

**DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UNA ALTERNATIVA DE
REHABILITACIÓN EN PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO DE LA
CARRERA 22 ENTRE CALLES 15 Y 17, LOCALIDAD DE LOS MÁRTIRES EN
BOGOTÁ D.C.**

**ALVARO POLANÍA RIVERA
LEONEL LEGUIZAMÓN BOHÓRQUEZ
FERNANDO RAMÍREZ FERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C.-2.016**

**DISEÑO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UNA ALTERNATIVA DE
REHABILITACIÓN EN PAVIMENTO RÍGIDO PARA EL TRAMO DE LA
CARRERA 22 ENTRE CALLES 15 Y 17, LOCALIDAD DE LOS MÁRTIRES EN
BOGOTÁ D.C.**

**ALVARO POLANÍA RIVERA
LEONEL LEGUIZAMÓN BOHÓRQUEZ
FERNANDO RAMÍREZ FERNÁNDEZ**

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Ingeniería de Pavimentos.

**ASESOR: JUAN MIGUEL SÁNCHEZ DURÁN
INGENIERO CIVIL, MSc.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS
BOGOTÁ D.C.-2.016**



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución 2.5 Colombia (CC BY 2.5)
Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by/2.5/co/>

Usted es libre de:

- Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
- hacer obras derivadas
- hacer un uso comercial de esta obra



Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).

Nota de aceptación

Director trabajo de grado
Ing. Juan Miguel Sánchez Durán

Codirector trabajo de grado
Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas

Coordinador trabajo de grado
Ing. Juan Carlos Ruge Cárdenas

Bogotá D.C., 22 de enero de 2016

Agradecimientos y dedicatoria.

Agradecimiento especial al Ing. Juan Miguel Sánchez Duran, por su colaboración y guía en el desarrollo de este trabajo. A nuestras familias por su comprensión, acompañamiento y respaldo en cada proyecto de nuestros trabajos y la presente especialización, en los que hemos puesto nuestro empeño.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO.....	12
1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.2.1 Problema a resolver	12
1.2.2 Antecedentes del problema a resolver.....	12
1.2.3 Pregunta de investigación (opcional).....	12
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	12
1.4 OBJETIVOS.....	13
1.4.1 Objetivo general.....	13
1.4.2 Objetivos específicos	13
2 MARCOS DE REFERENCIA	14
2.1 MARCO TEÓRICO.....	14
2.1.1 Definición y generalidades de los pavimentos.....	14
2.2 MARCO CONCEPTUAL	15
3 METODOLOGÍA DE TRABAJO	16
3.1 METODOLOGÍA PROPUESTA (DISEÑO METODOLÓGICO).....	16
3.1.1 Enfoque.....	16
3.1.2 Tipo de investigación.....	17
3.1.3 Técnicas e instrumentos.....	17
3.1.4 Estrategia de desarrollo del proyecto	17
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	18
4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	18
4.2 CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO	19
4.2.1 Investigación geotécnica.....	20
4.2.2 Estimación del tránsito.....	21
4.2.3 Diseño de estructuras por la Metodología PCA-84.....	22
4.2.4 Diseño del espaciamiento y aceros entre juntas Método PCA.	23
4.2.5 Análisis económico comparativo de estructuras de pavimento	24
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
6 BIBLIOGRAFÍA.....	28

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1. MARCO DE REFERENCIA.....	14
FIGURA 4-1. LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE LA LOCALIDAD DE LOS MÁRTIRES.....	18
FIGURA 4-2. LOCALIZACIÓN DETALLADA DE LOS SEGMENTOS DE LA CARRERA 22.....	19
FIGURA 4-3. PERFIL ESTRATIGRÁFICO APIQUES CARRERA 22.....	20
FIGURA 4-4. ESPACIAMIENTO MÁXIMO RECOMENDADO EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DE LOSA Y DISTINTAS CONDICIONES DE SOPORTE (ACPA Y PCA, 1990).....	23

LISTA DE TABLAS

TABLA 4-1. LISTADO DE SEGMENTOS OBJETO DE EVALUACIÓN.....	19
TABLA 4-2. VALORES DE CBR CARRERA 22 CALZADA OCCIDENTAL	21
TABLA 4-3. VALORES DE CBR CARRERA 22 CALZADA ORIENTAL	21
TABLA 4-4 ESTIMACIÓN DEL NEE (20 AÑOS) CARRERA 22	22
TABLA 4-5. PARÁMETROS DE DISEÑO MÉTODO PCA-84. CARRERA 22.....	22
TABLA 4-6. ESPESORES DE LOSAS DE CONCRETO MÉTODO PCA-84.....	23
TABLA 4-7. PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE, NOVIEMBRE 2015	24
TABLA 4-8. PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO, NOVIEMBRE 2015	25

RESUMEN

El proyecto está enfocado en el diseño de una alternativa de pavimentación en losas de concreto por las metodologías PCA y AASHTO, de la vía que se encuentra ubicada en la Carrera 22 entre calles 15 y 17 del sector de Paloquemao de la Localidad de los Mártires en Bogotá D.C. Para realizar el diseño se partió de la información existente, la cual fue debidamente analizada para proceder a establecer capas de apoyo apropiadas y dimensionar los espesores de losa por las metodologías de diseño de pavimentos utilizadas y aprobadas por el IDU y empresas contratistas dedicadas a la construcción de pavimentos en la ciudad.

El diseño de la alternativa en pavimento rígido se hizo porque la vía actual tiene losas de concreto muy deterioradas y se pretende reconstruirla en pavimento flexible, haciendo estructuras diseñadas para soportar un alto tránsito de rutas de buses del sistema integrado de transporte (SITP) y camiones cargados por tratarse de un sector de ferreterías y bodegas. Así entonces, se hizo un análisis comparativo de costos entre ambas estructuras, aun cuando el pavimento rígido se diseña para una vida útil mínima de 20 años y el pavimento flexible para un periodo de diseño máximo de 10 años.

A pesar de que la estructura de pavimento rígido resultó más costosa y requiere mayor tiempo para su ejecución, se considera viable ya que requiere menor mantenimiento y con seguridad tendrá una vida útil mayor.

Palabras clave: Pavimento rígido, pavimento flexible, losas de concreto, métodos de diseño de pavimentos, factores de carga o factores de daño.

ABSTRACT

The project is focused on the design of an alternative in concrete slabs designed by the PCA and AASHTO methods, for the route which is located on Carrera 22 between streets 15 and 17, Paloquemao sector of the Los Mártires locality in Bogota D.C. To make the design was used the existing information, which was analyzed to proceed to establish layers of appropriate support and design the thickness of slab by methodologies used and approved by the IDU and contractors engaged in construction pavement in the city.

The design alternative in rigid pavement was made because the current pavement has very deteriorated concrete slabs and it's intended to rebuild in flexible pavement, making structures designed to withstand high traffic bus routes of the integrated transportation system (SITP) and trucks highly charged because in this sector there are a lot of ironmongeries and warehouses. So then, it did a comparative cost analysis between both structures, even though the rigid pavement is designed for a minimum service life of 20 years and the flexible pavement for a maximum design period of 10 years.

