



**ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA CARPETA ASFÁLTICA PARA LA
COMPARACIÓN ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES COMO
ALTERNATIVA DE USO PARA EL PARQUEADERO COMÚN DE LA CARRERA 14A
#27A-57 SUR, EN BOGOTÁ**

MONOGRAFÍA

HILTON MIGUEL PINZÓN FORERO

Código 10481512783

Universidad Antonio Nariño

Programa ingeniería civil

Facultad de ingeniería civil y ambiental

Bogotá, Colombia.

2022

**ESTUDIO DIAGNÓSTICO DE LA CARPETA ASFÁLTICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES COMO
ALTERNATIVA DE USO PARA EL PARQUEADERO COMÚN DE LA
CARRERA 14A #27A-57 SUR, EN BOGOTÁ**

HILTON MIGUEL PINZÓN FORERO

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesor: CARLOS MARTÍN MOLINA GALLEGO

Monografía.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Cumple con los requisitos para optar

Al título de

Ingeniero Civil.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá, 17 noviembre 2022

Dedicado:

*A mis padres y hermanos por su
acompañamiento durante el proceso de mi formación
como profesional, presentes en todas las dificultades,
brindando siempre sus consejos y fortaleza.*

*A mis abuelos que ya no están para ver el
resultado de este logro, ya que fui guiado por su
sabiduría.*

Agradecimientos

A todas las personas que me apoyaron moral y emocionalmente para la culminación de este logro, a todos los docentes que aportaron su conocimiento que da como resultado este trabajo de grado, la Universidad Antonio Nariño por permitirme hacer de este sueño una realidad, además de haberme brindado años de alegría y retos, me reunió con las personas que hoy además de ser mis mejores amigos, ahora son mis colegas.

A Natividad Forero Sanchez por ser esa mujer fuerte y dedicada, que al día de hoy ya formó a tres profesionales y que con orgullo la llamamos mamá.

Contenido

1.	Introducción	1
2.	Marco conceptual.....	2
2.1	Pavimento.....	2
2.2	Pavimento flexible.	3
2.3	Pavimento rígido.	4
2.4	Carpeta asfáltica.	4
2.5	Asentamientos	4
2.6	Desintegración.....	5
2.7	Piel de cocodrilo.....	5
3.	Estado del arte	6
3.1	Diseño de pavimento flexible.....	12
3.2	Diseño de un pavimento rígido	17
4.	Plantamiento del problema.....	21
5.	Objetivos	23
5.1	General.	23
5.2	Específicos.	23
6.	Metodología	24
6.1	Registro fotográfico del parqueadero de la carrera 14 ^a # 27 a – 57 sur.	24
6.2	Diagnóstico de la capa asfáltica para el parqueadero de la carrera 14 ^a # 27 a – 57 Sur.	25
6.2.1	Hundimiento:	25
6.2.2	Pérdida de agregados.....	26
6.2.3	Descascaramiento.....	28
6.2.4	Piel de cocodrilo.....	29

6.3	Elaboración del diseño de pavimento rígido.....	30
6.3.1	Variables de entrada.....	32
6.3.2	Variable de desviación estándar y factor de desviación normal.	32
6.3.3	Factor de ajuste.	33
6.3.4	Índice de Serviciabilidad y espesor de la losa.....	33
6.3.5	Módulo de reacción de la sub rasante.	34
6.3.6	Módulo resiliente de la Subrasante.	34
6.3.7	Módulo resiliente de la sub base (E).	37
6.3.8	Espesor de la sub base.....	38
6.3.9	Mejoramiento de la sub rasante.....	39
6.3.10	Modulo elástico del concreto.	40
6.3.11	Módulo de resistencia a la tracción por Flexión S`c.	41
6.3.12	Espesor de la base.	42
6.3.13	Perfil de diseño.....	43
7.	Resultados.....	43
7.2	Presupuesto de materiales para los dos pavimentos.....	44
7.2.1	Área de intervención.	44
7.2.2	Volúmenes de materiales requeridos para pavimento rígido.	47
7.2.3	Volúmenes de materiales requeridos para pavimento flexible.	48
7.2.4	Presupuesto para pavimento rígido.	50
7.2.5	Presupuesto para los dos asfaltos.	51
8.	Análisis comparativo	52
8.1.	Valor de los mantenimientos del pavimento flexible.	54
9.	Conclusiones.....	55
10.	Contribuciones.....	56
11.	Recomendaciones.....	56
12.	Bibliografía.....	57

Lista de figuras

Figura 1: mapa vial del Distrito Capital.....	1
Figura 2: Ruta de construcción	16
Figura 3: Acciones a realizar	24
Figura 4: hundimiento.....	26
Figura 5 : pérdida de agregados.....	27
Figura 6: Descascaramiento.....	29
Figura 7: Piel de cocodrilo.....	30
Figura 8: Elaboración del diseño de pavimento rígido	30
Figura 9: Histograma de precipitaciones en Bogotá.....	35
Figura 10: Recorte de Abaco para la sección del módulo elástico de las sub base.	38
Figura 11: Medidas del área a intervenir	44
Figura 12: Perfil de diseño de pavimento flexible.....	48

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Nivel de confiabilidad	14
Tabla 2: Error nominal combinado	14
Tabla 3: Serviciabilidad	15
Tabla 4 : variable de tiempo	18
Tabla 5: Niveles de confiabilidad recomendada	18
Tabla 6: Índice de confiabilidad	19
Tabla 7: resultados de ensayo CBR	36
Tabla 8: Módulo recipiente a partir del % CBR	36
Tabla 9: Valores del factor	42
Tabla 10: Cantidades de material para pavimento flexible	43
Tabla 11: Cantidades de material para pavimento flexible	50
Tabla 12: Cantidades de material para pavimento rígido.	50
Tabla 13: Presupuesto para pavimento flexible.	51
Tabla 14: Presupuesto de pavimento rígido.	52
Tabla 15: Inflación en Colombia en los últimos 22 años	53
Fórmula 1: Proyección de uso	9
Fórmula 2: la forma de Liddle	9
Fórmula 3: Índice de serviciabilidad	20

Fórmula 4: Límites de la desviación estándar	32
Fórmula 5: Ivanov	39
Fórmula 6: Modulo elástico del concreto	41
Fórmula 7: Módulo de resistencia a la tracción	41
Fórmula 8 : De Herón	46
Fórmula 9: De interés compuesto para calcular el valor a pagar a futuro	54

Resumen

En el presente documento se quiere responder la pregunta planteada para el parqueadero ubicado en la carrera 14^a #27 a – 57, ¿es eficaz un asfalto flexible o uno rígido? esto visto desde el factor económico. Inicialmente se elabora un diagnóstico visual de la carpeta asfáltica usando el manual de Invias, luego se elabora un diseño de pavimento rígido, ya que el diseño de pavimento flexible existe en uno de los anexos. Continuando con el proceso, se hacen los cálculos relacionados con el área de intervención y la cantidad de materiales requeridos para los diseños de pavimento rígido y flexible, luego se elabora el presupuesto calculando la cantidad de materiales y el mantenimiento del pavimento flexible ya que para pavimento rígido no se requieren, finalmente se suman los costos totales requeridos para mantener en operación los dos tipos de pavimento durante 25 años que es el tiempo para el que se diseñaron, dando como resultado que el pavimento rígido es el más eficaz visto desde el factor económico.

Abstract

In this document we want to answer the questions proposed for the parking lot located in Carrera 14^a #27 a – 57 yes, is a flexible asphalt or a rigid one effective? This seen from the economic factor, initially a visual diagnosis of the asphalt folder using the Invias manual for this purpose, then a rigid pavement design is elaborated because the flexible pavement design already exists in one of the annexes, continuing with the process, the calculations related to the intervention area are made, the amount of materials required for the designs of rigid and flexible pavement then the budget is prepared based on the amount of materials required, continuing the calculation of the budgets required for the maintenance of flexible pavement since for rigid pavement they are not required, Finally, the total costs required to keep the two types of pavement in operation for 25 years are

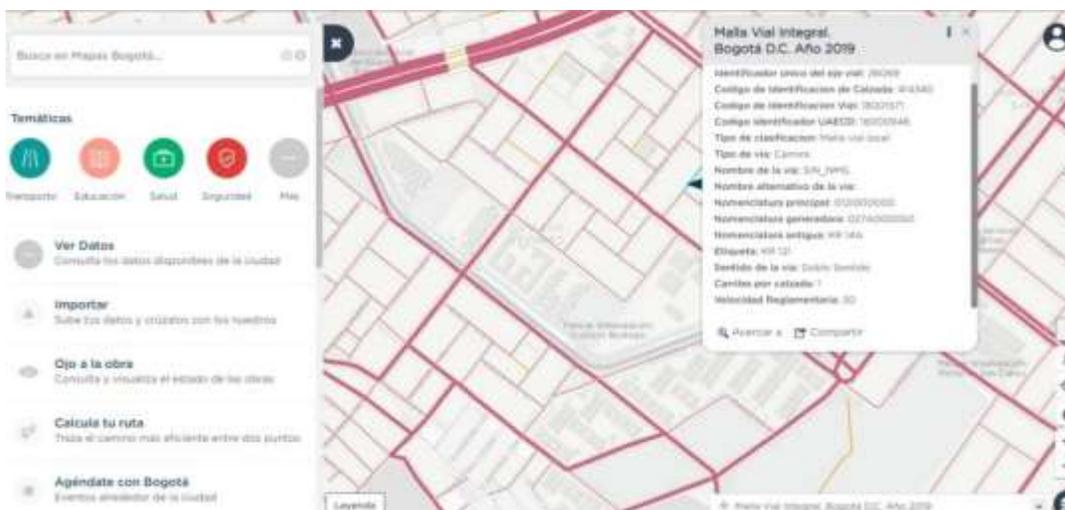
added, which is the time for which were designed, resulting in the rigid pavement being the most effective seen from the economic factor.

1. Introducción

Para las diferentes vías de Bogotá, se concibe como malla vial arterial las que comunican las diferentes troncales, para las carreteras de primer orden se llaman, malla vial intermedia; las de segundo orden, malla vial local; las de tercer orden sin definir, sin embargo para dicha clasificación se debe tener en cuenta la cantidad del Tránsito Promedio Diario (TPD), la población y el diseño geométrico. Para el caso de la carrera 14ª #27 a – 57, se clasifica según el mapa de la malla vial como local y distintas clasificaciones según la ilustración 1, primando la geometría vial, pero dejando de lado la población y el tránsito promedio diario, que es menor a 150 vehículos por día, debido a esto las personas la llegan a utilizar para realizar algún deporte, demostrado en la ilustración 5 que muestra una cancha de micro fútbol (Catastro Bogotá , 2019).

Figura 1:

Mapa vial del Distrito Capital



Extraído del mapa de la malla vial de Bogotá, clasificación del parqueadero de la carrera 14a #27a-57 sur (Alcaldía de Bogotá, 2022).

Por lo anterior, la prioridad de la geometría vial impide realizar un estudio detallado de la utilización real de la vía, errando en la clasificación, desperdiciando recursos ya que, de clasificarse de forma adecuada, se puede utilizar un pavimento rígido que no necesite un mantenimiento en un lapso corto, permitiendo así tener una calle en buen estado según su uso y destinando recursos a 2.174 km. El 15% de las vías con grandes patologías según el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU) citado por la revista semana, que verdaderamente necesitan una intervención, donde por medio del presente documento se quiere responder para el parqueadero ubicado en la carrera 14ª #27 a – 57 ¿es eficaz un asfalto flexible o uno rígido? (Parera, 2019; Revista Semana, 2021).

2. Marco conceptual

En el presente documento se utilizarán diferentes términos técnicos importantes dentro de la ejecución de obras viales, en Colombia el área de conocimiento a tratar es la relacionada con el comportamiento y mantenimiento de vías secundarias, uso que está dirigido al tráfico liviano con ciertas variables como lo son vehículos de carga de abastecimiento de víveres y el carro de basura, con una frecuencia máxima de tres veces por semana.

2.1 Pavimento.

Según Isaac Moreno Gallo (2004), El primer pavimentado fue creado por Appius Claidius Caecus en el siglo IV A.C. Elaborando un camino que conectaba la ciudad de Roma con la ciudad romana de Capua denominado como el camino de Apia, sin embargo Isaac Moreno cita a San Isidro de Sevilla, en sus etimología del siglo VI D.C. Indica, que los Cartagineses fueron los primeros en usar piedras en la superficie de sus caminos, es de resaltar que dichos caminos eran más rudimentarios que los caminos Romanos ya que su tránsito era para asnos y personas a pie.

Por definición propia pavimento es la capa superior de un camino generalmente de cemento, asfalto, adoquines u otros materiales que proporcionan una superficie plana, sin embargo en su ensayo Solar (1956), dice que para definirse como pavimento debe cumplir con tres reglas las cuales son, como primera instancia ser una estructura, esto se reduce a que debe ser elaborado por el ser humano, sin embargo esta es la segunda regla, y como tercera regla es que debe estar construido para soportar el tráfico y sus efectos, ya que en la actualidad no existe pavimento que no cumpla con las reglas mencionadas.

