DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

PAVIMENTACIÓN DE 6.3 KM EN LA VÍA GIRALDO– CUAJARÓN, MUNICIPIO DE GIRALDO

DISEÑÓ: SAMUEL BARRERA CABALLERO

GIRALDO, ANTIOQUIA

FEBRERO DE 2025

Email: Ciicocsabsas@gmail.com
Cel: 313 446 4892

CONTENIDO

1 GENERALIDADES 3
2 INTRODUCCIÓN 4
3 ALCANCE Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO 4
3.1 ALCANCE DEL ESTUDIO 4
3.2 OBJETIVOS 4
3.2.1 OBJETIVO GENERAL 4
3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
4 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO 4
4.1 UBICACION ESPECIFICA DEL PROYECTO 5
4.2 ESTADO ACTUAL 6
5 METODOLOGIA DE DISEÑO Y GENERALIDADES DEL PAVIMENTO 6
5.1 FACTORES DE DISEÑO 8
5.1.1 TRÁNSITO, PESOS, FRECUENCIAS Y TIPOS DE EJES DE LOS CAMIONES 8
5.1.2 MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO (MR} 8
5.1.3 RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE O MÓDULO COMBINADO DE SUBRASANTE Y SUBBASE (K) 9
5.1.4 PERÍODO DE DISEÑO CONSIDERADO 10
5.2 FACTOR DE SEGURIDAD 10
5.3 TRANSFERENCIA DE CARGAS Y CONFINAMIENTO 10
6 DISEÑO DE LA LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO 10
6.1 DATOS DE ENTRADA 12
6.2 7.2 RESULTADOS 14
6.3 DIMENSIONES DE LA LOSA 15
6.4 JUNTAS 16
6.4.1 JUNTAS LONGITUDINALES 16
6.4.2 JUNTAS DE EXPANSIÓN O AISLAMIENTO 17
6.4.3 DOVELAS 18
6.4.4 JUNTAS DE DILATACIÓN 19
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 19
8 BIBLIOGRAFÍA 21

1 GENERALIDADES

Para dar solución a la problemática de la implementación de pavimentos en las vías veredales del municipio de Giraldo, se recurren a los lineamientos descritos y establecidos por el Ministerio de Transporte y el INVIAS como entidad adscrita a esta cartera, para la construcción de proyectos viales municipales, teniendo como referencia lo establecido por el manual de diseño de la 'Portland Cement Association'.

En condiciones de diseño, el pavimento rígido se implementa en el mejoramiento y construcción de una vía local, en cualquier tipo de pendiente y cualquier tipo de volumen de tránsito.

Para la determinación de las especificaciones del pavimento rígido se deben determinar aspectos esenciales como lo es el levantamiento topográfico, estudios de tránsito, estudio de suelos con especificaciones de resistencia dado por ensayos de CBR, y estudios de hidrología basados en datos de precipitación máxima y la determinación de la intensidad de diseño para la especificación de obras de drenaje, acorde con la normativa vigente.

Para el diseño de la estructura de pavimento rígido se utiliza el manual de diseño de la 'Portland Cement Association' (PCA) conocido como 'Thickness Design far Concrete Highway and Street Pavements". El diseño propuesto por la PCA tiene criterios basados en los estudios teóricos del comportamiento de losas y los desarrollos recientes de análisis de esfuerzos y deformaciones en pavimentos rígidos. La metodología de diseño puede ser aplicable para el presente proyecto debido a que el manual mencionado establece que los criterios de diseño para pavimento rígido son aplicables tanto a pavimentos de concreto simple con juntas como a pavimentos de concreto reforzado con juntas y a pavimentos con refuerzo continuo. Estos criterios de diseño consideran un análisis de fatiga y un análisis de erosión. El primero de estos se basa en el cálculo de esfuerzos por cargas en el borde de las losas, a medio camino entre juntas transversales. Este análisis controla los diseños de pavimentos delgados para bajo tránsito, como el que corresponde para este proyecto. El análisis de erosión controla el diseño de los pavimentos con mayor espesor para tránsito medio y pesado; considera que falla por bombeo, por erosión del soporte y por escalonamiento de las juntas. Considerando lo anteriormente mencionado, más adelante se explicará con mayor detalle el procedimiento de diseño llevado a cabo para el pavimento rígido de la vía del municipio en estudio.

Para el diseño de los sistemas de transmisión de cargas, tales como juntas y dovelas, se emplea el “Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con

Bajos, medios y altos volúmenes de tránsito", redactada por el Instituto Nacional de vías (INVIAS) y el Ministerio de Transporte.

2 INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como finalidad diseñar el pavimento rígido en tramo específico de la vía que comunica el municipio de Giraldo con la vereda Cuajaron. Se mostrarán las variables contenidas en la metodología de diseño específica para el pavimento rígido propuesta en el Manual "Thickness Design far Concrete Highway and Street Pavements" de la 'Portland Cement Association' (PCA), que permitirán estimar el espesor de losa de concreto. Asimismo, para la obtención de detalles respecto al diseño de los sistemas de transmisión de cargas, se presentarán los parámetros establecidos en el "Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito" del INVIAS.

