

DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL SEGMENTO VIAL LOCALIZADO EN
LA CALLE 17ª ENTRE LAS CARRERAS 55 Y 56, LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA

Marlon Díaz Ruiz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

Universidad Católica de Colombia
Facultad De Ingeniería
Programa De Especialización En Ingeniería De Pavimentos
Bogotá D.C.
2020

DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTO DEL SEGMENTO VIAL LOCALIZADO EN
LA CALLE 17ª ENTRE LAS CARRERAS 55 Y 56, LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA

Marlon Díaz Ruiz

Director:

Ing. Juan Gabriel Bastidas Martínez

Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Pavimentos



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

Universidad Católica de Colombia
Facultad De Ingeniería
Programa De Especialización En Ingeniería De Pavimentos
Bogotá D.C.
2020



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:

Consultar, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

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)



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Resumen

La calle 17ª entre carreras 55 y 56 es una vía ubicada en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá, por ella transitan principalmente vehículos de carga (debido a la presencia de industrias en el sector), en un menor porcentaje vehículos comerciales y por último vehículos públicos. En la actualidad el índice de deterioro superficial es deficiente, según los procedimientos de diagnóstico visual VIZIR (Visión Inspection de Zones et Itinéraires Á Risque) y PCI (Interconexión de Componentes Periféricos), los cuales son congruentes con los resultados de las deflectometrías realizadas. En el diagnóstico visual se encontró presencia de daños estructurales, como ahuellamientos, bacheos, depresiones y fisuras piel de cocodrilo, así como daños constructivos (en un mayor porcentaje) representados principalmente por la pérdida de agregados, ojos de pescado, pérdida de la película ligante y descascaramientos. Teniendo en cuenta lo anterior, y buscando atender a las necesidades de la comunidad, este proyecto tiene por objeto proponer tres posibles estructuras de pavimento (utilización de materiales granulares de elevado desempeño mecánico, mejoramiento de la subrasante por medio de geosintéticos y utilización de bases estabilizadas con asfalto), acordes al tránsito actual y las condiciones globales del pavimento. Como resultado de este análisis se puede concluir que las tres alternativas garantizan el cumplimiento de los parámetros funcionales y estructurales del pavimento. Sin embargo, la mejor opción desde el punto de vista constructivo y económico es el que implementa geosintéticos, ya que su uso minimiza los espesores de materiales granulares, al tiempo que ofrece la resistencia requerida, lo cual representa un abanico de posibilidades con igual capacidad estructural, que puede ser evaluada desde diversos puntos de vista.

Palabras Clave: Geosintéticos, diseño, pavimentos, estructural, flexible, tránsito, deflectometrías.

Tabla de Contenido

	PÁG
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 Descripción del problema	13
1.2 Formulación del problema	¡Error! Marcador no definido.
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo general.....	14
2.2 Objetivos específicos	14
3. JUSTIFICACIÓN	15
4. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
5. MARCOS DE REFERENCIA.....	17
5.1 Marco conceptual.....	17
5.1.1 Cálculo de los índices de condición del pavimento.....	17
5.1.2 Tránsito de diseño.....	21
5.1.3 Exploración geotécnica.....	21
5.1.4 Deflectometría.....	22
5.1.5 Retrocálculo de módulos – método directo.....	22
5.1.6 Método de diseño ASSHTO.....	25
5.1.7 Método racional	26
5.1.8 Mejoramiento de la subrasante con geoceldas.....	26
5.2 Marco normativo.....	27
5.2.1 Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito. 27	
5.2.2 Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras invias.....	27

5.2.3	Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D.C.	27
5.3	Marco geográfico	28
6.	METODOLOGÍA.....	29
6.1	Evaluación de la condición global del pavimento	30
6.1.1	Evaluación de deterioros.....	31
6.1.2	Evaluación estructural.....	35
6.1.3	Evaluación funcional	40
6.1.4	Evaluación del drenaje.....	41
6.2	Cálculo de tránsito de diseño	41
6.3	Diseño de pavimentos método ASSHTO	44
6.4	Comprobación del diseño por el método racional con el software DEPAV.....	50
6.5	Diseño contemplando el uso de geoceldas.....	53
7.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	55
7.1	Evolución de la condición global del pavimento.....	55
7.2	Proyección de tránsito a diez años	55
7.3	Alternativas de diseño según información recolectada.....	56
7.3.1	Diseño mediante el software ASSHTO y verificando la falla por fatiga a través del software DEPAV se presentan la siguiente alternativa.....	57
7.3.2	Incorporación de geoceldas.....	58
7.3.3	Incorporación base estabilizada con asfalto.....	60
7.4	Presupuesto de materiales	61
8.	CONCLUSIONES	62
	BIBLIOGRAFÍA	63
9.	ANEXO 1 (PRESUPUESTO DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO)	64

Tabla de Ilustraciones

Figura 1. Ubicación del proyecto.	28
Figura 2. Desarrollo metodológico.....	29
Figura 3. Tipo de camiones.	42
Figura 4. Cálculo del módulo de resiliencia de la carpeta asfáltica (a1).	46
Figura 5. Gráfico para determinación coeficiente a3, SBG.....	47
Figura 6. Grafico para determinación coeficiente a2, BG.....	47
Figura 7. Cálculo número estructural de subrasante por medio del software ASSHTO.....	49
Figura 8. Cálculo número estructural SN 1 por medio del software ASSHTO.....	49
Figura 9. Cálculo número estructural SN 2 por medio del software ASSHTO.....	49
Figura 10. Agrietamiento por tracción repetida en la parte interior de las capas	52
Figura 11. Agrietamiento por tracción repetida en la parte interior de las capas	52
Figura 12. Análisis estructural de la superficie propuesta.	53
Figura 13. Valores de LCR.	54
Figura 14. Modelación de los espesores propuestos en el software DEPAV.....	57
Figura 15. Respuesta estructural a la superficie propuesta por tracción y compresión.	57
Figura 16. Modelación de los espesores propuestos en el software DEPAV.....	60
Figura 17. Respuesta estructural a la superficie propuesta por tracción y compresión.	60

Lista de Tablas

Tabla 1.....	19
Nivel de severidad de daños	19
Tabla 2.....	20
Nivel de severidad de daños	20
Tabla N.3.....	31
Registro fotográfico tramo a intervenir	31
Tabla N.4.....	34
Calificación deterioro de los daños encontrados.....	34
Tabla N. 5.....	36
Laboratorios realizados a las muestras tomadas	36
Tabla N. 6.....	36
Laboratorios realizados a las muestras tomadas.....	36
Tabla N. 7.....	38
Deflectometrías tomadas en campo.....	38
Tabla N. 8.....	38
Correcciones a deflectometrías con carga corregida	38
Tabla N. 9.....	38
Deflectometrías y correcciones por temperatura.....	38
Tabla N. 10.....	39
Cálculos método directo (Módulos de la subrasante).....	39
Tabla N. 11.....	39
Parámetros de HORAK.....	39
Tabla N. 12.....	39

Parámetros Cuenco de Deflexión	39
Tabla N. 13.....	40
Niveles de IRI para evaluar la lisura de pavimentos asfálticos de carreteras en servicio.	40
Tabla N. 14.....	41
Umbrales de resistencia al deslizamiento en pavimentos asfálticos de carreteras nacionales en servicio.	41
Tabla N. 15.....	42
Transito diario corregido.....	42
Tabla N. 16.....	43
Transito promedio diario anual.....	43
Tabla N. 17.....	43
Composición vehicular y factores de cálculo.....	43
Tabla N. 18.....	43
Proyección de crecimiento del tránsito en un 3% anual, periodo 10 años	43
Tabla N. 19.....	44
Índice de serviciabilidad (p).....	44
Tabla N. 20.....	44
Desviación estándar (So).....	44
Tabla N. 21.....	44
Clasificación funcional.....	44
Tabla N. 22.....	45
Desviación estándar, según índice de confiabilidad.....	45
Tabla N. 23.....	45
Calidad del drenaje, en función del tiempo que tarda el agua en ser evacuada.	45
Tabla N. 24.....	46

