

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

**DISEÑO EN PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CALLE 27ª ENTRE CARRERA 11 Y
10 DEL MUNICIPIO DE CHIQUINQUIRÁ, BOYACÁ.**



PROYECTO DE APLICACIÓN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

Presentado por:

Ing. ROBERTH STIVEN RODRIGUEZ RUGE

Contenido

PROBLEMA.....	6
Objetivo general.....	7
Objetivos Específicos	7
Delimitación espacial	8
1. Marco teórico.....	11
1.1. Pavimento.	11
1.2. Pavimento Rígido	11
1.3. Subrasante	13
1.4. Capas Granulares.....	15
1.5. Método AASHTO 93.....	16
1.6. Tránsito	18
1.7. Periodo de Diseño	18
2. Metodología.....	19
2.1. Tipo de Investigación.....	19
2.2. Población.....	19
2.3. Recolección de la información	19
2.3.1. Características del Suelo	19
2.3.2. Estimación del Tránsito	19
2.3.3. Software de cálculo.....	19
2.3.4. Cálculo de la estructura de pavimento.	20
3. Diseño de Pavimento.....	21
3.1. Módulo de reacción de la sub rasante(k)	21
3.2. Desviación estándar normal (Z_r).....	22
3.3. Desviación normal del error estándar combinado en la estimación de los parámetros de intervención y el comportamiento del pavimento (s_0)	23
3.4. Diferencia entre el nivel de serviciabilidad inicial (p_0) y el índice de serviciabilidad terminal de intervención (p_t) (Delta PSI).....	23
3.5. Determinación de coeficiente de drenaje (cd).....	23
3.6. Determinación del coeficiente de transmisión de carga (j)	24
3.7. Determinación Módulo de elasticidad del concreto	24
3.8. Factor de pérdida del soporte	24
3.9. Tránsito	25
4. Dimensionamiento espesor de concreto	25
4.1. Modulación de losas	26

4.2. Barras transversales.....	27
4.3. Barras longitudinales.....	27
5. Estructura de pavimento.....	28
6. Conclusiones.....	31
7. Recomendaciones.....	32
8. Bibliografía.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Colombia y departamento de Boyacá.....	8
Figura 2 Municipio de Chiquinquirá.....	9
Figura 3 Ubicación del proyecto.....	9
Figura 4 Vía a intervenir.....	10
Figura 5 Pavimento de concreto simple con pasadores.....	13
Figura 6 Relación K y CBR.....	14
Figura 7 carta de diseño para la obtención del módulo de reacción combinado – figura 3.3. Método de la guía de AASHTO.....	14
Figura 8 Procedimiento de implementación Carta de diseño.....	15
Figura 9 Metodología de diseño.....	20
Figura 10 resultado de CBR mediante PDC.....	21
Figura 11 Cálculo de espesor de losa de concreto.....	26
Figura 12 Detalle Acero de Refuerzo Losas.....	29
Figura 13 Estructura de pavimento.....	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDOS DE ACUERDO CON LA CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DEL CAMINO. (TABLA 2.2 AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993).....	22
Tabla 2 DETERMINACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL ZR A PARTIR DE LA CONFIABILIDAD. (TABLA 4.1 AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993).....	22
Tabla 3 COEFICIENTES DE DRENAJE MÍ RECOMENDADOS. (TABLA 2.4 AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993).....	23
Tabla 4 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J). (FUENTE: GUÍA AASHTO “DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS, 1993”).....	24
Tabla 5 RANGO DE VALORES DE LS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE MATERIAL. FUENTE: AASHTO.....	25
Tabla 6 CÁLCULOS NUMÉRICOS PARA DEFINICIÓN DE ESPESOR DE LOSA, METODOLOGÍA AASHTO-93. (CON SUB BASE COMO SOPORTE DE LOSA).	25
Tabla 7 Dimensiones Barras transversales.....	27
Tabla 8 Dimensiones barras longitudinales.....	28

PROBLEMA

Las “vías municipales o terciarias” que dependen administrativamente de los municipios y enlazan las cabeceras municipales con las veredas. En las vías terciarias se encuentra en uno de los principales factores de subdesarrollo del país, esto debido a que la red terciaria Nacional esta comprendida por 142.284km de los cuales 134.284km se encuentran sin pavimentar y 45% en mal estado, generado por malas administración de los mandatarios de turno (LA REPUBLICA, 2019).

Muestra de ello es que, según cifras del INVÍAS, “Boyacá, Cundinamarca y Antioquia concentran el 28 por ciento de la malla vial terciaria”, y Findeter agrega que estas tres regiones solo representan el 9 por ciento del territorio nacional, pero en ellas está el 47 por ciento del PIB.El impacto de las vías sobre el bienestar de la población lo confirma el investigador Carlos Felipe Sánchez, de la Universidad de los Andes: “En promedio, las vías aumentan 9 por ciento el ingreso anual de los hogares, 10,4 por ciento el consumo de los hogares más ricos y 8,4 por ciento el de los más pobres. Una mayor provisión de vías se asocia con una reducción de la pobreza rural, incluyendo la pobreza extrema” (El TIEMPO, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior es necesario plantear ¿Cuál sería el diseño de la estructura de pavimento que mejor se comporte para el segmento vial estudiado para una vía terciaria ubicada en la calle 27^a entre carrera 11 y 10 del municipio de Chiquinquirá, Boyacá?

Objetivo general

- Diseñar la estructura de pavimento rígido mediante la metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 93), para una modelación óptima de tramo de vía terciaria ubicada en la calle 27^a entre carrera 11 y 10 del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.

Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones de la Subrasante y las características del tránsito del segmento de la vía a intervenir.
- Analizar la información para el diseño de la estructura según los criterios de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 93), que permitan el dimensionamiento de la estructura de pavimento
- Calcular el espesor de losa de concreto hidráulico por el software de AASHTO, para su aplicación en la calle 27^a entre carrera 11 y 10 del municipio de Chiquinquirá, Boyacá.