Although rigid pavement structure is more expensive and requires more time for execution, it is considered feasible because it requires less maintenance and security will have a longer service life.

Keywords: Rigid pavement, flexible pavement, concrete slabs, pavement design methods, load factors or damage factors.

INTRODUCCIÓN

Este artículo se desarrolla como trabajo de grado para optar al título de Especialistas en Ingeniería de Pavimentos de la Universidad Católica de Colombia.

El proyecto está enfocado a la recolección de información de una vía y su posterior análisis para el diseño y la evaluación económica de una alternativa en pavimento rígido por las metodologías utilizadas y aprobadas por el IDU y las empresas contratistas dedicadas a la construcción de pavimentos en la ciudad.

El tramo estudiado de la Carrera 22 corresponde a una vía urbana de dos calzadas (una por sentido) con un separador central, cada una dividida en tres carriles y con un ancho de aproximado de 10,7 metros. En el momento de empezar la presente investigación la vía no contaba con señalización horizontal y el pavimento existente estaba en superficie rígida y se encontraba en mal estado debido a la gran cantidad de losas fisuradas, fracturadas y desniveladas por erosión y bombeo.

Como parte de los trabajos a realizar para la conservación de la malla vial arterial troncal y malla vial intermedia que soporta las rutas del sistema integrado de transporte SITP, mediante el contrato IDU 1669 de 2014 se contrataron los estudios y diseños para la rehabilitación o reconstrucción del tramo vial escogido, entre otros. Los estudios y diseños de la estructura del nuevo pavimento fueron realizados por la firma Auscultar S.A.S. y están incluidos dentro de su informe PAV-14-12-005-01.

Dado que el informe de Auscultar S.A.S. presenta información suficiente y confiable, se decidió diseñar y evaluar comparativamente en costos una alternativa en pavimento rígido que podría ser más conveniente y durable que la alternativa inicialmente diseñada y propuesta en pavimento flexible que tiene espesores de capas de concreto asfáltico de 19 y 21 cm, además de utilizar mezclas asfálticas modificadas con granulo de caucho (más costosas) como capa de rodadura y un refuerzo con geomalla de fibra de vidrio.

Debe resaltarse que para el diseño del pavimento rígido se trabajó con las cargas máximas por eje permitidas para buses y camiones mientras que para el pavimento flexible se utilizaron los factores de daño promedio de la red vial nacional expresados en ejes equivalentes de 8,2 toneladas. Los diseños fueron realizados por las metodologías AASHTO 93 y PCA 84 ampliamente reconocidas y utilizadas, considerando las siguientes capas

- Mejoramiento con rajón y/o demolición de losas + sello + geotextil de separación
- Material de subbase granular (granular transportado)
- Material granular de base (granular transportado)
- Concreto asfáltico (para garantizar un soporte alto y prevenir la erosión)
- Losas en concreto hidráulico con juntas.

Finalmente, se establecieron recomendaciones de procesos de reciclaje que se vienen haciendo en la Ciudad y no se contemplaron en el diseño del pavimento flexible, como reutilizar

los pedazos de la demolición de las losas de concreto para estabilizar la subrasante blanda en vez de rajón o estabilizar los granulares existentes para usarlos como capas de sello o material de subbase granular. De esta manera se podrían disminuir los costos de transporte y disposición de residuos, a la vez que se genera menor daño ambiental.

1 GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Diseño, rehabilitación y evaluación económica de estructuras de pavimento

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema a resolver

Debido al alto nivel de tránsito pesado que se presenta en el sector donde se pretende realizar la rehabilitación de la vía, puede ser más conveniente reconstruir en pavimento rígido el tramo de la Carrera 22 entre calles 15 y 17.

1.2.2 Antecedentes del problema a resolver

La localidad de Los Mártires es la número 14 de la ciudad de Bogotá, se encuentra en la parte centro sur de la ciudad, el área de esta localidad es de 654,58 hectáreas, de las cuales 645,75 corresponden a suelo urbano y 8,83 a áreas protegidas cuenta con un sector en el que se encuentra una gran parte del comercio de industria metalmecánica y de construcción. Se encuentra un gran deterioro en la malla vial actual, específicamente en la carrera 22 entre calles 15 y 17 que actualmente se encuentra en pavimento rígido, con algunas patologías típicas de este pavimento como son fisuración, fraccionamiento de placas y escalonamiento.

1.2.3 Pregunta de investigación (opcional)

¿Cuál es la estructura de pavimento más apropiada desde los puntos de vista técnico y económico para reconstruir el tramo de la Carrera 22 entre calles 15 y 17, teniendo en cuenta las altas cargas de camiones y la intensidad del tránsito pesado que circula actualmente y se espera con las nuevas rutas proyectadas de buses del SITP?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que en muchos sectores donde se están realizando obras de rehabilitación y reconstrucción pavimentos deteriorados, se tiene un nivel de tránsito importante respecto a buses (SITP) y camiones, puede ser más apropiado diseñar y construir estructuras de pavimento rígido que aun cuando son más costosas, cuando son debidamente diseñadas y construidas garantizan una mayor durabilidad.

La comunidad del sector será la directamente beneficiada con este trabajo de grado, puesto que al tener un mejor diseño de pavimento se verán optimizados los recursos invertidos,

que provienen de los impuestos que cada persona, empresa y sociedad comercial aportan para el mantenimiento de la malla vial del sector.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Diseñar una alternativa para la reconstrucción del tramo de la Carrera 22 entre las calles 15 y calle 17, y evaluar su costo económico para poderlo comparar con el de la alternativa inicialmente propuesta en pavimento flexible.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar y analizar la información geotécnica y de tránsito utilizada para el diseño de la estructura de pavimento flexible y estimar los parámetros necesarios para el diseño del pavimento rígido.
- Realizar el diseño de una estructura de pavimento rígido que permita garantizar un adecuado comportamiento para las condiciones geotécnicas y ante las solicitaciones de tránsito esperadas en la vía.
- Estimar con base en los precios de referencia del IDU el costo directo por m² de cada una de las estructuras diseñadas (alternativas en pavimento flexible propuestas por Auscultar S.A.S Vs. alternativas en pavimento rígido diseñadas) y compararlas económicamente.
- Recomendar las actividades necesarias para garantizar la correcta ejecución y conservación de las estructuras diseñadas.