3 ALCANCE Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

3.1 ALCANCE DEL ESTUDIO

El estudio comprende la revisión de la topografía, estudio de suelos, estudio de tránsito y el diseño hidrológico presentado en la zona donde se va a construir el pavimento rígido en la vía rural del Municipio de Giraldo en el departamento de Antioquia, perteneciente al proyecto "Construcción de pavimento rígido en vía Giraldo - Cuajaron"; realizando los respectivos estudios y aplicando la metodología propuesta en el "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements" de la 'Portland Cement Association' (PCA), en cuanto al tipo de estructura de pavimento y sus espesores. Llegando luego al diseño del refuerzo según los lineamientos establecidos en el Manual del INVIAS mencionado; además de los materiales y resistencias de estos.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo general

Definir la alternativa de estructura de pavimento rígido para la vía en estudio con base en las solicitaciones del tráfico y los resultados del estudio de suelos.

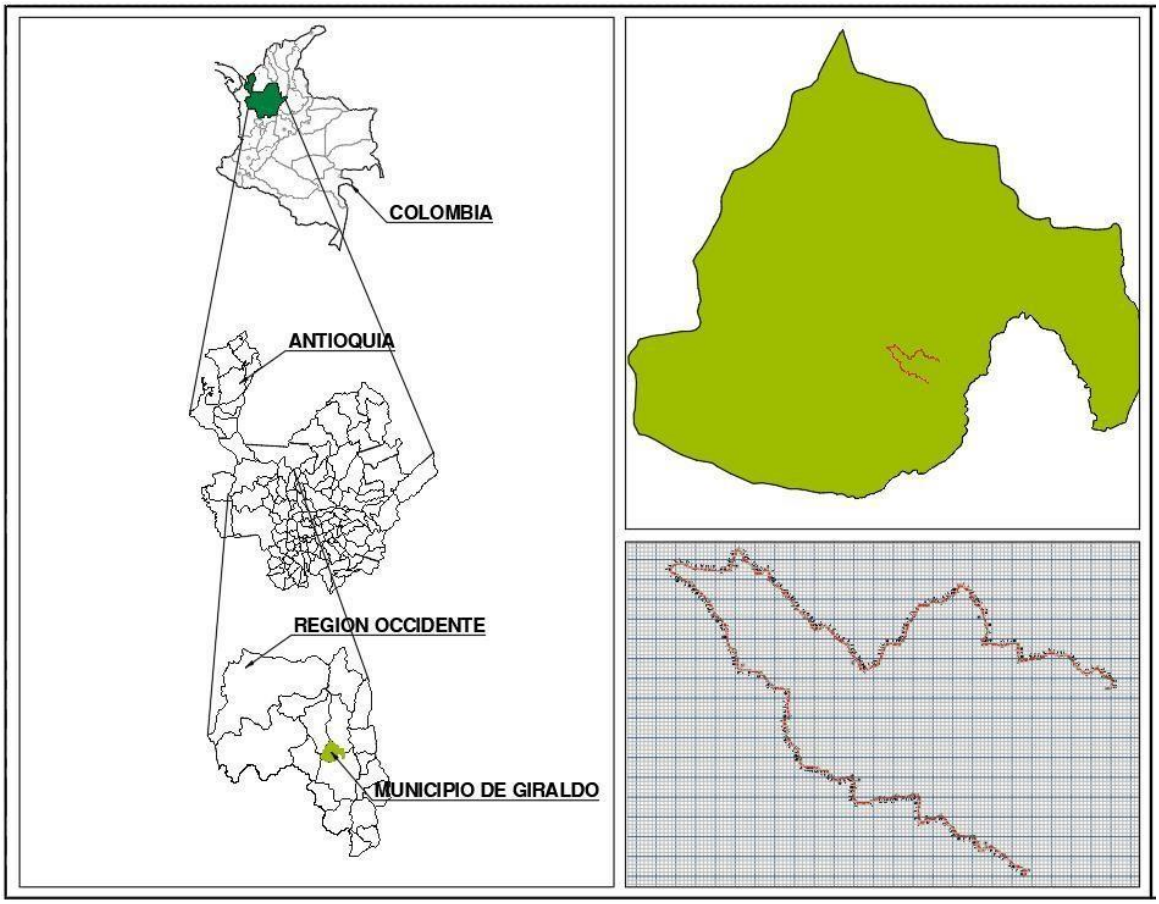
3.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar el estudio de suelos suministrado por el ingeniero geotecnista que, en conjunto con el estudio de tránsito, ayudarán a determinar las alternativas de solución para la estructura de pavimento rígido.

- Hacer la revisión de la topografía del sector y el diseño geométrico de las vías en estudio, dada las características existentes para el diseño final de la estructura de pavimento rígido.

4 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra localizado en zona rural del municipio de Giraldo Antioquia., este municipio está ubicado en la subregión Occidente de Antioquia. Limita por el norte con los municipios de Cañasgordas y Buriticá, por el sur con Santa Fe de Antioquia y por el oeste con Abriaquí y Cañasgordas. Su cabecera dista 127 kilómetros de la ciudad de Medellín, capital del departamento de Antioquia. Posee una extensión de 96 kilómetros cuadrados y una altura sobre el nivel del mar de 1950 metros.



.

Ilustración 1 Localización proyecto en municipio de Giraldo Antioquia

4.1 UBICACION ESPECIFICA DEL PROYECTO

El proyecto "PAVIMENTACIÓN DE 6.3 KM EN LA VÍA GIRALDO–CUAJARÓN, MUNICIPIO DE GIRALDO" se encuentra ubicado en la zona rural del municipio de Giraldo sobre la vía que comunica la cabecera municipal con la vereda Cuajaron.