Delimitación espacial

El presente proyecto, se ejecutará en el Departamento de la Boyacá ubicado en el eje central de la república de Colombia, en el Municipio de Chiquinquirá ubicado al sur-occidente del departamento, en el barrio sagrado corazón, comprendido en la calle 27ª entre carrera 11 y 10



Figura 1 Mapa de Colombia y departamento de Boyacá

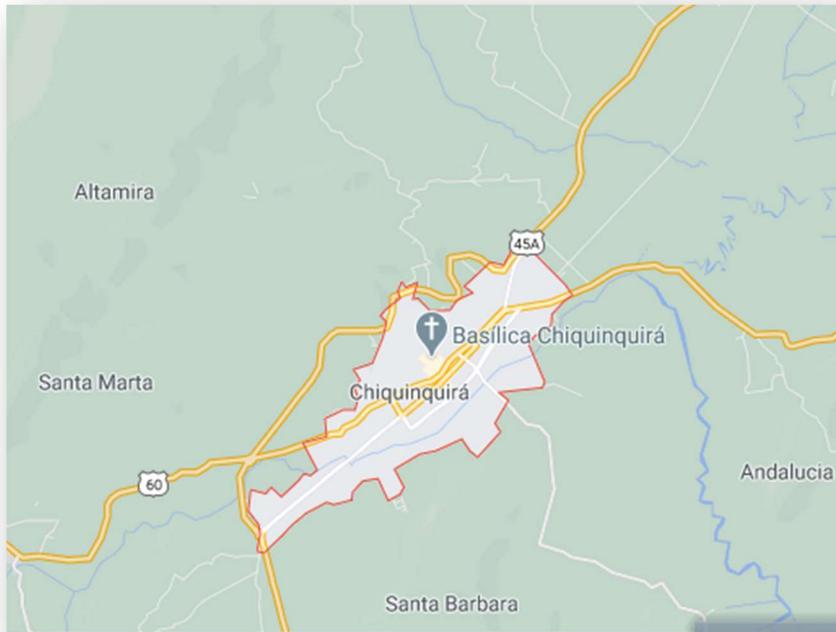


Figura 2 Municipio de Chiquinquirá



Figura 3 Ubicación del proyecto



Figura 4 Vía a intervenir

1. Marco teórico

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

1.1. Pavimento.

Basado en la definición del texto guía de carreteras de la universidad Mayor de san Simón (UMSS), donde se denota que la estructura de pavimento tiene la finalidad de proporcionar una superficie de rodamiento para permitir un tráfico seguro y confortable, estas estructuras pueden variar basado en diferentes factores que influyen en el diseño (clima, tránsito, periodo de diseño) el cual será apoyado sobre una fundación apropiada, ya sea sobre terreno natural o terraplenes (Universidad Mayor de San Simon, 2004).

Existen diferentes tipos de pavimento como lo son:

- Rígido
- Flexible
- Articulado

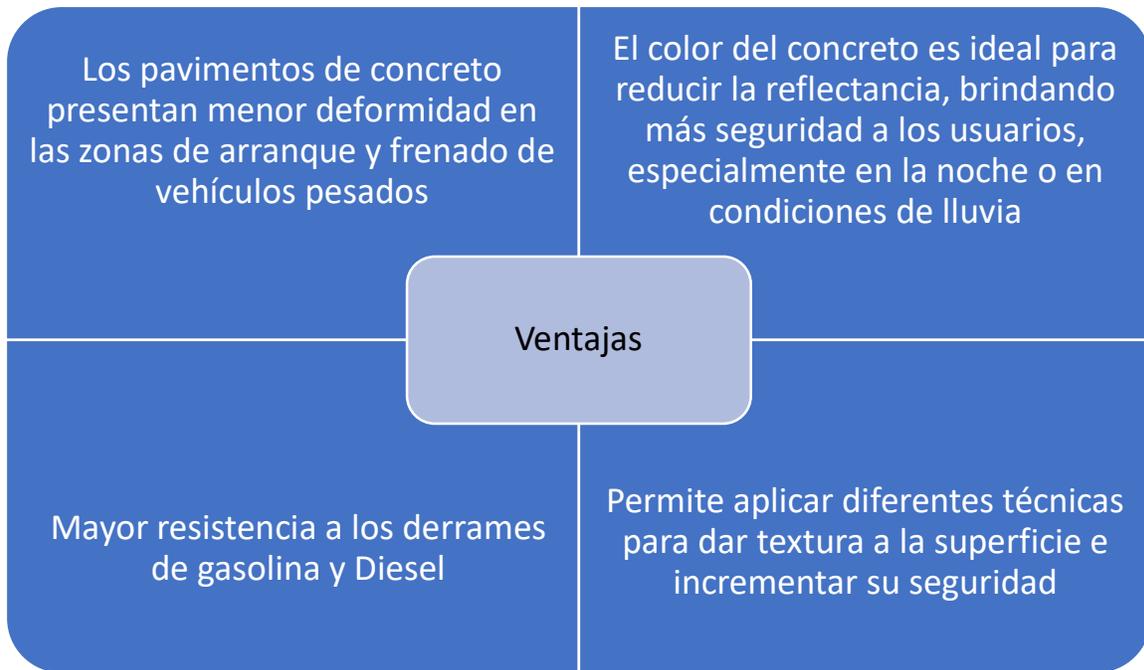
Para la elaboración del proyecto se aplicará el tipo de pavimento rígido.

1.2. Pavimento Rígido

La estructura de pavimento rígido esta conformada por placas elaboradas con cemento portland, las cuales pueden ser apoyadas en una capa granular o directamente sobre la subrasante (INVÍAS, Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes., 2015).

“Para la elaboración del pavimento rígido se implementa concreto diseñado especialmente para resistir esfuerzos a flexión, impuestos por el paso de vehículos en las estructuras de pavimento” (CEMEX, 15).

Este tipo de estructura cuenta con diferentes ventajas por las cuales se implemento en el presente proyecto:



(CEMEX, 15).

Existen diferentes tipos de pavimentos de concreto:

- Sin pasadores
- Con pasadores
- Reforzados con juntas
- Refuerzo continuo

Sin Pasadores. Según la ASOCEM, se denomina cuando el pavimento de concreto no presenta refuerzo de acero para transferencia de carga, la cual se solventa implementando trabazón entre agregados sobre las juntas. (ASOCEM, 1997).

Con pasadores. Según la ASOCEM, los pasadores son pequeñas barras de acero liso las cuales se instalan para realizar una correcta transferencia de cargas entre losas (ASOCEM, 1997).