2 MARCOS DE REFERENCIA

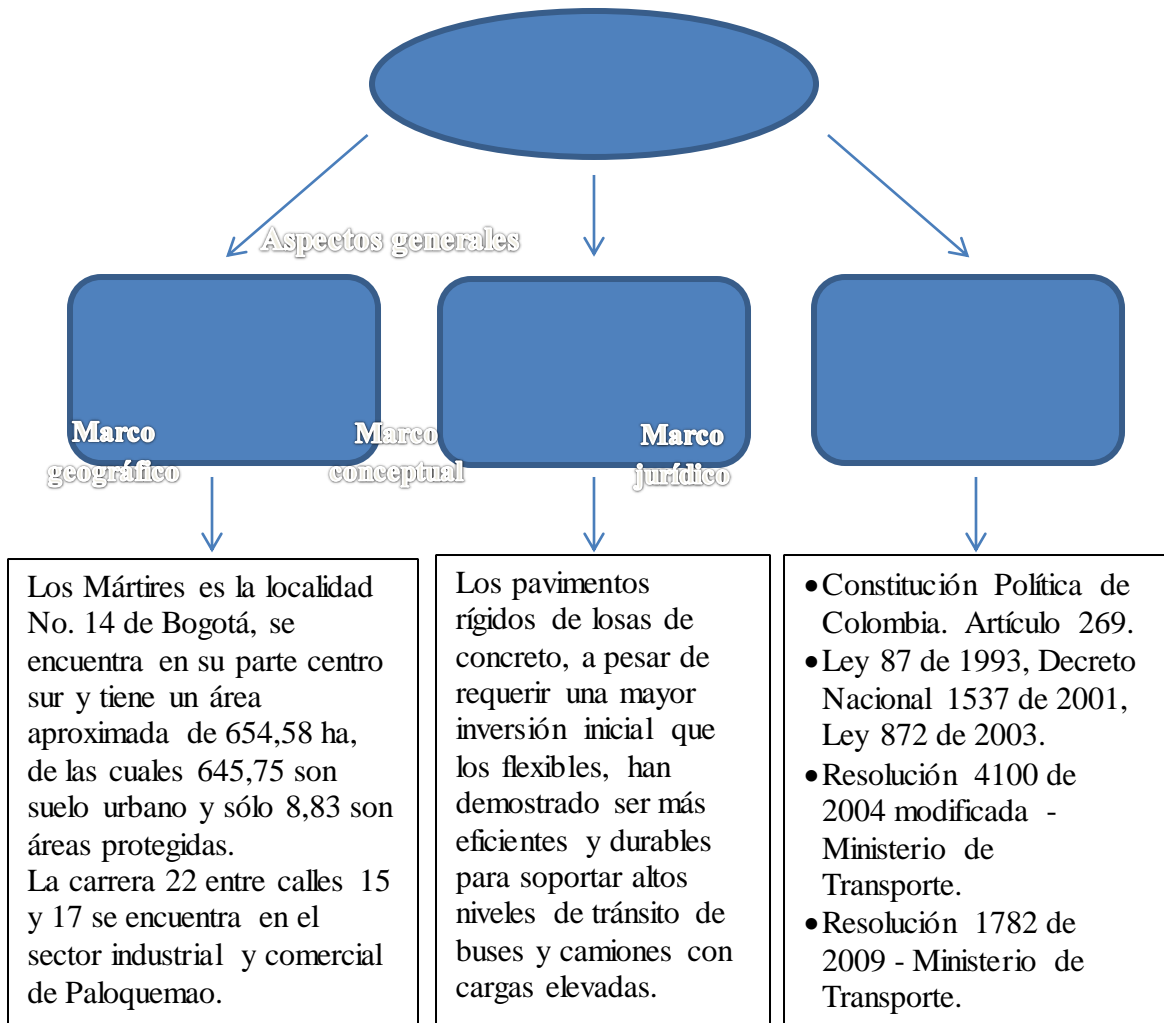


Figura 2-1. Marco de referencia

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Definición y generalidades de los pavimentos

“Los pavimentos para carreteras y vías urbanas son estructuras viales multicapa es decir esta constituidos por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales compuesta por materiales seleccionados. Estas estructuras son diseñadas para soportar las cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales. Asimismo deben diseñarse con el fin de ofrecer un paso cómodo, seguro al parque automotor que se imponga sobre su superficie en determinado periodo de tiempo.

Las cargas dinámicas de los vehículos que transitan sobre estas estructuras producen en las interfaces de las capas esfuerzos cíclicos y deformaciones verticales, horizontales y de corte, el pavimento se soporta sobre una subrasante natural o sobre una plataforma, que puede ser la subrasante mejorada, o un terraplén que se denomina capa de conformación.” (Rondón y Reyes, 2015).

2.2 MARCO CONCEPTUAL

De acuerdo con lo anterior, es conveniente explicar que en el diseño racional de pavimentos flexibles se verifican normalmente el ahuellamiento y el agrietamiento o fatiga. El ahuellamiento estructural es normalmente causado porque los esfuerzos que llegan a la subrasante son muy altos y esta se deforma pero no se recupera. Dado que en el pavimento considerado se colocó un mejoramiento y espesores considerables de capas granulares este fenómeno será poco probable, pero el ahuellamiento funcional, que consiste en la formación de roderas o surcos longitudinales en la carpeta asfáltica debidos a cargas elevadas de ejes y llantas, sí es probable, más cuando los volúmenes altos causan aumento de la temperatura del pavimento y por lo tanto pérdida de consistencia del asfalto y la mezcla.

En cuanto a la fatiga, ésta se produce tanto en capas de concreto asfáltico como en losas de concreto hidráulico, y consiste en el agrietamiento de los concretos al estar sometidos a flexión por la aplicación repetida de las cargas de tránsito. Considerando que los concretos resisten menos a tensión que a compresión, las fisuras o grietas se generan de la cara inferior a la superior, superficie o rasante.

Con base en lo anterior, es posible afirmar que los pavimentos de losas de concreto por su alta rigidez no tienen normalmente problemas de ahuellamiento, mientras que en los pavimentos de concreto asfáltico, como en el diseñado por Auscultar S.A., se consideró prudente que la capa asfáltica superior o de rodadura fuera en una mezcla más rígida, como la propuesta con asfalto modificado con grano de caucho reciclado para aumentar el módulo de la mezcla a temperaturas altas de servicio y así disminuir el ahuellamiento en la capa que soporta mayores esfuerzos por estar directamente en contacto con las llantas.

Así mismo, en el diseño del pavimento flexible se incluyó la colocación de una geomalla de fibra de vidrio que al estar colocada entre las capas asfálticas inferior (o intermedia) y superior (o rodadura), aproximadamente en el eje neutro del espesor total, no provee función de refuerzo ante el fenómeno de fatiga, sino que solamente sirve para retardar la aparición en superficie de las fisuras que se puedan desarrollar en la cara o fibra inferior de las capas asfálticas. En este sentido, aunque el pavimento rígido es menos deformable también es más frágil, por eso se diseña con las cargas máximas permitidas, lo que permite tener más certeza de que la losa no se va a romper sino después de muchas repeticiones de carga. En cambio, al haber sido diseñado el pavimento flexible con base en repeticiones del eje equivalente de 8,2 toneladas, el cual es menor que la carga máxima permitida en la ciudad de 11 toneladas para ejes simples de cuatro llantas, se corre el riesgo que el tránsito cada vez mayor de vehículos cargados lo dañe prematuramente, ya sea por fatiga o por ahuellamiento.