Si bien Solar (1956), en su definición de pavimento explica que la acción principal que brinda un pavimento es ofrecer una superficie lisa y de alto índice de fricción para el tránsito de vehículos o personas, Isaac Moreno Gallo (2004), amplía sus funciones indicando que el pavimento también cumple con la distribución de las fuerzas aplicadas a las capas inferiores del camino, de igual manera indica que el pavimento al ser generalmente de un material permeable evita que el agua se infiltre en las capas inferiores, prolongando la vida útil del camino.

Dentro de los conceptos a tratar, existen aquellos que definen diferentes anomalías del pavimento por el uso y el desgaste llamadas en general como patologías. En el presente documento no se expresan la totalidad de patologías existentes, solamente se toman en cuenta aquellas que están presentes en el parqueadero ubicado en la carrera 14a #27a-57 sur en la ciudad de Bogotá, por las cuales se vio la necesidad de ejecutar una obra de mantenimiento.

2.2 Pavimento flexible.

Se denomina pavimento al que toda su estructura se flexiona con las cargas, es un tipo de pavimento que está compuesto por una mezcla entre agregados gruesos y finos con

un ligante bituminoso proveniente de la brea o el petróleo esta mezcla es lo suficientemente fuerte para soportar el impacto de tráfico pesado, debe ser impermeable para proteger a las capas de sustentación de la humedad adicional a los demás requerimientos que definen un pavimento (ingeniero civil, 2022).

2.3 Pavimento rígido.

El pavimento rígido es aquel que está compuesto en su capa superficial por una losa de concreto portland, esta capa varia su espesor dependiendo del tipo de carga para la cual se diseña, también existe concreto reforzado continuo y discontinuo, donde su diferencia principal son las dilataciones en la losa donde se debe interrumpir el acero, este tipo de pavimento está compuesto por una serie de losas independientes que en conjunto conforman la capa de rodadura continua (Matarche, 2022).

2.4 Carpeta asfáltica.

Es la capa superior que está expuesta al clima y el tráfico en el pavimento flexible, esta da el terminado final y ofrece los servicios de tránsito a los vehículos, adicionalmente al ser impermeable protege a las capas inferiores de la humedad, también es la capa que recibe las cargas directas del tránsito y las trasfiere de manera uniforme a las capas inferiores, está compuesta por material bituminoso que envuelve agregados gruesos y finos con el fin de juntarlos y aprovechar su resistencia en conjunto (USON, 2022).

2.5 Asentamientos.

Es conocido como depresión, se caracteriza por ser una ligera alteración en la nivelación en la capa de rodadura, ya que se desplaza negativamente sobre la línea del plano en la que la capa de rodadura está establecida, se evidencia en especial por asentamientos de agua después de la

lluvia, como su nombre lo indica son producidas por el asentamiento en las diferentes capas, también son causadas por diferentes errores en su construcción, esta patología reduce el contacto de la llanta por la condensación de agua también llamada hidropelano, que limita la capacidad de la llanta tener la suficiente fricción con la capa asfáltica (Galviz Ariza , 2006; zeña cruz, 2018).

2.6 Desintegración.

Esta falla se presenta cuando existe una destrucción por partes de la capa asfáltica de forma progresiva, también conocida como desprendimiento de agregados, donde la capa superior se fragmenta en pequeñas partes quedando a la vista pequeñas piedras de material asfáltico, ésta se presenta por diferentes causas entre las que se destacan, la aplicación de un material de baja calidad sin el suficiente ligante, tránsito de vehículos muy pesados, derramamiento de aceite de los vehículos que ablande la capa asfáltica y junto con el agua sufra una pérdida de los diferentes agregados, el uso de los diferentes agregados con cierto nivel de suciedad o en su defecto muy absorbentes, entre otros (Fwa, Chan, & Hoque, 2000; Galviz Ariza , 2006; zeña cruz, 2018).

2.7 Piel de cocodrilo.

Esta patología se caracteriza por una fragmentación de la capa asfáltica en forma de polígonos muy parecida a las escamas de un cocodrilo, teniendo una consistencia en el nivel de elevación, permitiendo que la humedad se filtre por las mismas deteriorando las diferentes capas inferiores, la piel de cocodrilo puede ser producida por un deterioro en la base, que llega a la superficie o un desgaste propio del asfalto por el uso constante del mismo que se presenta de forma independiente, pero que con el tiempo las diferentes

fragmentaciones se unen con las más cercanas presentando la forma de polígono ya que el asfalto con el tiempo pierde flexibilidad (Ann Johnson, 2000; Galviz Ariza , 2006; zeña cruz, 2018).

3. Estado del arte

En el presente documento se tomaron en consideración diferentes investigaciones, artículos, libros, entre otros escritos relacionados con el tema a investigar, sin embargo, se tomaron textos base que orientan un análisis o metodología específica, al momento de indagar por estudios que determinen una comparación entre asfaltos rígidos y flexibles.

Entre los textos investigados el más usado para las consultas requeridas en este documento fue el artículo llamado “Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira – el arenal, en la comuna de Valdivia” Burgos (2014), donde también se realiza una comparación entre el asfalto rígido y flexible, desde el factor económico y su conservación en un lapso específico de ciclo de vida, permitiendo desarrollar una descripción de las características de los mismos a partir de los diferentes datos recolectados, dando como resultado la implementación de un suelo flexible al ser mas económico en cuanto a la inversión inicial, reconociendo que existe un ciclo de vida mayor por parte del la pavimntación rígida pero para el caso del tramo de Valdivia en la región de Los Ríos, no es significativo, siendo el pavimento flexible la mejor opción, de presentarse la misma situación en el presente documento se comprobaría la hipótesis nula.

Para confirmar la hipótesis es necesario diseñar una pavimentación rígida en el parqueadero comunitario ubicado en la carrera 14ª #27 a – 57, ya que el diseño del pavimento flexible se encuentra elaborado por los ingenieros de la alcaldía de Antonio Nariño, para ello se tomaron dos libros base que orientan una metodología y permite dar respuesta a las singularidades que el terreno

presenta, incluyendo las ecuaciones necesarias para el uso de materiales ambos permiten tener una metodología específica en cuanto al estudio de las capas, nivel freático, entre otras. Variables significativas al momento de establecer la mejor opción para el parqueadero comunitario (Reyes , 2003; UMSS Facultad de Ciencias y Tecnología, 2019).

Se tomaron en consideración otros textos importantes como el proyecto de pavimentación realizado en la carrera 14ª #27 a – 57, por parte de la alcaldía local de Rafael Uribe realizado por la consultora CAV, permitiendo obtener los estudios, medidas y ecuaciones desarrolladas en el proceso de pavimentación, realizada por el contratista en consorcio RU 2020, donde el contrato establecido hace parte de la obra número 321 del 2019 (CAV, 2020).

Para establecer la viabilidad económica y el ciclo de vida, fue orientado por medio del texto elaborado por ACPA (siglas en inglés para American Concrete Pavement Association), dicho documento permite establecer un análisis específico que oriente la eficacia del pavimento en cuanto a su ciclo de vida (ACPA, 2012).

Por otro lado, el otro texto base es la tesis elaborada por Cortes (2017), quien en búsqueda de establecer los materiales de construcción de una vía terciaria, permite orientar y establecer una línea económica por medio de los materiales a utilizar, aprovechando los diferentes recursos naturales, donde se logre el mismo resultado con materiales económicos, siendo consecuentes con su función técnica y estableciendo una solución para la aplicación de materiales específicos a la capa de rodadura que se utilizó en el municipio de Mesitas de Colegio.

También es importante mencionar la normativa internacional por la asociación americana de transportes conocido como Association of state highway and transportation

officials por sus siglas en ingles ASSTO, quien desde 1993 exige una directrices especificas en el diseño, ejecución y arreglo de carreteras (Transportation Officials, 1993).

Para la elaboración del diseño del pavimento rígido o flexible se toman en consideración diferentes fuentes bibliográficas que orientan el proceso y metodología específica para el mismo, donde para la ejecución de una obra civil, como la realizada en el parqueadero de la Carrera 14a #27a-57 sur de Bogotá, se necesita tener la claridad de diferentes conceptos para su debida comprensión, también se necesita tener conocimiento de la elaboración, si bien existen diferentes tipos de carreteras, con diferentes materiales en distintos tipos de suelos, incluyendo asfalto natural extraído de minas, en el caso de Colombia dentro del municipio de Caldas un material denominado MAPIA, para el presente documento se quiere enfocar en los pavimentos flexible y rígido, de cómo éstos necesitan de ciertos estudios y procesos específicos, que garanticen una calidad adecuada que cumpla con su función de forma eficaz a través del tiempo (Caro & Caicedo, 2017; Granadillo, 2019)

En primera medida se tiene en cuenta el tránsito, cuya variable es la más importante para calcular los grosores del pavimento, para este proceso es recomendable tener peajes o cables piezométricos que brinden la información de cargas, esto para vías de importancia, como son las vías de primer y segundo nivel, pero en muchas ocasiones se realiza un conteo observado de la cantidad de automotores que transitan por las vías, como es el caso de la calle 13, que en dos días transcurren 1926 vehículos, bajo esta misma modalidad, para el caso del parqueadero contamos con vías de tercer orden, se podría hacer cálculos promedio, que sería del (TPD), éste se calcula en cinco rangos diferentes por la cantidad de vehículos que transitan, el primero en menos de 300, el segundo de entre 300 a 1000, el tercero entre 1000 y 3000, el cuarto entre 3000 a 6000 y el 5to entre 6000 a 12 mil automóviles, es de resaltar que el rango manejado para el TPD del parqueadero

objeto de estudio es de primer orden, en el TPD se cuenta que un 30% es tránsito pesado, pero esto no aplica para el parqueadero, ya que se prohíbe el paso de vehículos de más de tres toneladas, por ende podemos deducir que el tránsito del parqueadero es liviano teniendo excepciones pequeñas como el carro de la basura (Amado & Capador, 2016).

Así mismo los diseños, se establecen a largo plazo, como es el caso de la esperanza de vida del pavimento del parqueadero es de treinta años, por ello se establecen las siguientes fórmulas que permiten predecir de manera muy acertada un número de veces que se usara.

Fórmula 1:

Proyección de uso

$$365 \sum_{t_i}^n t_n = 3651 \left(\frac{n((n+i) - t_i)}{i} \right)$$

n= número de años

i = tasa de crecimiento anual del transito

t_i = tránsito promedio diario del primer año

t_n = tránsito promedio del año n

Donde el tránsito se debe expresar en número de ejes equivalentes, en Colombia el eje de referencia es de 80 kN y 130 kN, para ello se adopta la forma de Liddle, siendo donde

Fórmula 2:

De Liddle

$$C = \left(\frac{P}{80} \right)^a \text{ ó } C = \left(\frac{P}{130} \right)^a$$

P = es el peso simple del eje en KN

a = es el valor definido para calzadas flexibles o rígidas en rangos definidos de 0 a 8 para calzadas flexibles y de 8 a 20 para calzadas rígidas, es de tener en cuenta que (a) variará de valor según los materiales y que esto solo se pueda obtener a partir de las leyes de fatiga, para ejes equivalentes tal es el caso del parqueadero, que al categorizarse en rango inferior del TPD, éste es menor de 500 000 KN (Monsalve, Giraldo , & Maya, 2012; Reyes , 2003).

Para las estructuras de pavimento se recomienda adquirir materiales que tengan características mínimas de calidad y que, en la elaboración de la calzada se respeten los procesos constructivos. Continuando con el proceso a tener cuenta es el análisis de la capa de sub rasante donde es aconsejable que el índice de California Bearing ratio (CBR) sea menor o igual a 10, de lo contrario se debe hacer un mejoramiento de la misma, hasta alcanzar la densidad seca máxima al 95% por la prueba de Proctor modificado, para el mejoramiento o cambio de la sub rasante con índice CBR menor a 10, se debe adicionar o remplazar por un material de mejor calidad cuyo índice CBR sea mayor a 10, en una capa de 45 cm con un mejor material que cumpla con las siguientes características, la primera consiste en que el tamaño de la partículas debe ser inferior a 150 milímetros, los porcentajes finos deben ser superior al 45% y por último el índice de plasticidad supere el 30%, si el fenómeno de colchón elástico persiste durante la compactación, es recomendable hacer filtros para reducir la humedad del suelo y de esta manera estabilizarlo mecánicamente, sin embargo es aconsejable consultar los estudios de suelo para ver qué medidas se pueden tomar para el mejoramiento de la sub rasante (Monsalve, Giraldo , & Maya, 2012).

Para la sub base el índice CBR, debe ser mayor de 30, con una densidad seca más del 95% para el ensayo de Proctor modificado, la granulometría óptima es del 95% para 40 mm, con un 5% en tamices de 5 mm o menos, por su parte la densidad seca mínima, se encuentra entre 1.8 y 2

toneladas por metro cúbico, en el proceso de ejecución se deben hacer extendidos de material de entre 10 y 15cm con un contenido de agua de más o menos el 2% y la tasa de compactación mínima debe ser del 95% de la densidad máxima del proctor modificado (Salado , 2020).