Tabla 1. Coordenadas vía a intervenir

Vía	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Coordenadas				Longitud
			Inicial		Final		
Giraldo-Cuajaron	0+000	6+300	4675003.534E	2291350.8107N	4674557.0937E	2290401.3482N	6300m

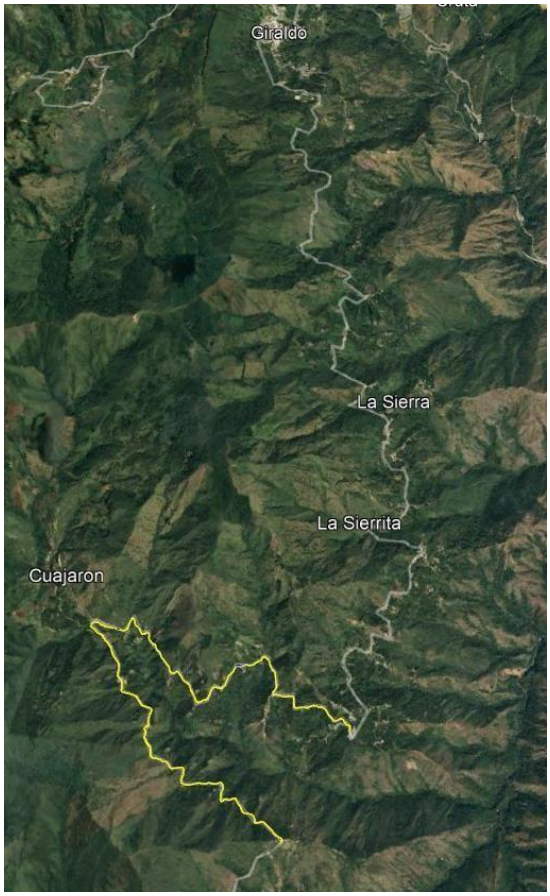


Ilustración 2 Ubicación especifica vía Giraldo-Cuajaron

4.2 ESTADO ACTUAL

La vía objeto de estudio presenta una superficie en mal estado compuesta por material del sitio compactado, con un ancho de calzada angosta y con depresiones y obstáculos en la vía como lo son rocas de mediano y gran tamaño.

El estado de conservación y el material de la superficie de rodadura influyen en la velocidad y en la seguridad de circulación de los vehículos. En algunos sectores la superficie se encuentra en un proceso de deterioro.

5 METODOLOGIA DE DISEÑO Y GENERALIDADES DEL PAVIMENTO.

El pavimento rígido se diseñará teniendo en cuenta el "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements" de la 'Portland Cement Association' (PCA). Los principales atributos de este tipo de pavimento son:

• Ofrecer permanentemente condiciones de circulación satisfactorias durante un amplio período de servicio, garantizando su integridad estructural en todo el periodo de diseño utilizado. El período de diseño para estas vías será de 20 años.

• Los pavimentos de concreto ofrecen una alta resistencia al desgaste, no se ahuellan en ninguna dirección, y cuando las losas tienen menos de 5 m de longitud el efecto de la temperatura en los esfuerzos es despreciable.

• Los pavimentos de concreto tienen una alta rigidez por lo cual las cargas y los esfuerzos transmitidos al suelo son mínimas al ser ejercidas en áreas muy grandes, no obstante, se le suma a la estructura de pavimento de ser necesario, capas de agregados pétreos seleccionados en aras de transmitir esfuerzos a la subrasante de manera uniforme, afectando a la misma en lo menor posible.

• Los pavimentos de concreto se construyen en una etapa, lo cual hace que no exista incertidumbre sobre su comportamiento a largo plazo, pues no necesitan sobrecapas rutinarias, para mantener un adecuado nivel de servicio.

• Ofrecer la posibilidad de utilización de materiales y mano de obra locales. El procedimiento de diseño establecido en el "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements" de la 'Portland Cement Association' (PCA) cubren los siguientes criterios:

El grado de transferencia de carga en las juntas transversales. El efecto de utilizar bermas de concreto.

El efecto de usar una subbase con solado de concreto, lo cual reduciría los esfuerzos y deflexiones en el pavimento.

Emplea dos criterios de diseño: el porcentaje de fatiga, para mantener los esfuerzos en el pavimento debidos a cargas repetitivas bajo un límite de seguridad; y el porcentaje de erosión, para limitar el efecto de las deflexiones de los pavimentos en los bordes, juntas, esquinas, y controlar la erosión de la fundación.

La consideración de los distintos tipos de ejes de camiones en el diseño, tales como los ejes simples, tándem y triples.

La selección del espesor de losa de concreto adecuada depende de la selección de otros parámetros de diseño, tales como el sistema de juntas, el tipo de subbase y el tipo de confinamiento, como berma.

La teoría del procedimiento de diseño establecido en el manual se basa en un análisis comprehensivo de los esfuerzos y deflexiones en el concreto a través de programas computacionales de elementos finitos. Es por esto que, se opta por la utilización de esta metodología de diseño la cual es aplicable a los pavimentos rígidos con juntas y bermas para cualquier tipo de tránsito. El programa modela los factores de diseño convencionales de las propiedades del concreto, el sistema de soporte, las cargas, el sistema de transferencia de cargas (juntas y dovelas), entre otros.