3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

A continuación, se presenta la metodología general empleada en la evaluación y el diseño de las estructuras de pavimento y en los numerales siguientes se describe cada una de las etapas.

Visitas de especialistas. Se realizó una visita para estudiar el proyecto dentro del entorno de la zona.

Evaluación de los materiales de la subrasante y el pavimento existente. Se utilizó la información de los apiques efectuados por Auscultar S.A.S. para determinar los espesores de las estructuras existentes y caracterizar sus materiales y el suelo de subrasante. Esta perforación y evaluación se llevó a cabo entre el 23 y 27 de marzo de 2015.

Cálculo del tránsito. Se trabajó con el tránsito suministrado para el diagnóstico y proyectado para la estimación del número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas. Los conteos correspondientes a esta actividad fueron realizados durante el mes de diciembre de 2014

Unidades de diseño. Se procedió a definir dos sectores homogéneos basados en las condiciones del tránsito de diseño (es mayor el tránsito en la calzada occidental: que en la oriental), el suelo de subrasante se consideró el mismo teniendo en cuenta que se obtuvieron valores muy similares de los ensayos de capacidad de soporte CBR y que las estructuras existentes no cuentan con espesores adecuados ni con materiales que cumplan las especificaciones actuales.

Diseño de estructura. Mediante las metodologías PCA-84 y AASHTO-93 para pavimentos flexibles se establecieron los parámetros requeridos en consideración con la importancia de la vía en estudio y el régimen de tránsito existente, esto junto con la capacidad estructural de los materiales de fundación encontrados, permitió establecer los espesores de estructura de pavimento.

Evaluación económica de alternativas. Con base en los espesores de diseño de las estructuras de pavimento flexible propuestas en el diseño de Auscultar S.A.S. y los espesores de las estructuras de

3.1 METODOLOGÍA PROPUESTA (DISEÑO METODOLÓGICO)

3.1.1 Enfoque

La presente investigación tiene un enfoque mixto, es decir cuantitativo y cualitativo, dado que para el análisis general de la información recolectada se requiere un punto crítico conceptual respecto de los procesos de diseños de pavimentos llevados a cabo y la forma en que se desarrollan. De igual manera se necesita consolidar gran cantidad de información con respecto al tramo de la carrera 22 entre calle 15 y calle 17 en la localidad de los Mártires,

volúmenes de tránsito, geotecnia y demás evaluaciones que permitan presentar en forma clara como se realizaron estos diseños y como se pueden mejorar.

3.1.2 Tipo de investigación

Referente al alcance y finalidad metodológica que se pretende lograr mediante el presente trabajo de investigación, el proceso contiene varios tipos de investigación a saber:

- **Descriptiva:** Por la caracterización del evento de estudio dentro de un contexto particular, cuya finalidad es presentar el estado de un objeto o un problema de investigación en particular.
- **Analítica:** Por cuanto se definen unos criterios de análisis, una clasificación de la información e integración de los resultados.
- **Comparativa:** Por la identificación de diferencias o semejanzas de un evento en dos o más contextos.

3.1.3 Técnicas e instrumentos

Entre las técnicas e instrumentos a utilizar para el logro del desarrollo de los objetivos de este proyecto de investigación y teniendo en cuenta lo anteriormente descrito en el enfoque y el tipo de investigación, se encuentran las siguientes:

- **Análisis del documento:** Mediante el análisis de los datos cuya fuente es el insumo para el proceso analítico que se va a desarrollar.
- **Descriptiva:** Por medio de la cual podremos enumerar y narrar como son los métodos de diseños de pavimentos utilizados.
- **Análisis comparativo:** Identifica las diferencias o semejanzas de un diseño al otro.

3.1.4 Estrategia de desarrollo del proyecto.

Para lograr un acertado trabajo en el logro de las metas planteadas en los diferentes objetivos propuestos, este proyecto se desarrolló en tres fases a saber: la fase de planeación, la fase de ejecución y la de verificación y control. En la primera fase se desarrolla la propuesta y el anteproyecto los cuales siendo aprobados, dan vía a la segunda fase que se consolida en el desarrollo de las tareas para cumplir cada uno de los objetivos planteados. La fase final correspondiente a la verificación y control es una fase que se aplica desde la fase de planeación con el fin de tomar acciones correctivas sobre el desarrollo de las tareas que así lo exijan.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto se encuentra ubicado en la localidad de Los Mártires, la cual es atravesada por varias rutas de busetas, buses y colectivos, que unen el centro de la ciudad con su zona occidental. A su vez, la atraviesan las líneas A, E, F, G, y H del sistema TransMilenio. Cuenta además con vías como la Calle Sexta (Avenida de los Comuneros), las carreras 24 y 27 y la Calle 19 (Avenida Ciudad de Lima) que presta frecuente servicio del sistema de buses, buses y microbuses de transporte colectivo.

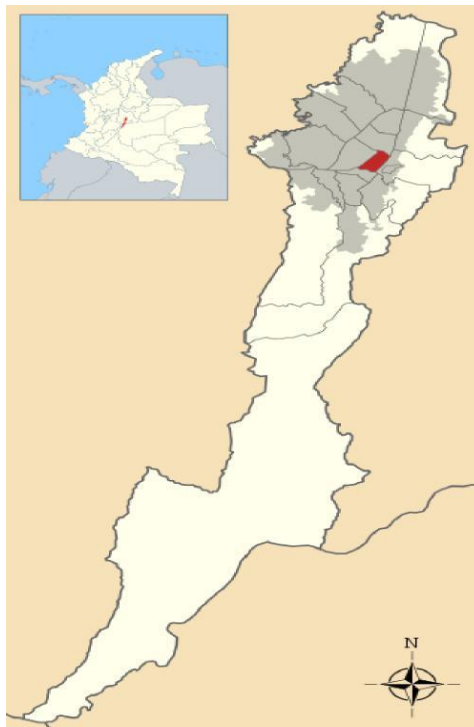


Figura 4-1. Localización espacial de la localidad de los Mártires

Fuente: Wikipedia

El tramo a evaluar se encuentra ubicado dentro del perímetro de la localidad, en la siguiente figura se puede observar la localización detallada de uno de los segmentos evaluados de la Carrera 22.