Para la capa base se debe constituir con materiales de calidad óptima, ya que se encuentra sometida a la carga directa del asfalto, para ello existen 4 criterios, el primero consiste en índice de capacidad portante CBR, que debe ser menor a 80, para un densidad seca del 95%, el segundo es su estabilidad, donde se verifica a partir de flexiones ensayos de placa, para el tercero la dureza del esqueleto que se define a partir de los ensayos en la máquina de los Ángeles LA y el ensayo de valor de la fragmentación del agregado o MDE por sus siglas en inglés y por último la resistencia a la tracción, en especial cuando ésta no se ha intervenido con acción de rigidez (Dota 2020; Reyes , 2003).

Para la imprimación de capaz se debe contar con que la misma tenga un espesor de 1 o 2 centímetros con el fin de impermeabilizar la capa base, es de resaltar que existe la posibilidad de imprimir otras capas cuya finalidad es protegerlas de la humedad, ésta capa liga se trata de un revestimiento o emulsión de rotura rápida cuya dosificación varía entre los 0,6 y el 1,5 Kg por metro cuadrado (EPM, 2020; INVIAS, 2018)

Finalmente la capa de rodadura que es la que va a ser expuesta a la intemperie y a la carga vehicular, puede ser elaborada con diferentes materiales, entre los cuales encontramos la arena asfalto, concretos bituminosos, micro aglomerados y lechados, ésta capa es el tratamiento superficial con la aplicación de una película de asfalto compactado o concreto armado sobre la capa base, éste último es lo que define entre un asfalto flexible y uno rígido, punto central del presente documento, ya que las diferencias y similitudes, podrán ser tenidas en cuenta para el objetivo, se recomienda usar agregados

provenientes de rocas duras y no estar contaminados, de ésta manera permita la adherencia al asfalto o al cemento. Los ligantes en caso de asfaltos se debe utilizar una emulsión catiónica de compactación rápida al 60% de asfalto 80/100 o 80/200, y para concretos la mezcla con agregados y arena se aconseja aplicar la resistencia de 3000 psi o mayores (Moreira & Jimenes , 2017; Reyes , 2003).

Por lo anterior para el presente documento se realiza el diseño estructural para el pavimento rígido, con el fin de estipular gastos económicos de materiales y durabilidad de vida de la estructura en el tiempo, con el fin de establecer cuál es el pavimento más eficaz para el parqueadero de la carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá.

3.1 Diseño de pavimento flexible

Según Reyes (2003) se establecen pasos específicos para la elaboración de un pavimento flexible, entre los que se encuentra la toma de datos que son los ensayos de proctor modificado de la subrasante, y de los diferentes materiales a utilizar, adicional a ensayos de penetración estándar, al igual que el ensayo de capacidad portante o CBR, quien determina las densidades y el contenido del agua, seguidamente se elabora el diseño del pavimento, en este caso flexible, iniciando con el valor del servicio, esto permite tener una claridad sobre el comportamiento de la subrasante (Coillo, 2017) .

Para el parqueadero de la de la carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá y basados en la tabla “clasificación de suelos según el CBR”, donde la subrasante aporto un valor de S2, por lo tanto el módulo es igual a 50 MPa, variable que se mide a continuación, es la del tránsito, para definir los espesores del pavimento y el periodo del cual se dimensiona su durabilidad, que se calcula a 15 años antes de su mantenimiento, es de recordar que la vida útil del pavimento se ve reflejada también en el mantenimiento que se realice, invirtiendo mayores costos a largo plazo, ésta medida

se realiza por conteo en este caso observable, para el peso máximo de la vía y por sus condiciones va a soportar un eje simple de 130 kn, con un porcentaje de sobre carga del 10%, para las clases de tránsito se observan restricciones para vehículos mayores a 3 toneladas, para la calificación del TPD, donde con las especificaciones del parqueadero en un TPD de 20 vehículos lo que arroja una calificación de Transito T1, para la clasificación de INVÍAS, se encuentra en una vía de 3er orden ya que por ella transita menos de 1 vehículo por día hasta 150 automotores (INVÍAS, 2008; Reyes , 2003).

Para la plataforma o subrasante y por el CBR de 7, no es necesario hacer remoción de ésta capa y lo aconsejable es hacer filtros, con tubería microperforada y geo textil, a continuación para la sub base se debe manejar material con un CBR igual o mayor a 30 y que tengan el 95% de la densidad seca arrojada por el proctor modificado, aunque al ser un tráfico liviano se puede aceptar un valor igual o superior a 25, donde para el tipo de tránsito 1 o T1, es aconsejable usar 2 capas entre 10 y 25 cm, del material descrito anteriormente, compactadas con maquinaria pesada, para la capa base, lo aconsejable es que el CBR del material utilizado sea igual o mayor a 80 para una densidad seca el 95% de proctor modificado, aunque para T1 es admisible un CBR mayor o igual a 60, también se han realizado diseños con diferentes geo sintéticos que cumplen la función de filtración con los mismos resultados (Sicha, 2018).

Para calcular el grosor de cada una de las capas, se debe estipular el nivel de confiabilidad, teniendo en cuenta la siguiente tabla en la cual se estima el grado de incertidumbre presente en las diferentes variables de diseño.

En la tabla número uno se muestra los rangos de confiabilidad donde se puede escoger por criterio el valor que desee tener para la variable.

Tabla 1:*Nivel de confiabilidad*

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad	
	Urbana	Inter urbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 - 99.9	80.0 – 99.9
Arterias principales	80.0 – 99.9	75.0 – 95.0
Colectoras	80.0 – 95.0	75.0 – 80.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 - 80.0

Extraído de Universidad tecnológica, diseño estructural de vías (Geotecnia Aplicada, 2020)

A continuación, se debe hallar el parámetro S_0 , es una desviación normal generalizada, que afecta todas las variables en el diseño el error normal combinado S_0 , donde visualiza la desviación de diseño, en esta se establecen variaciones en cuanto a los materiales y sus propiedades así como la subrasante, se presenta la variación de tránsito y las diferentes condiciones ambientales.

La tabla dos muestra los rangos para definir el error nominal combinado, este se selecciona por el criterio del diseñado.

Tabla 2:*Error nominal combinado*

Proyecto de pavimento	S_0	
	Flexible	Rígido
	0.40 – 0.50	0.30 – 0.40
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobre capas	0.50	0.40

Nota: extraído de Universidad tecnológica, diseño estructural de vías (Geotecnia Aplicada, 2020).

Consecuentemente la serviciabilidad es el índice de servicio que tiene la vía, con respecto al usuario y se especifica con base en la fórmula y tabla, se establece la serviciabilidad, y su estado evaluado entre 0 a 5, se parte de un valor de 4.0 a 4.2 clasificándolo como una vía en buen estado, siendo los valores de 1.5 y 2.5 representando una falla funcional del pavimento.

Con respecto a la dimensión del pavimento ésta aumenta en el momento de un diseño ΔPSI pequeño ya que $\Delta PSI = P_0 - P_f$ donde ΔPSI es el índice de servicio, P_0 la serviciabilidad inicial, P_f la serviciabilidad final

La tabla tres define los rangos de serviciabilidad, este valor se define por criterio del diseñador según el tipo de vía o pavimento a diseñar.

Tabla 3:

Serviciabilidad

Tipo de vía	Serviciabilidad final
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
<i>Zonas industriales</i>	
Pavimento urbano industrial	1.5 – 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 – 2.0

Nota: W_{18} : Numero de aplicaciones de ejes equivalentes durante el periodo de diseño.

Z_R : parámetro estadístico asociado a la incertidumbre del índice de servicio.

S_0 : desviación estándar total de la distribución normal de errores en variables de diseño.

SN_i : Numero estructural de la capa i .

ΔPSI : Diferencia entre los índices de servicios iniciales y final.

M_r : Modulo de resiliencia, en psi.

3.2 Diseño de un pavimento rígido

Para el pavimento rígido, se tomó en cuenta el proceso descrito por la UMSS Facultad de ciencias y tecnología (2019), quienes a su vez orientados por diferentes normativas incluida la Transportation Officials, (1993), conocido como guía AASHTO 93 describen un análisis para el desarrollo del paso a paso en la elaboración del diseño con los requerimientos específicos de la zona a intervenir, donde primero se identifican las variables de tiempo, descritas en la tabla 4 en estas se escogen los criterios del periodo de análisis y la vida útil del diseño, para después decidir el nivel de confiabilidad como el valor entre 50 a 99,9 según la tabla 5 basado en el tipo de zona y tipo de vía calculando la desviación estándar y el factor de desviación normal $0,30 \leq S_0 \leq 0,40$, donde varía el criterio dentro del rango basado en una proyección en el tránsito a futuro y si éste aumentaría o no para después realizar una corrección a la confiabilidad por medio de una derivación normal Z_R , y se multiplica por la confiabilidad según la tabla 6.

En la tabla 4 se muestran los rangos de tiempo que puede tomar el diseñador según el interés del proyecto.

Tabla 4 :

Variable de tiempo

TIPO DE CAMINO	PERIODOS DE ANÁLISIS
Gran volumen de tránsito urbano	30 – 50 años
Gran volumen de tránsito rural	20 – 50 años
Bajo volumen pavimento	15-25 años

Nota datos extraídos del manual de pavimentos (UMSS Facultad de ciencias y tecnología, 2019)

En la tabla 5 se pueden observar los rangos de confiabilidad definidos para los diferentes tipos de caminos, esta variable la define el diseñador.

Tabla 5:

Niveles de confiabilidad recomendadas por AASHTO

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona Urbana	Zona Rural
rutas interdepartamentales y autopistas	85-99.9	80-99,9
Arterias principales	80-99	75-99
colectoras	89-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Nota: datos extraídos de (Transportation Officials, 1993)

En la tabla seis se puede observar el espesor de la losa en pulgadas que puede tener según la carga que manejaría de kN y el índice de confiabilidad deseado.

Tabla 6:*Índice de confiabilidad*

		Espesor de losa en pulgadas								
KPIS) (KN)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	152,4	177,8	203,2	228,6	254	279,4	304,8	330,2	355,6	
2	8,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	18	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	27	0,011	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8	36	0,035	0,033	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
10	45	0,087	0,084	0,82	0,081	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
12	53	0,186	0,018	0,76	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173	0,173
14	62	0,353	0,346	0,341	0,338	0,337	0,36	0,336	0,336	0,336
16	71	0,614	0,609	0,604	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,598
18	80	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	89	1,55	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,59
22	98	2,32	2,32	2,35	2,38	2,4	2,41	2,41	2,41	2,42
24	107	3,37	3,34	3,4	3,47	3,51	3,53	3,54	3,55	3,55
26	116	4,76	4,69	4,77	4,88	4,97	5,02	5,04	5,06	
28	125	6,58	6,44	6,52	6,7	6,85	6,94	7	7,02	
30	134	8,92	8,68	8,74	8,98	9,23	9,39	9,48	9,54	
32	142	11,9	11,5	11,5	11,8	12,2	12,4	12,6	12,7	
34	151	15,5	15	14,9	15,3	15,8	16,2	16,4	16,6	

36 160 20,1 19,3 19,2 19,5 20,1 20,7 21,1 21,4

Nota: datos extraídos de (UMSS Facultad de ciencias y tecnología , 2019)

Posteriormente se escoge el factor de desviación normal de la confiabilidad, donde se define el índice de serviciabilidad, este se puede establecer de 2 maneras, la primera es con la fórmula matemática cuyas variables se basan en el estudio de un posible pavimento rígido en mal estado, a lo que se define que se va a diseñar para hacer el reemplazo de la carpeta asfáltica existente las fórmulas dadas por el autor se describen a continuación (Salazar Rodriguez, 1998).

Fórmula 3:

Índice de serviciabilidad

$$p = 5.41 - \log[1 + S_v] - 0.09[Cr + P]^{0.5}$$

S_v = Rugosidad longitudinal.

Cr =Longitud de grietas.

P =Area de baches por cada mil unidades de área.

La segunda forma y la recomendada UMSS Facultad de ciencias y tecnología , (2019) es tomar el valor establecido para el tipo de tránsito que circulara.

Serviciabilidad Inicial $p_0 = 4,5$ (Pavimentos rígidos).

Serviciabilidad Final $p_t = 2,5$ Para caminos muy importantes.

$p_t = 2,0$ Para caminos de menor tránsito.