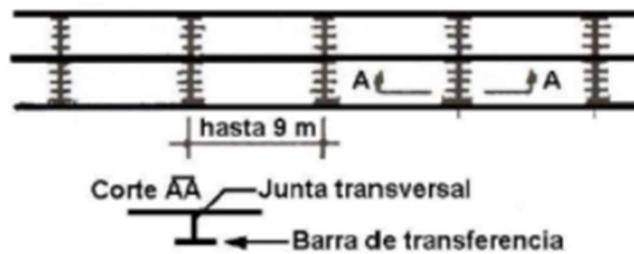


Figura 5 Pavimento de concreto simple con pasadores

1.3. Subrasante

La subrasante en una estructura de pavimento es la base donde se apoyará la estructura, la cual puede ser suelo natural o terraplén cuando el suelo no es óptimo para esta cimentación (Becerra Salas , 2012).

Para la subrasante en pavimentos rígidos, según la guía de diseño de pavimentos con placa huella, “los pavimentos rígidos la influencia de la rigidez del apoyo de las losas presenta una incidencia menor, hasta el punto que si no fuera por la necesidad de controlar el bombeo y proporcionar un apoyo homogéneo a las losas éstas se podrían construir directamente sobre la subrasante. En los pavimentos de concreto por ser rígidos y además reforzados la influencia de la rigidez del apoyo es despreciable después de cumplir con unos requisitos mínimos” (INVÍAS, 2015).

Para la evaluación de la capa de cimentación de la estructura de pavimento (subrasante) se tiene principalmente dos métodos los cuales son:

California Bearing Ratio (CBR) el cual 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 (INVÍAS, Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes., 2015).

Módulo de reacción de la Subrasante (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 (INVÍAS, Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes., 2015).

Estos dos parámetros de evaluación de la subrasante se pueden relacionar con correlaciones establecidas y también con el siguiente monograma

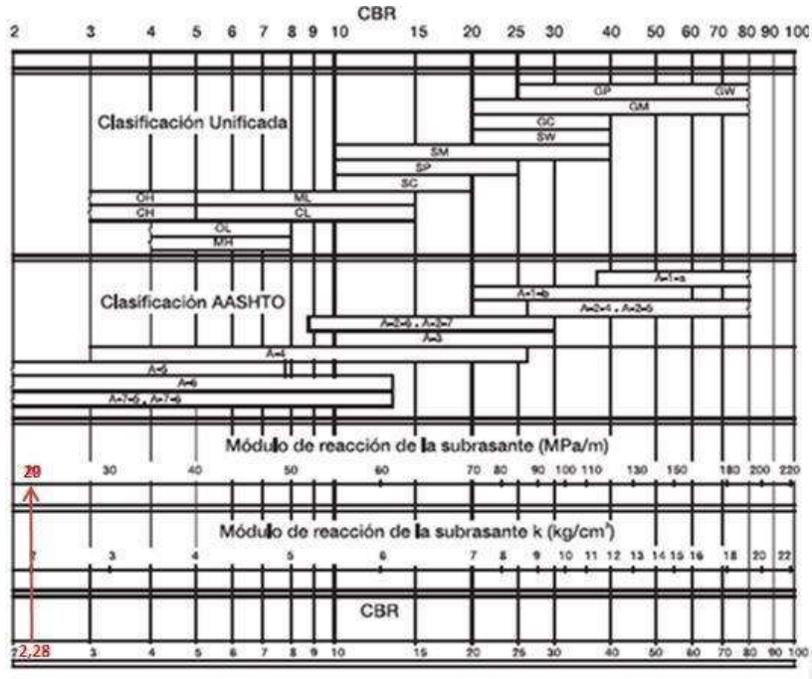


Figura 6 Relación K y CBR

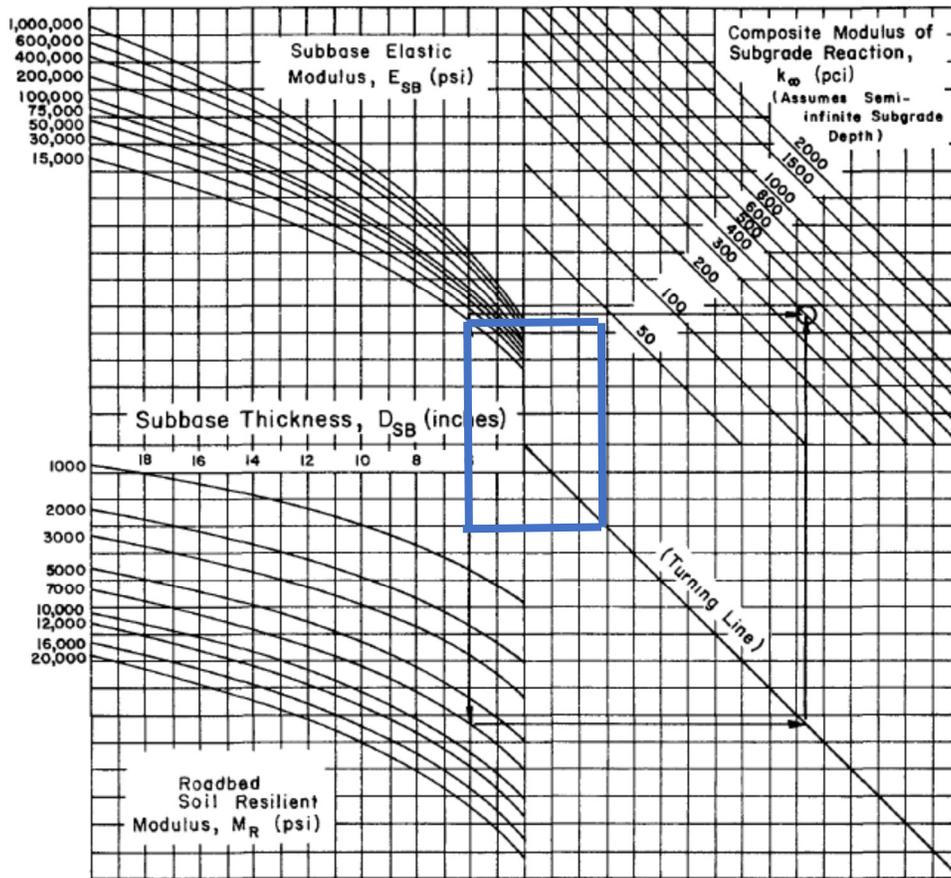


Figura 7 carta de diseño para la obtención del módulo de reacción combinado – figura 3.3. Método de la guía de AASHTO

La utilización de esta carta de diseño corresponde al siguiente procedimiento:

