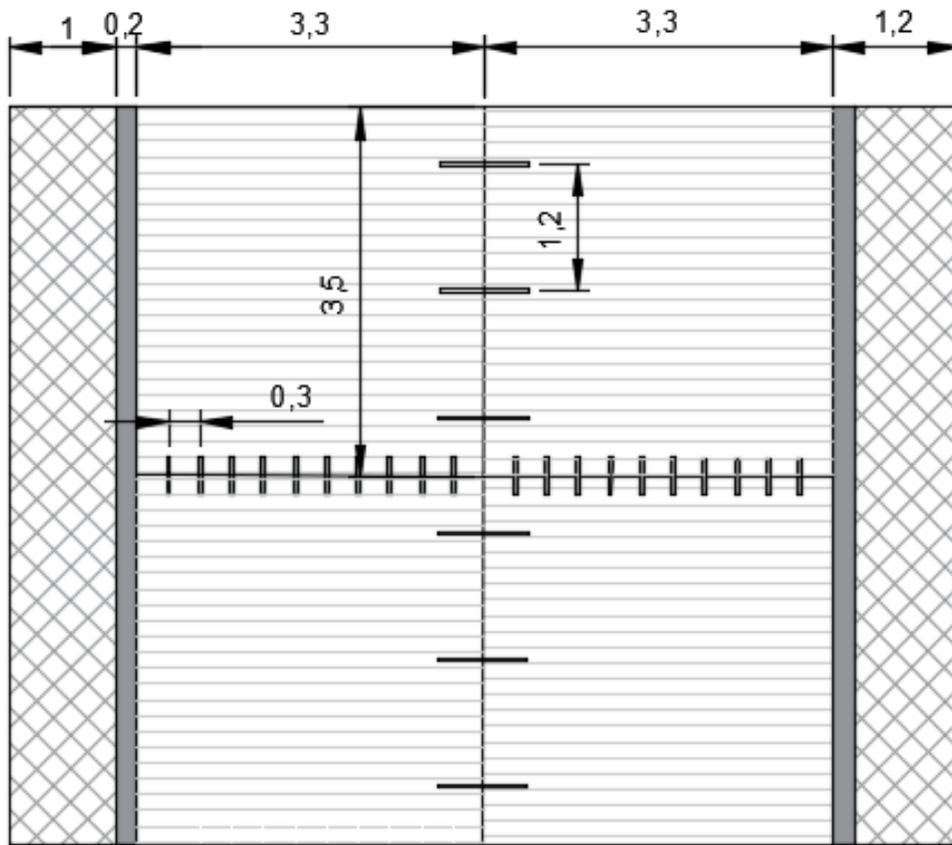


Figura 22. Configuraci3n de losa de dise1o

6.8 Cantidades de obras.

A continuación, se presentará un aproximado de las cantidades de obras a utilizar, algunas tienen que ser verificadas en campo para su correcta calculo.:

Tabla 16. Cuadro de cantidades

Actividades	Unidad	Cantidad
Excavacion de material comun*	m3	364.3
Sub base granular	m3	273.2
Concreto MR 4.2	m3	327.9
Anden e=0.10 m	m2	522.0
Bordillo de 0.20 m	m	522.0
sello de junta.(incluye Cordon)	m	547.8
Acero de 7/8" liso	Ton	103.9
Acero de 1/2" corrugada	Ton	6.0

7 Conclusiones

La estructura de diseño óptima para el pavimento rígido propuesta que cumpla los criterios de falla, está constituida por una losa de 18 cm de espesor con longitud de 3.3 x 3.5 m, en una longitud total a pavimentar a 276 m, con módulo de rotura de 4.2 MPa, el cual debe estar soportada sobre un material granular tipo sub base que cumpla la especificación 330-13 del INVIAS.

La recopilación documental, normativa y métodos de diseño citadas dentro de este proyecto, son las que están vigente durante el periodo de elaboración, entre las más importante tenemos la metodología de diseño de la Portland Cement Association PCA-84.

Los análisis a los parámetros de diseños (tráfico, suelo), fueron suministrados por la Distrito Turístico y Cultural de Riohacha, estos fueron procesado por análisis estadísticos y métodos de proyección de acuerdo con el manual de diseño de pavimentos del INVIAS, para elegir los valores representativos para e diseños.

Luego de realizar los análisis de sensibilidad mediante el software de diseño BS-PCAA, para la estructura de pavimento que satisface los criterios de fallas, se obtuvo que una losa de 18 cm para el periodo de diseño cumple para satisfacer el consumo de la vida útil.

8 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar materiales de calidad de acuerdo con las especificaciones de carreteras del INVIAS para materiales granulares y para concreto de losas.
- La modulación de losas debe ser respetada para prevenir fisuras por contracción, lo cuales pueden generarse debidos a las altas temperaturas que se generan en la ciudad.
- Realizar los cortes de las juntas en un tiempo entre 12 y 24 horas después colocado el concreto
- Utilizar productos para sello de junta polímeros de silicona y cordón llenante.
- Construir los andenes y bordillo para generar el confinamiento de las losas y proteger la seguridad para el tráfico peatonal de la zona.
- Colocar las barras de transferencia sobre canastillas, para asegurar su horizontalidad y la transferencia de carga.

9 Bibliografía

- Alcaldía de Riohacha, Acuerdo 006 de 2019, Riohacha Incluyente y Sostenible, recuperado de www.riohachalaguajira.gov.co/Transparencia/planeaciongestionycontrol/PLAN%20DE%20DESARROLLO%2020162019%20RIOHACHA%20INCLUYENTE%20Y%20SOSTENIBLE.pdf
- Pavimentos, Universidad Mmayor de San simon UMSS, 2012, recuperado de https://es.slideshare.net/roy_foker01/libro-de-pavimentos-56459932
- Myer Kutz. Manual de Ingeniería de Transporte, Volumen II: Aplicaciones y Tecnologías, Segunda Edición. INGENIERÍA DE PAVIMENTOS I: PAVIMENTOS FLEXIBLES, Capítulo (mcgraw-Hill Education: Nueva York, Chicago, San Francisco, Lisboa, Londres, Madrid, Ciudad de México, Milán, Nueva Delhi, San Juan, Seúl, Singapur, Sydney, Toronto, 2011). <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071614771/chapter/chapter11>
- Becerra Salas, Mario. Tópicos de pavimentos de concreto. Lima. 2012, recuperado de www.academia.edu/9036949/Autor_T%C3%b3picos_de_Pavimentos_de_Concreto
- Montejo, ingeniería de pavimento de carretera. Tomo 1, 2002, recuperado de https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos__Alfonso_Montejo_Fonseca
- Pavimentos Articulados (s. F) 2019, recuperado de <http://udesobrasciviles.blogspot.com/2009/04/pavimentos-articulados.html>

- Roger L. Brockenbrough. Manual de ingeniería de carreteras: construcción y rehabilitación de la infraestructura, tercera edición. DISEÑO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS, Capítulo (The mcgraw-Hill Companies, Inc., 2009, 2003, 1996). <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071597630/chapter/chapter3>

- Antonio Ortega Maldonado, Pavimentos Flexibles,2014 recuperado de <http://www.construaprende.com/docs/trabajos/310-pavimentos-flexibles?start=1>