Para el transito se determina bajo los lineamientos de la AASHTO y cuyos valores son establecidos por sus diferentes tablas tomando en cuenta el tipo de vehículos que circularan las cargas que recibirá el asfalto, así mismo se encuentra el módulo de reacción de la subrasante, que

está determinado con el módulo resiliente para todos los meses del año, basándose en las diferentes estaciones del año y las precipitaciones esperadas ya que esto cambia con la humedad de la base y la subrasante, para determinar el tipo de concreto a usar se debe basar bajo las diferentes propiedades y resistencias y la capacidad de transferir la carga a la base, consecuentemente se realiza el cálculo de drenajes, estos son variables ya que dependen de la pendiente del terreno y el tipo de desagües que tengan, para ello el manual ofrece una tabla para seleccionar el tipo de drenaje más efectivo en el diseño (Invias, 2013; Transportation Officials, 1993; UMSS Facultad de ciencias y tecnología , 2019).

Continuando con el proceso se continúa con el diseño de juntas (tipos y espaciamientos), que va de la mano con el cálculo de transferencia de cargas y se determina bajo los parámetros de grosor de la carpeta asfáltica, tipo de concreto, refuerzos longitudinales, temperaturas máximas y mínimas ambiente y demás variables que pueden afectar la vida útil del asfalto, para asfalto rígidos elaborados con refuerzo de acero existen dos tipos, el continuo y el ininterrumpido, de esto dependen los cálculos a tener en cuenta para su elaboración, es de tener en cuenta que el tipo de armadura es definida por el diseñador a conveniencia según los parámetros de construcción y disposición de etapas de construcción (Transportation Officials, 1993; UMSS Facultad de ciencias y tecnología , 2019).

4. Planteamiento del problema

Desde su puesta en servicio y a lo largo de toda su vida útil, las carreteras y caminos pavimentados presentan diversos procesos de deterioro y fallas entre los cuales destacan ahuellamiento, grietas e incluso baches. Por lo anterior, se genera la imperiosa necesidad de

optimizar los recursos que se emplean en el diseño, ejecución y conservación de estos, además se pretende realizar un análisis comparativo entre el pavimento flexible y pavimento rígido, con el objetivo de definir los criterios que permitan responder ¿cuál de los dos pavimentos tiene un mejor comportamiento funcional y económico, para el parqueadero común de la Carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá? Esperando incrementar su servicio y reduciendo los costos de rehabilitación en un futuro (Parera, 2019).

Se debe considerar que una bahía o parqueadero comunal es un espacio de dominio y uso público, planeado y construido principalmente para la circulación de vehículos livianos; estos sectores cobran valor en una ciudad ajustada y concurrida como Bogotá porque sirven para aliviar las vías principales y secundarias de los usuarios que necesitan dejar su vehículo estacionado por un lapso prudencial de tiempo; así que su construcción y mantenimiento, se pueden volver estratégicos. Vale decir que su construcción requiere de inversiones considerables, no mayores a un parque, cancha de fútbol, entre otros, por lo que, son obras que deben ser analizadas cuidadosamente a fin de lograr estructuras que sean técnicamente realizables, funcionales y económicas (Castiblaco , Forero, & Pinilla , 2018).

La aparición de fallas en la superficie de rodadura en las vías de la ciudad de Bogotá puede deberse la falta de mantenimiento, al exceso de tránsito y la circulación de transporte de carga, derramamiento de aceite de carro, entre otras. No se puede hablar de una causa única del deterioro de estos sectores. Sin embargo, si se puede afirmar que el principal problema consiste en que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del tiempo y sólo se interviene cuando el deterioro del pavimento es grave (Galviz Ariza , 2006; Fwa, Chan, & Hoque, 2000).

Lo ideal entonces, según Witzack, (2012), es llevar un seguimiento donde se analice el estado del pavimento, para prevenir daños graves a futuro, de manera que las reparaciones resultantes correspondan a trabajos de conservación o reparaciones menores, y no de reconstrucción. De esta forma, se ahorra dinero y recursos, ya que el costo para cambiar un pavimento es mucho más elevado que el costo por mantenimiento.

La importancia del problema abordado radica en que se nota un alto grado de deterioro en buena parte de la carpeta asfáltica del parqueadero común de la Carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá, a tal punto que se ha puesto en marcha un proyecto de remodelación, pero dicha remodelación puede estar incurriendo en el mismo error, de no tener en cuenta el modelo de asfalto rígido, por consecuencia, surge la necesidad de desarrollar esta monografía para posteriormente realizar mantenimientos o rehabilitaciones en concordancia con los resultados del estudio, con el fin de brindar un mejor servicio (Burgos, 2014).

5. Objetivos

5.1 General.

- Comparar el método más viable entre pavimento flexible y rígido a largo plazo, para la ejecución de las obras del parqueadero comunal de la Carrera 14a #27a-57 sur, en la ciudad de Bogotá, por medio de un análisis diagnóstico.

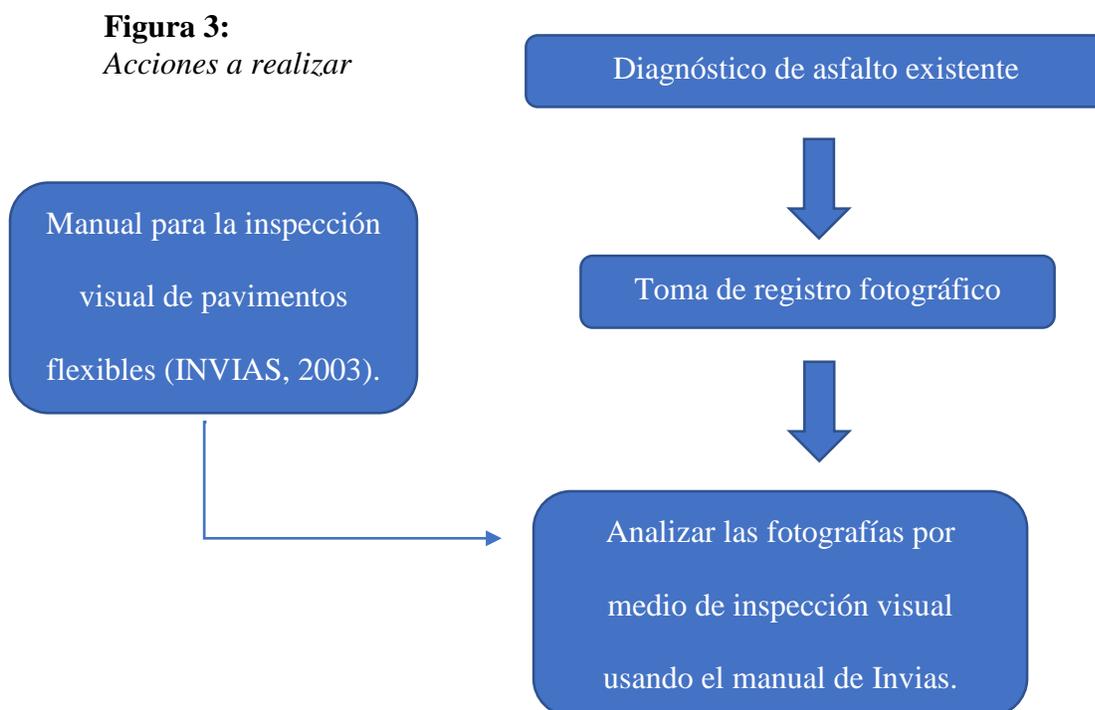
5.2 Específicos.

- Elaboración de un estudio diagnóstico a partir de evidencia fotográfica realizada en el terreno en años anteriores.
- Elaborar un diseño de pavimento rígido para el parqueadero comunal de la Carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá.

- Análisis de costos comparativo de los pavimentos rígidos y flexibles y su aplicación de acuerdo a los usos para evaluar ventajas y desventajas aplicadas a largo plazo.

6. Metodología

En la elaboración de presente documento se realizan una serie de pasos que facilitan el cumplimiento de los diferentes objetivos, designando acciones en un orden específico descrito continuación.



6.1 Registro fotográfico del parqueadero de la carrera 14ª # 27 a – 57 sur.

Se debe ir a la Carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá para hacer la toma del registro fotográfico de las patologías que se estén presentando en el parqueadero comunal.

Entrar a la plataforma de Google Maps y buscar la dirección mencionada anteriormente ubicando las patologías que se presentan en las diferentes zonas del parqueadero en fechas anteriores al registro fotográfico que se realizara de manera presencial.

6.2 Diagnóstico de la capa asfáltica para el parqueadero de la carrera 14ª # 27 a – 57 Sur.

Usando el manual para la inspección visual de pavimentos flexibles dispuestos por la Universidad Nacional y el Ministerio de Transporte Instituto Nacional de Vías, se hace el análisis de cada patología presentada en las fotos tomadas (INVIAS, 2003).

Se cuenta con el registro fotográfico anterior a la fecha, se puede evidenciar el avance de las primeras patologías presentadas en asfalto temprano.

Se realiza el estudio diagnóstico de las patologías presentadas en el actual mejoramiento de carpeta asfáltica que se desarrolló en el parqueadero comunal con el fin de diagnosticar las patologías ya presentadas y proyectar su avance en el tiempo para poder hacer una proyección de su vida útil restante.

6.2.1 Hundimiento:

Es una de las varias depresiones encontradas en el área del parqueadero comunal, se puede identificar de manera obvia gracias al agua contenida por lluvias resientes, si bien es un hundimiento de pocas dimensiones esto no se debería evidenciar en edades tan tempranas del asfalto, la causa probable de este es la deficiencia de drenaje es decir que en esta zona pudo haber ocurrido un error en la aplicación de la capa asfáltica, dejando una depresión que se hace más evidente con el agua, sin embargo, o se pueden descartar asentamientos de la subrasante o mala compactación de capas inferiores.

La severidad de esta patología es baja, ya que, la profundidad es menor a 20mm y al haber bajas velocidades en la movilización de esta zona, es perceptible al interior de un vehículo, lo que no genera riesgos a la vida de los tripulantes y tampoco incomodidades mayores.

El área afectada por este hundimiento es de alrededor de 1,5m².

La ilustración 3 es una imagen tomada de google maps del contenido de la base de datos registrada en la plataforma el junio del 2019, donde se ve un hundimiento temprano de la capa de rodadura, imagen tomada del costado oriental del parqueadero comunal

Figura 4:

Hundimiento



Extraído de (Google maps, 2020).

6.2.2 Pérdida de agregados.

Esta desintegración corresponde a la capa de rodadura de la zona, cuyas partículas son acumuladas en esta superficie por las corrientes de agua generadas después de las lluvias. Esto se ocurre mayormente por la mala calidad del ligante dentro de la mezcla de asfalto utilizado, también puede ser causado por la deficiencia de compactación en el momento de la aplicación de la capa de rodadura.

La severidad de esta patología es baja, ya que los agregados sueltos son mayormente arena sin agregados gruesos

El área afectada por esta patología es toda la superficie del parqueadero, por cuanto lo evidenciado en la fotografía es solo el depósito de los agregados acumulados por el agua y al no ser agregados con dimensiones mayores no se considera una severidad mayor siendo casi imperceptible.

En la siguiente ilustración tomada de google maps del contenido de la base de datos registrada en la plataforma el junio del 2019 se puede apreciar un banco de agregados producto de la pérdida de agregados.

Figura 5 :

Pérdida de agregados



Extraído de (Google maps, 2020).

6.2.3 *Descascaramiento.*

Se evidencia el desprendimiento de la carpeta asfáltica debido al avance del daño sin tratamiento de patologías más sencillas como un posible hundimiento que paso a ser piel de cocodrilo y por ultimo el descascaramiento de esta area.

Sin embargo, adicional a la causa ya mencionada tambien se puede resentar que las causas iniciales de esta patologia se pueden atribuir a un mal procedimiento constructivo como lo es una mezcla asfáltica permeable dado a poca compactacion atribuible a que los operarios encargados de la instalacion de la capa de rodadura no compactaron la zona por evitar daños en los prefabricados de confinamiento transverzal de la zona ya que es una esquina donde se sabe que el cilindro compactador no puede llegar con facilidad, la segunda posible causa es que en la zona fue aplicada una capa mas delgada que en el resto del parqueadero generando debilidad y quiebres a edades tempranas.

La gravedad de esta patologia es alta ya que la profundidad alcanzada en los trozaos desprendidos es de mas de 25 mm.

El area afectada por esta patologia es de 10 m^2 .

En la ilustracion 5, se puede observar la imagen tomada de google maps del contenido de la base de datos registrada en la plataforma el junio del 2012 donde se aprecia el descascaramiento de la capa de rodadura de un tramo importante del parqueadero comunal.

Figura 6:
Descascaramiento.