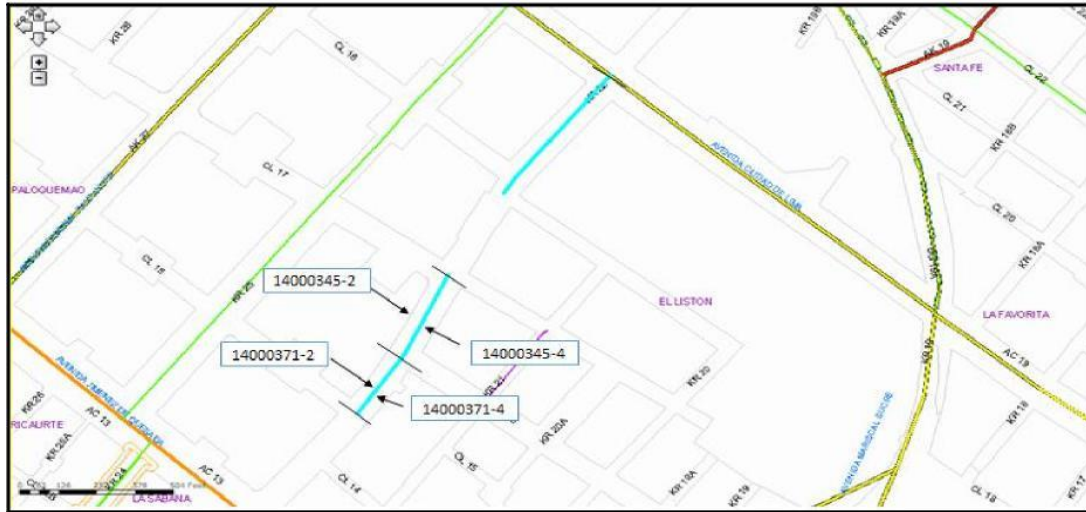


Figura 4-2. Localización detallada de los segmentos de la Carrera 22

Fuente: Servidor mapas del IDU

En las siguientes tablas se presenta el listado de segmentos evaluados con su respectiva nomenclatura.

Tabla 4-1. Listado de segmentos objeto de evaluación

CIV	ELEMENTO	PRIORIDAD	LONG (m)	ANCHO	EJE VIAL	DESDE	HASTA	TIPO SUPERFICIE
LOS MÁRTIRES								
14000345-2	183607	1	98.8	11.5	KR 22	CL 16	CL 17	RIGIDO
14000371-2	183605	1	82.9	11.5	KR 22	CL 15	CL 16	RIGIDO
14000345-4	183608	1	98.8	9	KR 22	CL 16	CL 17	RIGIDO
14000371-4	183606	1	82.9	9	KR 22	CL 15	CL 16	RIGIDO

Fuente: Informe Diseño de Pavimentos localidad de los Mártires "Prioridad 1, Carrera 22". Realizado por Auscultar S.A.S. "Ensayos e Ingeniería"

4.2 CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO

A continuación, se exponen las hipótesis y consideraciones realizadas para el dimensionamiento de las estructuras de pavimentos, es necesario resaltar que las condiciones de diseño empleadas, están acordes con el ejercicio de la buena ingeniería y con lo recomendado por las metodologías de diseño.

4.2.1 Investigación geotécnica

Se realizaron ocho (8) apiques distribuidos en los segmentos analizados; en cada uno de ellos se recuperan muestras alteradas e inalteradas de los estratos que componen la estructura del pavimento existente y de los materiales de subrasante.

Los apiques tienen por objeto conocer la estratigrafía existente, la calidad de sus materiales y los espesores reales. Los resultados de laboratorio y el cuadro resumen de sus propiedades, A continuación, se presenta el perfil de cada uno de los apiques y posteriormente se realiza un resumen de los materiales encontrados, sus espesores y sus características:

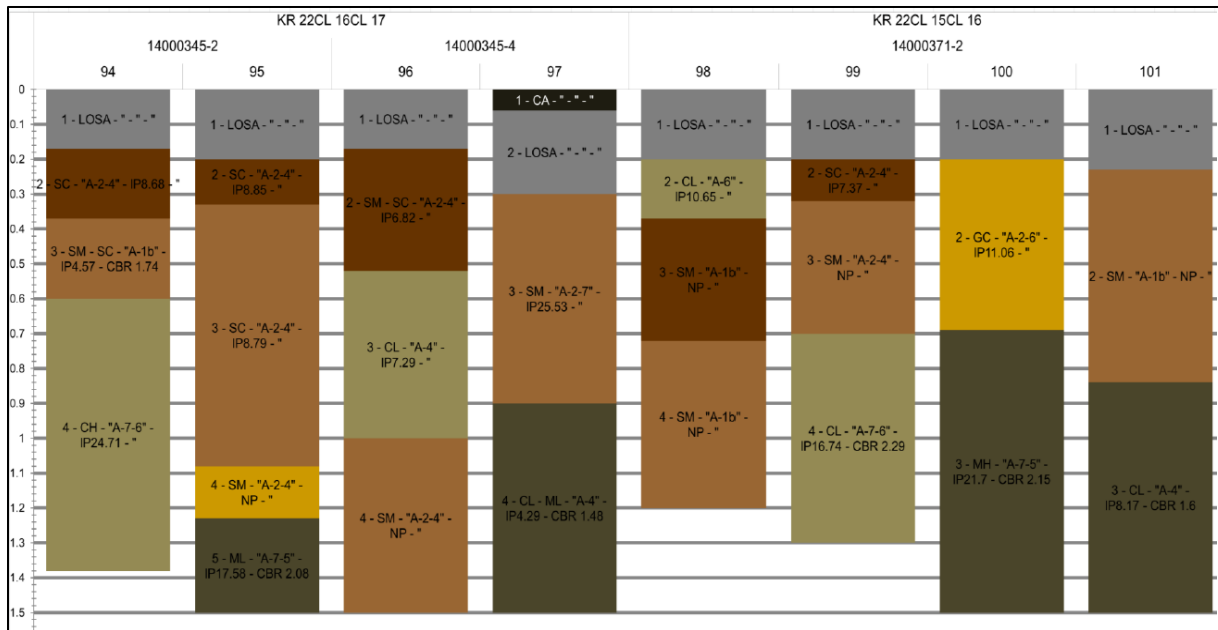


Figura 4-3. Perfil estratigráfico apiques Carrera 22

Fuente: Informe Diseño de Pavimentos localidad de los Mártires "Prioridad 1, Carrera 22" Realizado por Auscultar S.A.S. "Ensayos e Ingeniería"

Con base en los apiques realizados es posible determinar que la estructura existente estaba conformada por losas de concreto con espesores comprendidos entre 17 y 22 cm, apoyadas sobre materiales granulares que clasifican como arenas limosas (SM), gravas arcillosas (GC) y predominantemente arenas arcillosas (SC), que tiene índices de plasticidad variables desde cero (materiales no plásticos) hasta de 26% y espesores muy variables comprendidos entre 0,35 y 1,05 m. Incluso en un apique se encontró la placa apoyada sobre un granular que clasifica como arcilla de baja plasticidad y bajo este granulares que clasifican como arenas limosas (SM).

