



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ANÁLISIS DEL DISEÑO Y LA CALIDAD DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN EL
PROYECTO: “MEJORAMIENTO DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE CÓRDOBA,
A TRAVÉS DE LA PAVIMENTACIÓN EN CONCRETO RÍGIDO DE LA CALLE 4 ENTRE
CARRERA 1A Y CARRERA 4, DEPARTAMENTO DE NARIÑO”**

**Autor
Jose Clemente Pinchao Rosero**

**Universidad de Antioquia.
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil.
Medellín, Colombia.
2020.**



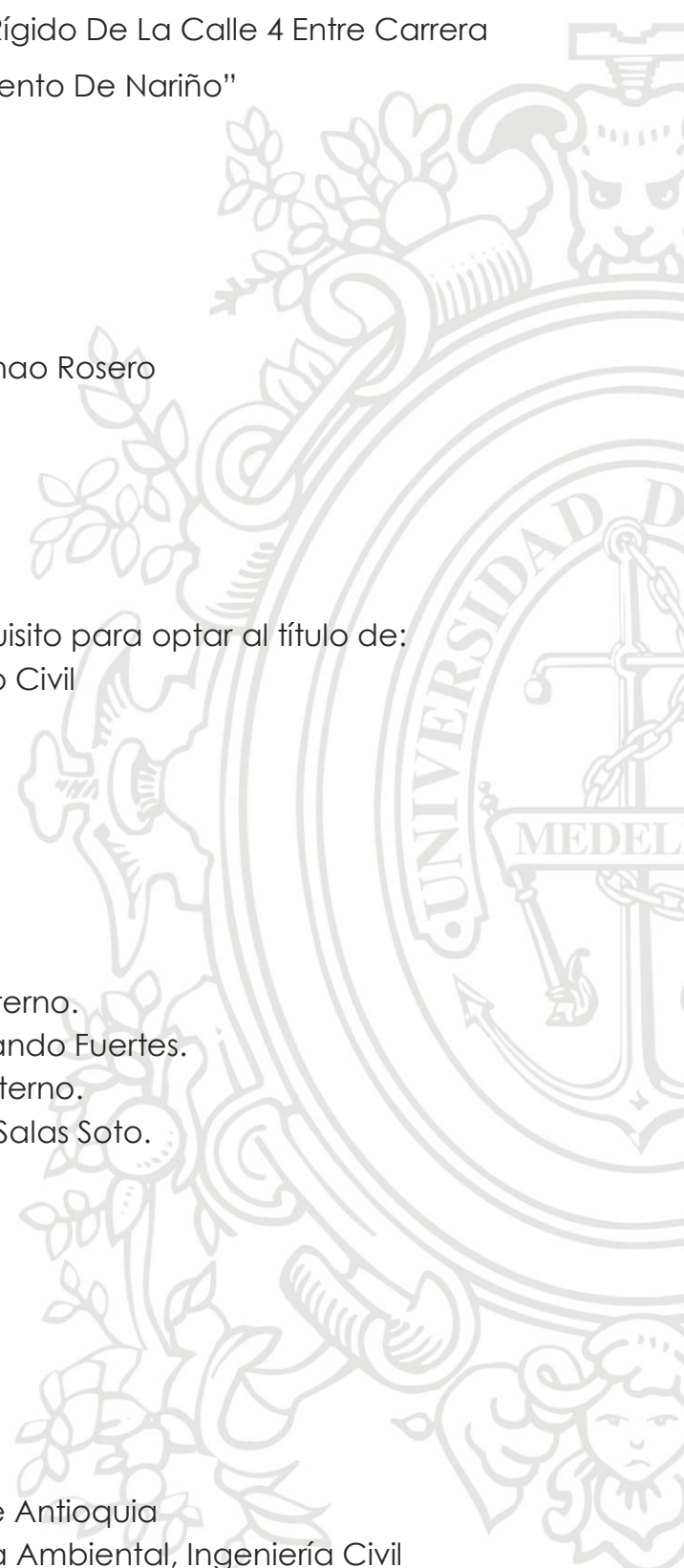
Análisis Del Diseño Y La Calidad De La Estructura De Pavimento En El
Proyecto: "Mejoramiento De Vías Urbanas Del Municipio De Córdoba, A
Través De La Pavimentación En Concreto Rígido De La Calle 4 Entre Carrera
1a Y Carrera 4, Departamento De Nariño"

Jose Clemente Pinchao Rosero

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesor interno.
Juan Carlos Obando Fuertes.
Asesor externo.
Jesús Alberto Salas Soto.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil
Medellín, Colombia
2020.



Informe Final Practica Académica Modalidad Práctica Empresarial



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
1803
FACULTAD DE INGENIERÍA

Identificación del estudiante

Nombres y apellidos.	Jose Clemente Pinchao Rosero
Semestre académico.	Decimo

Identificación del asesor interno (U. de A.)

Nombres y apellidos.	Juan Carlos Obando F.
----------------------	-----------------------

Identificación del asesor externo (empresa)

Nombres y apellidos.	Jesús Alberto Salas S.
----------------------	------------------------

Identificación de la empresa

Nombre de la empresa.	Alcaldía Municipal de Córdoba Nariño.
Dirección.	Barrio el centro
Ciudad.	Córdoba - Nariño
Teléfono.	7800116
Actividad económica.	Administración publica

ANÁLISIS DEL DISEÑO Y LA CALIDAD DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN EL PROYECTO: “MEJORAMIENTO DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE CÓRDOBA, A TRAVÉS DE LA PAVIMENTACIÓN EN CONCRETO RÍGIDO DE LA CALLE 4 ENTRE CARRERA 1A Y CARRERA 4, DEPARTAMENTO DE NARIÑO”

Resumen

El pavimento de concreto rígido, es una excelente alternativa en construcciones viales; siendo una solución económica a largo plazo y resulta aún más competitiva, cuando se tiene disponibilidad de materias primas y equipos de construcción. Pero, al igual que cualquier obra de infraestructura es necesario supervisar la parte constructiva y de diseño, con el fin de garantizar una buena calidad estructural; en este sentido, el presente trabajo da a conocer una revisión adelantada a un proyecto de pavimentación en una de las calles principales del municipio de Córdoba, departamento de Nariño, en donde se pretende revisar y evaluar las alternativas de diseño y construcción de la estructura de pavimento, teniendo en cuenta las normas y guías certificadas para el diseño y la construcción de pavimentos rígidos. Además, se revisa la calidad de los materiales y procesos constructivos, con el fin de garantizar la estabilidad de la estructura a largo plazo.