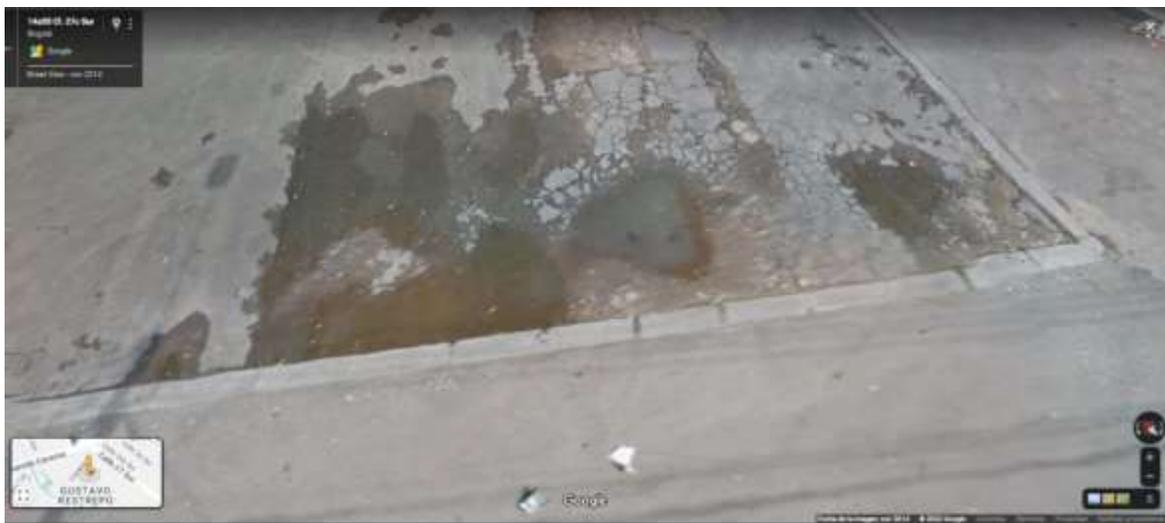
Extraído de (Google maps, 2020).

6.2.4 Piel de cocodrilo

Se puede evidenciar una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares adicional a baches formados por la desintegración de la capa asfáltica, estas grietas son formadas por el hundimiento de las capas inferiores generando vacíos que al ser transitados constantemente, las observaciones ya mencionadas se relacionan a esta patología en una de las esquinas de los prefabricados de confinamiento trasversal, lo que es nuevamente atribuible a un mal proceso constructivo.

La gravedad de este daño es alta ya que la separación en las grietas es mayor a 3mm y se presentan desportillamientos en los bloques desprendidos junto a la desintegración de la carpeta asfáltica con la formación de baches.

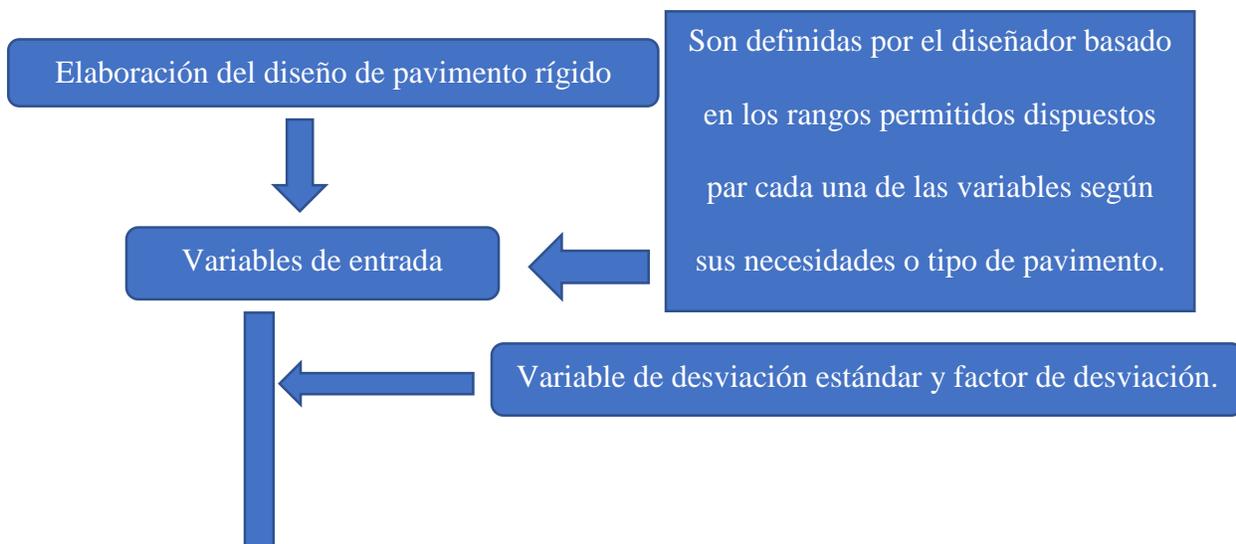
En la ilustración 6 podemos ver la imagen tomada de Google Maps del contenido de la base de datos registrada en la plataforma el junio del 2014, donde se aprecian partes del asfalto con la patología descrita anteriormente.

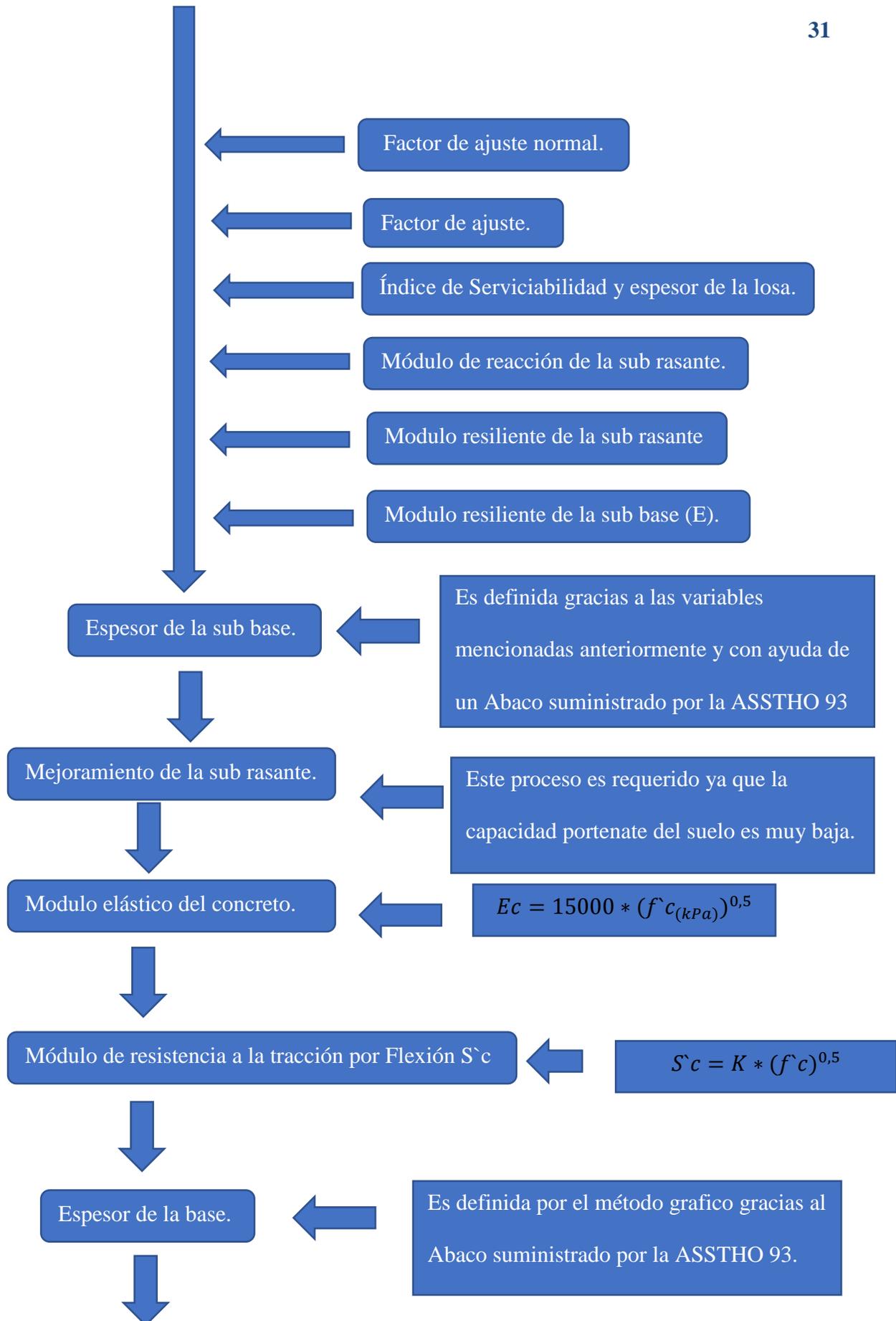
Figura 7:*Piel de cocodrilo*

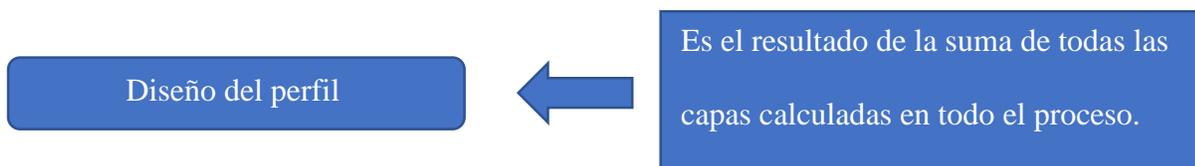
Extraído de (Google maps, 2020).

6.3 Elaboración del diseño de pavimento rígido.

Hacer el diseño de pavimento rígido para el parqueadero comunal de la Carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá tomando como guía el método propuesto por la ASSTHO 93 partiendo de los valores iniciales suministrados por los resultados del laboratorio de los ensayos de CBR, la granulometría, límites y humedad neutral, realizados a la subrasante del parqueadero por parte de la alcaldía Antonio Nariño.

Figura 8:*Elaboración del diseño de pavimento rígido*





6.3.1 Variables de entrada.

Para el desarrollo del método gráfico dispuesto por la ASSTHO 93 para la elaboración de un pavimento rígido se deben seleccionar diferentes variables, estas son elegidas por el diseñador.

Para iniciar, el manual dispone de la tabla donde se hace la selección del tipo de tránsito y la capa de rodadura que manejará el pavimento a diseñar, se escoge “bajo volumen pavimentado” según la tabla 4 y cuyo periodo de análisis es de 25 años.

Para la segunda variable de entrada es la “Confiabilidad o nivel de confianza”, donde la norma sugiere que ($\text{vida útil} \leq \text{periodo de análisis}$), también nos presenta la tabla 5, donde se toma en cuenta la sugerencia y se trabaja con la confiabilidad recomendada entre el rango de 50-80 ya que el lugar a intervenir está ubicado en la zona urbana y se considera una vía de tipo Local, sin embargo y con el interés de obtener los mejores resultados se selecciona la máxima que es de 80.

6.3.2 Variable de desviación estándar y factor de desviación normal.

Continuando con el proceso se define la variable de Desviación estándar (S_o) al igual que las variables anteriores la ASSTHTO 93 también recomienda un factor de corrección para pavimentos rígidos entre los límites.

Fórmula 4:

Límites de la desviación estándar

$$0,30 \leq S_o \leq 0,4$$

Partiendo de lo anterior se toma el valor de $S_o = 0.39$ ya que se considera la posible variación de tránsito a futuro.

Para el factor de **Desviación normal** (Z_R), la ASSTHO 93 recomienda tomar un valor constante de $Z_R = -0,841$ para la confiabilidad de “80”, a lo que se decide obedecer las recomendaciones del manual.

6.3.3 *Factor de ajuste.*

Partiendo de los valores ya definidos y con el fin de compatibilizar las curvas de diseño propuestas por ASSTHO 93 *factor de ajuste* = $Z_R * Confiabilidad$.

$$factor\ de\ ajuste = -0,841 * 80$$

$$factor\ de\ ajuste = -67,28$$

6.3.4 *Índice de Serviciabilidad y espesor de la losa.*

La variable de serviciabilidad está definida por el manual como Índice de Serviciabilidad $p_o = 4,5$ para pavimentos rígidos y espesor de la losa $p_t = 2,0$ ya que es un parqueadero de menor tránsito se ciñe a las recomendaciones dadas por el manual UMSS, Para definir Espesor de la Losa, ASSTHO 93 maneja una serie de tablas donde relaciona la carga por eje y el espesor mínimo que debe tener la losa de concreto, que incluye la tabla 6; estas tablas están hechas tomando la serie de variables posibles y desarrollando las ecuaciones con todas las combinaciones probables.

Teniendo en cuenta esto y según las herramientas de ASSTHO 93, y partiendo como referencia que la mayor carga que transita por la zona es de 3 Ton por la señalización de restricción de carga entonces:

Se calcula la fuerza máxima que hará el asfalto.

$$3\ Ton * 9,8^{\frac{m}{s^2}} = 29,4\ Tonf$$

Se cambian las unidades para facilitar futuros cálculos.

$$29,4Tonf = 288,32KN$$

Este es el valor para un vehículo de 2 ejes, por lo tanto:

$$\frac{288,32KN}{2} = 144,16KN$$

Con la intención de reducir costos se desea trabajar con el espesor mínimo de losa que es de 152,4 mm, redondeando para el diseño este pavimento rígido será de 15,5 cm.