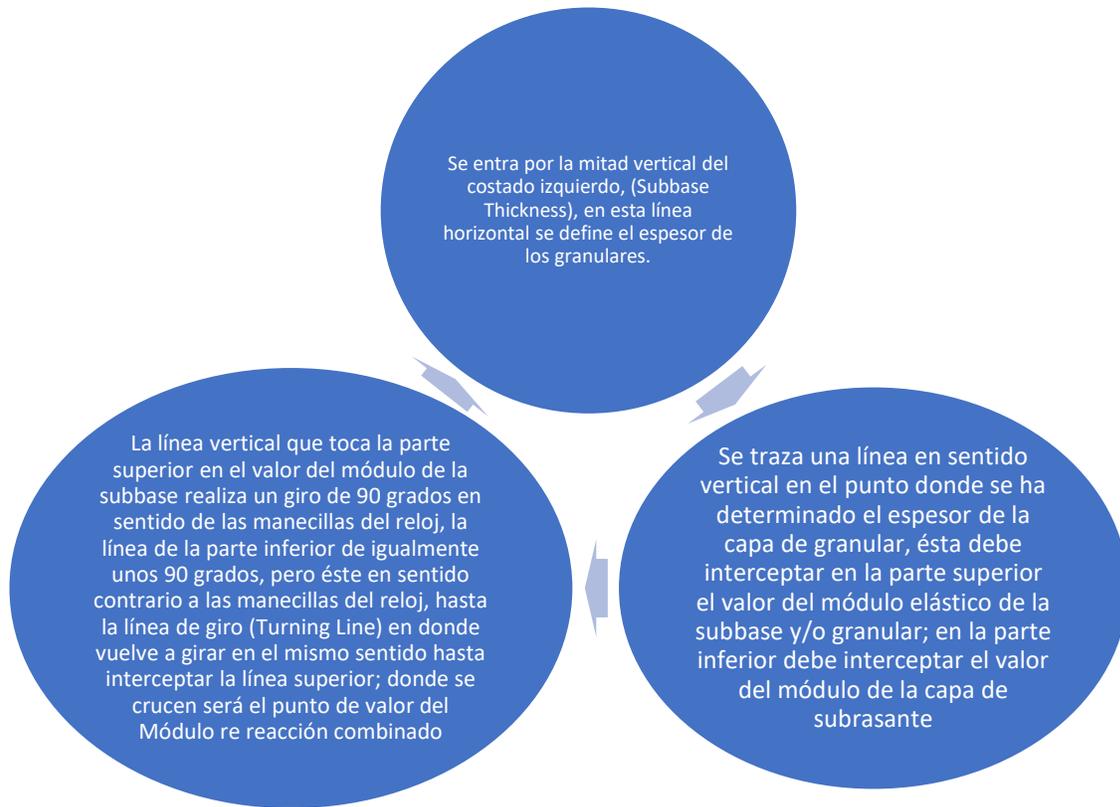


Figura 8 Procedimiento de implementación Carta de diseño

(AASHTO, 1993).

1.4. Capas Granulares

El material granular que se implementa como soporte de la placa de concreto debe cumplir la calidad exigida en las Especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías - INVIAS. Y el espesor que se instalará obedecerá a razones constructivas como son el contribuir a lograr la lisura de la superficie de apoyo de las placas, a poder lograr la compactación requerida cuando los suelos de apoyo sean de precaria calidad y a disponer de una superficie de trabajo limpia (INVÍAS, 2015).

1.5. Método AASHTO 93

El diseño de pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera (AASHTO, 1993). AASHTO presenta la siguiente ecuación para el cálculo del espesor de el concreto que se implementará en el proyecto.

$$\text{Log } W_{18} = Z_r S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5-1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{4.6}}} + (4.22 - 0.32P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k} \right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Ecuación 1 Formula de diseño AASHTO

Donde:

W82: Número previsto de ejes de 8.2 toneladas a lo largo del periodo de diseño.

Zr: Desviación Normal Estándar.

So: Error Estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D: Espesor de la losa de Pavimento (mm)

Delta PSI: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

Pt: Índice de servicio Final.

MR: Resistencia media del Concreto a la Flexo tracción a los 28 días – Módulo de Rotura.

Cd: Coeficiente de Drenaje.

J: Coeficiente de Transmisión de cargas en las Juntas.

Ec: Modulo de elasticidad del Concreto.

K: Módulo de reacción combinado de la capa de apoyo de la losa de pavimento (AASHTO, 1993)

Desviación estándar normal (Zr)

De acuerdo con lo mencionado en el documento de AASHTO este valor define que, para un conjunto de variables que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo del periodo de diseño sigue una ley de distribución normal con una media Mt y una desviación típica So y con base en las tablas siguientes se puede establecer el valor de Zr en función de la confiabilidad R (AASHTO, 1993).

Desviación normal del error estándar combinado en la estimación de los parámetros de intervención y el comportamiento del pavimento (s0).

Según la guía AASHTO "Este valor representa la desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado Pt, para pavimentos rígidos el manual recomienda un valor entre 0.30 y 0.40" (AASHTO, 1993).

Diferencia entre el nivel de serviciabilidad inicial (p0) y el índice de serviciabilidad terminal de intervención (pt) (Delta PSI)

El índice de serviciabilidad final Pt corresponde a la selección de un valor mínimo admisible antes de ser necesaria una intervención de rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción del pavimento, de acuerdo con lo sugerido por AASHTO se toma un valor de Pt igual a 2.0 considerando el tipo de estructura por diseñar; para el valor del Po se debe considerar el método constructivo, para pavimentos de concreto se determina un valor de 4.5 de acuerdo con lo mencionado por la guía.

Coefficientes de drenaje (cd)

Porcentaje del tiempo en que la estructura estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación entre el 5 y el 25 %.

Determinación del coeficiente de transmisión de carga (j)

Este factor toma en cuenta la capacidad del pavimento de concreto de transmitir cargas a través de los extremos de las losas.

Módulo de elasticidad del concreto.

De acuerdo con lo mencionado en la guía de diseño de AASHTO considera la definición del módulo en función del valor del $f'c$ para el caso en unidades de MPa se utilizará la formulación $E_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 10615\sqrt{f'c} + 70423$.

Factor de pérdida del soporte.

Corresponde al valor que se le da a la pérdida de soporte que pueden llegar a tener las placas de un pavimento de concreto, por efecto de la erosión en la subbase a causa de corrientes de agua o por asentamientos diferenciales; este factor no aparece directamente en la fórmula de diseño para obtener el espesor de un pavimento de concreto, pero si está en forma indirecta a través de la reducción del valor del módulo de reacción.