De otra parte, la subrasante está conformada en por arcillas y en limos de alta plasticidad, humedad media y compresibilidad media a alta, que tienen una consistencia blanda a muy blanda. Los valores de capacidad de soporte CBR evaluados se presentan a continuación:

Tabla 4-2. Valores de CBR Carrera 22 calzada Occidental

CIV	CBR NATURAL		CBR INMERSIÓN		Expansión
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	%
14000345-2	3.78	3.78	1.74	2.05	0.2
14000345-2	9.42	10.96	2.08	2.2	0.56
14000371-2	6.49	6.31	2.29	2.65	0.16
Promedio			2.04		
Percentil 85			1.84		

Fuente: Informe Diseño de Pavimentos localidad de los Mártires "Prioridad 1, Carrera 22"
Realizado por AUSCULTAR S.A.S. "Ensayos e Ingeniería"

Tabla 4-3 Valores de CBR Carrera 22 calzada Oriental

CIV	CBR NATURAL		CBR INMERSIÓN		Expansión
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	%
14000345-4	3.12	2.89	1.48	1.96	0.1
14000345-4	2.67	2.87	2.15	2.15	0.2
14000371-4	2.49	2.62	1.60	2.05	0.2
Promedio			1.74		
Percentil 85			1.52		

Fuente: Informe Diseño de Pavimentos localidad de los Mártires "Prioridad 1, Carrera 22"
Realizado por AUSCULTAR S.A.S. "Ensayos e Ingeniería"

Aun cuando en el informe original se determinó estadísticamente un CBR de diseño para cada calzada, para los diseños de las alternativas en pavimento rígido se calculó un solo valor de CBR de diseño, teniendo en cuenta que los resultados de capacidad de soporte no varían significativamente entre ambas calzadas. Así entonces se escogió para diseño un CBR de 1,6%, correspondiente al percentil 85% de los valores de capacidad de soporte establecidos con las muestras después de haber permanecido en inmersión durante 96 horas.

4.2.2 Estimación del tránsito

Para la estimación del tránsito para diseño del pavimento rígido, ya sea como ejes equivalentes de 8,2 toneladas (metodología AASHTO-1993) o como repeticiones esperadas por tipo de eje (metodología PCA-84), se utilizaron las proyecciones elaboradas por los especialistas de Auscultar S.A.S. con base en la información de conteos suministrada por el Consorcio Eligor.

Para el cálculo se tuvieron en cuenta las cargas máximas por eje establecidas en la Resolución 4100 de 2004 y un periodo de análisis de 20 años, que es el mínimo recomendado para un pavimento rígido. Se diseñó para el carril más cargado, que en este caso corresponde al exterior o de la derecha considerando, al igual que en la estimación del tránsito para el diseño del pavimento flexible que por este carril circulará el 75% de los vehículos pesados ($F_{ca} = 0,75$).

En la tabla a continuación se resumen los tránsitos calculados en ejes equivalentes de 8,2 toneladas, los cuales se determinaron utilizando un exponente de 5,0 para calcular el factor de daño de cada eje.

Tabla 4-4 Estimación del NEE (20 años) Carrera 22

RESUMEN DE CALCULO DEL NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO - NEE	
EJES EQUIVALENTES PARA EL AÑO 2035 (20 años)	EJES PAVIMENTO RIGIDO CÁLCULADO AASHTO
Calzada Occidental	6.26E+07
Calzada Oriental	3.66E+07
Calzada Intersección	8.31E+07

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Diseño de estructuras por la Metodología PCA-84

Para el diseño de pavimentos por la metodología PCA-84 se partió de un CBR de la subrasante de 1,6% y se estimó mediante la formulación de Ivanov que con la construcción de una plataforma o mejoramiento en rajón, sello y geotextil se podía tener a nivel de esta subrasante mejorada un CBR de diseño de 4,0% que corresponde aproximadamente a un módulo de reacción de 40 MPa/m.

Sobre el mejoramiento se decidió colocar 15 cm de subbase granular y encima 15 cm de base granular para apoyar una carpeta asfáltica mínima de 5,0 cm que servirá como apoyo de las losas de concreto y cuya función será evitar que se presente bombeo. Teniendo en cuenta el bajo espesor de concreto asfáltico no se tuvo en cuenta su efecto para aumentar el módulo de reacción combinado bajo las placas, por lo tanto partiendo de un módulo de reacción de 40 MPa/m y considerando un espesor de 30 cm de granulares se calculó un módulo de reacción combinado de 55 MPa/m.

Los demás parámetros definidos para el diseño se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4-5. Parámetros de Diseño Método PCA-84. Carrera 22

PARÁMETROS	PAVIMENTO RÍGIDO PCA-84
Módulo de rotura (MPa)	4.5 MPa
Módulo de elasticidad del concreto (MPa)	37.000 MPa
Factores de seguridad de carga	1.2
Uso de barras de transferencia	SI
Consideración del efecto Berma	NO
CBR de la subrasante	4%
Módulo de reacción Combinado (MPa/m)	55.0

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presentan los resultados del dimensionamiento de las losas de concreto y las estructuras obtenidas:

Tabla 4-6. Espesores de losas de concreto Método PCA-84

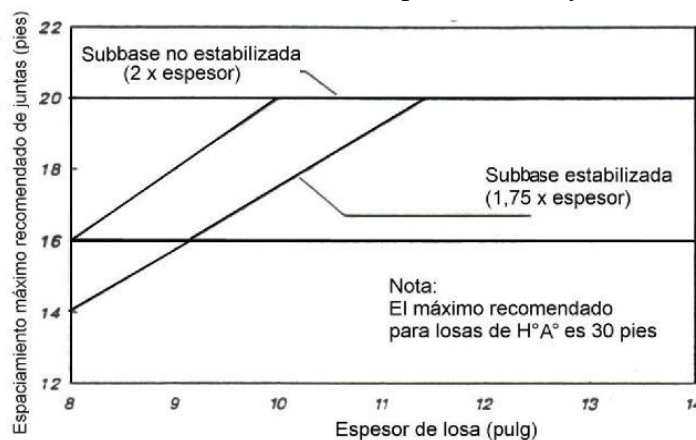
CAPA	CALZADA VEHICULAR OCCIDENTAL	CALZADA VEHICULAR ORIENTAL	CALZADA VEHICULAR INTERSECCIÓN
	Espesor en mm	Espesor en mm	Espesor en mm
Losa de concreto MR= 4.5 MPa	290	280	290
Carpeta Asfáltica	50	50	50
Base Granular no tratada	150	150	150
Subbase Granular no tratada	150	150	150
Geotextil NT 4000 o Similar	Sí	Sí	Sí
Sello	100	100	100
Material Mejoramiento con Rajón y/o Demolición de losas	200	200	200
ESPESOR TOTAL	940	930	940
Consumo de fatiga	0,0%	0,0%	0,0%
Consumo de erosión	78,8%	92,7%	93,0%

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 Diseño del espaciamiento y aceros entre juntas Método PCA.

En la Figura No. 22, se muestran las recomendaciones de la PCA en cuanto a separación máxima en función del espesor de losa para distintas condiciones de soporte (subbase no estabilizada y subbase estabilizada). De acuerdo a esta figura, la separación entre juntas no debe exceder 6.1 m (20 pies). Sin embargo, este valor se considera demasiado grande. El IBCH recomienda no superar los 4.50 m, valor que debería usarse para losas mayores o iguales a 22 cm de espesor.