6.3.5 Módulo de reacción de la sub rasante.

Para encontrar el módulo se tiene en cuenta que el FC es:

Con ayuda de la tabla 6, para definir el espesor de la losa tiene como punto de partida FC=6 por ende se selecciona el valor de FC=6 con el rango mayor entre (142,4KN y 151,3KN.) El espesor de losa recomendado es de 15,5 cm, donde el módulo elástico de la sub base es tomado a partir de los parámetros de la norma INVIAS del año 2013.

6.3.6 Módulo resiliente de la Subrasante.

Para determinar el módulo resiliente de la Subrasante el manual recomienda determinar los valores del módulo resiliente en cada mes del año ya que este valor varía por las precipitaciones de cada estación, sin embargo y para el presente trabajo no se cuenta con los recursos ni el tiempo para realizar dicho proceso.

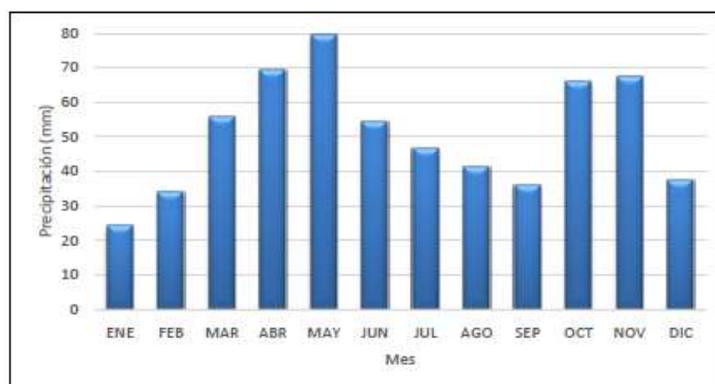
Con el fin de solucionar este inconveniente se ha investigado el valor de módulo resiliente usado para el diseño de pavimentos en la zona, y se encontró que la alcaldía Antonio Nariño realiza los diseños de pavimentos para todos sus proyectos con el valor del módulo resiliente más bajo de los ensayos piloto realizados en los últimos 12 meses esto debido a que valor más bajo de módulo

resiliente se relaciona con el mes que más precipitaciones se presentaron según los registros la estación meteorológica de doña Juana.

Se presenta el histograma de precipitaciones registradas por la estación Doña Juana, usado para realizar el diseño de pavimento flexible que se instaló en el parqueadero comunal de la Carrera 14a #27a-57 sur y que se usara en este diseño para conservar las mismas condiciones iniciales del diseño y no existan variaciones importantes que repercutan en los resultados de la comparación del costo de los dos pavimentos.

Figura 9:

Histograma de precipitaciones en Bogotá



(CAV, 2020)

Partiendo de lo anterior para la ejecución de los ensayos de suelos la alcaldía Antonio Nariño, contrato al laboratorio Pruebas Geotécnicas el cual desarrollo los ensayos triaxiales para determinar el CBR de la zona, el informe de dicho ensayo se encuentra dentro del primer anexo.

Tabla7: En la siguiente tabla se puede encontrar el resultado del estudio de ensayo triaxial desarrollado por el laboratorio donde compara en las filas la profundidad del material y el % de CBR que tiene en estado natural y sumergido o saturado.

Tabla 7:*Resultados de ensayo CBR*

CIV	Profundidad m	CBR natural%	CBR sumergido%	CBR pdc %
18001567	1.0			2.79
18001692	1.0	2.33	1.72	
18001890	0.9	2.24	1.28	
	Promedio	2.29	1.48	
	Desviación estándar	0.06	0.35	
	Percentil	2.26	1.35	

Diseño de pavimentos de segmento viales del barrio Gustavo Restrepo. (CAV, 2020)

Se usó el valor de 1.5% para el %CBR de la subrasante al realizar el diseño de pavimento rígido ya que es el %CBR promedio del material saturado, valor que también se usó para el diseño de pavimento flexible que ya se ejecutó en el parqueadero de la Carrera 14a #27a-57 sur en Bogotá, y que al igual que los valores de precipitaciones se usara para no tener cambios significativos que afecten la validez de los resultados esperados.

Consecuentemente según la guía de diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito y vías locales para Bogotá que se usó en el diseño de pavimento flexible para este mismo proyecto indica que cuando el CBR es menor o igual a 4%, para hallar el módulo resiliente, el CBR se debe multiplicar por 7.5 como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 8: relaciona el %CBR del material y el valor de Modulo resiliente por el cual debe ser multiplicado en caso de cumplir con el valor lógico en cada una de las columnas.

Tabla 8:

Módulo resiliente a partir del % CBR

	Valor de CBR	Módulo Resiliente (MPa)
1	$CBR \leq 4\%$	$7.5 * CBR$
2	$4\% < CBR \leq 9\%$	$10 * CBR$

Diseño de pavimentos de segmento viales del barrio Gustavo Restrepo. (CAV, 2020)

El modo de resiliente E (MPa) es básicamente $E(MPa) = 7,5 * CBR$.

Considerando el valor de 1.5 para el %CBR y usando el concepto de la tabla 8 entonces:

$$E(MPa) = 7,5 * 1,5 = 11,25(MPa)$$

El manual ASSTHO 93 usa unidades inglesas mientras que el (Invias, 2013) usa unidades internacionales a lo que se decide hacer el cambio de unidades de presión al módulo elástico.

$$11,25(MPa) = 1631,67(psi)$$

6.3.7 Módulo resiliente de la sub base (E).

Partiendo que la norma (Invias, 2013) exige que el módulo resiliente (E) mínimo para sub base granular sea de 40 (MPa), sub base CLASE A.

Determinamos que según la tabla 8:

$$E(MPa) = 10 * 40 = 400(MPa)$$

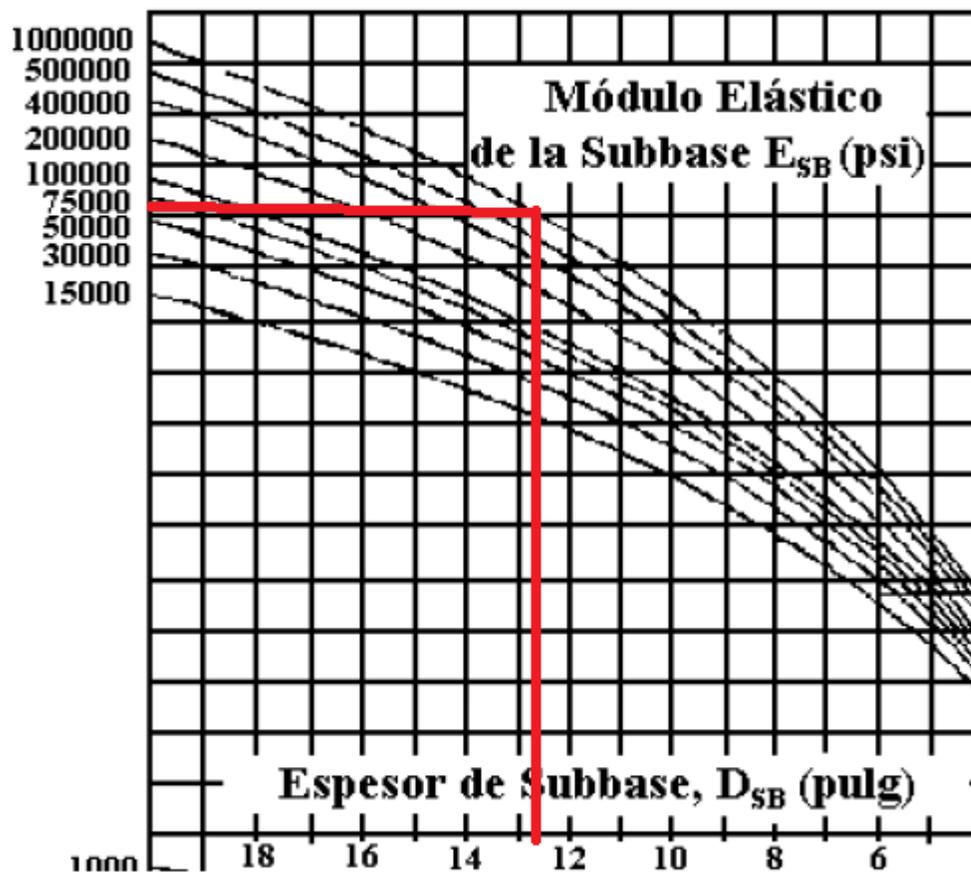
Ya que el Abaco del manual ASSTHO 93 se encuentra en unidades de presión inglesas (psi), se realiza el cambio de unidades del módulo resiliente de la Sub base.

$$400(MPa) = 58015.1(psi)$$

6.3.8 Espesor de la sub base.

Figura 10:

Recorte de Abaco para la sección del módulo elástico de las sub base.



Recorte extraído de (AASHTO, 1993)

Ya que el módulo elástico requerido para la sub base de 58015.1(psi) se podría proyectar por el Abaco de la ASSTHO 93 a el espesor mínimo de la capa de sub base debe de tener entre 12 y 14 (pulg). Teniendo en cuenta que el interés de diseñar es garantizar la calidad se tomara el valor mayor que es de 13”.

$$13 \text{ pul} = 33 \text{ cm}$$

6.3.9 Mejoramiento de la sub rasante.

El mejoramiento del suelo únicamente con sub base genera demasiados costos dado a su gran espesor adicional y el valor de la excavación de 0.33m que se debe hacer para acomodar dicho volumen, esto sumado a la altura de la base más el espesor de la capa de concreto.

Se propone usar la ecuación de IVANOV Para hacer un cálculo de la capacidad portante con la variación de mejoramiento con rajón aumentando la densificación y cumpliendo con los 400 MPa que debe tener el suelo para cumplir con los lineamientos de la ASSTHO 93. Al reducir el espesor del mejoramiento también se reducen costos en la compra de menores volúmenes de material y menos volúmenes de excavación.

Fórmula 5:

Ivanov

$$E_{1-2} = \frac{E_2}{1 - \frac{2}{\pi} * \left[1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right] * (\tan^{-1}(n)) * \frac{h_1}{2a}}$$

$$\text{DONDE: } n = \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{\frac{1}{2.5}}$$

Relaciona el módulo elástico de dos materiales y su resistencia a la compresión basado en dos capas de diferentes espesores.

Despejamos h que es el espesor de la capa superior de material.

$$h_1 = \frac{E_2 * 2a}{1 - \frac{2}{\pi} * \left[1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right] * (\tan^{-1}(n)) * E_{1-2}}$$

Teniendo en cuenta que:

a= radio de carga = 12.5 cm (valor usado en el diseño de pavimento flexible)

$E_1 =$ modulo del rajón $= 583,68 \text{ kg/cm}^2$ (modulo elástico del rajón, “valor usado en el diseño del pavimento flexible”).

$E_2 =$ módulo de la capa subrasante $= 114,7 \text{ kg/cm}^2$

$$n = \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{\frac{1}{2,5}} = \left(\frac{583,68}{112,5} \right)^{\frac{1}{2,5}} = 1,93$$

$$h_1 = \frac{1 * 2 * 12,5}{1 - \frac{2}{\pi} * \left[1 - \frac{1}{1,93^{3,5}} \right] * (\tan^{-1}(1,93)) * 471,18}$$

$$h_1 = 30,214 \text{ cm}$$

$h = 40 \text{ cm}$ (valor minimo del rajo por sus dimensiones)

$$40 > 30,214$$

Partiendo de los resultados con un diseño de 40 cm de rajón sobre la sub rasante tenemos que el módulo resiliente del suelo es ahora de $471,18 \text{ MPa}$ lo que es 117,8% de lo propuesto por la ASSTHO 93.

$$471,18 \text{ MPa} = 68312,8 \text{ (psi)}$$

Lo que permite realizar la comparación propuesta en el presente trabajo de pavimento rígido y el trabajo de diseño realizado por los ingenieros de la alcaldía Antonio Nariño.

Partiendo de la premisa expuesta se trae a este el valor de módulo resiliente.

Basado en esto y tomando el Abaco de la ASSTHO 93 para obtener el módulo de reacción compuesto.

6.3.10 Modulo elástico del concreto.

Siguiendo con el proceso expuesto en el marco teórico y con las mismas formulas se expone entonces que:

Fórmula 6:

Modulo elástico del concreto.

$$E_c = 15000 * (f_c)_{(kPa)}^{0,5}$$

E_c = Modulo Elastico

f_c = Resistencia a la compresion del concreto.

$$E_c = 15000 * (28)^{0,5}$$

$$E_c = 79372,54$$

6.3.11 Módulo de resistencia a la tracción por Flexión S_c.

Se exponen las fórmulas para la tracción por flexión donde según los datos ya suministrados da cuenta que:

Fórmula 7:

Módulo de resistencia a la tracción

$$S_c = K * (f_c)^{0,5}$$

S_c = Modulo de resiliencia.

K = constante para cambio de unidades.

f_c = resistencia a la compresion del concreto.

$$S_c = 10 * (4000)^{0,5}$$

Pérdida por soporte LS.

Teniendo como partida la siguiente tabla.

En la tabla 9 se pueden ver los límites máximos para el valor de la pérdida de soporte LS, partiendo del tipo de base requerida en el diseño del asfalto.