Introducción

Los pavimentos de concreto rígido permiten un adecuado tránsito vehicular y peatonal en calles y carreteras, teniendo ciertas ventajas en comparación con los pavimentos flexibles de asfalto. Primeramente, porque los costos totales son inferiores para un mismo período de diseño; esto se debe principalmente a que los costos de mantenimiento del pavimento de concreto son mucho menores. Por otro lado, el pavimento de concreto rígido tiene una durabilidad más larga que el pavimento asfáltico y puede tener una mayor facilidad de construcción cuando se usan plantas de hormigón y equipos especializados.

El concreto rígido, resiste los efectos de la intemperie, altas temperaturas y altas cargas transmitidas por los vehículos pesados. Por otra parte, al paso del tiempo, el concreto gana resistencia. Además, no se deforma severamente cuando se aplican altas cargas de tránsito, al no deformarse no se presenta deterioro de la calzada, manteniendo un drenaje adecuado para el agua lluvia.

Una de las aplicaciones de pavimentación en concreto rígido se presenta en la construcción de la calle cuarta del casco urbano del municipio de Córdoba-Nariño; la cual, busca el beneficio comunitario, por medio de la mejora en el tránsito vehicular y peatonal. Para realizar esta labor, la alcaldía municipal ha gestionado los recursos necesarios para desarrollar procesos de construcción vial, siendo necesario verificar la idoneidad de los métodos de diseño según las normas vigentes y mediante supervisión directa de la obra;

con el fin de comprobar la ejecución correcta de la estructura de pavimento, teniendo en cuenta los respectivos controles de calidad.

Objetivos

Objetivo general

Comprobar el adecuado diseño y construcción del pavimento, teniendo en cuenta la capacidad para soportar las cargas vehiculares comunes en la vía.

Objetivos específicos

- Revisar los diseños utilizados en la construcción de la infraestructura del pavimento.
- Comprobar la idoneidad y las propiedades de los materiales Útiles para soportar las cargas del tránsito vehicular.
- Comprobar los métodos usados para el diseño de pavimento, verificando el cumplimiento de la normatividad vigente.
- Comprobar en obra las características constructivas estipuladas en el diseño de las diferentes capas de la estructura del pavimento.
- Proponer alternativas de diseño y construcción que mejoren los resultados constructivos y de calidad.

Marco Teórico

Los pavimentos se diseñan y construyen para prestar un servicio a la población, durante un tiempo estipulado, manteniendo unas condiciones de seguridad óptimas, con un costo apropiado. Dentro del diseño del pavimento, es necesario tener en cuenta elementos, tales como: la capacidad de soporte del suelo, el tránsito, el clima y los materiales de diseño; Algunas de estas variables se describen a continuación:

Las propiedades del pavimento de concreto

La característica que identifica los pavimentos de concreto es su alta rigidez, por la cual le transmiten al suelo, las cargas y esfuerzos en áreas muy grandes. Esta característica hace que el pavimento tenga capacidad de soporte para tráfico pesado o intenso, y en tráfico muy bajo, el pavimento de concreto se puede construir sobre el suelo sin una capa de material de soporte.

Las juntas y la alta rigidez hacen reducir la erosión ocasionada por el fenómeno de bombeo y el paso de los vehículos. El deterioro se reduce cambiando losas, juntas y barras de transferencia de carga con un buen drenaje.

Es necesario tener en cuenta que los pavimentos se suelen deteriorar cuando existen sobrecargas que no se contemplan en el estudio del tránsito. Pero un aumento en el grosor del diseño, es una buena protección a las sobrecargas y la vida Útil del pavimento.

Calidad de agregados

En los pavimentos de concreto, se puede usar una gran variedad de agregados y arenas, siempre y cuando se cumplan unas condiciones mínimas estipuladas en las normas; con lo cual, se puede alcanzar una buena resistencia y calidad. Además, la utilización de agregados debe estar respaldada por ensayos cualitativos y cuantitativos que permitan establecer la resistencia presente en el diseño.

Subrasante y clima

El pavimento rígido, no depende en gran medida de la capacidad de soporte del suelo y el clima, comparada con otro tipo de pavimento; por esta razón el pavimento rígido se aplica en suelos con baja capacidad portante, por lo que las cargas que llegan al suelo son bajas. Aunque en suelos con baja capacidad de soporte se debe tener cuidado en el diseño y construcción. En zonas de temperatura alta, los pavimentos de concreto no se deforman con cargas pesadas si las dimensiones tienen límites razonables.

Costos de construcción

Los costos son un factor importante en las labores de construcción, mantenimiento, operación, y dentro de otros criterios particulares.

Los costos asociados al mantenimiento dependerán de la rigidez de la estructura de construcción; siendo altos en pavimento débiles. En general los pavimentos de concreto, comúnmente tienen bajos costos de mantenimiento, siempre que las obras se encuentren bien construidas. Una ventaja para los usuarios, está en los escasos los cierres para realizar reparaciones, lo cual mantiene constantes los costos de operación y permite tener una mayor certeza en la disponibilidad del servicio.