Características del drenaje.....	46
Tabla N. 25.....	48
Parámetros de diseño	48
Tabla N. 26.....	48
Coefficientes estructurales calculados	48
Tabla N. 27.....	50
Números estructurales calculados por el software ASSHTO	50
Tabla N. 28.....	50
Espesores mínimos en pulgadas según números estructurales	50
Tabla N. 29.....	50
Números estructurales definitivos según espesor elegido	50
Tabla N. 30.....	51
Datos de entrada para modelación de la estructura diseñada	51
Tabla N. 31.....	51
Relación de Poisson de acuerdo a la temperatura de la capa asfáltica.	51
Tabla N. 32.....	54
Datos de entrada para cálculo del espesor de la capa granular que cubrirá la Geocelda.	54
Tabla N. 33.....	55
Proyección número de ejes acumulados de 8.2 T	55
Tabla N. 34.....	56
Componentes de la estructura de pavimento existente.....	56
Tabla N. 35.....	58
Respuesta estructural a la superficie propuesta por tracción y compresión.....	58
Tabla N. 36.....	59

Propiedades Geocelda 445 - 150.....	59
Tabla N. 37.....	59
Diseño de la sección de pavimento con Geocelda.....	59
Tabla N. 38.....	61
Diseño de la sección de pavimento acorde a las exigencias requeridas.....	61
Tabla N. 39.....	64
Presupuesto que involucra la utilización de bases y subbases granulares con buen comportamiento estructural.....	64
Tabla N. 40.....	65
Presupuesto alternativo que involucra el uso de geosintéticos para el mejoramiento de la subrasante.	65
Fuente. Propia.....	66
Tabla N. 41.....	66
Presupuesto que involucra la utilización de utilización de bases estabilizadas con asfalto que mejoren la capacidad portante de la estructura inferior y mezclas asfálticas con alta resistencia a la tracción y compresión.....	66

Introducción

Desde el contexto social contemplamos las adecuaciones viales como sistemas indispensables para la movilidad de las comunidades de una manera ágil, fácil y segura. Visto desde esta perspectiva y en términos de movilidad, las prioridades de una ciudad se deben enfocar en el adecuado uso, manejo e interacción de los espacios para cada uno de los actores viales, buscando el correcto funcionamiento del desarrollo económico y social. Lo anterior concluye que la ausencia de una malla vial efectiva y solvente que brinde las condiciones de seguridad necesarias sin limitar las velocidades de operación, impide el adecuado desarrollo económico y social de una comunidad, así como la integración de esta en miras de un mejoramiento colectivo.

Lo anterior argumenta la problemática situación de Bogotá, una ciudad capital conformada por un alto número de habitantes y de industrias que deben convivir en espacios poco planificados, con un sistema vial deficiente, que especialmente en su malla vial local, no genera las condiciones mínimas de seguridad y comodidad, situación que impide el progreso de la ciudad como capital del país. La calle 17ª entre carreras 55 y 56 (localidad de Puente Aranda) es un ejemplo de la situación crítica en la que se encuentran algunas vías locales de nuestra ciudad, ya que las condiciones del pavimento impiden la seguridad, comodidad y velocidad necesaria para los vehículos que transitan la zona, en especial aquellos provenientes de las industrias aledañas, entre las cuales se encuentran, empresas dedicadas al reciclaje, industrias de alimentos, parqueaderos, caí, entre otros.

Por tal razón se decidió orientar este proyecto al diseño de pavimento flexible de la calle 17ª entre carreras 55 y 56, con el fin de mejorar las condiciones de esta vía, perteneciente a la malla vial local de Bogotá. Esto implica una mejoría notoria entre habitantes y comerciantes de la zona, también optimiza las condiciones de seguridad vial, cumple con los propósitos de comodidad, genera mayor valorización en los predios aledaños, entre otros beneficios.

Para lograr el diseño de la estructura de este pavimento se evaluó el estado actual a través de su condición global, basado en las condiciones funcionales y estructurales, empleando métodos de diseño de pavimentos flexibles acordes con la guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carretera del INVIAS (Instituto Nacional de Vías). Por último, se presentarán tres alternativas de intervención que incluyen materiales y procesos constructivos novedosos y de fácil aplicación, tales como: (I) el uso de geosintéticos para el mejoramiento de la subrasante, (II) utilización de bases y subbases granulares con buen comportamiento estructural y (III) utilización de bases estabilizadas con asfalto que mejoren la capacidad portante de la estructura inferior y mezclas asfálticas con alta resistencia a la tracción y compresión.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción del problema

Las adecuaciones viales son conocidas como sistemas, a diferentes escalas, encargadas de proveer movilidad a la comunidad y promover la economía social. Es así como se identifica la problemática situación de Bogotá, conformada por un alto número de habitantes que deben vivir y convivir en una ciudad poco planificada, con un sistema vial deficiente que impide el progreso de sus habitantes y de la ciudad como capital económica del país. La localidad de Puente Aranda cuenta con aproximadamente 391.02 Km – carril, lo que equivale al 45% del total de la malla vial. Según estudios de la alcaldía menor, alrededor del 49% de esta malla vial local se encuentra en estado regular o malo, dicha estadística demanda mayor atención en el mejoramiento de estas condiciones, teniendo además en cuenta, que esta es la localidad donde se encuentran ubicadas la mayor parte de industrias de la ciudad y por ende soporta un nivel elevado de tráfico (público, privado, intermunicipal y de carga). La zona de intervención es una calle categorizada como local, por la cual transitan múltiples vehículos, entre ellos un alto porcentaje de transporte pesado. Actualmente, se encuentra en un estado avanzado de deterioro, situación que afecta notablemente a los habitantes y trabajadores de la zona, así como los vehículos que transitan esta calle.

Este proyecto busca generar tres alternativas de diseño, basado en las condiciones actuales de la vía y las propiedades de la estructura presente, a fin de garantizar una vida útil no menor a diez años.

Se hará supervisión mediante una metodología coherente, que compile las diversas competencias que se adquirieron en el desarrollo de la actividad académica acompañado de la necesidad de presentar un resultado óptimo, real, sencillo de interpretar y que pueda ser puesto al servicio de las entidades correspondientes.

1.2 Pregunta de investigación

¿Qué diseños para la rehabilitación de la estructura de pavimento evitan las deformaciones y deflexiones unitarias del mismo, transmiten adecuadamente los esfuerzos al terreno, optimizan las condiciones de falla a una vida útil de aproximadamente diez años y mitigan daños como el colapso, rotura y disminución del rozamiento, en la calle 17ª entre carreras 55 y 56 en la localidad de Puente Aranda (Bogotá)?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Realizar el diseño de tres alternativas de estructura de pavimentos flexibles (mejoramiento de la subrasante y aumento de la capacidad estructural por medio de geosintéticos, utilización de materiales granulares de elevado desempeño mecánico y utilización de bases estabilizadas con asfalto para el segmento vial localizado en la Calle 17ª entre carreras 55 y 56, en la ciudad de Bogotá, año 2020, con el fin de mejorar las condiciones globales (estructurales y funcionales) del pavimento

2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos derivados del objetivo general son los siguientes:

- Evaluar la condición estructural y funcional del pavimento con el fin de determinar la condición global del mismo y plantear las alternativas de obras de mejoramiento.
- Diseñar tres alternativas para la estructura de pavimentos a partir de las indicaciones de la guía de rehabilitación del INVIAS (Instituto Nacional de Vías), con el fin de garantizar un periodo de diseño no menor a diez años y un nivel de servicio adecuado durante este tiempo.
- Realizar un análisis comparativo desde el punto de vista técnico y económico de las tres opciones de pavimento diseñadas con el fin de seleccionar la mejor alternativa para la rehabilitación del pavimento.

3. Justificación

En Colombia el desarrollo y la conservación del patrimonio de infraestructura vial y de transporte es parte fundamental de la economía del país. Esto por la importancia de las áreas de tránsito y los sistemas de transporte de carga como de pasajeros, para el desarrollo económico y social, y la interacción urbana con la infraestructura nacional asociada a las necesidades que deben subsanarse sin que se afecte el bienestar de los actores viales.

La calle 17ª entre carreras 55 y 56 presenta un promedio diario de 1200 vehículos, de los cuales alrededor del 37% son automóviles, 15% vehículos de servicio público y 48% camiones de carga (95 C2P, 227 C2G, 110 C3-C4, 44 C5 y 98 C6), según aforo realizado para la estimación del tránsito diario promedio (TPD). En la actualidad, el estado de deterioro de esta vía se ve reflejado en el bajo índice de serviciabilidad, la velocidad de operación, la incomodidad de los vehículos que la transitan.

Esta situación conlleva a la necesidad de este proyecto y el alto impacto que generaría en las comunidades aledañas, así como el componente sostenible que una infraestructura de este tipo contiene, ya que mitiga los impactos a nivel ambiental y la expectativa de vida útil es muy alta.