Figura 4-4. Espaciamiento máximo recomendado en función del espesor de losa y distintas condiciones de soporte (ACPA y PCA, 1990)



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos en Base al Método AASHTO - 93, 3ra ed, traducción original del libro: "AASHTO Design procedures for new pavements"

Con las consideraciones anteriores se establece una separación entre losas de 4.5 metros.

Las características de los pasadores no requieren de grandes cálculos. Las dimensiones recomendadas por la PCA son: diámetro de pasadores número 10, Ø=1¼” grado 60 (lisa), longitud de 450 mm, y espaciados a cada 300 mm.

Para la losa en estudio con junta a tope, se recomienda un diámetro de barras de unión de Ø=16 mm (5/8”) grado 60 (corrugada), tomando la distancia al borde libre de 3.65 metros, se obtiene las siguientes magnitudes, longitud de la barra 100 mm, y separación entre barras cada 120 mm.

4.2.5 Análisis económico comparativo de estructuras de pavimento

Con el fin de poder comparar económicamente el costo de ambas alternativas de intervención se efectuó un análisis de precio por m² de cada estructura construida, utilizando los precios de referencia del IDU vigentes para noviembre de 2015. Para el análisis sólo se consideraron las estructuras de la calzada occidental que es la que tiene mayor tránsito. En las tablas a continuación se pueden observar las cantidades de cada actividad, los valores unitarios tope definidos por el IDU y el costo de cada actividad.

Tabla 4-7. Presupuesto Pavimento Flexible, noviembre 2015

ALTERNATIVA 1 ESTRUCTURA PARA PAV. FLEXIBLE KRA 22 CLLS 15 - 17					
ESPESO R CAPA CM.	DESCRIPCIÓN MATERIAL	UN	CANT	VALOR UNITARIO/	valor m2
20	MATERIAL DE MEJORAMIENTO HECHO CON RAJON O PROVENIETE DE DEMOLICION DE CONCRETO HIDRAULICO	M3	0.20	\$64,690.00	\$12,938.00
1	GEOTEXTIL NT 4000	M2	1.00	\$7,670.00	\$7,670.00
10	SELLO	M3	0.10	\$68,440.00	\$6,844.00
20	SUBBASE GRANULAR BG 1 TIPO INVIAS	M3	0.20	\$67,860.00	\$13,572.00
20	BASE GRANULAR BG 1 TIPO INVIAS	M3	0.20	\$73,660.00	\$14,732.00
11	MEZCLA ASFALTICA MD 12	M3	0.11	\$361,234.00	\$39,735.74
10	MEZCLA ASFALTICA MD 20	M3	0.10	\$349,503.00	\$34,950.30
		TOTAL			\$130,442.04

Fuente: Elaboración propia.

Según el análisis realizado el costo directo por m² de la nueva estructura del pavimento flexible, sin tener en cuenta las excavaciones, el transporte de residuos y los costos indirectos de administración, imprevistos y utilidad, es de COP\$ 130,442.04.

Es de anotar que las excavaciones de la estructura para el pavimento flexible (91 cm) son similares y un poco menores que las del pavimento rígido (94 cm) y que la diferencia significativa que no es tan fácil de evaluar es el proceso constructivo, porque mientras las capas asfálticas pueden construirse en dos días y abrirse al tráfico el siguiente día a la extendida y compactación, el pavimento rígido requiere de un periodo

de curado normal de 30 días y del sellado posterior de las juntas. Durante este tiempo la vía deberá permanecer cerrada a menos que se utilicen concretos acelerados que son más costosos y requieren mayor cuidado para su colocación y curado.

Tabla 4-8. Presupuesto Pavimento Rígido, noviembre 2015

ALTERNATIVA 2 ESTRUCTURA PARA PAVIMENTO RIGIDO KRA 22 CALLES 15 - 17					
ESPESOR CAPA CM.	DESCRIPCION MATERIAL	UN	CANT.	VALOR UNITARIO	valor m2
20	MATERIAL DE MEJORAMIETO HECHO CON RAJON O PROVENIETE DE DEMOLICION DE CONCRETO	M3	0.2	\$64,690.00	\$12,938.00
1	GEOTEXTIL NT 4000	M2	1	\$7,670.00	\$7,670.00
10	SELLO	M3	0.1	\$68,440.00	\$6,844.00
15	SUBBASE GRANULAR BG 1 TIPO INVIAS	M3	0.15	\$67,860.00	\$10,179.00
15	BASE GRANULAR BG 1 TIPO INVIAS	M3	0.15	\$73,660.00	\$11,049.00
5	MEZCLA DENSA EN CALIENTE MDC 2	M3	0.05	\$372,553	\$18,627.65
25	CONCRETO MR 45	M3	0.25	\$417,500	\$104,375.00
TOTAL					\$171,682.65

Fuente: Elaboración propia.

Según el análisis realizado el costo directo por m2 de la nueva estructura del pavimento rígido, sin tener en cuenta las excavaciones, el transporte de residuos y los costos indirectos de administración, imprevistos y utilidad, es de COP\$ 171,682.65.

Respecto al análisis de costos de cada una de las estructuras, podemos concluir que el costo directo del pavimento rígido se incrementa en un 24% por m2 respecto del pavimento flexible, en el momento de hacer la construcción, pero considerando la durabilidad del concreto, el tiempo de servicio a largo plazo compensa la inversión inicial más aun teniendo en cuenta los mantenimientos que se deben realizar, que se deben realizar más rápidamente para el caso de los pavimentos flexibles.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta la información geotécnica analizada del INFORME DE DISEÑO DE PAVIMENTOS, realizado por la firma Auscultar S.A.S. “Ensayos e Ingeniería”, y que se tomó de referencia para la ejecución del diseño de pavimento en concreto hidráulico del presente trabajo de grado, de los apiques realizados en la zona de estudio, los cuales tienen por objeto conocer la estratigrafía existente, la calidad de los materiales y los espesores reales de las capas de soporte de la vía actual, con esta información se realizó el nuevo diseño de la losa de concreto y de las capas materiales de apoyo para dicha losa.

Se concuerda en que los materiales encontrados son heterogéneos y sus propiedades estructurales no son suficientemente competentes para permitir reutilizarlos dentro de las nuevas estructuras como soporte de la nueva estructura del pavimento, se debe realizar antes un mejoramiento de la capa de subrasante que ofrezca una mayor resistencia y uniformidad.

- También se está de acuerdo en la necesidad de colocar un mejoramiento como plataforma para la construcción de las nuevas estructuras del pavimento ante la baja capacidad de soporte evaluada sobre muestras en molde CBR obtenidas de los limos y arcillas encontrados a nivel de subrasante.

Sin embargo, no se consideró conveniente determinar un valor de capacidad de soporte CBR de diseño para cada calzada, por esta razón con todos los resultados se estimó un CBR de diseño de 1,6% y a partir de éste, mediante la formulación de Ivanov, se determinó un CBR sobre la subrasante mejorada de 4,0%. Al usar en lo posible las mismas metodologías es más representativa la comparación que se va a hacer.