Otros factores

Otros Factores que se deben tener en cuenta para la selección de los pavimentos de concreto son la capacitación y disponibilidad de los trabajadores, con el fin de lograr una rápida y eficiente construcción. En las zonas de altas temperaturas, es mejor usar pavimentos de concreto ya que estas condiciones no alteran la estructura de concreto y su desempeño **(Ministerio de transporte, Instituto nacional de vías. (2008)).**

Métodos de diseño

Teniendo conocimiento las características de la zona, costos, y materiales se selecciona un método de diseño adecuado para los pavimentos de concreto; dentro de los más utilizados en Colombia están el método AASHTO de 1993 y la PCA de 1984. Ambos métodos son diferentes y en ocasiones suelen producir resultados variados, en condiciones iguales, pero cabe resaltar que es necesario tener las recomendaciones de ambos métodos en el diseño **(M. Becerra. (2012))**

Entre otros métodos aplicados en la construcción de proyectos de pavimentos se tiene: métodos empíricos, métodos de falla cortante límite, métodos de deflexión límite, métodos de regresión basados en el desempeño de tramos de prueba, método de diseño de losas optimizadas y los métodos empíricos-mecanistas (MEPGD); los cuales son poco usados para el diseño, pero son una alternativa para la construcción de proyectos de pavimentación **(E. Chirinos. (2015))**

Metodología

La metodología a desarrollar para alcanzar los objetivos, comprende hacer una revisión de los estudios y diseños, con el fin de determinar el adecuado grosor de pavimento. Con lo cual, se tiene una mayor confianza en la resistencia del concreto ante las cargas impuestas por el tránsito vehicular. Seguidamente, se deberá verificar si las especificaciones técnicas presentes en el contrato de obra están en concordancia a los diseños y los métodos normativos de construcción, con el fin de garantizar un adecuado desarrollo de la infraestructura vial. Para finalizar se deberá realizar un seguimiento a la construcción de la obra, comenzando por la adecuación de la Subrasante hasta finalizar la construcción de la losa del pavimento; esta actividad permite llevar un control de calidad de la obra y a la vez comprobar la buena ejecución de los procesos constructivos. Para comenzar este proceso de revisión de diseños y supervisión de obra es necesario tener la documentación necesaria, tanto de planos, estudios previos, bases de cálculo y registros de ensayos de laboratorio hechos tanto a el suelo como a los materiales utilizados; además se deberá hacer una revisión bibliográfica para determinar la buena ejecución de los métodos de diseño y estudios previos realizados.

Una vez realizada la revisión de la información presente se deberá hacer una comparación de resultados obtenidos al aplicar otros métodos de diseño alternativos. Igualmente se deberá comprobar que los materiales aplicados en la construcción resistan las cargas máximas de tránsito calculadas; esto se lo hará mediante un análisis y revisión de la calidad y capacidad de soporte de cada elemento usado, así como de la mezcla de concreto aplicada. Después de hacer un análisis cuantitativo como cualitativo del diseño del

pavimento, se deberá observar y calificar la aplicación de los métodos constructivos en obra. En todo caso, la revisión y seguimiento a esta importante obra del municipio, permitirán la buena calidad y durabilidad de la infraestructura vial.

Resultados y análisis

Revisión de información bibliográfica

Haciendo una revisión bibliográfica, se ha encontrado que en la construcción de concretos hidráulicos es importante tener un gran control de diversas variables, ya que una variación en un aspecto inesperado o no previsto puede ocasionar fracturas o un deterioro progresivo de la calzada; por tal motivo, es necesario revisar aspectos de diseño y procesos constructivos. Esto se hace en primer lugar para garantizar un adecuado funcionamiento de la calzada, evitando pérdidas económicas. Cabe resaltar que los pavimentos rígidos tienen una alta resistencia al tránsito, pero si se construyen con materiales de mala calidad o se omiten algunos pasos dentro de la construcción, la estructura puede sufrir daños irreparables, aunque sean vías de tránsito bajo; por tal motivo se debe tener un buen material de soporte de las losas y un buen sellado de las juntas para evitar la entrada de agua lluvia a los estratos inferiores de la calzada. Además, la losa de concreto deberá contar con adecuadas barras de transferencia de carga de acero liso denominadas dovelas las cuales ayudan a controlar las cargas impuestas por el tránsito, añadiendo una mayor resistencia a la estructura; igualmente, es importante contar con un buen sistema de drenaje que ayude a conducir rápidamente el agua lluvia que cae sobre la calzada; evitando encharcamientos que deterioran la losa de concreto y dificultan el tránsito vehicular o peatonal. Por otro lado, es importante tener en cuenta que el diseño de la estructura de pavimento de concreto rígido debe contemplar la presencia de cargas elevadas que puedan resultar inesperadas; por tal motivo un leve aumento en el grosor de la calzada puede resultar beneficioso ante eventuales sobrecargas y a su vez puede mantener un adecuado nivel de servicio, por un largo período de tiempo.

Dentro de la supervisión de la calidad de los materiales es importante revisar que los agregados utilizados en las diferentes capas de la estructura de pavimento cumplan con las características de resistencia y grosor adecuado; como también, deberán estar libres de materia orgánica y materiales indeseados. En general, los agregados utilizados en la obra de construcción, deberán cumplir los requisitos contemplados en las especificaciones técnicas y normas de construcción de pavimentos; con el fin de garantizar aspectos tales como, la calidad y resistencia.