4. Antecedentes de la investigación

El diseño de pavimentos es un aspecto ampliamente investigado en la rama de la ingeniería civil, dada la importancia a nivel económico y social de contar con vías seguras, cómodas y de larga durabilidad, por ello se considera oportuno mencionar algunas de estas investigaciones que brindan soporte técnico al desarrollo de este proyecto.

(Álvarez & Saravia 2019), estudiaron la estabilización de materiales granulares de cantera mediante el uso de PVC (policloruro de vinilo reciclado), en la etapa de compactación, a fin de utilizarlo como capa base para la conformación de una base de pavimento flexible en una de las vías más conocidas de Perú. Para tal fin, realizaron ensayos de caracterización de materiales (granulometría, contenido de humedad y límites de Atterberg), a continuación, realizaron la mezcla de estos materiales con porcentajes variables de PVC, y posteriormente fueron analizados por medio de ensayos que determinan la densidad en función del contenido de humedad de la mezcla. Los resultados fueron sorprendentes, determinaron que el porcentaje óptimo de PVC a incluir en las mezclas es de 4%, ya que el granular se muestra más ligero y con una densidad máxima seca de 2.18 g/cm^3 , capacidad de soporte de 123.5% y un coeficiente de desgaste a la abrasión de 21.85%. Con estas características y mediante el método de diseño ASSHTO, estimaron una etapa de diseño de 20 años y un tránsito de diseño de 3.24×10^6 , el proceso arrojó como resultado espesores de 0.09m en el primer sector homogéneo y 0.20m en la carpeta asfáltica y base, adicional a esto estudios económicos indicaron que resulta más económico la implementación de materiales granulares modificados con PVC, frente a los convencionales solo explotados en cantera (FERRER, 2019).

Por otra parte, (GIL, 2015). Evalúa la incidencia de la deformación radial admisible en la base de las capas asfálticas, la deformación vertical en la subrasante, el esfuerzo vertical admisible en la subrasante y el comportamiento a la deflexión, en el dimensionamiento y costos iniciales de construcción de pavimentos flexibles. Lo anterior, a partir de estructuras diseñadas bajo el método racional, empleando el método Bissar y leyes de fatiga. Como resultado encontraron gran variedad en las dimensiones y por ende en los costos, concluyendo que el desarrollo y la calibración de modelos de fatiga son determinantes en los ahorros por construcción. También concluyeron que la influencia de las leyes de la fatiga no es tan representativa en los espesores, pero si en la deformación radial en la base de la carpeta asfáltica. Por último, encontraron que los costos iniciales de construcción presentan gran incertidumbre dependiendo de la calibración del método empleado, así como de la durabilidad de la estructura

5. Marcos de referencia

5.1 Marco conceptual

El desarrollo de este proyecto tiene como soporte teórico la determinación de las condiciones globales del pavimento, en cuanto a los aspectos funcionales determinados a partir de los métodos PCI y VIZIR, procedimientos de alta importancia para la clasificación superficial de la carpeta asfáltica y la identificación de los daños presentes; los aspectos estructurales determinados a partir de las deflectometrías realizadas, las cuales mediante la aplicación de cargas permiten la medición de deflexiones, lo que cuantificara el módulo resiliente de las capas, incluyendo la subrasante que permite el posterior diseño del pavimento; y por último la caracterización de los materiales que actualmente constituyen la estructura del pavimento flexible, los cuales indicaran la clasificación del suelo a partir de la granulometría, contenido de humedad y límites de Atterberg. De esta forma, la unión de los datos descritos con anterioridad definirá la condición global del pavimento.

5.1.1 Cálculo de los índices de condición del pavimento.

Para el desarrollo del presente documento se utilizaron los métodos PCI y VIZIR. El primer método se constituye por un indicador numérico de la condición superficial del pavimento flexible, que diagnostica la condición de la estructura en estudio de acuerdo a las fallas que se reflejan en su superficie. Se aplica a vías constituidas por una capa de rodadura en su rasante, lo cual indica que en vías no pavimentadas la calificación estará dada por el mínimo valor del rango. Este método se describe en la norma ASTM D6433-18, donde se estipulan los parámetros que participan en esta evaluación.

De forma general, las etapas de este método son las siguientes:

- Trabajo de campo, donde se identifican las fallas del pavimento incluyendo tipo de daño, extensión y severidad.
- Definición de las unidades de muestreo en metros cuadrados o metros lineales, y su respectiva relación con el área afectada por los daños.
- Totalización de cada tipo, nivel de severidad de daño y registro ante el formato correspondiente (PCI-01). El daño puede medirse en área, longitud o número, según su tipo.

Relación de la cantidad de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el área total de la unidad de muestreo, expresando el resultado como porcentaje, lo cual es conocido como la densidad del daño. Entre los cuales, para pavimentos flexibles se encuentran: piel de cocodrilo, exudación, agrietamientos en bloque, abultamientos y hundimientos, corrugación, depresión, grieta de borde, grieta de reflexión de junta, desnivel carril-berma, grietas longitudinales y transversal, parcheo, pulimiento de agregados, huecos, cruce de vía férrea, ahuellamientos, desplazamiento, grieta parabólica, hinchamiento, desprendimientos, entre otros.

Determinación del valor deducido para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante curvas de valor deducido del daño, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado, lo cual se determina mediante la siguiente ecuación:

$$mi = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - hdvi) \quad (1)$$

Donde:

mi: Número máximo admisible de valores deducidos *m* incluyendo fracción para la unidad de muestreo.

hdvi: Mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo *i*.

El máximo CDV (Cálculo del máximo valor deducido corregido) es el mayor de los CDV obtenidos en el proceso. Mayores detalles de la metodología y ejemplos prácticos pueden ser consultados en la norma ASTM D6433-18.

La aplicación del método consiste en determinar el valor de PCI de acuerdo con el grado de severidad otorgado a cada deterioro encontrado en la superficie y la densidad sobre la condición del pavimento. EL rango de calificación se encuentra entre 0 para un pavimento en mal estado o fallado y 100 para un pavimento en perfecto estado. La relación entre la cantidad de clase de deterioro de cada nivel de severidad entre el área total de la unidad de muestreo, expresado como un porcentaje, refleja la densidad del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio. Los resultados en los valores deducidos para cada tipo de deterioro se relacionan en las curvas anexas al final del documento (graficas de valor deducido de daño), de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado. A continuación, se calcula el máximo valor deducido corregido (CDV), como se describió con anterioridad y por último el PCI, proveniente de la diferencia entre 100 y el máximo valor CDV.

El segundo método, de fácil aplicación, permite la diferenciación entre fallas estructurales y funcionales, las cuales se designan en las categorías A y B, respectivamente. Las primeras permiten calificar los daños ocasionados por insuficiencias en la capacidad estructural de la vía, y las segundas comprenden las deficiencias de origen constructivo o deteriorado por factores externos como el clima, el tránsito, agentes patógenos, entre otros. El resultado de la calificación otorgada, en cuanto a niveles de severidad genera el índice de deterioro superficial "IS", lo cual refleja el estado de la vía a partir del análisis visual, el diagnostico de las patologías existentes y la relación entre el área de afectación y el área total del tramo a evaluar.

Este índice de deterioro superficial, de acuerdo a su valor, generara una de tres apreciaciones de la carpeta asfáltica, lo cual indica la clasificación de la misma.

- Entre 1 y 2, indica pavimentos con agrietamientos y deformaciones, de aceptable aspecto general, y cuyo procedimiento de corrección generalmente es mantenimiento de rutina.
- Entre 3 y 4, indica pavimentos con agrietamientos estructurales y mínimas deformaciones, también pavimentos no figurados, pero con deformaciones de importancia. El estado superficial clasifica como regular y degradado, lo cual se trata generalmente con obras rehabilitación de mediana intensidad.

- Entre 5, 6 y 7, indica pavimentos con agrietamientos y deformaciones abundantes, con un alto porcentaje de deficiencias en su superficie, que implica significativos trabajos de rehabilitación.

Los deterioros se dividen en estructurales y funcionales, el primer grupo contiene deterioros como ahuellamientos, depresiones o hundimientos longitudinales y transversales, fisuras longitudinales por fatiga, fisuras piel de cocodrilo, bacheos; el segundo grupo contiene deterioros como fisuras de junta de construcción, fisuras de contracción térmica, fisuras parabólicas, fisuras de borde, ojos de pescado, desplazamientos, pérdida de película ligante, pérdida de agregados, descascaramientos, pulimiento de agregados, exudación, afloramiento de mortero, afloramiento de agua, desintegración de los bordes del pavimento, escalonamientos, erosión de las bermas y segregación. Lo anterior evaluando los niveles de gravedad de acuerdo a la apreciación de las condiciones de los daños estructurales y funcionales, como se presenta en la tabla N. 1 y N. 2 respectivamente.