Tabla 9:

Valores del factor

Tipo de material de la base	LS
Base granular tratada con cemento E= 6,9 a 13,8 GPa ($1 \cdot 10^6$ a $2 \cdot 10^6$ psi)	0,0 – 1,0
Mezclas de agregados con cemento E=2,4 a 6,9 GPa ($3,5 \cdot 10^5$ a $1, 10^6$ psi)	0,0 – 1,0
Base tratada con asfalto E= 2,4 a 6,9 GPA ($3,5 \cdot 10^5$ A $1 \cdot 10^6$ psi)	0,0 – 1,0
Mesclas bituminosas estabilizadas E= 276 a 2070 MPa ($4 \cdot 10^4$ a $7 \cdot 10^5$ psi)	0.0- 1.0
Estabilizado con cal E=138 a 483 MPa ($2 \cdot 10^4$ a $7 \cdot 10^4$ psi)	1,0 - 3,0
Base granular no tratada E=103 – 310 MPa ($1,5 \cdot 10^4$ a $4,5 \cdot 10^4$ psi)	1,0 – 3,0
Materiales naturales de la Subrasante E= 21 a 276 MPa ($3 \cdot 10^3$ a $4 \cdot 10^4$ psi)	2.0 – 3,0

Se define que E= base tipo A de 400MPa debe ser una base estabilizada con cal con un LS DE 1,0 A 3,0. Donde tomamos el valor de 2,0 como valor promedio.

6.3.12 Espesor de la base.

Se cumple con la resistencia requerida para la capacidad portante, con el mejoramiento del suelo con la capa de rajón, es necesario aplicar una capa de base, para que sea el sello el rajón. Adicional a una capa lo suficiente mente gruesa para transmitir las cargas de manera uniforme del concreto a la sub rasante.

Para ello se aplica una capa de 20cm, ya que es el grosor mínimo requerido para este material ya que de tener un espesor inferior no se puede asegurar su compactación y por ende no transmitiría las cargas debidamente.

6.3.13 Perfil de diseño.

Para iniciar todos los cálculos ya realizados queda como resultado el perfil para la ejecución según el diseño donde la losa de Concreto de 4000 psi es de 153,4 mm con refuerzo de parrilla de acero en dos sentidos con varillas #4 cada 15cm, así mismo tiene 20cm Base granular Invias-600, base granular 400 una capa de 20cm para una capa de Geotextil NT 2500 y un sello de rajón, donde la capa es de 40 cm con una subrasante compactada con herramienta manual.

Tabla 10:

Cantidades de material para pavimento flexible.

Base granular tipo BG_B	20cm
Subbase granular tipo SBG_B	20cm
Geotextil NT 4000 o Similar	----
Sello	5cm
Mejoramiento con rajón	40 cm

7. Resultados

Como se puede ver en los presupuestos desarrollados vemos que el valor del proyecto del parqueadero comunal de la calle 14A #27A-57 Sur, en Bogotá, tomando el modelo de pavimento flexible, tendría un costo inicial de 152579,54 dólares, por otro lado, se observa que el desarrollar el proyecto con el modelo de pavimento rígido tendría un costo de 759`846.097,50 pesos colombianos siendo esta la alternativa más costosa.

Tomando como referencia inicial los resultados expuestos la primera opción para iniciar con la ejecución del proyecto la alcaldía Antonio Nariño junto con otros posibles motivos decidido desarrollar el proyecto del parqueadero comunal de la calle 14A #27A-57 Sur, en Bogotá, con la metodología de pavimento flexible.

7.2 Presupuesto de materiales para los dos pavimentos.

Se hará un presupuesto de los materiales con los volúmenes requeridos para la elaboración de los dos perfiles de asfaltos diseñados para la misma área de ejecución, esto con el fin de tener los costos directos de materiales requeridos para comparar el valor de los diseños y encontrar los porcentajes de diferencia en relación con la vida útil, ya que, el pavimento flexible diseñado y ejecutado para el Carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá tiene una proyección de vida útil de apenas 15 años siendo inferior a la diseñada en pavimento rígido propuesta en este documento que es de 25 años, con esta información se hará el análisis de a largo plazo también se expondrán las ventajas y desventajas en las diferencias de los estos dos pavimentos.

7.2.1 Área de intervención.

A continuación, se muestra la ilustración con las medidas tomadas en el área a intervenir usando la Herramienta de medición de Google Maps, esto debido a que es una forma eficiente de tomar mediciones con bajo índice de error.

Figura 11:

Medidas del área a intervenir



Nota: medidas tomadas con la aplicación (Google maps, 2020).

Partiendo de la premisa que no es un rectángulo con ángulos rectos, se vio la necesidad de dividir la figura en dos triángulos y de esta manera, y con la medida de la diagonal, poder conocer el área real del cuadrilátero.

Medidas: Norte:31.37m, Sur: 30.44m, Oriente:61.41m, Occidente:60.38m, Diagonal del cuadrilátero: 69.69m.

Fórmula 8 :

De Herón

$$\text{Área} = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

siendo a, b, c los tres lados y s el semiperímetro $s = \frac{a+b+c}{2}$

Para el triángulo conformado por los costados Norte y Occidente con la diagonal.

$$S = \frac{31,37 + 60,38 + 69,69}{2}$$

$$S=80,69$$

$$A_1 = \sqrt{80,69 * (80,69 - 31,37) * (80,69 - 60,38) * (80,69 - 69,69)}$$

$$A_1 = 942,92 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{30,44 + 61,41 + 69,69}{2}$$

$$S_2 = 80,77$$

$$A_2 = \sqrt{80,77 * (80,77 - 30,44) * (80,77 - 61,44) * (80,77 - 69,69)}$$

$$A_2 = 933,09 \text{ m}^2$$

$$A_T = 933,09 \text{ m}^2 + 942,92 \text{ m}^2 = 1875,01 \text{ m}^2$$

Con el área de intervención definida se puede definir el volumen de los materiales requeridos para la elaboración de la estructura de los pavimentos.

7.2.2 Volúmenes de materiales requeridos para pavimento rígido.

Concreto:

$$V=1875,01m^2 * 0,155m$$

$$V=290,63m^3$$

Contemplando que el concreto es un material al que hay que contemplare el 5% de desperdicio debido a que se funde directamente en la base y a pesar de que se nivela y se compacta con una cota especifica eso varia en gran medida.

$$V=290,63m^3 * 1,05$$

$$V=305,01m^3$$

- Base granular:

$$V=1875,01m^2 * 0,2m$$

$$V=375,01m^3$$

Se sabe que este material al ser compactado ocupa menos volumen lo hay que tener en cuenta el índice de compactación que para este tipo de material es de 15%

$$V=375,01m^2 * 1,15$$

$$V=431,26m^3$$

Se debe tener en cuenta que este material también es usado para el sello del rajón, esta capa será asumida con un grosor de 7cm más su factor de compactación.

$$V=1875,01m^2 * 0,07m * 1,15$$

$$V=150,9m^3$$

$$VT=150,9m^3 + 431,26m^3$$

$$VT=582,16m^3$$

- **Rajón:**

$$V=1875,01m^2 * 0,4m$$

$$V=750m^3$$

- **Geotextil**

Este insumo se comprende con un desperdicio del 10% por el método de instalación

$$A=1875,01m^2 * 1,2$$

$$A=2250m^2$$

7.2.3 Volúmenes de materiales requeridos para pavimento flexible.

A continuación, en la ilustración 10 encontramos el perfil de diseño hecho por los ingenieros de la alcaldía Antonio Nariño, donde se aprecian los diferentes grosores de las capas escalándolos de manera gráfica, los cálculos de diseño de dicho perfil los pueden encontrar en el anexo citado.

Figura 12:

Perfil de diseño de pavimento flexible.

Base Granular tipo BG_B	15 cm
Subbase Granular tipo SBG_B	20 cm
Geotextil NT4000 o similar	-
Sello	10 cm
Mejoramiento con rajón	 40 cm

Nota: Imagen extraída de (CAV, 2020).

- **Asfalto:**

$$V=1875,01m^2 * 0,1m$$

$$V=187,5m^3$$

Factor de compresion del 10%:

$$V=187,5m^3 * 1.1$$

$$V=206,25m^3$$

- **Base tipo BG_B:**

$$V=1875,01m^2 * 0,15m$$

$$V=281,25m^3$$

Factor de compresion del 20%:

$$V=281,25m^3 * 1.2$$

$$V=337,5m^3$$

- **Base granular:**

$$V=1875,01m^2 * 0,2m$$

$$V=375m^3$$

Factor de compresion del 20%:

$$V=375m^3 * 1.2$$

$$V=450m^3$$

- **Sello de rajón**

$$V=1875,01m^2 * 0,055m$$

$$V=103.13m^3$$

Suma de volúmenes de la base empleada para la capa principal y el sello del rajón.

$$VT=103.13m^3 + 450m^3$$

$$VT=553.13m^3$$

- **Geotextil NT4000 o similar:**

El factor de desperdicio por traslapes es del 20%

$$V=1875,01m^2 * 1,2$$

$$V=2250m^2$$

- **Rajón:**

$$V=1875,01m^2 * 0,4m$$

$$V=750m^3$$

Tabla 11:
Cantidades de material para pavimento flexible.

MATERILA	UNIDAD	CANTIDAD
ASFALTO	M3	206.25
BASE	M3	450
SUB BASE	M3	337.5
GEOTEXTIL	M2	2250
RAJON	M3	750

Tabla 12:
Cantidades de material para pavimento rígido.

MATERILA	UNIDAD	CANTIDAD
CONCRETO	M3	290.63
BASE	M3	450
SUB BASE	M3	585
GEOTEXTIL	M2	2250
RAJON	M3	750

7.2.4 *Presupuesto para pavimento rígido.*

A partir de las cantidades obtenidas por el área y los perfiles a intervenir se procede a hacer un presupuesto de los materiales requeridos.

Los precios relacionados en la tabla 14 fueron obtenidos de la lista de precios del IDU para el año 2022-.1.

7.2.5 Presupuesto para los dos asfaltos.

En las siguientes tablas se puede ver el presupuesto elaborado a partir de las cantidades requeridas y los valores de materiales, también se observan los porcentajes de mano de obra y AIU cobrados por entidades que licitan obras públicas.

Los precios relacionados en la tabla 13 fueron obtenidos de la lista de precios del IDU para el año 2022-.1.

A continuación, podremos encontrar el presupuesto elaborado donde se relacionan los materiales requeridos para la elaboración del pavimento flexible con los precios que el IDU tiene relacionado en su lista de precios oficial para 2022-.1.

Tabla 13:

Presupuesto para pavimento flexible.

MATERIAL	UND	CANTIDAD	VALOR /UND	VALOR Mcte	VALOR DÓLARES
EXCAVADORA 4M3/HR	HR	403.125	137323	55358334.4	11336.95
ASFALTO	M3	206.25	821100	169351875	34681.93
BASE	M3	450	71400	32130000	6579.97
SUB BASE	M3	337.5	59500	20081250	4112.48
GEOTEXTIL	M2	2250	7735	17403750	3564.15
RAJON SUELTO 30CM A 50CM	M3	750	41650	31237500	6397.19
TOTAL MATERIALES				325562709	66672.68
MANO DE OBRA	%	35		113946948	23335.44
AIU	%	30		131852897	27002.44
TOTAL				571362555	117010.56

A continuación, podremos encontrar el presupuesto elaborado donde se relacionan los materiales requeridos para la elaboración del pavimento rígido con los precios que el IDU tiene relacionado en su lista de precios oficial para 2022-.1.

Tabla 14:
Presupuesto de pavimento rígido.

MATERIAL	UND	CANTIDAD	VALOR /UND	VALOR Mcte	VALOR DOLARES
EXCAVADORA 4M3/HR	HR	403.125	137323	55358334.4	11336.95
CONCRETO MR 41	M3	290.63	450000	130783500	26261.75
BASE	M3	450	71400	32130000	8584.34
SUB BASE	M3	585	59500	34807500	10572.29
GEOTEXTIL MT 4000 O 801 NT	M2	2250	7735	17403750	5711.3
RAJON	M3	750	41650	31237500	13554.22
	KG	18000	2916	52488000	13554.22
TOTAL MATERIALES				354208584	93607.08
MANO DE OBRA	%	35		123973005	32762.48
AIU	%	30		143454477	26209.98
TOTAL				621636066	152579.54

8. Análisis comparativo

Como primera instancia se tomarán las ventajas y desventajas de los tipos de pavimentos analizados para el desarrollo del proyecto del parqueadero comunal de la calle 14A #27A-57 Sur, en Bogotá.

Inicialmente, para el pavimento flexible se sabe que si bien su diseño esta echo para 25 años este debe tener mantenimientos regulares a los 10, 15 y 20 años con costo del 3% del valor del proyecto para ese año, a los 15 años con un 7% del valor del proyecto para ese año y a los 20 años un 15% del valor del proyecto para ese año debido a que se deben hacer reparcheos en las

patologías presentadas, es decir que el estado prefiere invertir estos porcentajes en vez de gastar un 100% en el cambio de pavimento.