Los criterios para el procedimiento de diseño establecidos por la PCA están basados en el diseño del pavimento, comportamiento, y la experiencia resultante de experimentos en pavimentos rígidos llevados a cabo por la AASHO Road Test (Experimento de Carreteras de la AASHO).

5.1 FACTORES DE DISEÑO

Según la metodología establecida por la PCA, el diseño del espesor se determina a partir de cuatro factores de diseño, los cuales se presentan a continuación.

5.1.1 Tránsito, pesos, frecuencias y tipos de ejes de los camiones

A partir del informe del Estudio de Tránsito llevado a cabo para el Municipio de Giraldo en el tramo de intervención para el proyecto "Construcción de pavimento rígido en vía Giraldo - Cuajaron", se ha establecido una evaluación del tránsito actual de las vías del proyecto, la cual comprende los volúmenes de tránsito (TPD de la vía), los vehículos comerciales que transitan por ella, la distribución o factor direccional por carril, factor camión y tasas de crecimiento del tránsito. A partir de dichos datos se hizo el cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton, el cual es un valor relevante que se debe tener en cuenta a la hora de ejecutar el diseño siguiendo la metodología de la PCA. Los datos relacionados al tránsito y a los ejes equivalentes de 8.2 ton para la vía del municipio se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. *Numero de ejes equivalentes para la vía del proyecto*

Municipio	TPDs (2024)	Ejes eq. de 8.2 ton
Giraldo	165	148654

5.1.2 Módulo de rotura del concreto (Mr}

La consideración de la resistencia a la flexión del concreto es aplicable en el procedimiento de diseño establecido para la PCA en cuanto al criterio de fatiga, debido a que controla la fractura del pavimento bajo cargas repetitivas. Es importante reconocer que las mezclas del concreto hidráulico para pavimentos deben estar previstas para garantizar una durabilidad y asegurar la resistencia deseada a la flexión. Esta resistencia a la flexión debe ser medida a los 28 días. Para pavimentos de concreto hidráulico y el tráfico que manejarán las vías pertenecientes al presente proyecto, se escoge un valor de resistencia a la flexión o módulo de rotura de 3.8 MPa (38 kg/cm2).

5.1.3 Resistencia de la subrasante o módulo combinado de subrasante y subbase (k)

El método tiene en cuenta el soporte de la losa de concreto hidráulico o la capa subyacente a esta. Es por esto que considera los casos en los cuales no se tiene subbase, se presenta subbase sin tratar, o se cuenta con subbase tratada con cemento.

Para este proyecto, teniendo en cuenta la importancia de la vía (terciaria), el nivel de tránsito (bajo volumen de tránsito) y el tipo de pavimento a utilizar (pavimento rígido), se recomienda la utilización de capa de soporte consistente en una subbase granular clase C del INVIAS. El empleo de este tipo de material permitirá obtener un espesor óptimo de pavimento de concreto hidráulico, además de brindar una estructura de pavimento homogénea que permita prevenir el fenómeno de bombeo sobre las vías. Esta recomendación sigue los lineamientos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) Artículo 320-13. Por lo tanto, el material de subbase empleado para la vía debe satisfacer los requisitos indicados en el numeral 300.2 del Artículo 300 para dichos materiales. Estos requisitos de calidad incluyen valores relacionados a la dureza, durabilidad, limpieza y resistencia del material. Además, se debe ajustar a las franjas granulométricas que se indican en la Tabla 320-2 del mismo Artículo para la subbase granular.

Para las condiciones dadas, y teniendo en cuenta las recomendaciones indicadas en el informe de Estudio de Suelos, se propone un espesor de subbase granular de 15 centímetros (150 milímetros), con el fin de tener una transferencia de cargas adecuada al suelo de soporte y que no se vea afectada la losa de concreto hidráulico del pavimento en diseño. Este conjunto de capas de pavimento rígido proporcionará las condiciones óptimas para que no se presenten daños en la estructura con el paso del tránsito.

De esta manera, en la Tabla 3 se presenta el espesor de la capa de subbase granular clase C para las vías del proyecto.

***Tabla 3**. Espesor de la subbase granular de la vía*

Municipio	TPDs (2044)	Espesor Subbase Granular
Giraldo	198	15cm

En cuanto al soporte combinado de la subrasante y subbase, este se mide en términos del módulo de reacción (k). Este valor se puede estimar por correlación con los resultados de CBR del suelo, que se analizaron en el informe de Estudio de

Suelos de este proyecto. Considerando las evaluaciones de campo con el cono dinámico y de los límites de Atterberg, se calculó el valor de CBR de diseño, llegando a un CBR promedio representativo para la vía perteneciente al proyecto de 5,5%.

5.1.4 Período de diseño considerado

El manual de la PCA establece que "Dado que el tráfico probablemente no podría predecirse con mucha precisión en un período de tiempo tan largo, un periodo de diseño de 20 años es comúnmente utilizado en los procedimientos de diseño de pavimento" (Chapter 2, Design Factors, Design Period, "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements" de la 'Portland Cement Association' (PCA)). Por lo tanto, el período de diseño que se considera para este proyecto es de 20 años.