Tabla 1. Nivel de severidad de daños

Deterioro	Nivel de gravedad		
	1	2	3
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante prof<20mm	Deformaciones importantes. hundimientos localizados o ahuellamientos. 20mm<prof<40mm	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios prof >40mm
Fisuras longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la huella de rodamiento <6mm	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas. bordes de fisuras ocasionalmente degradados.
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas (>500mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales	Mallas más densas (<500mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. las mallas son muy densas (<200mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales.
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros tipo b	Intervenciones ligadas a deterioros tipo a	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas

Nota. Se relacionan los niveles de severidad de acuerdo con los deterioros posibles en una superficie asfáltica, según la guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras (INVIAS).

Tabla 2. Nivel de severidad de daños

Deterioro	Nivel de gravedad		
	1	2	3
Fisura longitudinal de junta de construcción	Fina y única <6mm	Ancha <6mm sin desprendimientos o fina ramificada	Ancha <6mm con desprendimientos o ramificada
Fisuras de contracción térmica	Fisuras finas <6mm	Ancha <6mm sin desprendimientos, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas	Ancha <6mm con desprendimientos
Fisuras parabólicas	Fisuras finas <6mm	Anchas <6mm sin desprendimientos	Ancha <6mm con desprendimientos
Fisuras de borde	Fisuras finas <6mm	20mm<h<40mm	Ancha <6mm con desprendimientos
abultamientos	h<20mm	5 a 10 y <5	10 y 5 y a 10
Ojos de pescado por cada 100m	< 5 cantidad y <300mm diámetro	<300 y <1000	<300 y <1000
Desprendimientos: -perdida de película ligante. -perdida de agregados	Perdidas aisladas	Perdidas continuas	Pérdidas generalizadas y muy marcadas
descascaramientos	<25 profundidad <0.8 área	<25 y >25 >0.8 y <0.8	<25 y >25 >0.8 y <0.8
Pulimientos agregados	Long. comprometida <10% de la sección (100m)	Long. comprometida >10% a <50% de la sección (100m)	Long. comprometida >50% de la sección (100m)
Exudación	Puntual, área específica	Continúa sobre las trayectorias por donde circulan las ruedas del vehículo.	Continua y muy marcada, en diversas áreas
Afloramientos: -de mortero -de agua	Localizados y apenas perceptibles	Intensos	Muy intensos
Desintegración de los bordes del pavimento	Inicio de la desintegración sectores localizados	La calzada ha sido afectada en un ancho de 500mm o más	Erosión extrema que conduce a la desintegración del revestimiento asfáltico
Escalonamiento entre calzadas y bermas	Desnivel entre 10mm a 50mm	Desnivel entre 50 y 100 mm	Desnivel superior a 100mm
Erosión de las bermas	Erosión incipiente	Erosión pronunciada	La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios
Segregación	Long. comprometida <10% de la sección (100m)	Long. comprometida >10% a <50% de la sección (100m)	Long. comprometida >50% de la sección (100m)

Nota. Se relacionan los niveles de severidad de acuerdo con los deterioros posibles en una superficie asfáltica, según la guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras (INVIAS).

5.1.2 Tránsito de diseño.

La guía metodológica de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras del INVIAS, describe el procedimiento adecuado para el tratamiento de los aforos realizados en campo y el trato correspondiente para la determinación del tránsito de diseño.

Después de identificar el tránsito promedio diario anual (TPDA) durante una semana, se puede estimar el tránsito promedio diario semana (TPDS), esto para niveles de confianza superiores al 90% (ver ecuación N. 2).

$$TPDS = \Sigma TDi / 7 \quad (2)$$

El tránsito promedio anual se da por la estimación de la desviación estándar aplicado al tránsito promedio semanal, considerando la desviación estándar y el coeficiente de confiabilidad, según el porcentaje requerido.

Las vías consideradas con tránsito atípico, el TPD debe establecerse con aforos en cada una de las vías.

El periodo de diseño y conforme a las recomendaciones del IDU, varía de acuerdo al tipo de intervención a implementar, de tal forma, para diagnósticos y obras de mantenimiento se encuentra en el rango de tres años, para vías que requieren labores de rehabilitación siete años, para vías que necesitan reconstruirse diez años y para vías con estructura en pavimentos rígidos veinte años.

El número de repeticiones en el eje de referencia que son equivalentes a 8.2 ton, son un parámetro indispensable para el diseño, ya que establece las condiciones que requiere la estructura para garantizar la vida útil de la misma y se calcula basados en los días del año, los factores de distribución direccional y distribución de carril, y el tránsito promedio diario para cada tipo de vehículo. A partir de la evaluación a la norma ASSHTO y teniendo en cuenta la incertidumbre en el antiguo procedimiento, se realizó un ajuste en la fórmula que incluye la distribución normal y la confiabilidad requerida para el diseño (ver ecuación N.3).

$$N' = 10^{0.05 * Z_r} \times N \quad (3)$$

Donde:

N: Tránsito equivalente

Z_r: Factor correspondiente a una distribución normal y a la confiabilidad deseada. Se obtiene a partir de la confiabilidad escogida para el diseño.

5.1.3 Exploración geotécnica.

La exploración geotécnica, entre otras, consiste en la realización de apiques, que permiten estimar perfiles estratigráficos y mediciones deflectométricas.

Los datos se obtuvieron a partir de apiques, perforaciones, prospección geofísica y cortes naturales o artificiales; esto muestra las rocas que conforman la columna estratigráfica del subsuelo, a la profundidad que cada tipo de proyecto requiera.

La evaluación estructural que comprende la auscultación estructural (técnicas de recolección de información del pavimento), y el método de retrocálculo, entendido como la metodología utilizada para definir los módulos de las capas de pavimento a partir de los resultados de las deflectometrías realizadas.

5.1.4 Deflectometría.

La deflectometría se conoce como la medición de la deformación de la superficie del pavimento cuando un peso previamente cuantificado se coloca sobre este, se mide en centésimos de milímetro y representa la resistencia del pavimento ante las cargas sometidas por el tráfico. Los resultados obtenidos, independiente del instrumento de medición deben ser corregidos por carga aplicada.

Teniendo en cuenta el valor de la carga arrojada por el método, conforme se presenta en la ecuación N. 4.

$$D_i = D_o \times (P_r/P_o) \quad (4)$$

Donde:

D_i = Deflexión corregido para la carga de referencia en el sensor i (micrómetros).

D_o = Deflexión medida en el sensor i (micrómetros).

P_i = Carga de referencia a la cual se desea hacer la corrección (KN)

P_o = Carga inicial (KN)

5.1.5 Retrocálculo de módulos – método directo.

El retrocálculo es una metodología que permite estimar el módulo resiliente de cada capa que compone un pavimento a partir de pruebas de campo no destructivas como las deflectometrías, ya que su determinación por medio de ensayos de laboratorio requiere la inversión de altos costos y tiempo. En estudios anteriores, se ha observado que los resultados son en su mayoría, de mayor magnitud que los determinados en campo, por lo cual se emplean factores de ajuste que los relacionan. De esta forma los valores teóricos de deflexión son comparados con los tomados en campo, mediante un proceso iterativo que ajusta las curvas de deformación teóricas y medidas hasta que se ajuste al parámetro de error medio cuadrático, el cual debe ser inferior al 2%.

Para la determinación de módulos de la subrasante se debe aplicar un factor de corrección que genere mayores aproximaciones de módulo para los valores retrocalculados, el cual se asume igual a 0.33 sin distinguir el tipo de suelo en la subrasante. El retrocálculo puede hacerse por medio de diversos métodos, entre ellos el cálculo directo, ecuaciones desarrolladas a partir de regresiones y herramientas computacionales. A continuación, relaciona la metodología para el retrocálculo a través del método directo.