1.6. Tránsito

Es considerada la variable más importante en el dimensionamiento de los pavimentos, debido a que proporciona la capacidad de carga que soportará 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)” (Kurtz, 2011).

1.7. Periodo de Diseño

Predecir la vida útil de un pavimento es demasiado complejo, como lo define Montejó “dado que es difícil predecir el tránsito con suficiente aproximación para un término demasiado largo. Comúnmente se toma un lapso de 20 años como periodo para diseños de pavimentos rígido” (Montejó, 2002), es fundamental dimensionar la vida útil que se proyecta al pavimento para hacer tener un dimensionamiento óptimo de la estructura.

2. Metodología

2.1. 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.

2.2. Población

Debido a que el estudio se basa en un proyecto de aplicación, la población identificada para este proyecto son los habitantes del barrio sagrado corazón, comprendido en la calle 27^a entre carrera 11 y 10.

2.3. Recolección de la información

Para la elaboración del trabajo se hace primordial los siguientes factores para la estimación de la estructura de pavimento.

2.3.1. Características del Suelo

Se tiene como base de información los datos suministrados por la Alcaldía de Chiquinquirá, la cual muestra resultados realizados a apiques, ensayos de caracterización y ensayo del penetrómetro dinámico de cono realizado en el tramo de la carrera 21 entre calles calle 27^a entre carrera 11 y 10 de Chiquinquirá.

2.3.2. Estimación del Tránsito

Mediante la proyección del tráfico, de acuerdo la información recolectada por la Secretaria del municipio de Chiquinquirá, se realizará la estimación de la capacidad de la vía en eje equivalentes.

2.3.3. Software de cálculo

El dimensionamiento de la estructura de pavimento se realizó mediante el software **Ecuación AASHTO 93**, este programa este basado en la metodología AASHTO, permitiéndonos evitar los errores realizados por los monogramas del método, también facilita hacer un proceso interactivo para realizar la sensibilización del diseño.

2.3.4. Cálculo 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.

Para resumir el proceso metodológico implementado en la elaboración del proyecto podemos observar la siguiente figura

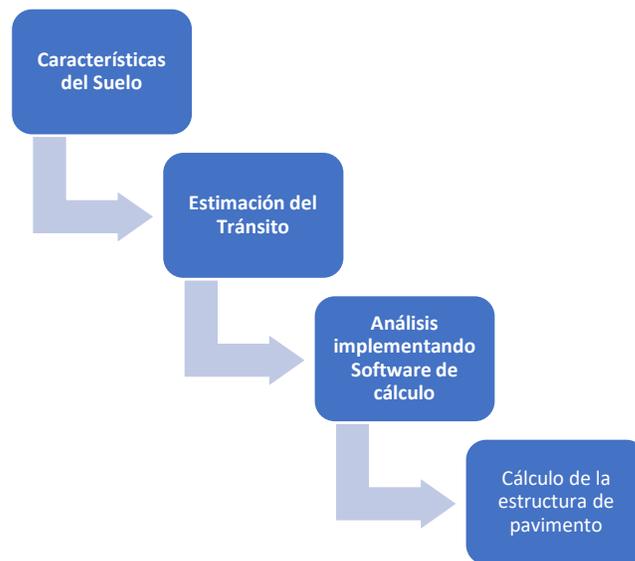


Figura 9 Metodología de diseño

3. Diseño de Pavimento

El diseño de pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera.

3.1. 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 del municipio de Chiquinquirá del cual se extrajo la siguiente información.

$$C.B.R = 567 \times \text{numero dinamico}^{-1.4}$$

NUMERO DINAMICO:	35,3
CBR:	3,86
PENETROMETRO (Kg/cm ²)	5,40

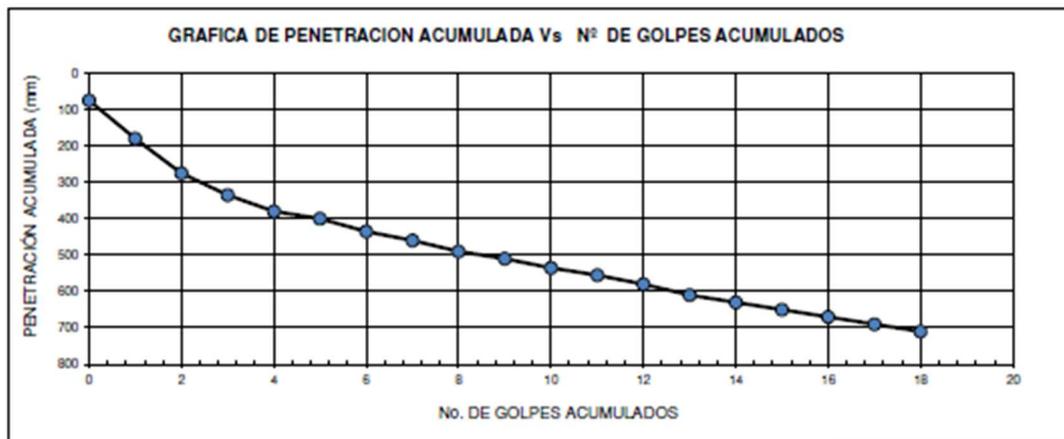


Figura 10 resultado de CBR mediante PDC

Basados en los resultados obtenidos en la exploración geotécnica, se procede a implementar la tabla de correlación de CBR y K (figura 5), donde para un CBR de 3.86% se tiene un módulo de reacción de la subrasante igual a 34 MPa/m (3.4 kg/cm²). 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. Como capa de soporte de la losa se utilizará una Subbase Granular del tipo SBG_B la cual tiene un módulo resiliente del orden de 15.000 psi.

Para el cálculo del módulo de reacción combinado se implementa la carta de diseño para la obtención del módulo de reacción combinado (figura 6) según los pasos indicados, donde se obtiene un modulo de reacción combinado para una Sub Base con las siguientes características:

- Modulo: 15000 Psi
- Espesor: 15cm / 6 pulgadas
- K: 34Mpa

Se obtuvo un valor de Modulo de reacción combinado igual a **42Pci**

3.2. Desviación estándar normal (Zr)

Para la obtención de los parámetros de desviación normal y confiabilidad la guía de diseño AASHTO 93 provee las siguientes tablas.