5.2 FACTOR DE SEGURIDAD

El manual "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements" de la 'Portland Cement Association' (PCA) establece ciertos factores de seguridad recomendados, los cuales varían desde 1.0 hasta 1.2 según el tipo de vía, siendo el menor de estos valores el factor de seguridad recomendado para vías terciarias, calles residenciales y otro tipo de calles que transporten bajos volúmenes de tránsito. Para los volúmenes de tránsito de las vías del proyecto, se considera un factor de seguridad para el diseño de 1.0.

5.3 TRANSFERENCIA DE CARGAS Y CONFINAMIENTO

En esta variable se propone la utilización de dovelas por ser una zona con cambios de temperaturas considerables que van de 18 C° a 26 C°, esto con el fin de controlar los esfuerzos producidos por alabeo térmico. Se plantea un confinamiento estructural con bordillo y andén, el cual consiste en un bordillo en concreto prefabricado de 45 cm de alto por 80 cm de largo y 15 cm de espesor empotrado desde el terreno natural.

6 DISEÑO DE LA LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Para el diseño del espesor de la losa de concreto hidráulico se ingresan los datos anteriormente presentados en el software libre para diseño de Pavimentos PCAcálculo.

El programa PCAcálculo fue elaborado para el diseño de pavimentos de concreto para carreteras y calles, utilizando la metodología PCA- 84 (Portland Cement Association - 1984). Es un programa que tiene en cuenta el análisis de elementos finitos que plantea la metodología de diseño de la PCA. A través del procedimiento de diseño manual se utilizan nomogramas que consideran el Análisis de Fatiga y el número permisible de repeticiones de carga basado en el factor de relación de

esfuerzo, así como el Análisis por Erosión teniendo en cuenta el número permisible de repeticiones de carga basado en el factor de erosión.

El análisis de fatiga evalúa los esfuerzos producidos en la losa ante la aplicación de cargas, las cuales, si son excesivas, generan agrietamiento en las losas. Mientras que el análisis de erosión es usado para limitar la deflexión que se produce en los bordes, las juntas y las esquinas de las losas del pavimento de concreto que, con presencia de agua, producen erosión en la subbase granular; este fenómeno se da debido a que las repeticiones de carga de ejes pesados en las esquinas y bordes ocasionan erosión en la subrasante y la subbase, es decir, producen vacíos los cuales inducen el escalonamiento y fisuración de las losas.

Para el cálculo del espesor de la losa, la metodología de diseño de la PCA, establece que se debe colocar un espesor de losa inicial. Se introducen los siguientes datos de entrada como:

- Módulo de reacción de la subrasante o del conjunto subrasante - subbase (en este caso se ingresa el valor de CBR para la correlación).
- Módulo de rotura promedio del concreto.
- Factor de seguridad de carga adoptado.
- Sistema de transferencia de carga en las juntas transversales.
- Presencia o ausencia de bermas de concreto.
- Período de diseño del pavimento.
- Número de ejes equivalentes para una carga de 8.2 toneladas.

Luego, se hace el cálculo del porcentaje de fatiga y el porcentaje de erosión y, dependiendo de los resultados de estos porcentajes, se ajusta (ya sea aumentando o disminuyendo) el espesor de losa inicialmente propuesto.

Es importante resaltar en el análisis de resultados que el espesor de losa escogido para el tanteo se considera inadecuado si el consumo total de fatiga o el daño total por erosión superan el 100%. En este caso, se realiza otro tanteo con un espesor de losa mayor. Asimismo, se debe realizar un ajuste del espesor inicial si el valor del porcentaje de fatiga y de erosión es muy cercano al 0%, debido a que se tendría una losa de pavimento que, en el período de tiempo considerado para el diseño, no tendría ningún desgaste lo que podría representar un diseño no económicamente viable.

El diseño de pavimento rígido propuesto para la vía rural del municipio de Giraldo en el departamento de Antioquia, bajo el proyecto "Construcción de pavimento rígido en vía Giraldo - Cuajaron " se hace teniendo en cuenta los datos de volumen de tránsito y CBR de subrasante presentados anteriormente.

6.1 DATOS DE ENTRADA

Teniendo en cuenta lo establecido anteriormente, los datos que se precisan ingresar al software se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 *Datos de entrada para el software PCAcálculo*

Dato	Valor
Periodo de diseño	20 años
Espesor de la losa	200mm
Módulo de rotura del concreto	3.8 MPa
Dovelas	Si
CBR	5.5%
Espesor de subbase (sin tratar)	150 mm
Factor de seguridad	1.0
Tipo de ejes	Eje simple
Numero de ejes eq. de 8.2ton	148654

Por otra parte, para el cálculo de las repeticiones esperadas para cada carga por eje, se utiliza la información presentada en la Tabla 5, correspondiente a la Vía Giraldo-Cuajaron. Estos datos se obtienen a partir del informe de Estudio de tránsito de esta vía, presentado para el proyecto. Para el cálculo del tránsito acumulado se tiene que:

- El Factor de Seguridad de Carga (FSC) se considera igual a 1, debido a que se tiene bajo volumen de tránsito.
- El factor de crecimiento será de 1.2, correspondiente a los 20 años de periodo de diseño y de una tasa de crecimiento del 2%.
- El TPD de diseño se calcula como:

$$TPD_{diseño} = TPD_{2024} * Fator\ de\ crecimiento$$

- El Tránsito acumulado será:

$$Transito\ acumulado = TPD_{diseño} * Perdiodo\ de\ diseño * \%Veh.comerciales * 365$$