El módulo de la subrasante se estima a partir de los valores de deflexión, empleando el modelo elástico de Hogg, mediante el método de retro cálculo, ver ecuación N. 5.

$$E_o = I * \frac{(1+\mu_o)*(3-4*\mu_o)}{2*(1-\mu_o)} * \left(\frac{S_o}{S}\right) * \left(\frac{P}{D_o*l}\right) \quad (5)$$

Donde:

E_o: Módulo de la subrasante

I: Factor de influencia

μ_o: Relación de Poisson de la subrasante

S: Rigidez del pavimento

P: Carga aplicada

D_o: Deflexión central (Deflexión máxima)

I: Longitud característica del cuenco de deflexión

$$l = y_0 * \frac{r_{50}}{2} + [(y_0 * r_{50})^2 - 4 * \bar{m} * \alpha * r_{50}]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Para determinar el cuenco de deflexión se utiliza la siguiente ecuación, tomada del método ASSHTO.

Así mismo, a fin de determinar la corrección del cuenco de deflexión se utiliza la siguiente expresión:

$$\left(\frac{S_o}{S}\right) = 1 - \bar{m} * \left(\frac{\alpha}{l} - 0.2\right) \frac{\alpha}{l} < 0.2, \text{ entonces } l = (y_0 - 0.2 * m) * r_{50} \quad (7)$$

Una vez determinadas estas características se evalúa la relación entre la rigidez de la carga puntual teórica y la rigidez del pavimento, de la siguiente forma:

$$x \left(\frac{S_o}{S}\right) = 1 - \bar{m} * \left(\frac{\alpha}{l} - 0.2\right) \quad (8)$$

y₀ Coeficiente de longitud característica

m Coeficiente de longitud característica

̄m Coeficiente de relación de rigidez

α Coeficiente de ajuste de la curva

r₅₀ Distancia a la cual la deflexión es igual a la mitad de la máxima Dr/D₀=0,5)

Para determinar la deflexión igual a la mitad de la máxima permitida, se utiliza la siguiente expresión:

$$r_{50} = r * \frac{(1/\alpha)^{1/\beta} - B}{\left[\frac{1}{\alpha} * \left(\frac{D_0}{D_r} - 1\right)\right]^{1/\beta} - B} \quad (9)$$

Dónde:

- β Coeficiente de ajuste de la curva
- B Coeficiente de ajuste de la curva
- D_r Deflexión a una distancia r

Al igual que con el método AASHTO, este valor de Módulo de subbase granular (ESG), debe ajustarse por un factor de reducción que asemeje las condiciones del ensayo deflectométricas con las del laboratorio.

Para la determinación del módulo de la carpeta asfáltica, se empleará la expresión incluida en el documento FHWA-RD-05-152, la cual es apropiada para pavimentos asfálticos convencionales, cuyas capas inferiores sean de tipo granular. La ecuación que determina el módulo de las capas asfálticas superiores es la siguiente:

$$E_{CA} = \left[E_p * AF_{CA} * K_3^{(1/AF_{AC})} \right] / K_3^2 \quad (10)$$

Dónde:

- E_{AS} Módulo de las capas asfálticas superiores.
- AF_{AS} Factor AREA.

Con la siguiente ecuación se calcula el factor del área.

$$AF_{AC} = \left[\frac{k_2 - 1}{k_2 - \frac{AREA_{300}}{k_1}} \right]^{1,35} \quad (11)$$

Dónde:

- k_1 6,85
- k_2 1,752
- k_3 $\frac{H_{CA}}{(2*a)}$
- H_{CA} Espesor de las capas asfálticas en las mismas unidades de “ a ”
- E_p Módulo compuesto del pavimento bajo la placa de carga de radio “ a ”

El módulo compuesto del pavimento se da por la siguiente ecuación:

$$E_p = \frac{1,5 * a * \sigma}{D_0} \quad (12)$$

Dónde:

σ Presión de impacto del FWD.

D_0 Deflexión bajo el centro de aplicación de la carga.

Por último, el módulo resiliente de los materiales granulares, se obtiene aplicando la expresión de Barker (1975) para Subbase, como se indica a continuación:

$$E_n = E_{n+1} \times [1 + 7,18 \times \text{Log}(t) + 1,56 \times \text{Log}(E_{n+1}) \times \text{Log}(t)] \quad (13)$$

Dónde:

E_n Módulo de la capa en cuestión, psi

E_{n+1} Módulo de la capa subyacente, psi

T Espesor de la capa, in.

5.1.6 Método de diseño ASSHTO.

El método de diseño ASSHTO está basado en la pérdida del índice de serviciabilidad durante la vida útil del pavimento, la ecuación general de este método otorga un número estructural (SN), con el cual se determinan los espesores de las capas que conforman el pavimento, es decir, asfalto, base y subbase granular. Lo anterior, a partir de parámetros como variables de diseño como el tránsito, desviación estándar, confiabilidad, índice de serviciabilidad, entre otros.

El número de ejes equivalentes se da por la siguiente ecuación:

$$\log(w) = ZR \cdot S_o + 9.36 \cdot \text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta psi}{1094}\right)}{(SN+1)^{5.19}} + 2.32 \log(mr) - 8.07 \dots (14)$$

Donde:

W: Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 T en el periodo de diseño.

Zr: Desviación estándar normal.

So: Error estándar combinado de la predicción del tráfico y de la predicción del comportamiento estructural.

PSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial y final.

MR: Módulo resiliente (lib/pulg)

SN: Número estructural

De esta ecuación se determina el número estructural (SN), con lo cual se obtienen los espesores de las capas de diseño, a una temperatura de 20°C, tal como lo señala la norma ASSHTO, de la siguiente forma:

$$SN=a1*D1 + a2*m2*D2 + a3*m3*D3 \quad (15)$$

Donde:

ai: Coeficiente estructural de la capa i

Di: Espesor de la capa i (in)

mi: Coeficiente de drenaje de la capa i

5.1.7 Método racional

Esta metodología se basa en el cálculo de los esfuerzos y deformaciones en las interfaces de las capas de pavimento asfáltico, lo cual refiere la teoría de elasticidad y aplicación de las leyes de fatiga sobre las capas asfálticas. Para el cumplimiento del método se requiere la aplicación de la ley de fatiga de material considerado y la deformación relativa admisible en tracción por flexión, resultante del ensayo de fatiga del material de laboratorio, los módulos elásticos de los materiales dispuestos en las diferentes capas y los espesores de los materiales y esto arroja el espesor equivalente del material (Ver ecuación N. 16).

$$Heq=h1 \times (E1/E2)^{1/3} \quad (16)$$

Donde:

H1: Espesor de la base granular (cm)

E1: Módulo elástico base granular (Mpa)

E2: Módulo elástico capa asfáltica (Mpa)

A continuación, el método indica que debe calcularse el espesor total, considerado como la sumatoria del espesor del material asfáltico más el espesor equivalente.

$$Ht = Heq + h2 \quad (17)$$

Este resultado permite determinar la deflexión vertical a partir del espesor (ξz), con lo cual se encuentra el tránsito que resistirá la estructura planteada y la vida útil de este.

Este procedimiento puede simplificarse mediante la utilización de un software (ejemplo: PITRAPAVE, DEPAV, Julea, Welea, entre otros), los cuales permiten determinar el número de repeticiones admisibles de los materiales, a fin de ser comparados con el número de repeticiones admisibles del tránsito.

5.1.8 Mejoramiento de la subrasante con geoceldas.

El mejoramiento de la subrasante con geoceldas es un sistema de confinamiento celular que garantiza estabilidad dimensional y durabilidad para mejorar el desempeño de la vía. Entre las

ventajas más significativas se encuentra la distribución de cargas e incremento de la capacidad portante de la subrasante, incremento en la distribución de carga, reducción de la presión de contacto en la subrasante. Adicional a lo anterior, genera un efecto de membrana tensionada, reduce problemas de tensión en suelos blandos y fallos por la resistencia al corte, optimiza los espesores de materiales lo que minimiza los costos en transporte, excavación y mitiga la explotación en canteras.

Estas geoceldas se encuentran embebidas en material granular de espesor variable, el cual se determina con la metodología propuesta por J.P. Giroud, publicada en la sociedad de ingenieros civiles de Estados Unidos. El método de cálculo combina la teoría de capacidad portante con datos empíricos obtenidos en escalas reales y secciones instrumentadas con y sin refuerzo, conforme se presenta en la Ecuación 18.

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 * \left(\frac{3.48 CBRbc^{0.3}}{CBRsg} - 1\right)\right]} \left[\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{S}{Fs} \left[1 - 0.9e^{-\frac{r^2}{h}}\right] NcfcCBRsg} - 1} \right] r \quad (18)$$

Donde:

h: Espesor del material granular; Presión de inflado: 590 psi; Carga por eje: 80 KN; Numero de repeticiones: N; P: Carga por rueda; r: Radio de carga; CBRsg: CBR subrasante; CBRbc: CBR material granular; S: Ahuellamiento permitido; Fs: Factor de 75mm; Fc: Factor de 30KPa; Nc: Numero de capacidad de carga-

5.2 Marco normativo

5.2.1 Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito.