Por otra parte, si se analizan los beneficios de los pavimentos rígidos podemos encontrar que estos, son menos sensibles a las variaciones en las condiciones climáticas y a la capacidad de soporte del suelo; esto se debe a que las losas de concreto rígido distribuyen las cargas en una mayor área. Pero si la capacidad del suelo es muy baja puede ocasionar problemas de agrietamiento, fracturas y hundimientos, por tal motivo es recomendable hacer un mejoramiento de suelo antes de construir la estructura de pavimento. Igualmente, los costos de mantenimiento son menores, comparados con los pavimentos asfálticos o flexibles, esto se garantiza siempre y cuando se obtenga la solidez adecuada; por tal motivo es necesario garantizar la calidad de la estructura vial, evitando así sobrecostos de mantenimiento.

Como ya se había mencionado el diseño de pavimentos, es una de las labores de mayor importancia dentro de un proyecto vial, por esta razón se debe tener especial cuidado a la hora de realizar los estudios de consultoría. Dentro del diseño, son fundamentales aspectos como: la capacidad de soporte del suelo, el tránsito, el periodo de diseño, las condiciones climáticas, los materiales de construcción, etc. Las metodologías comúnmente usadas para el diseño en Colombia, son el método AASHTO y el método PCA, los cuales tienen en cuenta los ejes equivalentes acumulados de 8.2 ton, que han de pasar durante el periodo de diseño. Como también, se deberá contar con datos de resistencia de la Subrasante, obtenidos mediante pruebas de campo y ensayos de laboratorio; siendo necesario tener el valor de la Relación de Soporte de California del suelo (CBR) y el módulo de reacción de la Subrasante (k). Igualmente, para el diseño, se debe definir el material de soporte del pavimento y las características de calidad del concreto, los cuales son supervisados mediante ensayos de densidad y resistencia. Las juntas de losas de concreto deben ser consideradas en el diseño, con el fin de controlar los esfuerzos presentes en el concreto como una consecuencia de contracción y dilatación ocasionados por el tránsito vehicular y los cambios de temperatura.

Los parámetros de diseño se deberán verificar en todo el proceso constructivo, y además se deberá comprobar que los acabados de la superficie de concreto cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto.

Teniendo en cuenta el manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, se ha establecido que es recomendable tener juntas transversales con una relación largo-ancho entre 1 y 1,3; igualmente, se recomienda que las losas tengan una tendencia cuadrada, con el fin de garantizar un mejor comportamiento estructural. Además, cuando se tengan pavimentos con más de 30cm de espesor es

necesario vigilar muy bien los procesos constructivos, poniendo atención en la colocación y vibrado de concreto, además del aserrado de las juntas.

Análisis de la información del proyecto

Dentro de diferentes proyectos de infraestructura que se están desarrollando en el municipio de Córdoba, departamento de Nariño, se encuentra una importante obra de pavimentación; la cual busca mejorar el tránsito vehicular y peatonal de una vía ubicada en el casco urbano del municipio.

La necesidad de realizar el proyecto de pavimentación, nace de la dificultad para transitar la vía, debido al avanzado deterioro de la estructura. En este sentido, para dar solución a la problemática primeramente se hicieron estudios de: tránsito, hidrología, propiedades del suelo y las características del pavimento; las cuales se han determinado mediante estudios de consultoría.

En dichos estudios se establece que la vía tiene un ancho promedio de 6.30m, una pendiente del 2%; además se da a conocer que el suelo encontrado tiene características regulares, con recebo de 20cm. Como también, se indica que la Subrasante está constituida por un suelo limo arcilloso de baja plasticidad, color café oscuro; lo cual indica que se trata de un suelo de baja resistencia, por lo que se recomienda realizar un mejoramiento de suelo con recebo granular, para luego colocar la subbase.

Seguidamente, haciendo la revisión a los documentos correspondientes al diseño de la estructura de pavimento se ha establecido que el CBR de diseño es del 5%, el cual se lo ha determinado mediante ensayos de laboratorio para muestras de suelo tomadas en diferentes tramos de vía. Igualmente se determina que el periodo de diseño de la estructura de pavimento es de 20 años, el cual es el recomendado para esta vía; ya que según los estudios de tránsito se trata de una calle con baja intensidad de tráfico. Luego analizando el conteo vehicular realizado; se establece que solo se hizo un aforo de 3 días (16, 17 y 18 de enero de 2019) correspondientes a los días miércoles, jueves y viernes, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. *Conteo vehicular en la calle cuarta.*

Conteo vehicular según estudios de consultoría									
Día	Motos	Automóvil	Buses	Camiones	C2P	c2g	c3	c5	c6
16/enero/19	232	110	7	7	7	0	0	0	0
17/enero/19	502	188	3	14	14	0	0	0	0

18/enero/19	304	170	4	14	14	0	0	0	0
TOTAL	1038	468	14	35	35	0	0	0	0
PROMEDIO	N/A	156	5	12	12	0	0	0	0
%	N/A	1	0	0	0	0	0	0	0

Como se puede detallar, la información suministrada en el conteo vehicular está incompleta, ya que el aforo vehicular debe ser superior a 1 semana; por este hecho, se puede estar omitiendo días de mayor tránsito vehicular. Además, cabe resaltar que no se cuenta con ninguna serie histórica de tránsito, lo cual hace que no se tenga un registro que indique el incremento inesperado en el número camiones de carga; esto podría ocasionar que la losa de concreto no se diseñe y construya con las características adecuadas para soportar cargas inesperadas.

Además, es importante tener en cuenta que para subsanar la falta de información y ajustar el diseño, se adiciono un vehículo de clasificación C3 el cual no se encontraba en el registro reportado en la tabla 1. Esta adición hace que se tenga un Tránsito Promedio Diario (TPD) de diseño de 173 y además se garantiza finalmente un mayor grosor en losa de pavimento.