Los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5 Datos para el tránsito acumulado

Datos diseño de estructura	
Datos	Valor
TPD (2044)	198
Veh. Comerciales	23%
Periodo diseño	20
FSC	1
Factor crecimiento	1.2
TPD diseño 1 dir	64
T acumulado	104795

De esta manera, con la información de espectro de cargas del INVIAS, se calculan las repeticiones esperadas para las cargas tanto de eje sencillo como de eje tándem. Las repeticiones esperadas se calculan como:

$$Repeticiones\ esperadas = \frac{Ejes\ por\ 1000\ VC}{1000} * transito\ acumulado$$

Los resultados se presentan en la Tabla 6 para eje sencillo y en la Tabla 7 para eje tándem, las casillas en color son las que se ingresan en el software PCAcálculo.

Tabla 6. Repeticiones esperadas para cargas de eje sencillo

EJE SENCILLO			
Carga por eje kN	Multiplicado por FSC	Ejes por 1000 VC	Repeticiones esp.
133	133	0.58	61
125	125	1.35	141
115	115	2.77	290
107	107	5.92	620
98	98	9.83	1030
89	89	21.67	2271
80	80	28.24	2959
71.1	71.1	38.83	4069
62.2	62.2	53.94	5653
53.3	53.3	168.85	17695

Tabla 7. Repeticiones esperadas para cargas de eje tándem

EJE TÁNDEM			
Carga por eje kN	**Multiplicado por FSC**	**Ejes por 1000 VC**	**Repeticiones esp.**
231	231	1.96	205
213	213	3.94	413
195	195	11.98	1255
178	178	34.27	3591
160	160	81.42	8532
142	142	85.54	8964
125	125	152.23	15953
107	107	90.52	9486
88.8	88.8	112.81	11822
71.1	71.1	124.69	13067

6.2 7.2 RESULTADOS

Ingresando los datos de la Tabla 4 en el software PCAcálculo, éste arroja los resultados correspondientes al porcentaje de fatiga y al porcentaje de erosión. Esto se puede observar en la Figura 2, se puede observar cómo es el comportamiento del porcentaje de fatiga y el porcentaje de erosión con las condiciones que se tienen para las vías variando el espesor de losa.

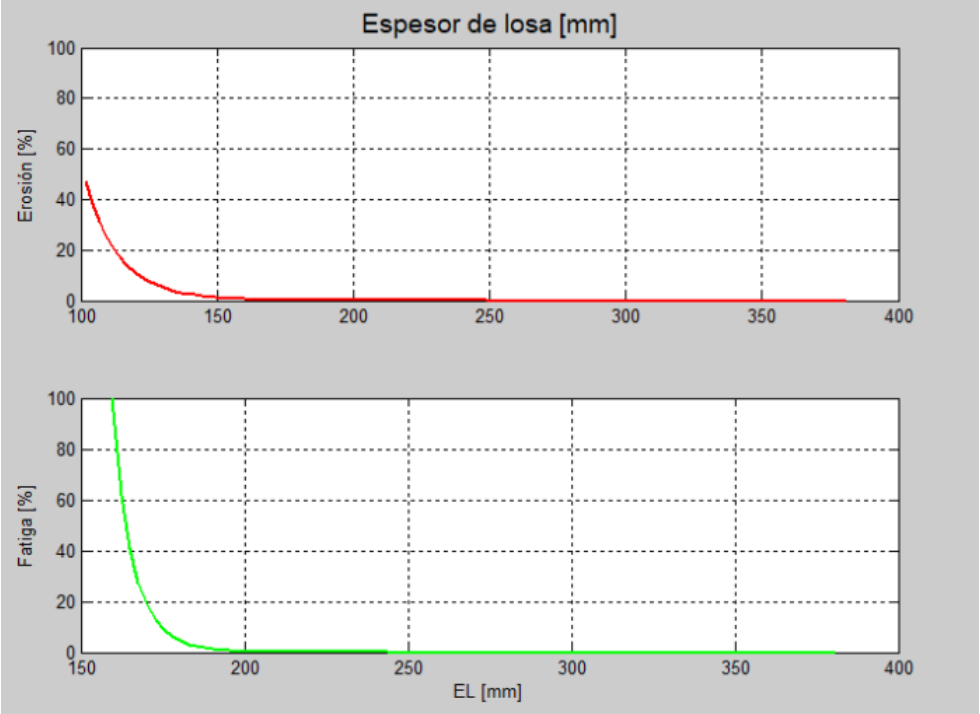


Figura 1. Variación del porcentaje de erosión y de fatiga según espesor de la losa

Teniendo en cuenta el diseño presentado en la Figura 2, se concluye que el espesor seleccionado para la losa que compone el pavimento rígido de la vía del municipio del proyecto cumple a satisfacción las condiciones de porcentaje de erosión y fatiga, dado que corresponden a valores menores al 100%. Por lo tanto, se puede considerar que el espesor de 18 cm (180 mm) es un espesor óptimo según la metodología de diseño escogida que corresponde a lo que establece el manual "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements" de la 'Portland Cement Association' (PCA).

De esta manera, en la Tabla 8 se puede observar el espesor de losa de concreto hidráulico y de subbase resultante para las vías de este proyecto.