- En cuanto a la evaluación del tránsito para el diseño de pavimentos rígidos, existe una gran diferencia con relación a los pavimentos flexibles, ya que se utilizó un exponente mayor para determinar los factores de daño y además para los pavimentos flexibles se utilizaron los factores de daño promedio de la red nacional mientras que para los rígidos se trabajó con las cargas por eje máximas permitidas, aun cuando en buena parte del tiempo los buses y camiones no van total ni medianamente cargados. Sin embargo, lo deseable es trabajar para todos los casos con espectros de carga que debería definirse tanto para la Bogotá como para las carreteras del país.
- Se recomienda la construcción e instalación de una capa en mezcla asfáltica densa en caliente de 5 cm de espesor entre la base y la losa de concreto hidráulico, con el propósito de minimizar la erosión o bombeo, esto permite que la base sea poco erodable y evita cualquier reflejo de las fisuras presentes en las capas de bases estabilizadas con cemento posteriormente al curado de las losas de concreto.
- Debido a la localización del proyecto y la no disponibilidad de espacio, el diseño no tuvo en cuenta la construcción de bermas, parámetro que permite junto con la transferencia de carga

(pasadores o dovelas) disminuir espesores y reducir esfuerzos en los bordes por la distribución de cargas en las losas.

- Los resultados obtenidos luego de moldear la estructura para la alternativa con pavimento rígido por la metodología PCA-84, no difieren significativamente entre las tres calzadas evaluadas (losas de 28 y 29 cm) aun cuando se presentaba una diferencia significativa en los tránsitos (37, 63 y 83 millones de ejes equivalentes de 8,2 toneladas).
- Con la metodología AASHTO-93 se obtuvieron diferencias significativas de espesores de losas (30, 31 y 33 cm), los cuales a juicio de los autores se consideran exagerados para las solicitaciones de esta vía.
- Realizar las obras de reconstrucción y/o construcción de la estructura nueva se detectan suelos blandos o “acolchonamientos”, se deberá reemplazar por lo menos 40 cm de suelo de material tipo rajón y material granular para sello con un núcleo textiles separación y/o se podrá realizar un reemplazo de material de Subrasante por material de afirmado con un CBR mayor a 10%, en un espesor no menor de 30 cm.
- Para todas las alternativas se debe tener en cuenta lo siguiente, antes de instalar los materiales de la losa de concreto hidráulico, se deberá realizar una prueba de carga con una volqueta cargada, en caso de detectar zonas blandas y/o acolchonamientos, estas deberán ser estabilizadas con rajón y/o demolición de losas y/o material seleccionado en el espesor necesario para evitar deformaciones.
- La intervención por realizar deberá tener en cuenta los empalmes con bocacalle e intersecciones, y de ser necesario, se recomienda la intervención en estructura de pavimento que se requiera de estos pasos; lo anterior con la finalidad de permitir el suficiente bombeo superficial para la disposición de drenaje a los sistemas de alcantarillado y la protección requerida a la intervención de la vía.
- Por último se reitera que la opción del pavimento rígido, con la que sólo se aumenta en un poco más del 24% el costo directo de la obra, es a juicio de los autores mejor que la de pavimento flexible, ya que garantiza que no se va presentar ahuellamiento, distribuye más eficientemente los esfuerzos debidos a cargas altas y además garantiza el doble de vida útil que la de pavimento flexible.

6 BIBLIOGRAFÍA

1. AUSCULTAR S.A.S. “Ensayos e Ingeniería”. (2015), Informe de Diseño de Pavimentos Consorcio ELIGOR, Bogotá D.C. (PAV 14-12-005-01).
2. Cordo, Oscar, EICAM de Argentina, (2006), Manual de Diseño de Pavimentos en Base al Método AASHTO - 93, 3ra ed, editado por la Escuela de Caminos de Montaña de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan. Es una traducción original del libro: ”AASHTO Design Procedures For New Pavements”, editado por el instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos (NHI).
3. Becerra S, M. MBA, PMP, (2012), Tópicos de Pavimentos de Concreto, Diseño, Construcción y Supervisión, Lima-Perú.
4. Participaron en la elaboración: Juan Pablo Nieto Mora, Contratista, DTE, Oscar Mauricio Velásquez Bobadilla, Contratista, DTE, (El alcance de participación en la elaboración de este documento corresponde a las funciones del área que representan), (2013), *GUÍA “DISEÑO DE PAVIMENTOS PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO Y VÍAS LOCALES PARA BOGOTÁ D.C.”*
5. Fernández, Erasmo. Universidad Ricardo Palma, Republica del Perú, “*DISEÑO DE ESPESORES PARA PAVIMENTOS DE HORMIGÓN EN CARRETERAS Y CALLES MÉTODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. DOCUMENTO PREPARADO POR INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y EL HORMIGÓN PARA EL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR.*” El presente documento es una traducción del libro “Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements” editado por la “Portland Cement Association de los Estados Unidos de Norte América, en 1984 y cuya reimpresión se realizó en 1995.
6. Montejo, F. A. (2014). “Ingeniería de pavimentos”, Tomos 1 y 2, Bogotá, Universidad Católica de Colombia, 612 p. y 435 p. 3ra Reimpresión.
7. Rondón, H. A. & Reyes, F. A. (2015). “Pavimentos, Materiales, construcción y diseño”. Bogotá, ECOE Ediciones, 608 p.
8. Reyes, F. A. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. 1ª ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
9. AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials (1986, 1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, D. C.
10. Sánchez S. F. (1984) PAVIMENTOS, Bogotá, Universidad la Gran Colombia.
11. Instituto Colombiano de Productores del Cemento y otros. Bogotá: (1982), CURSO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO, ICPC.

12. Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. 2ª ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
13. Salazar R. A. (1998). *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. 1ra ed. IMCYC.
14. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES CONSTRUCCIÓN PARA PROYECTOS EN INFRAESTRUCTURA VIAL Y DE ESPACIO PÚBLICO EN BOGOTÁ D.C., - ESPECIFICACIONES "IDU ET-2011 adoptadas por el DISTRITO CAPITAL mediante resolución 4880 de 5 de diciembre de 2011.
15. ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS adoptadas por el INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS mediante resolución No. 8068 del 19 de diciembre de 1996 y Resolución No. 005866 de noviembre 12 de 1998; adoptadas por el Ministerio de Transporte mediante Resolución No. 2073 del 27 de abril de 1997, actualizadas mediante resolución INVIAS No. 003288 del 15 de agosto de 2007.
16. NORMAS DE ENSAYO DE MATERIALES PARA CARRETERAS-INVIAS, Resolución No. 8067 del 19 de diciembre de 1996, actualizadas mediante resolución INVIAS No. 003288 del 15 de agosto de 2007.
17. Calo Diego H. (2013), Diseño de Pavimentos Rígidos, JORNADA DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS DE HORMIGÓN, Buenos Aires.