Luego de tener algunos datos correspondientes al tránsito, la metodología sugiere hacer una proyección del tránsito según las condiciones de crecimiento vehicular de la región; siendo correcto afirmar que en el municipio de Córdoba se tiene una tasa de crecimiento normal del 3%, con lo cual se obtiene un tránsito proyectado de 4649 vehículos que circularan durante el periodo de diseño.

Con el tránsito proyectado, se procede a revisar algunas variables propias del diseño y las proyecciones del flujo vehicular, tales como el factor direccional (Fd), el factor por carril (Fca), el tránsito atraído y el tránsito generado; encontrando que dichos factores, se encuentran en concordancia a las condiciones presentes en la región. Luego, en base a estos datos se tiene un número total de vehículos de 933201; los cuales están proyectados para circular en 20 años, según la clasificación mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 2. Distribución total de vehículos durante el periodo de diseño.

TIPO DE VEHICULO	% DEL TPD	No. VEHICULOS
BUSES	3%	26971
C2P	7%	62933
C2G	0%	0
C3	1%	5394
C5	0%	0
C6	0%	0

Al tener la distribución vehicular proyectada, se determina el número de ejes en el carril de diseño, el cual se calcula en base al tipo de vehículo; como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3. Número de ejes en el carril de diseño.

VEHICULO	CARGAS		NUMERO DE EJES EN EL CARRIL DE DISEÑO/PERIODO DE DISEÑO
EJE SIMPLE DIRECCIONAL			
	TONELADAS	KN	
C3	8,4	82,4	5394
BUS	4	39,24	26971
C2P	2,8	27,47	62933
EJE SIMPLE DOBLE			
	TONELADAS	KN	
BUS	6	58,86	26971
C2P	5,2	51,01	62933
SUBTOTAL			185202
EJE TANDEM			
C3	19,6	192,3	5394
SUBTOTAL			5394
TOTAL			190597

Teniendo como base las cargas impuesta por cada vehículo y el número de ejes en el carril de diseño, se encuentra que el número total de ejes equivalentes para el año base es de 7469. Luego, sabiendo que se tendrá un crecimiento normal del 3%, se estima una proyección del tránsito de 119010 ejes equivalentes, los cuales circularan durante el periodo de diseño.

Diseño de la estructura de pavimento.

Según el tipo de suelo, el material de la subbase, la resistencia del concreto y, además, siguiendo algunos parámetros geométricos típicos de las calles del casco urbano del municipio; se establecen las siguientes variables iniciales de diseño.

Tabla 4. Datos iniciales para el diseño, según la metodología PCA

Descripción	Valor	Unidades
Espesor de losa asumido (D)	180	mm
Ancho de losa	3.15	m
Módulo de rotura del concreto (M_r)	3.8	MPa
Módulo de reacción de la subrasante (k)	39.25	MPa/m
Módulo de reacción de soporte combinado (k_c)	51.98	MPa/m

Factor de seguridad	1	
---------------------	---	--

El módulo de rotura (M_r) del concreto se lo determinó teniendo en cuenta la siguiente tabla:

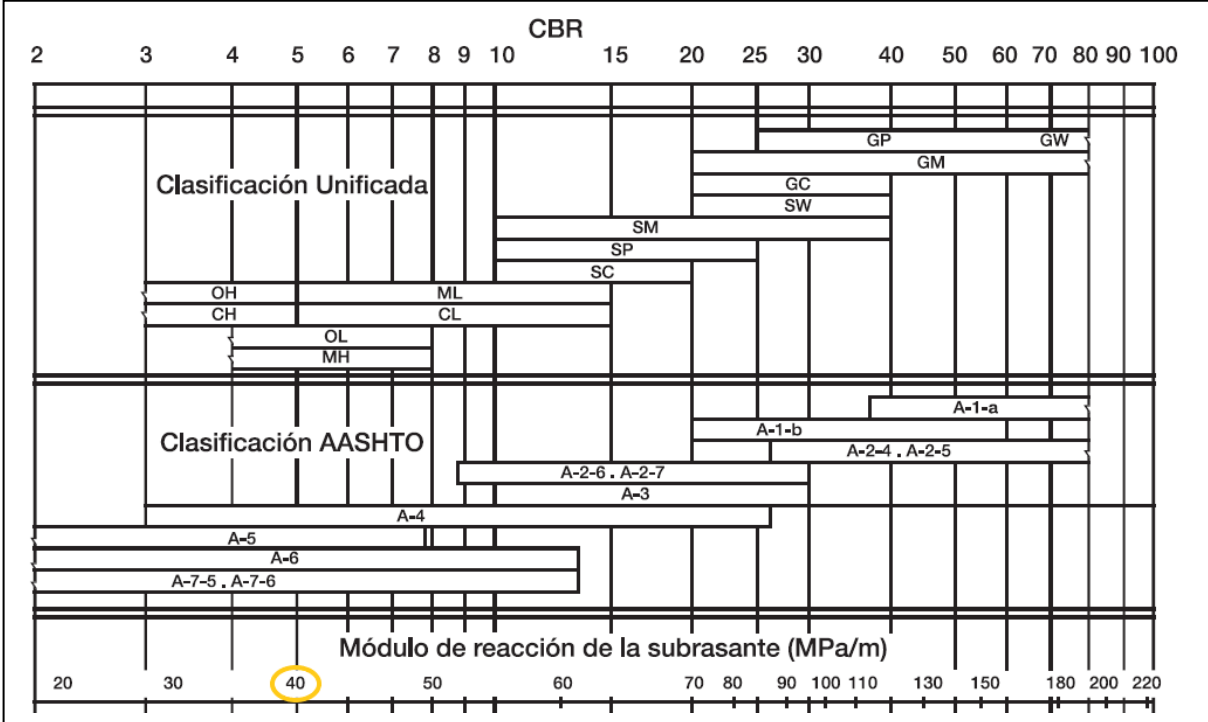
Tabla 5. Resistencia que debe alcanzar el concreto.