Ese documento del Instituto Nacional de Vías, contiene especificaciones generales de construcción de carreteras para la construcción, rehabilitación, rectificación, mejoramiento y conservación de las carreteras de la Nación. Por lo tanto, es el documento legal para nuestro país aplicable al desarrollo de este informe, en él se encuentra la legislación vigente, aplicable al diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito (locales).

5.2.2 Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras invias.

Esta norma fue adoptada por el INVIAS el 27 de junio de 2009 En ella se destacan las metodologías, materiales, el avance de los sistemas constructivos, la evolución tecnológica y la optimización de técnicas de rehabilitación de pavimentos que mitiguen los impactos ambientales. Es así como este reglamento señala los parámetros sobresalientes en el diseño de pavimentos para obras de rehabilitación (VÍAS, 2009).

5.2.3 Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D.C.

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) en el año 2018 establece un conjunto de normas, procedimientos, valores y materiales, de acuerdo con la experiencia que ha adquirido en la construcción y rehabilitación de las vías de la ciudad; en esta documentación se puede encontrar

todos los aspectos contractuales (proceso constructivo, laboratorios, supervisión, precio unitario, unidad de medida, entre otros), de materiales, excavaciones y rellenos, subbase y bases, revestimientos asfálticos, concretos y espacio público. Estas normas son de obligatoria aplicación en las obras desarrolladas por el distrito.

5.3 Marco geográfico

La Calle 17ª entre carreras 55 y 56 es una vía local, de la localidad de Puente Aranda, donde transita un alto número de vehículos de todo tipo, entre ellos, vehículos de carga provenientes de las industrias que se encuentran alrededor, algunas de ellas dedicadas al reciclaje (ubicadas sobre esta calle). La ubicación del proyecto se encuentra en la figura N. 1.

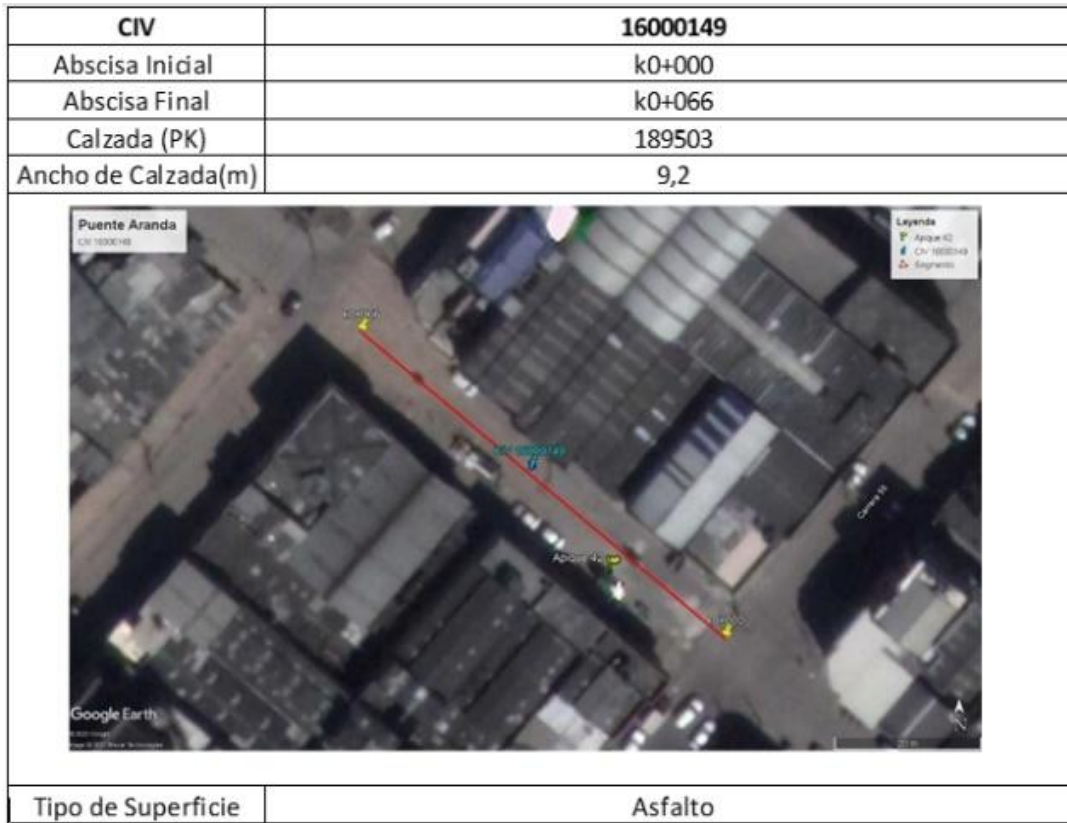


Figura 1. Ubicación del proyecto.

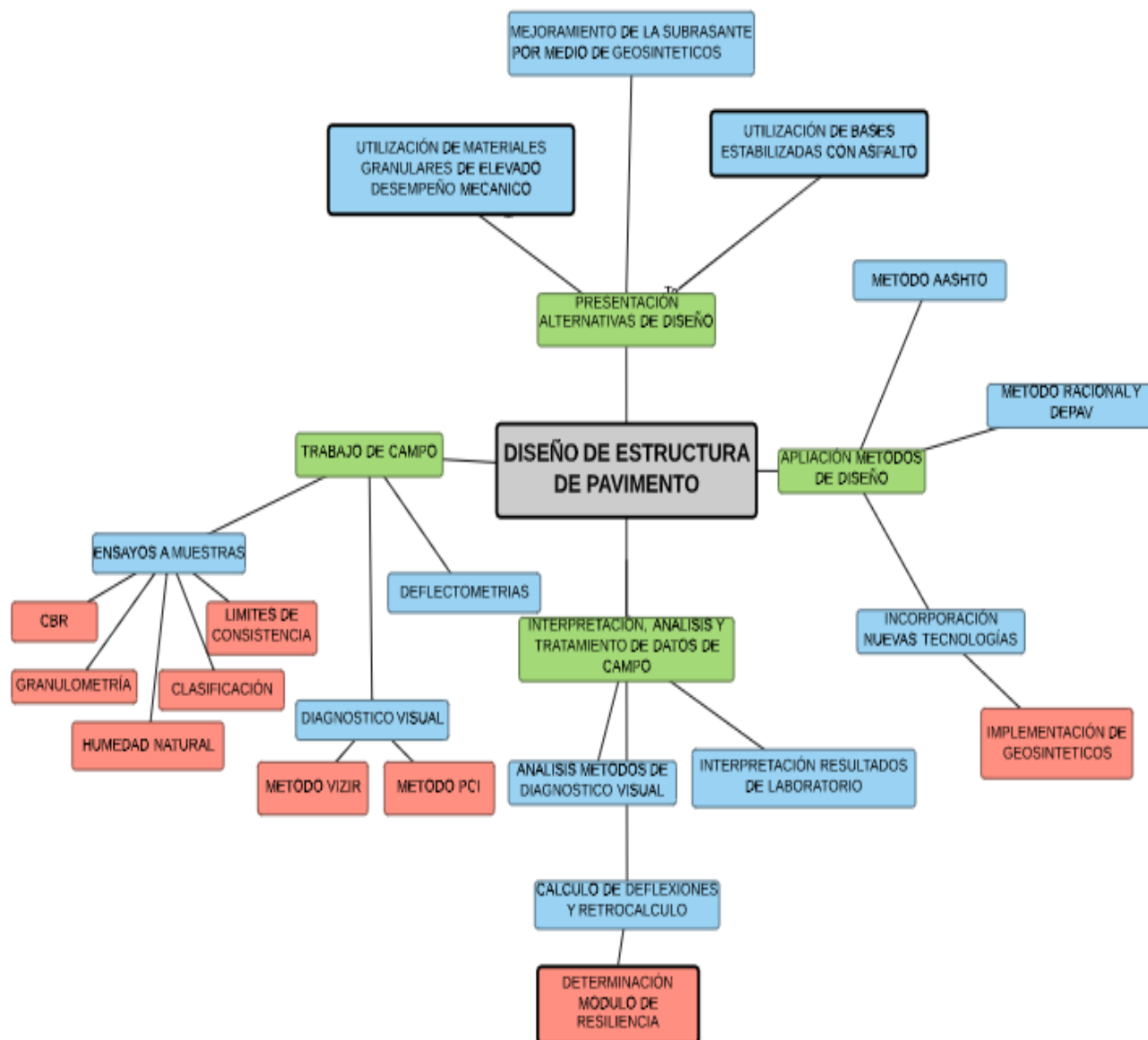
Fuente. Propia.