Tabla 8 *Espesor de losa. Estructura de pavimento*

Municipio	Espesor de losa	Espesor subbase
Giraldo	18 cm	15 cm

6.3 DIMENSIONES DE LA LOSA

Para determinar las dimensiones de la losa es necesario cumplir con la relación de esbeltez, como se presenta a continuación.

$$RE = \frac{\text{Largo}}{\text{Ancho}}, \qquad ; 1 \leq RE \leq 1{,}3$$

Se ha establecido dicha relación de esbeltez, según lo establecido en el capítulo 3.5 de Juntas del Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS. Esta relación se ha establecido al observar que losas cuadradas tienen un mejor comportamiento estructural.

Se propone dimensiones de placa con ancho total de 5,10 metros, incluyendo los bordillos. Por lo tanto, las dimensiones efectivas de la losa se presentan en la Tabla 9; estas se tomaron con el fin de optimizar la relación de esbeltez. El ancho de vía presentado corresponde al valor sin tener en cuenta el espesor de los bordillos.

Tabla 9*. Medida de la losa de concreto*

Ancho de vía (m)	Ancho de placa (m)	Largo de placa (m)	RE
4.5	2.4	3.0	1.25

A continuación, en la Figura 4 se muestra la sección de la vía, para un espesor del pavimento de concreto hidráulico propuesto igual a 18 cm y un espesor de subbase granular de 15 cm.

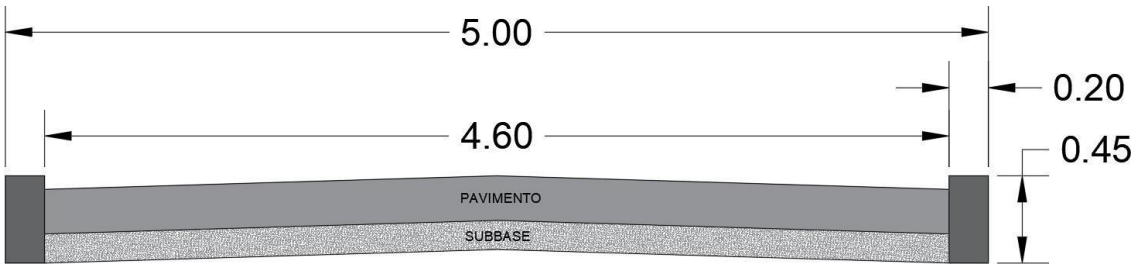


***Figura 2**. Sección típica estructura de pavimento vía. Medidas en metros*

6.4 JUNTAS

Debido a flujo vehicular y los cambios de temperatura es necesario hacer un diseño de juntas para contrarrestar los efectos debidos a los movimientos de contracción y dilatación del concreto y, de esta manera, impedir fisuraciones entre la cara superficial y la del soporte de la losa. Para el diseño que se propondrá de las juntas y, en general, del sistema de transferencia de cargas se tendrá en cuenta lo establecido por el Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS.

6.4.1 Juntas longitudinales

Se hacen necesarias debido a que estas contrarrestan el efecto del alabeo, el cual se presenta porque el concreto se ve somete a cambios de temperatura que produce esfuerzos dentro de la losa y podría generar fisuras. Cuando se tienen vías de dos carriles, como la del presente proyecto, estas juntas longitudinales coinciden con las juntas de construcción, generadas al construir la vía por carriles.

Con el objetivo de presentar un confinamiento lateral de la estructura del pavimento, es necesario dotar las juntas longitudinales con barras de anclaje seleccionadas según el Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, mediante la Tabla 6-1 del INVIAS.

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 fy= 187,5 MPa (40.000 psi)												
150		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		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	0,45	0,60	0,55	0,50	0,60	1,05	1,00	0,90	0,70	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 fy= 280 MPa (60.000 psi)												
150		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20		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	0,65	0,90	0,80	0,75	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	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 6-1. Recomendación para las barras de anclaje

Teniendo en cuenta el espesor de losa de concreto obtenido anteriormente (200 mm), para las barras de anclaje que compondrán las juntas longitudinales del pavimento rígido se escogerán las especificaciones respecto a diámetro de barra, longitud y separación entre barras que se han seleccionado en la Tabla 6-1 del INVIAS. Según esta tabla se establece el refuerzo de las juntas longitudinales para el diseño del pavimento, como se muestra en la Tabla 10. En este caso, se selecciona la resistencia del acero de 60,000 psi que equivale a 420 MPa debido a que esta corresponde al acero comercial.

***Tabla 10**. Refuerzo longitudinal*

Espesor de losa (cm)	Diametro de barra	Longitud (m)	Espaciamiento (m)	Fy de acero (MPa)
18	3/8”	0.65	0.8	420

6.4.2 Juntas de expansión o aislamiento

Se hacen necesarias debido a la existencia de elementos incorporados en el pavimento como los son los sumideros, también cuando hay cambios bruscos de dirección en las intersecciones viales y cuando se tiene un cambio de pavimento.

Para el caso de los sumideros y estructuras incorporadas en el pavimento la junta de expansión debe estar alejadas de los bordes de la estructura 300 mm y su forma debe ser poligonal o circular, para el caso de las poligonales se deben poner juntas longitudinales y transversales en cada vértice del polígono, si es circular debe ir al

menos con una junta transversal o longitudinal. Estas juntas deben tener un ancho de 10 a 15 mm. En la Figura 4 se presenta un esquema de estas juntas.