Calidad del Concreto	Número de camiones por día			
	> 300	150 –300	25 – 150	< 25
A flexión (MPa)	4,5	4,2	4,0	3,8

Según la anterior tabla y, sabiendo que el número de camiones que transitan por la vía es menor a 25; se determina que la resistencia a flexión del concreto es de 3.8 MPa. Esto es razonable, ya que, según el estudio de tránsito, la vía cuenta con una baja cantidad de vehículos pesados transitando por día; lo cual no genera un daño severo en la losa de concreto y, por lo tanto, no se requiere que sea de alta resistencia.

El módulo de reacción de la subrasante (k), se lo encontró teniendo en cuenta la siguiente tabla y sabiendo que el valor del CBR de diseño es de 5%.

Tabla 6. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y k .



En todo caso, el valor del módulo de reacción (k) de la subrasante según el diseño de la consultoría es de $k=39.25$ MPa/m, pero en la tabla 6 se puede detallar que el valor correcto es de $k=40$ MPa/m; en este caso la diferencia

no es significativa y, por lo tanto, cualquiera de los dos valores puede ser utilizado en el diseño.

Mientras que el Módulo de reacción de soporte combinado (k_c), se lo encontró teniendo en cuenta el valor k de la subrasante y el espesor de la subbase granular. Después de interpolar en la siguiente tabla, se calcula que el valor de K_c es aproximadamente 52 MPa/m.

Tabla 7. Módulo de reacción de soporte combinado.

SUBBASE GRANULAR		H SUBBASE (CM)			
		10	15	23	30
K SUBRASANTE (MPA/M)	20	23	26	32	38
	41	45	49	57	66
	61	64	66	76	90
	81	87	90	100	117

Luego al analizar los resultados obtenidos, aplicando el método de diseño PCA; se encontró que las condiciones iniciales planteadas en el diseño si se cumplen, dado que los porcentajes de fatiga y erosión no alcanzan el 100%. Por lo tanto, se asume que el diseño de pavimento es correcto y la estructura de pavimento soportara el tránsito vehicular durante el periodo de diseño sin sufrir un deterioro severo.

Tabla 8. Consumo por fatiga y erosión

Consumo por fatiga (%)	Consumo por erosión (%)	Espesor de losa (mm)
8.18	0.55	180

Una vez verificados los espesores de la estructura de pavimento, se procede a verificar las dimensiones de las losas, las cuales deben cumplir las especificaciones entregadas por el manual de diseño de concreto, el cual establece que la relación entre el largo y el ancho deberá oscilar entre 1 y 1.3 y, además, las losas deben tener una tendencia cuadrada. Por lo tanto, si se sabe que el ancho de carril es de 3.15 m, entonces el largo de cada losa estará entre 3.15 y 4.1 m; seleccionando adecuadamente 3.15 m para el diseño.

Sabiendo las dimensiones de las losas, se revisan las características de las barras de acero ubicadas en las juntas transversales; teniendo en cuenta la norma INVIAS, el artículo INV 500-07 y el artículo INV 640-07. Dichos artículos recomiendan el uso de barras de acero cortas y lisas denominadas dovelas, con un límite de fluencia (f_y) mínimo de 280 MPa; estos pasadores se instalan en las juntas permitiendo la separación y unión entre losas, pero no se pueden mover verticalmente y su función principal será absorber los esfuerzos cortantes producidos por las cargas del tránsito.

Luego, sabiendo que el espesor de la losa será de 180 mm, se supervisa que las barras de acero tengan una longitud de 350 mm, un diámetro de 22 mm y una separación entre barras de 300 mm, como se indica en la siguiente tabla obtenida del manual de diseño de pavimentos en concreto rígido.

Tabla 9. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga.

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

Para determinar las características de las barras de acero en las juntas longitudinales, se verifica nuevamente el cumplimiento del Artículo INV 500-07 y lo que sea aplicable del Artículo 640-07, admitiendo aceros con resistencia de 187,5 MPa. Seguidamente usando la siguiente tabla, se determina las características de los pasadores de acero.

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		0,80	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

Tabla 10. Recomendaciones para las barras de anclaje.

Sabiendo que el espesor de losa es de 180 mm y tomando el ancho del carril aproximado de 3.05 m; el pasador recomendado para las juntas longitudinales, tendrán las siguientes características: diámetro de 12.7 mm, longitud de 0.60 m y una separación entre barras de 1.20 m.

Para finalizar, según el análisis hecho al diseño de la estructura de concreto, se establece que cumple con la mayoría de los criterios recomendados. Por lo tanto, el pavimento resistirá las cargas del tránsito, siempre y cuando se construya de forma correcta.

Revisión de materiales y métodos constructivos usados en obra

La revisión de la calidad de los materiales y los métodos constructivos empleados, se la realizó teniendo en cuenta las especificaciones técnicas presentes en el contrato del proyecto y el diseño entregado. Para esto, se revisó la documentación de la obra y se realizaron visitas periódicas al lugar de la pavimentación.

Supervisión de materiales de construcción

En el estudio de la documentación y comprobantes de calidad, se pudo detallar que los materiales empleados, cumplieran con la calidad y las propiedades exigidas, en cuanto a resistencia de agregados, granulometría de la subbase, resistencia del acero y resistencia del concreto; esto garantiza una buena calidad de la obra en general. En este punto hay que tener en cuenta, que, si se emplean materiales de mala calidad, la estructura de pavimento se podría fracturar de forma inesperada, ocasionando pérdidas económicas al municipio.

Inconvenientes presentes en la obra de construcción.