En la actualidad la localidad de Puente Aranda es el centro de la actividad industrial en la ciudad y representa una gran importancia en el país debido a la ubicación de las principales fábricas de producción y bodegas de comercialización; entre las principales fábricas de producción se encuentran los plásticos, textiles, químicos, metalmecánicos, gaseosas, tabaco, concentrados y alimentos. La extensión total de la malla vial de la localidad es 870.33 Km-carril, distribuidos en:

- Vías troncales 197.75 Km-carril
- Vías arterias 182.73 Km-carril
- Vías intermedias 391.02 Km-carril

6. Metodología

En la figura 2, se presenta de forma general el esquema de la metodología implementada, la cual se encuentra dividida en trabajo de campo (laboratorios, deflectometrías e inspección visual); interpretación, análisis y tratamiento de datos de campo; aplicación de métodos de diseño y presentación de las alternativas de diseño (utilización de materiales granulares de elevado desempeño mecánico, mejoramiento de la subrasante por medio de geosintéticos y utilización de bases estabilizadas con asfalto).



.Figura 2. Desarrollo metodológico

Fuente. Propia.

La investigación del presente proyecto tiene un enfoque cuantitativo, debido a que el diseño de pavimentos que se propone realizar sigue un patrón predecible y estructurado en el proceso; las decisiones críticas sobre el método se toman después de la recolección de datos, para este caso traducido en laboratorios, apiques, aforos de tránsito, diagnóstico visual, entre otros. El nivel de estudio se considera exploratorio ya que para realizar el diseño se exploraron fenómenos en cuanto a los niveles de tránsito, efectos de éste en las estructuras, afectación a las comunidades aledañas, conceptos técnicos específicos, a partir de la consideración de variables medidas en campo, tales como, aforos, laboratorios, diagnóstico visual de la superficie y apiques. El conjunto de las actividades anteriores genera como producto final el diseño de tres alternativas de diseño que se basan en la utilización de materiales granulares de elevado desempeño mecánico, mejoramiento de la subrasante por medio de geosintéticos y utilización de bases estabilizadas con asfalto, que cumplen con las condiciones establecidas por la normatividad vigente y responde a los problemas de operación y posible accidentalidad en el tramo. Como resultado se entregará el compendio de datos numéricos, estructuras de pavimento y descripción del diseño propuesto, mediante la aplicación de técnicas de procedimientos estandarizados.

Para el correcto desarrollo del proyecto se propone realizar un análisis de las condiciones de la estructura del pavimento encontrado en la calle 17^a entre carreras 55 y 56, características que justifiquen el diseño de una nueva estructura, presentada en tres posibles alternativas, que finalmente serán comparadas desde el punto de vista económico y constructivo. Para tales fines, se realizará y recopilará información de tránsito, caracterización de materiales, pruebas de deflectometría, retrocálculo para determinación de los módulos resilientes y análisis visual mediante los métodos de diagnóstico PCI (Interconexión de Componentes Periféricos) y VIZIR (Visión Inspección de Zonas et Itinéraires Á Risque). Estos datos se ingresarán en los softwares de diseño de pavimentos como datos de ingreso, para el posterior diseño de una nueva estructura, presentada en tres alternativas diferentes, que serán comparadas con el objeto de determinar cuál de ellas presenta mayor conveniencia en términos económicos y constructivos.

A fin de mitigar errores en el análisis probabilístico de la muestra y con miras a entregar un resultado cercano a la realidad, la recolección de la información en campo se realizó de la siguiente manera:

- Aforos que se realizaron durante una semana a fin de mitigar la incertidumbre en el cálculo del tránsito promedio diario semanal (TPDS) y su posterior proyección al tránsito promedio diario anual (TPDA).
- Apiques para la caracterización de materiales, se realizaron ensayos de laboratorio a fin de clasificar los materiales en cuanto a granulometría, contenido de humedad y límites de Atterberg.

6.1 Evaluación de la condición global del pavimento

La guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras, en el tercer capítulo, enumera los parámetros a considerar en la evaluación global del pavimento, a fin de valorar de la manera más objetiva, la condición actual del pavimento. Lo anterior a partir de las evaluaciones de deterioros, estructural, funcional y de drenaje, lo que permite identificar los daños y sus causas, estimando la conveniencia de una rehabilitación total o solo labores de mantenimiento. De esta forma, se valora el pavimento en cuanto a su suficiencia

estructural (capacidad para soportar cargas del tránsito), funcionalidad (superficie lisa, segura y silenciosa), y drenaje (factores que mitigan los daños ocasionados por el agua).


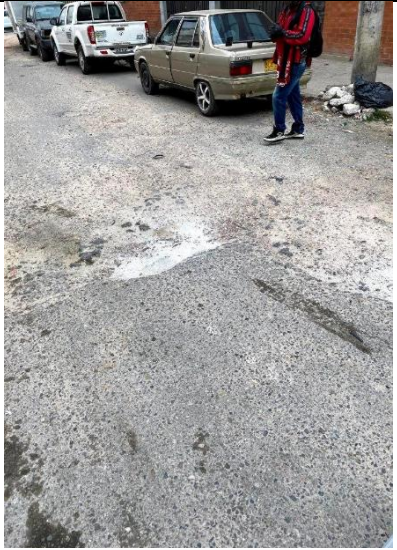


6.1.1 Evaluación de deterioros.

El objetivo de esta actividad es determinar las condiciones de la capa superficial de asfalto, cuantificando el nivel de daños mediante los métodos de inspección visual PCI y VIZIR, para ambos casos se tomaron las áreas totales y de los daños reflejados, así como las longitudes de las áreas afectadas. Dichos datos fueron consignados en formatos de campo y posterior a esto se evaluó la severidad de los daños. En la figura 3 se presenta el registro fotográfico de las condiciones actuales: del pavimento.

Tabla N.3.

Registro fotográfico tramo a intervenir

	
<p>Ojos de pescado (nivel de severidad 2) descascaramiento (nivel de severidad 3).</p>	<p>Bacheos y zanjas reparadas (nivel de severidad 3) depresiones o hundimientos longitudinales (nivel de severidad 3) fisura longitudinal de junta de construcción (nivel de severidad 2).</p>

	
<p>Ahuellamiento (nivel de severidad 2) ojos de pescado (nivel de severidad 2) perdida de agregados (nivel de severidad 3) descascaramiento (nivel de severidad 3) pulimiento de agregados (nivel de severidad 3).</p>	<p>Depresiones o hundimientos transversales (nivel de severidad 3) descascaramiento (nivel de severidad 3).</p>
	
<p>Depresiones o hundimientos longitudinales (nivel de severidad 3) fisuras longitudinales por fatiga (nivel de severidad 2) fisura transversal de junta de construcción (nivel de severidad 2).</p>	<p>Depresiones o hundimientos longitudinales (nivel de severidad 1) ojos de pescado (nivel de severidad 2) perdida de agregados (nivel de severidad 3).</p>

	
<p>Fisuras piel de cocodrilo (nivel de severidad 3) descascamiento (nivel de severidad 3).</p>	<p>Perdida de la película ligante (nivel de severidad 3) descascamiento (nivel de severidad 3) fisura longitudinal de junta de construcción (nivel de severidad 2).</p>
	
<p>Perdida de la película ligante (nivel de severidad 3)</p>	<p>Ojos de pescado (nivel de severidad 2) pulimiento de agregados (nivel de severidad 3) perdida de agregados (nivel de severidad 3)</p>

Nota. Registro fotográfico donde se evidencian los deterioros encontrados en la calle.

Para realizar el método PCI se tuvieron en cuenta daños como piel de cocodrilo, parcheo, huecos, reconstrucciones, entre otros, a continuación, se determinaron las áreas de cada uno de estos daños,

posteriormente se determinó la condición superficial del pavimento. En cuanto al método VIZIR se realizó el mismo análisis de daños, la longitud entre abscisas y el área que representa; a partir de esta información se estimó un porcentaje de afectación entre el área del daño y el área total del segmento (617.99m²), posterior a esto se evaluó el nivel de severidad, la gravedad del deterioro, los índices de fisuración, índices de deformación y finalmente índice superficial de deterioro. Esta evaluación concluyo que el pavimento presenta agrietamientos y deformaciones abundantes, con un alto porcentaje de deficiencias en su superficie, lo cual requiere significativos trabajos de rehabilitación, es decir, pavimento deficiente. En los anexos se adjuntan los formatos de campo correspondientes.