Clasificación funcional	Nivel de Confiabilidad, R, recomendado	
	Urbana	Rural
Interestatales y vías rápidas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Tabla 1 NIVELES DE CONFIABILIDAD SUGERIDOS DE ACUERDO CON LA CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DEL CAMINO. (TABLA 2.2 AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993)

Confiabilidad, R, en porcentaje	Desviación estándar normal, Z _R
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
95	-1.645
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Tabla 2 DETERMINACIÓN DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL Z_R A PARTIR DE LA CONFIABILIDAD. (TABLA 4.1 AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993)

Basado en las características de la zona del proyecto se toman valores de R= 75 para una vía local, y desviación estándar de -0.674 como se muestra en la tabla 1 y 2.

3.3. Desviación normal del error estándar combinado en la estimación de los parámetros de intervención y el comportamiento del pavimento (s0)

Para pavimentos rígidos el manual recomienda un valor entre 0.30 y 0.40.

El producto del valor de $Z_r \times S_o$ indica un valor de factor de seguridad en función del tránsito, para el caso se considerará un S_o de 0.35 y un valor de Z_r igual a -0.674 que corresponde a una Confiabilidad R de 75%.

3.4. Diferencia entre el nivel de serviciabilidad inicial (p_0) y el índice de serviciabilidad terminal de intervención (p_t) (Delta PSI)

De acuerdo con lo sugerido por AASHTO se toma un valor de P_t igual a 2.0 considerando el tipo de estructura por diseñar; para el valor del P_o se debe considerar el método constructivo, para pavimentos de concreto se determina un valor de 4.5 de acuerdo con lo mencionado por la guía.

3.5. Determinación de coeficiente de drenaje (cd)

Para la obtención del parámetro de coeficiente de drenaje (cd) la guía de diseño AASHTO 93 provee la siguiente tabla.

C_d	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Tabla 3 COEFICIENTES DE DRENAJE MÍ RECOMENDADOS. (TABLA 2.4 AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES 1993)

Para el caso que nos compete se considera un valor de C_d de 1.0.

3.6. Determinación del coeficiente de transmisión de carga (j)

Para la obtención del parámetro de coeficiente de Transmisión de carga (j) la guía de diseño AASHTO 93 provee la siguiente tabla.

Soporte lateral	Si	No	Si	No	Si	No	Tipo
ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura		Con continuos	refuerzo	Sin pasadores (fricción entre agregados)		
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 – 1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	
1 – 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	
3 – 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	Caminos principales y autopistas
10 – 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	

Tabla 4 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J). (FUENTE: GUÍA AASHTO “DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS, 1993”)

Basado en las características de la zona del proyecto se toma el valor de j igual a 3

3.7. Determinación Módulo de elasticidad del concreto

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 4.3 MPa, es el parámetro fundamental para prevenir el criterio de falla por fatiga.

Se determina un valor de 27.7 MPa de resistencia del concreto para lo cual se obtiene un valor de módulo igual a 25000 MPa, este valor corresponde con los datos promedio hallados en el medio, esto para un MR 43.

3.8. Factor de pérdida del soporte

Definición del valor de pérdida de soporte para la capa de apoyo de la losa MR43:

- Cuando se apoye directamente sobre una capa de Subbase granular: LS=2.0.
- Cuando se apoye directamente sobre una capa de Mezcla asfáltica: LS=0.0.
- Cuando se apoye directamente sobre una capa de estabilizada con asfalto en caliente: LS=1.0.

Datos obtenidos de la siguiente tabla de la guía de diseño AASHTO

TIPO DE BASE O SUBBASE	PÉRDIDA DE SOPORTE - LS
Bases granulares tratadas con cemento (E: 7.000 a 14.000 MPa)	0.0 a 1.0
Bases granulares tratadas con cemento (E: 3.500 a 7.000 MPa)	0.0 a 1.0
Bases asfálticas (E: 2.500 a 7.000 MPa)	0.0 a 1.0
Bases granulares tratadas con asfalto (E: 300 a 2.000 MPa)	0.0 a 1.0
Estabilización con cal (E: 150 a 1.000 MPa)	1.0 a 3.0
Materiales granulares sin tratar (E: 100 a 300 MPa)	1.0 a 3.0
Suelos finos y subrasantes naturales (E: 20 a 300 MPa)	2.0 a 3.0

Tabla 5 RANGO DE VALORES DE LS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE MATERIAL. FUENTE: AASHTO.

3.9. Tránsito

Se considera una categoría de tránsito T1, donde el TPDs está entre 0 a 200 vehículos, es decir ejes acumulados de 8.2 toneladas menores a 1'000.000.

4. Dimensionamiento espesor de concreto

Para el dimensionamiento del espesor de concreto se implementa el software AASHTO 93, el cual requiere el ingreso de los parámetros de condicionamiento para el dimensionamiento de la estructura, a partir de la interacción de diferentes parámetros:

Parametro	Valor
Confiabilidad	75%
So	0,35
Zr	0,674
Delta PSI	2,5
K combinado	42pci
E concreto	3625943.4psi
Mr	623psi
J	3
CD	1
W18	1000000

Tabla 6 CÁLCULOS NUMÉRICOS PARA DEFINICIÓN DE ESPESOR DE LOSA, METODOLOGÍA AASHTO-93. (CON SUB BASE COMO SOPORTE DE LOSA).

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 75 % $Z_r = -0.674$ So: 0.35

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 PSI final: 2

Tránsito de diseño: W18: 1000000

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 42 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 3625943.4

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 614 Espesor de losa D (plg): 6.58

Coefficiente de transmisión de carga - J: 3 D redondeado (plg): 7.00

Coefficiente de drenaje - C_d: 1 W18 real: 1.50E+00E

D: W18:

Quitar el control de variables

Figura 11 Cálculo de espesor de losa de concreto

Luego de realizar el análisis de sensibilidad en el software, se obtuvo un espesor de 18 cm

4.1. Modulación de losas

El proyecto cuenta con un ancho de 10 metros, se tiene estimado construir dos carriles con ancho cada uno de 3.3m, con un andén en ambos costados de 1.2m de ancho respetando los linderos de los predios adyacentes al proyecto, adoptaremos el criterio del manual de diseño de bajos volúmenes en concreto, que nos dice que la relación largo ancho, 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 (INVÍAS, Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes., 2015).

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.

4.2. Barras transversales

De acuerdo con la siguiente tabla, se puede determinar los parámetros de la barra a utilizar en las juntas transversales, mediante el espesor de la losa obtenido al implementar el software, para 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 (INVÍAS, Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes., 2015).