Al realizar recorridos por el lugar de la obra, se pudo mirar la realidad que representa el desarrollo de una estructura de pavimento, comprobando que no es fácil llevar a cabo una construcción y que siempre existen inconvenientes inesperados. En este caso, se presentaron una gran variedad de sucesos que no se habían previsto, tales como:

1. La temporada de lluvias en la región: las lluvias han ocasionado retrasos y sobrecostos. Esto se debe a que la presencia de agua puede alterar algunas propiedades de los materiales empleados, como la compactación de subbase granular o la dosificación del concreto; obligado a los constructores a mejorar la capa de subbase y emplear grandes sombrillas para cubrir las losas de concreto recién fundidas; lo cual, ocasiona actividades extras y sobrecostos. Igualmente, las lluvias han retrasado otras labores como, la construcción de sumideros, sardineles y otras obras que se adelantan en el espacio público.
2. Pandemia del covid-19: la pandemia del covid-19 ha sido uno de los acontecimientos que más ha impactado el desarrollo normal de muchas actividades en general. Las obras de infraestructura no son la excepción, es por esto que el proyecto de pavimentación en concreto rígido de la calle cuarta del casco urbano del municipio de Córdoba, tuvo que parar actividades por más de un mes; lo cual ocasionó un retraso en la obra. Luego, al cumplir los protocolos de bioseguridad la obra pudo reanudar nuevamente.

Supervisión de los métodos y procedimientos constructivos

Siguiendo la revisión de la obra se pudo encontrar, que existen algunas variaciones en el diseño original, y además se usaron otros aspectos técnicos no contemplados en los documentos del contrato. Luego, haciendo un

análisis a dichos aspectos no contemplados, se estableció que se realizaron, con el fin de mejorar la estructura de pavimento. En primer lugar, se encontró que el material granular de la subbase fue cambiado por un material de base granular, mejorando las condiciones de la estructura de soporte; como también se observó que las juntas longitudinales no se encontraban distribuidas en su totalidad a 1.20 m según el diseño, sino que variaban entre 90 y 120 cm; esto se debió a que la formaleta suministrada no cumplía con los aspectos técnicos del diseño, pero esto no altera negativamente las condiciones de resistencia de la losa concreto. Igualmente, se encontró que se adicionaron barras de acero al lado derecho y al lado izquierdo de la calzada; esto se realizó con el fin de dar un mayor anclaje entre las losas de concreto y la base de la estructura de los andenes. En cuanto a los demás aspectos constructivos, se pudo comprobar que cumplían las condiciones presentes en los diseños y especificaciones técnicas del contrato. Por lo tanto, la estructura de pavimento soportara satisfactoriamente las cargas impuestas por tránsito vehicular; ya que, en todo el proceso constructivo se procuró garantizar la calidad de la obra. En todo caso, en la siguiente tabla se muestra un resumen de los datos de diseño y construcción del proyecto:

Tabla 11. Resultados de diseño y construcción.

Descripción	Valor de diseño	Valor en construcción	Unidad
Espesor de la subbase	200	200	mm
Espesor de losa	180	180	mm
Resistencia a flexión del concreto	3.8	3.8	Mpa
Ancho de la losa	3.15	3.15	m
Longitud de la losa	3.15	3.0	m
Longitud de pasadores de acero en junta transversal	350	350	mm
Longitud de pasadores de acero en junta longitudinal	600	600	mm
Espaciamiento de los pasadores en junta transversal	300	300	mm
Espaciamiento de los pasadores en junta longitudinales	1.2	0.9 y 1.20	m

Los anteriores datos indican dos cambios, tanto en las losas, como en la separación entre barras de acero longitudinal. Los cambios en las dimensiones de las losas, se debieron a un ajuste geométrico de la vía y la variación en la separación entre barras, se debieron la falta de equipos acordes a las necesidades del proyecto.

En general, se supervisó el cumplimiento de la norma INVIAS el Artículo 500-07, relacionado con los trabajos de elaboración, transporte, colocación y vibrado de la mezcla de concreto hidráulico; así como la ejecución de las juntas, el acabado y el curado. En donde fue importante verificar las cotas,

alineaciones, secciones y espesores, presentes en los planos. En primera instancia se verifico que la subbase alcanzara, las cotas y la compactación requerida; luego una vez conformada la subbase, se verifico la colocación de la formaleta, la cual debía estar alineada, nivelada, y cumplir las dimensiones requeridas para la colocación del concreto. Con la formaleta colocada, se verifico la correcta instalación de los pasadores en las juntas, comprobando inicialmente la lubricación de los pasadores transversales o dovelas y seguidamente supervisando la distribución de las barras de acero en cada tramo de la calzada.

Una vez lista la estructura de acero y la formaleta, se procedió a verificar la correcta colocación de la mezcla de concreto, sobre la subbase; en este proceso se superviso, la distribución, el extendido, el vibrado y el enrasado del concreto, con el fin de garantizar una superficie lisa y uniforme. Una vez se fundió la losa de concreto, rápidamente se realizó el proceso de texturizado superficial; en donde fue importante verificar la adecuada ejecución de esta actividad, ya que un mal rayado transversal, puede generar inconvenientes estéticos y de calidad.

Después de comprobar la adecuada resistencia de la superficie, se procede a supervisar el proceso de curado, según las especificaciones técnicas, con el fin de garantizar la resistencia requerida de las losas de concreto; en este sentido, se vigiló que la calzada no perdiera humedad rápidamente, por lo cual se colocaron sombrillas y plásticos extensos sobre la calzada.