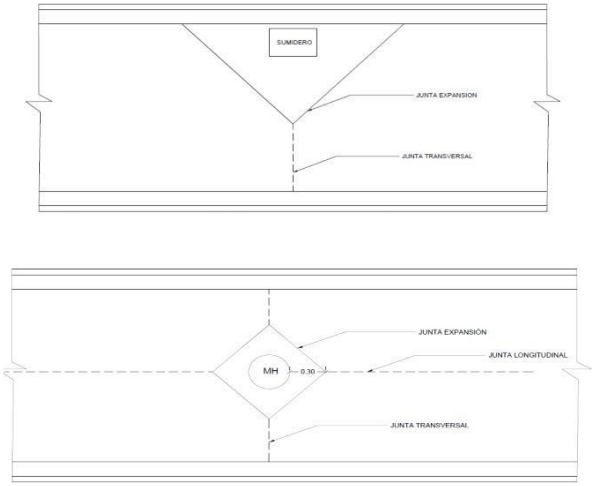


Figura 3. *Esquema de junta de expansión*

6.4.3 Dovelas

También llamados pasadores de carga, están incorporadas dentro del concreto fresco. Las dovelas se instalan en las juntas transversales de tal manera que permitan que las losas se separen y se unan entre sí, pero no se desplacen verticalmente; su función es absorber los esfuerzos cortantes generados por el tránsito.

Al menos tres cuartas partes de su longitud debe estar cubierta con un material antiadherente, deben ser resistentes al agua y a la corrosión. Estas deben ser lisas y, además, deben tener un límite de fluencia mínimo de 420 MPa.

Para determinar el diámetro del pasador, su longitud y separación, se debe tener en cuenta la Tabla 6-2 del INVIAS.

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 6-2. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga

Para el espesor de losa de concreto establecida de 200 mm, se tendrán las especificaciones en cuanto a diámetro del pasador, longitud y separación entre centros según se ha marcado en la Tabla 6-2. Por lo que se tomaran pasadores para el diseño de pavimento de las vías como se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. *Pasadores para las vías*

Espesor de losa (cm)	Longitud (m)	Espaciamiento (m)	Diámetro de barra (pul)
15	0.35	0.30	1

6.4.4 JUNTAS DE DILATACIÓN

Las juntas de dilatación estarán espaciadas máximo cada 2 m, según lo establecido en el Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

• Se concluye que el diseño escogido tiene las siguientes características: una losa de concreto simple con resistencia a la flexo-tracción de 3.8 MPa. Se tiene un espesor de 15 cm para la Vía del Municipio de Giraldo en el departamento de Antioquia. Se proponen juntas trasversales o pasadores de carga para todas las vías del proyecto, las cuales se realizan con el fin de permitir que las placas se separen y se unan entre sí, pero no se desplacen de manera vertical, esto para

absorber los esfuerzos cortantes generados por el tránsito; estas se decidieron como barras de 1", con una longitud de 0.35 m, una separación de 0.3m y un fy=420Mpa.

• La teoría del procedimiento de diseño establecido en el manual "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements" de la Portland Cement Association (PCA), se basa en un análisis comprehensivo de los esfuerzos y deflexiones en el concreto a través de programas computacionales de elementos finitos. Es por esto que, se opta por la utilización de esta metodología de diseño, la cual es aplicable a los pavimentos rígidos con juntas y bermas para cualquier tipo de tránsito.

• Es posible notar que el espesor de losa escogido para la vía (15 cm) cumple con los criterios de diseño en cuanto al análisis de fatiga debido a que el porcentaje obtenido tiene un valor menor del 100%, si este superara dicho valor se debería evaluar de nuevo el espesor de la losa. El espesor de la losa evaluado cumple con los parámetros de diseño en cuanto al análisis de erosión debido a que el porcentaje obtenido mediante el software de cálculo es de menos del 100% para el espesor seleccionado.

• Teniendo en cuenta los resultados registrados en el Estudio de Suelos del presente proyecto, respecto a valores de capacidad portante de la subrasante, se evidencia que todas las muestras tomadas presentan un CBR aceptable para el diseño del pavimento rígido, esto también implica que se puede adoptar el espesor estándar de subbase granular clase C de 15 cm.

• El espesor de losa de 15 cm con un módulo de rotura del concreto de 3.8 Mpa, corresponde a una resistencia factible de ejecutar in situ y a su vez el espesor se acomoda a dimensiones de formaletas comerciales encontradas en la zona.

• Se recomienda no modificar las características geométricas, pero de ser necesario es importante realizar de nuevo la verificación del porcentaje de erosión y el porcentaje de fatiga establecidos en la metodología de diseño de pavimento rígido de la PCA.

• Es importante ejecutar las juntas con las dimensiones y características expuestas anteriormente, de no ser así no cumplirían a cabalidad la función para la que fueron puestas.

• Para los casos donde se presenten losas irregulares se recomienza su reforzamiento con una doble parrilla construida con barras corrugadas de ½" de diámetro, separadas en cada sentido 0.20m y colocadas a una distancia de 0.075m, medidos a partir del eje neutro de la losa.

8 BIBLIOGRAFÍA

- 'Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements" de la Portland Cement Association {PCA).
- Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS.

Elaborado por,



SAMUEL BARRERA CABALLERO

T.P. 68202-328667 STD

CIICOCSAB S.A.S