Para el pavimento rígido no se requiere mantenimientos, pero en general se hacen obra de rehabilitación cuando se acercan los 25 años de uso, estos costos no son atribuibles al desempeño del diseño sino a fallas constructivas o deficiencia de los materiales durante su construcción como son malas compactaciones o altos niveles de humedad en la base y sub base

Con el fin de contabilizar los gastos generados al estado en cada uno de los pavimentos al final de su vida útil se hace el siguiente análisis.

Consecuentemente y como primera instancia se proyecta el valor posible del salario mínimo para los años siguientes ya es que es la manera más eficiente de contabilizar la inflación que tendría el país durante estos años.

Según el portal del portafolio la inflación en Colombia en los últimos años tiene los valores mostrados en la siguiente tabla

La tabla 15 muestra el aumento del salario mínimo de los últimos 20 años y el promedio total de crecimiento en ese tiempo.

Tabla 15:

Inflación en Colombia en los últimos 22 años

AÑO	2000	2001	2002	2003	2004
INFLACION	9.23	8.75	7.65	6.99	6.49
AÑO	2005	2006	2007	2008	2009
INFLACION	5.5	4.85	4.48	5.69	7.63
AÑO	2010	2011	2012	2013	2014
INFLACION	2	3.17	3.73	2.44	1.94

AÑO	2015	2016	2017	2018	2019
INFLACION	3.66	6.77	5.72	4.09	3.18
AÑO	2020	2021	PROMEDIO DE CRESIMIENTO SALARION MINIMO		
INFLACION	3.8	1.61	4.97		

Nota: Extraído de (Portafolio , 2020).

Con el fin de tener los cálculos más acertados se toman los aumentos del salario mínimo en los últimos 20 años y se saca el promedio para tener un valor de partida esperado para hacer las proyecciones.

8.1. Valor de los mantenimientos del pavimento flexible.

Para encontrar el valor de la inflación anual tomamos como partida la siguiente fórmula.

Fórmula 9:

De interés compuesto para calcular el valor a pagar a futuro

$$PA = M * (1 + P^A)$$

PA=Crecimiento de inflación anual.

M=valor inicial.

A=Cantidad de años.

P=porcentaje de incremento anual

$$571'362.555 * 1,0497^{10} * 0.03 = 27'655.907 \text{ Mcte} = 5663,71 \text{ Dólares}$$

$$507'304.492,50 * 1,0497^{15} * 0.07 = 81'967.584 \text{ Mcte} = 16786,32 \text{ Dólares}$$

$$507'304.492,50 * 1,0497^{20} * 0.15 = 223'106.795 \text{ Mcte} = 45690,52 \text{ Dólares}$$

Total de incrementos por los mantenimientos es:

$$27'655.907 + 81'967.584 + 223'106.795 = 332'730.286 \text{ Mcte} = 68140,55 \text{ Dólares}$$

Valor inicial y valor de incrementos por inflación

$$571'362.555 + 332'730.286 = 904'092.841 \text{ Mcte} = 185151,10 \text{ Dólares.}$$

De esta manera los presupuestos para el desarrollo de la obra de remodelación para el cambio de asfalto para el parqueadero comunal de la calle 14A #27A-57 Sur, en Bogotá son:

El presupuesto del pavimento rígido con una durabilidad de 25 años es de 621'636.066 pesos colombianos o 127306.18 Dólares y el presupuesto del pavimento flexible con una durabilidad de 25 años es de 904'092.841 o 185151,10 Dólares

9. Conclusiones

Se identificaron las patologías y se elaboró el diagnóstico del pavimento flexible existente en el parqueadero comunal de la Carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá, dejando un precedente para las recomendaciones que deben tener los constructores en la remodelación del parqueadero.

Se elabora el diseño de pavimento rígido para el parqueadero comunal de la Carrera 14a #27a-57 sur, en Bogotá, cumpliendo con las condiciones de carga, obedeciendo a las limitaciones impuestas al tráfico en la zona, dando como resultado el perfil de diseño expuesto

Se desarrolla el análisis de costos relacionados a la vida útil del pavimento a instalar, brindando la información suficiente para dar respuesta a la pregunta que genero este documento

Por lo anterior se puede utilizar un pavimento rígido que no necesite mantenimientos, permitiendo así tener una calle en buen estado según su uso, destinando recursos a aquellos 2.174 km, el 15% de las vías con grandes patologías, que

verdaderamente necesitan una intervención, donde por medio del presente documento se responde que al parqueadero ubicado en la carrera 14ª #27 a – 57 Es viable un asfalto rígido por los costos generados a largo plazo.

10. Contribuciones

Se espera que este documento sea implementado y valorado por la comunidad ingenieril para la planeación de futuros proyectos viales y como instrumento de consulta a más procesos de investigación, para que sea el punto de partida base en la planeación de vías en Bogotá, así lograr a largo plazo que la infraestructura vial se haya desarrollado de manera diferente, pensando en el futuro y de esta manera evitar el detrimento patrimonial de los recursos de la ciudad.

Se expone el interés de mostrar estos resultados del presente documento en la alcaldía Antonio Nariño para que se tenga en consideración la evaluación de costos de mantenimientos de las obras viales a futuro, con el fin de que se instaure una política para el rendimiento de los recursos asignados al mejoramiento de la malla vial de la ciudad.

11. Recomendaciones

Se recomienda a las alcaldías locales de Bogotá desarrollar proyectos pensados en el futuro de la economía del estado, pensar en la inversión de las vías de manera eficiente planeando los costos de mantenimiento a futuro, teniendo en consideración la inflación de la moneda y las demás posibles variables que puedan variar el valor de los procesos de mejoramiento de la malla vial de la ciudad.

12. Bibliografía

- AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures, Transportation Officials. *Aashto, 1*.
- ACPA. (2012). *Análisis del costo del ciclo de vida*.
- Alcaldía de Bogotá. (25 de 02 de 2022). *mapa vial* . Obtenido de <https://mapas.bogota.gov.co/?l=5456&e=-74.0729824354807,4.7355478748489155,-74.05238307024578,4.745908550285946,4686&b=262#>
- Amado, E., & Capador, D. (2016). Evaluación de la ruta de transporte de carga en el corredor de la calle 13 en Bogotá. *UTMACH*.
- Ann Johnson, P. (2000). *ASPHALT PAVEMENT MAINTENANCE*. Minesota: Handbook.
- Burgos, M. (2014). análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: santa elvira – el arenal, en la comuna de Valdivia. *Universidad Austral de Chile*.
- Caro , S., & Caicedo, B. (2017). Tecnologías para vías terciarias: perspectivas y experiencias desde la academia. *Uni andes de ingeniería*, 12-21.
- Castiblaco , V., Forero, H., & Pinilla , P. (2018). ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA OBTENCIÓN DE LICENCIA DE CONSTRUCCIÓN. *Universidad Piloto de Colombia*.
- Catrazto Bogotá . (2 de 12 de 2019). *mapa vial de Bogotá*. Obtenido de <https://mapas.bogota.gov.co/?l=5456&e=-74.0729824354807,4.7355478748489155,-74.05238307024578,4.745908550285946,4686&b=262>
- CAV. (2020). contaro de obra No. 321 del 2019. *Alcaldà Local de Rafael Uribe* .
- Coillo, I. (2017). Comportamiento de la subrasante de suelos con adición de escoria en pavimentos flexibles de la Universidad Agraria la Molina. *Universidad César Callejo*.
- Dota , J. (2020). B diseño del hormigón asfáltico con materiales provenientes de la planta asfáltica de la Municipalidad de Machala utilizando el método Marshall b. *UTMACH*.

- EPM. (2020). Normas de construcción imprimación, riego y liga para el pavimento . *Centro de excelencia técnica* .
- Fwa, T., Chan, W., & Hoque, K. (2000). Multiobjective optimization for pavement maintenance programming. *Journal of transportation engineering*, 367-374.
- Gallo, I. M. (2002). Infraestructura Viaria Romana II. *Congreso sobre obras publicas romanas* (pág. 12). Merida: Traianvs.
- Galviz Ariza , R. (2006). Mesclas asfálticas y patologías de las mismas . *Universidad de quindío* .
- Geotecnia Aplicada. (08 de 05 de 2020). Obtenido de Método AASHTO 93 para diseño de pavimentos flexibles: [youtube.com/watch?v=7tIcIqx3bro](https://www.youtube.com/watch?v=7tIcIqx3bro)
- google maps. (2020). *registro fotografico de la calle*. Obtenido de <https://www.google.com.co/maps/@4.5771983,-74.106873,3a,75y,0.03h,65.64t/data=!3m7!1e1!3m5!1sD0C28yXrxUwY0uns7j8KEw!2e0!5s20181101T000000!7i13312!8i6656?hl=es>
- Granadillo, L. (2019). Apoyo técnico y administrativo en la construcción de pavimento rígido y andenes de concreto en las calles y carreras de Villanueva municipio de la Guajira. *Pontificia Bolivariana* .
- ingeniero civil. (02 de 11 de 2022). *Dopedia* . Obtenido de pavimentos flexibles : <http://civilingeniero.blogspot.com/2013/10/pavimentos-flexibles.html>
- INVIAS. (2003). *Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles*. Bogotá: Unal.
- INVÍAS. (23 de 10 de 2008). *GUÍA PARA REALIZAR LA CATEGORIZACIÓN*. Obtenido de <https://web.mintransporte.gov.co/jspui/bitstream/001/638/1/ANEXO%205%20%20Gu%C3%9Da%20para%20la%20categorizaci%C2%BE%20de%20la%20Red%20Vial%20Nacional%20V%202.pdf>

- Invias. (2013). *MUESTREO DE AGREGADOS PARA CONSTRUCCIÓN DE*. Bogotá .
- INVIAS. (2018). Artículo 420 - 07 riego de imprimación .
- Isaac Moreno Gallo. (2004). *Vias Romanas Ingenieria y Tecnicas Costructivas*. 22.
- Lo Encuentras.com. (12 de 10 de 2020). *Resebo* . Obtenido de <https://www.loencuentras.com.co/agregados-y-material-de-cantera/45-recebo-b-600.html>
- Matarche, A. (2 de 11 de 2022). *Course Hero*. Obtenido de pavimentos rigidos: <https://www.coursehero.com/file/64439971/pavimentos-rigidosdocx/>
- Monsalve, I., Giraldo , L., & Maya, J. (2012). *diseño de pavimentos rigidos y flexibles . universidad del Quindio*.
- Moreira, F., & Jimenes , C. (2017). Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulósicas y pavimento asfáltico tradicional. *Universidad técnica de Ambato*.
- Oddone, A. (2006). Patología de pavimentos rígidos de la ciudad de Asunción. *Facultad de Ingeniería-Universidad Nacional de Asunción-Campus Universitario San Lorenzo*.
- Parera, A. (24 de 11 de 2019). *Pavimentos flexibles y pavimentos rígidos*. Obtenido de <https://www.unifort.es/pavimentos-industriales/pavimentos-flexibles-pavimentos-rigidos/>
- Portafolio . (20 de 10 de 2020). *Portafolio* . Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/asi-ha-sido-el-incremento-real-del-minimo-en-los-ultimos-anos-559571>),
- Revista Semana. (08 de 23 de 2021). Indignante! Cerca de 2.174 kilómetros de vías en Bogotá están destruidas y llenas de huecos. *Semana(2745-2794)*. Obtenido de <https://www.semana.com/bogota/articulo/indignante-cerca-de-2174-kilometros-de-vias-en-bogota-estan-destruidas-y-llenas-de-huecos/202138/>
- Reyes , F. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .

- Salado , L. (2020). Aproximación a la zonificación del CBR en la localidad de Chapinero.
- Salazar Rodriguez, A. (1998). *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos* (primera ed.). Mexico: imcyc.
- Sicha, G. (2018). Diseño con geosintéticos para la función de separación, filtración y refuerzo en pavimentos flexibles. *Universidad católica de Perú*.
- Solar, M. E. (1956). Ensayo sobre definicion y clasificacion depavimentos en carrsteraw. *Revista de la Universidad Catolica de Perú.*, 1-2.
- UMSS Facultad de ciencias y tecnología . (2019). *Manual Completo Diseño de Pavimento*. San Simon: UMSS.
- USON. (2 de 11 de 2022). *Mesclas asfálticas*. Obtenido de Características de los materiales pétreos: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10577/Capitulo7.pdf>
- Witzack,, M.-S.-P. (2012). ¿Debe América Latina desarrollar su propia Guía de Diseño Mecánico-Empírica para Pavimentos? *Lampa*.
- zeña cruz, k. (2018). Determinación y evaluación de la carretera asfáltica de la avenida Grau, cuadras, engtre la avenida dosy la avenida Chulucuanasdistrito veitiseis de octubreprovincia de piura . *Universidad Católica los angeles chimbote* , 2-176.