Luego al siguiente día, después de colocado el concreto se procede a retirar la formaleta, para continuar con el proceso de corte de las juntas transversales y longitudinales. En este punto, se comprobó que se hiciera una exacta señalización de las secciones de las juntas, de acuerdo a la ubicación de las barras de acero y lo estipulado en los planos; como también al comenzar el corte de las juntas, se verifico que no se presentaran daños severos en la superficie y que se realizara el corte lo más preciso posible. Ya para finalizar, se verifico que las juntas cortadas se limpiaran correctamente, con el fin de proceder posteriormente con proceso de sellado. En el proceso de sellado será fundamental vigilar que todas las juntas sean impermeables y permitan la contracción y dilatación correcta de la losa de concreto; con esto, se evita la entrada de agua a las capas profundas del pavimento y además se permite la dilatación y contracción de las losas; evitando así fracturas y fallas progresivas en la estructura de pavimento.

Las siguientes imágenes muestran algunos aspectos de las labores de supervisión de la obra.



Imagen 1. *Supervisión de los pasadores longitudinales y formaleta.*





Imagen 2. *Supervision de losas de concreto fundidas.*



Imagen 3. *Supervision de la preparacion de cilindros de concreto, para verificar resistencia.*

Recomendaciones para el diseño y construcción

Se propone que es recomendable realizar un estudio de tránsito completo, con el fin de proyectar la cantidad de vehículos adecuada y así realizar un diseño que cumpla las normas y guías legalmente establecidas; esto con el fin de determinar el grosor correcto de cada capa en la estructura de pavimento. Además, se debe revisar que los diseños cumplan las características mínimas exigidas, con el fin de proyectar una estructura de concreto resistente.

En cuanto a los procesos constructivos es recomendable seguir en lo posible las indicaciones presentes en las especificaciones técnicas y en los diseños;

igualmente es importante tratar de superar aspectos inesperados como las lluvias y demoras, sin disminuir los resultados constructivos y de calidad. Como también, se debe resaltar que en ocasiones no se puede contar con los materiales y equipos adecuados en construcción, por lo que no siempre se cumplirán las condiciones teóricas del proyecto. En este caso se podrá usar otros elementos disponibles; siempre y cuando no se alteren las características de resistencia y calidad final de la estructura de pavimento.

Conclusiones

El análisis hecho al estudio de consultoría permitió verificar cada paso del proceso de diseño, comprobando que es importante contar con la información completa, respecto a las diferentes variables de diseño, tales como: el tránsito, proyecciones de crecimiento vehicular, hidrología de la zona, disponibilidad de materiales de construcción, estudios de suelo y entre otros requisitos propios del diseño. Con esto, también se estableció que la falta de información podría ocasionar un mal diseño del pavimento; lo que conlleva a fallas tempranas en la estructura. Por lo tanto, se concluye que para garantizar una buena obra de pavimento se requiere comenzar con un buen diseño.

Al verificar los diseños del proyecto de pavimentación la calle cuarta del municipio de Córdoba, se pudo comprender que, en su mayoría, se cumplieron los aspectos estipulados en las normas y guías especializadas. Como también, se comprobó que las especificaciones técnicas del proyecto, daban a conocer información confiable respecto a las propiedades de los materiales y los procesos constructivos.

La metodología de diseño PCA, garantiza estructuras de concreto que dependen directamente del porcentaje de daño, por erosión y fatiga que causan las cargas del tránsito a la calzada. Es por esto que se debe realizar una buena proyección de la cantidad de vehículos que circularán durante el periodo de diseño.

Los estudios previos a la construcción de un proyecto de pavimentación son fundamentales para prevenir acontecimientos indeseables en la estructura de pavimento. En el proyecto analizado, se pudo detallar que el estudio de suelos permitió hacer un mejoramiento de la subrasante; además, los estudios hidrológicos permitieron que se adecue un sistema de drenaje acorde al caudal típico de la zona intervenida.

Las labores supervisión de calidad de los materiales garantizan una buena construcción de obras de infraestructura; es por esto que es indispensable

seguir lo dispuesto en los documentos técnicos, comparando los registros de laboratorio de cada material, con las propiedades reales en obra. Además, es indispensable, comprobar que se utilicen los métodos constructivos de forma correcta y con el equipo de construcción adecuado; evitando procedimientos mal ejecutados y desperdicios de material.

Al supervisar en obra, las condiciones presentes en los documentos técnicos del proyecto, se logró conocer que no siempre se puede llevar a cabo una construcción de forma ideal; lo cual, se puede deber a inconvenientes inesperados, como la ausencia en los equipos de construcción seleccionados o por la falta de algunos materiales necesarios. Es por esto que, en ocasiones, se puede hacer algunas variaciones; siempre y cuando se haga un análisis previo, según las nuevas condiciones y garantizando una calidad igual o superior a la especificada en los documentos de diseño.

En todo el proceso constructivo fue clave la verificación de cada etapa del proyecto, comenzando con el mejoramiento de la subrasante hasta la preparación de la superficie de la rodadura. Esto permitió que se controlara la calidad de cada capa en la estructura de pavimento; logrando así construir una vía con la resistencia adecuada.

Referencias Bibliográficas

- Ministerio de transporte, Instituto nacional de vías. *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Primera edición. Bogotá, Colombia: instituto colombiano de productores de cemento, 2008.
- C. Trujillo, laboratorio de suelos y materiales, consultoría e interventoría. *Diseño estructura de pavimento rígido pavimentación calle 4 entre carrera 1ª y carrera 4 del municipio de córdoba departamento de Nariño*. Pasto: 2019.
- M. Becerra. *Tópicos de pavimentos de concreto, diseño, construcción y supervisión*. Primera edición. Lima, Perú: 2012.
- E. Chirinos. *Métodos de diseño de pavimentos*. Primera edición. Venezuela: universidad nacional experimental francisco de miranda (UNEFM), 2015.
- Departamento nacional de planeación, MINTRANSPORTE. *Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito*. Segunda Edición. Bogotá, D.C: Departamento nacional de planeación, 2017.

- INVIAS, I. N. Documentos técnicos; *Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras y Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*. Bogotá, D.C. (2013).