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada	mm	mm
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

Tabla 7 Dimensiones Barras transversales

(INVÍAS, Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes., 2015)

4.3. Barras longitudinales.

De acuerdo con la siguiente tabla , se determinan 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, para este proceso se asumen los siguientes valores $f_y=60000$ y diámetro de 1/2", de acuerdo con los criterios de barras transversales se obtiene los siguientes datos para la barra de amarre o longitudinales, barra de longitud de 0.85 y separación de 1.2m (INVÍAS, Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes., 2015).

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

Tabla 8 Dimensiones barras longitudinales

(INVÍAS, Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes., 2015)

5. 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 $\phi = 1/2"$
- Modulación: 3.3 x 3.5 m
- Anden de 1.2 m
- Sello y cordón de juntas.

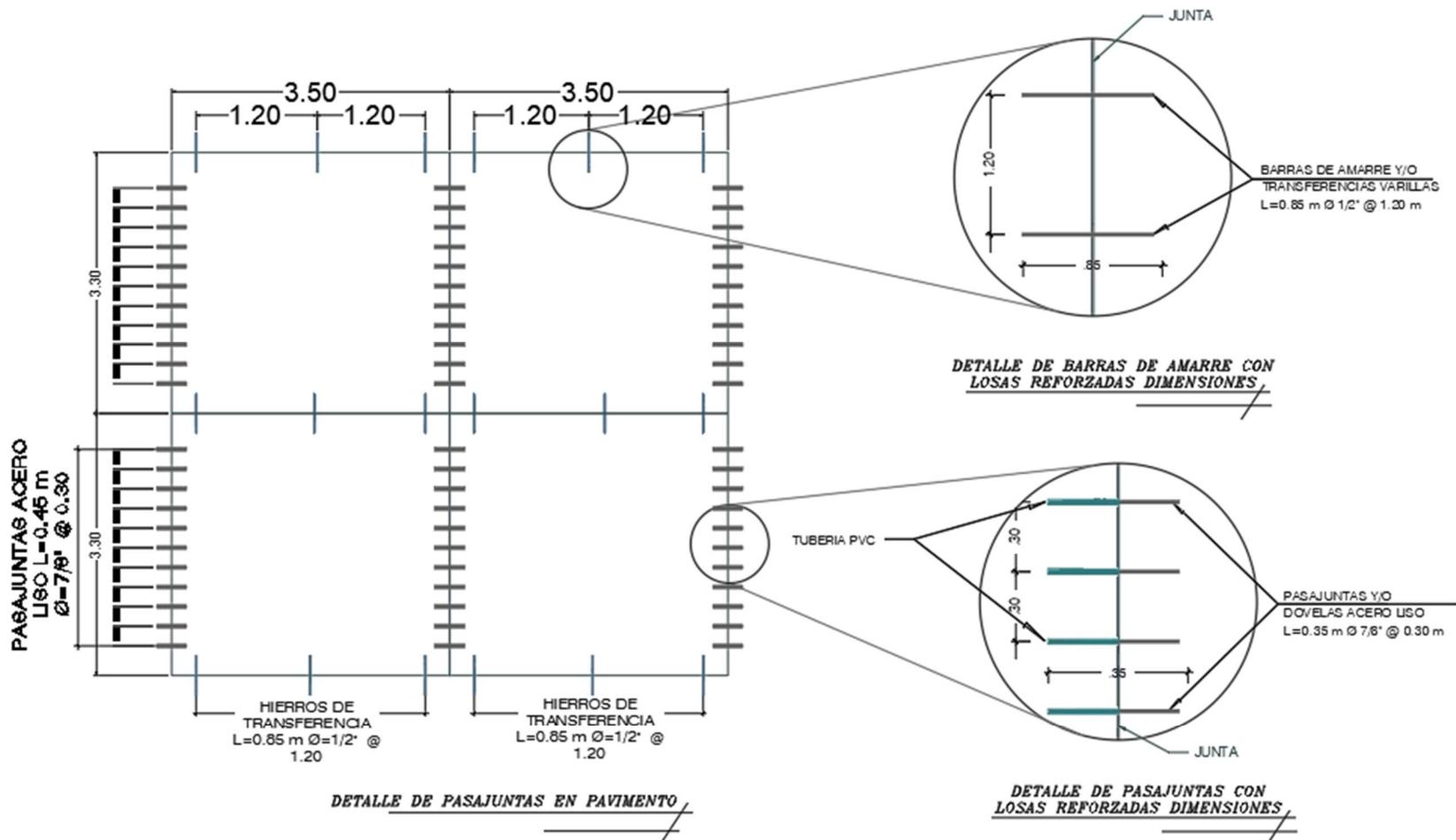


Figura 12 Detalle Acero de Refuerzo Losas

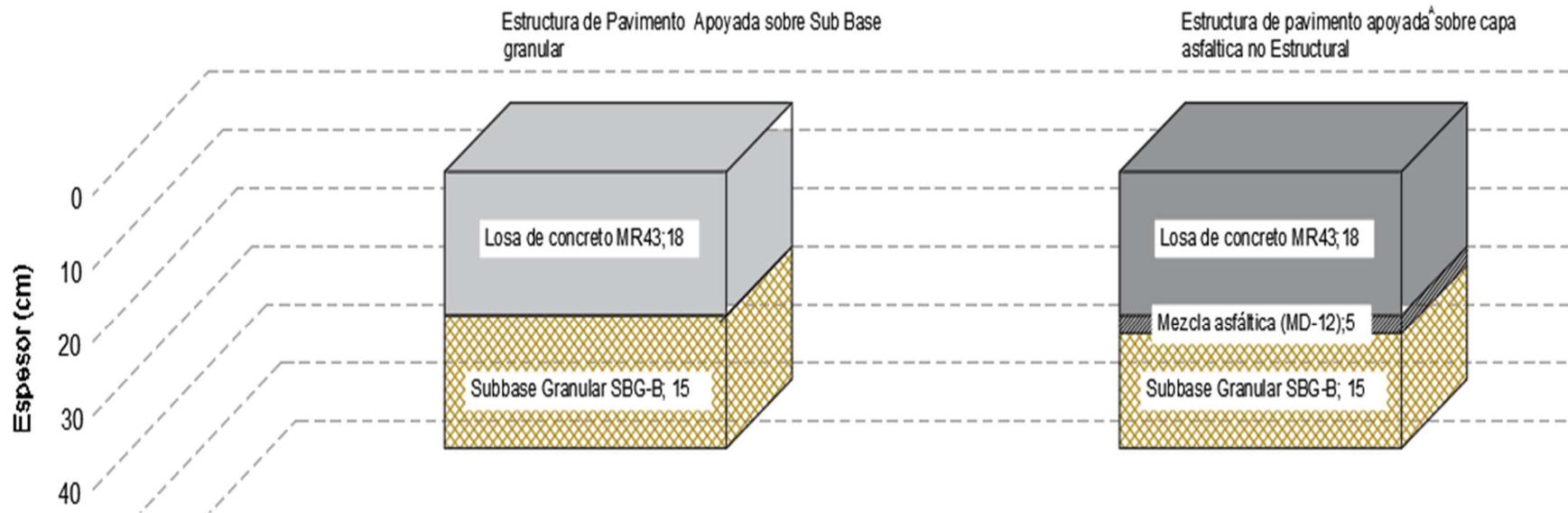


Figura 13 Estructura de pavimento

6. Conclusiones.

La estructura de diseño óptima para el pavimento rígido propuesta que cumpla los criterios de resistencia, 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 200 m, con módulo de rotura de 4.3 MPa, el cual debe estar soportada sobre un material granular tipo Sub base que cumpla la especificación INVIAS (INVIAS, Capítulo 3 Afirmados, Subbases y bases , 2013).

La recopilación documental, normativa y métodos de diseño citadas dentro de este proyecto, se encuentra vigente y es una de las más importante en el diseño de estructuras de pavimento.

Los análisis a los parámetros de diseños (tráfico, suelo), fueron suministrados por la Alcaldía del municipio de Chiquinquirá, 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 AASHTO 93, para la estructura de pavimento que satisface los criterios de resistencia, se obtuvo que una losa de 18 cm para el periodo de diseño cumple para satisfacer el consumo de la vida útil.

La pérdida de soporte del material granular (sub Base) es igual a 2, al presentarse cualquier tipo de infiltración, el material es propenso a la erosión y por esto fracturas en la placa de concreto hidráulico

Se puede implementar una capa de 5cm de asfalto para que la estructura aumente su durabilidad debido a que su pérdida de soporte será 0, ya que al esta capa presentar baja permeabilidad, la infiltración de agua será mínima y no se presentará erosión del material granular y posteriormente fallas en la estructura, esto puede acarrear sobre costos de construcción, pero a su vez menores gastos de mantenimiento.

Luego de realizar comparaciones con diseños de estructuras de pavimento adyacentes al proyecto en los cuales se implementó el método suministrado en el manual de diseño de pavimentos de bajos, medios y altos volúmenes del Invias, se observa que, ya que este método es basado en metodología AASHTO, la estructura de pavimento diseñada es muy parecida a la obtenida en este proyecto.

Para una vía terciaria como la analizada en este proyecto, también se puede implementar la construcción de una placa huella, en donde la metodología de diseño está basada en la carga última del concreto, evaluando el tipo de camión que transitará en la vía. Para este análisis los resultados tienden a ser muy parecidos con la metodología AASHTO.

7. Recomendaciones

Se recomienda utilizar materiales de calidad de acuerdo con las especificaciones de carreteras del INVIAS para materiales granulares y para concreto de losas (INVIAS, Capítulo 3 Afirmados, Subbases y bases , 2013).

Realizar los cortes de las juntas en un tiempo entre 12 y 24 horas después colocado el concreto (INVIAS, Capítulo 5 Pavimentos de concreto, 2013).

Utilizar productos para sello de junta polímeros de silicona y cordón llenante (INVIAS, Capítulo 5 Pavimentos de concreto, 2013).

Construir los andenes 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 (INVIAS, Capítulo 5 Pavimentos de concreto, 2013).

Se recomienda no dejar las excavaciones abiertas en un tiempo prolongado, con el fin de no deteriorar el material soporte de la estructura y evitar derrumbes que desestabilicen las paredes de la excavación (INVIAS, Capítulo 2- Explanaciones , 2013).

Se recomienda realizar obras de drenaje que permitan el flujo libre de las aguas que pueda recibir la estructura de pavimento

Las capas granulares recomendadas para las diferentes estructuras deberán ser compactadas en capas no mayores a 0.15m de espesor o aquel que permita garantizar una densidad mínima de 98% y 95% para la capa SBG respectivamente de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado. Para su verificación, se recomienda realizar un ensayo de densidad en campo para cada 100m² de cada una de las capas compactadas (INVIAS, Capítulo 3 Afirmados, Subbases y bases , 2013).

8. Bibliografía

- AASHTO. (1993). *Guía para diseño de estructura de pavimentos*. AASHTO.
- ASOCEM. (1997). *Boletín Técnico N° 81*. Peru.
- Becerra Salas , M. (2012). *Temas de pavimentos de concreto*. Lima.
- CEMEX. (2020 de 10 de 15). *CEMEX*. Obtenido de <https://www.cemexcolombia.com/productos/concretos/concreto-especial/concreto-para-pavimento>
- EL TIEMPO. (30 de 05 de 2017). *El Tiempo*. Obtenido de Economía y negocios: <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/vias-terciarias-de-colombia-en-mal-estado-93430>
- INVIAS. (2013). Capítulo 3 Afirmados, Subbases y bases . En INVIAS, *Especificaciones generales de construcción de carreteras* (pág. ART 320). Colombia.
- INVIAS. (2013). Capítulo 2- Explanaciones . En Invias, *Especificaciones generales de construcción de carreteras* (pág. ART 210). Colombia.
- INVIAS. (2013). Capítulo 5 Pavimentos de concreto. En Invias, *Especificaciones generales de construcción de carreteras* (pág. ART 500 Pavimento de concreto Hidraulico). Colombia.
- INVÍAS. (2015). *Guía de Diseños de pavimentos con placa Huella*. Colombia.
- INVÍAS. (2015). *Manual de diseño de Pavimento de bajos, medios y altos volúmenes*. Colombia.
- Kurtz, M. (2011). *Manual de ingeniería de transporte* . Nueva york: Mcgraw hill.
- LA REPUBLICA. (18 de Febrero de 2019). *La Republica*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/opinion/editorial/vias-terciarias-las-grandes-olvidadas-2829535>
- Montejo. (2002). *Ingeniería de pavimento de carreteras*.
- Universidad Mayor de San Simón. (2004). *Guía de carreteras II*. Bolivia: UMSS.