Tabla N.4.

Calificación deterioro de los daños encontrados

ABSCISA		CODIGO DE DAÑO	SEVERIDAD	LONGITUD	AREA	TIPO DE DETERIORO	PORCENTAJE ÁREA
INICIO	FINAL						
K0+000.00	K0+012.60	B	3	12.60	50.40	Bacheos y zanjas reparadas	8.16%
K0+012.60	K0+016.30	DL	3	3.70	11.10	Depresiones o hundimientos longitudinales	1.80%
K0+012.60	K0+015.40	AH	2	2.80	2.80	Ahuellamiento	0.45%
K0+026.00	K0+034.00	DL	1	8.00	24.00	Depresiones o hundimientos longitudinales	3.88%
K0+032.00	K0+034.00	DT	3	2.00	14.00	Depresiones o hundimientos transversales	2.27%
K0+052.00	K0+060.00	FPC	3	8.00	18.40	Fisuras piel de cocodrilo	2.98%
K0+000.00	K0+010.00	PL	3	10.00	35.10	Perdida de la película ligante	5.68%
K0+010.00	K0+015.60	PL	3	5.60	31.19	Perdida de la película ligante	5.05%
K0+000.00	K0+065.00	O	2		7.00	Ojos de pescado	1.13%
K0+000.00	K0+045.50	PA	3	45.50	224.77	Perdida de agregados	36.37%
K0+025.00	K0+032.50	D	3	7.50	13.50	Descascaramiento	2.18%
K0+035.00	K0+041.20	D	3	6.20	14.26	Descascaramiento	2.31%
K0+015.60	K0+034.00	PA	3	18.40	128.80	Perdida de agregados	20.84%
K0+010.50	K0+011.30	D	3	0.80	1.60	Descascaramiento	0.26%
K0+028.90	K0+032.00	D	3	3.10	10.85	Descascaramiento	1.76%
K0+032.00	K0+034.00	D	3	2.00	2.00	Descascaramiento	0.32%
K0+034.00	K0+065.00	PU	3	31.00	198.40	Pulimiento de agregados	32.10%

K0+059.00	K0+065.00	FLF	2	6.00	6.00	Fisuras longitudinales por fatiga	0.97%
K0+059.00	K0+059.00	FTJ	2	2.50	0.05	Fisura transversal de junta de construcción	0.01%
K0+056.30	K0+065.00	D	3	8.70	9.57	Descascaramiento	1.55%
K0+056.30	K0+065.00	PA	3	8.70	55.68	Perdida de agregados	9.01%
K0+042.00	K0+046.00	FLJ	2	4.00	0.12	Fisura longitudinal de junta de construcción	0.02%
K0+007.00	K0+014.60	FLJ	2	7.60	1.52	Fisura longitudinal de junta de construcción	0.25%

Nota. Evaluación de la condición superficial del pavimento a partir del método VIZIR.

Para los fines anteriores se utilizaron diversos tipos de técnicas para recolectar la información, como la técnica ocular, mediante observación y revisión selectiva a fin de verificar de forma directa el número de vehículos que transitan el esta vía en el transcurso de una semana y el nivel de daños actual del pavimento; documentales, mediante revisión analítica y ensayos estandarizados que abarca la información obtenida en campo y la emitida por las entidades encargadas en cuanto a los parámetros exigidos para este tipo de proyectos en la ciudad de Bogotá; físicas, ya que se tomaron muestras de campo para hacer un reconocimiento detallado de la estructura presente y sus características físicas, a fin de realizar una adecuada interpretación de la información recopilada; escritas, mediante análisis, calculo y tabulación, para el tratamiento de datos de campo.

6.1.2 Evaluación estructural

En la evaluación estructural se consideran todos los resultados de la información recolectada en las deflexiones, apiques y pruebas destructivas, a fin de determinar el daño que ha sufrido el pavimento y valorar su capacidad estructural. Este estudio, acompañado de la evaluación de los deterioros y de la capacidad de drenaje, permiten dividir el pavimento en tramos estructuralmente uniformes, seleccionando alternativas para mejorar su capacidad estructural y realizar los diseños correspondientes.

Debido a la longitud del tramo (65m) se realizaron dos apiques a 1.48m de profundidad aproximadamente, a fin de determinar el perfil estratigráfico de la estructura de pavimento, y el suelo que soporta dicha estructura; para su posterior análisis en las deflectometrías realizadas.

A continuación, se tomaron cuatro muestras de laboratorio para la caracterización del suelo; a partir de la humedad natural, los límites de consistencia, la granulometría y el CBR.

Tabla N. 5.

Laboratorios realizados a las muestras tomadas

Nombre del ensayo	Norma	Descripción
Análisis Granulométrico de suelos por tamizado	INVE – 123 - 07	Determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo
Límite plástico e índice de plasticidad de suelos	INVE – 126 - 07	Contenido más bajo de agua, en el que el suelo permanece en estado plástico
Determinación del límite líquido de los suelos	INVE – 125 - 07	Contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno.
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo - agregado	INVE – 122 - 07	Relación expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros o “agua libre”, en una masa de material, y la masa de las particulares solidas del material
Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)	INVE – 148 - 07	Determinación del índice de resistencia de los suelos.
Método para medir deflexiones mediante deflectómetro de impacto (FWD)	INVE – 798 - 07	Medición de deflexiones en superficies pavimentadas o sin pavimentar con dispositivo de impacto.

Nota. Laboratorios tomados a las muestras recolectadas en campo, para clasificación del suelo.

Los resultados de los laboratorios realizados, adjuntos al presente documento, generaron una clasificación del suelo, según la norma ASSHTO, lo cual fue utilizado para el posterior análisis de suelos y pruebas de deflectometría.

Tabla N. 6.

Laboratorios realizados a las muestras tomadas.

No	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN	PERFIL ESTRATIGRAFICO
1	M-1	0.00 – 0.09	CARPETA ASFALTICA DETERIORADA CON CUERO DE CAIMAN	
1	M-1	0.00 – 0.29	MACADAN en matriz, arenosa, amarillo, sobre tamaños >10cm; humedad media, plasticidad NL – NP, olor ninguno; materia orgánica sin indicios; compacidad medio denso.	

2	M-2	0.29 – 0.56	GRANULAR arenoso, amarillo, gravas 1 ½”, humedad media, plasticidad NI -NP, olor ninguno, materia orgánica sin indicios; compacidad medio denso.	
3	M-3	0.56 – 0.73	ARENA gravosa, amarilla, algunas gravas, humedad media, plasticidad NL – NP, olor ninguno, materia orgánica sin indicios, compacidad medio denso.	
4	M-4	0.73 – 1.48	ARCILLA limosa, habana, vetas de óxido, humedad media, plasticidad alta, olor ninguno, materia orgánica sin indicios, compacidad medio firme.	

Nota. Perfil estratigráfico de las muestras de suelo tomadas.

Una vez realizada esta caracterización y teniendo en cuenta los valores de CBR de la subrasante se realizaron pruebas de deflectometría en el tramo, con instrumento DYNATEST FWD, a fin de conocer la deflexión del pavimento existente sometido a una carga corregida de 40KN. Una vez corregidos por temperatura los resultados de las deflectometrías, se realiza el retrocalculo por medio del método directo, a partir de un análisis de percentil 85, con lo cual se determinará el módulo resiliente de la subrasante y el módulo de diseño de esta. Los pasos utilizados para el análisis por método directo fueron los siguientes:

- Corrección por carga, ajustando las cargas iniciales a 40 KN.
- Corrección por temperatura a 20°C (temperatura de referencia)
- Cálculo del módulo resiliente a partir de las mediciones generadas por la deflectometría, con sismómetro ubicado a 150cm.
- Retro cálculo para calcular el módulo de la subrasante.
- Coeficiente de afectación para el módulo resiliente de diseño según la norma ASSHTO 93 de 0.33.
- Cálculo del número estructural efectivo por el método ASSTHO.

El retrocalculo del módulo de resiliencia de la subrasante se realizó por medio del modelo elástico de Hogg, valorando parámetros de factor de influencia, relación de Poisson de la subrasante, rigidez del pavimento, carga aplicada, deflexión central, longitud del cuenco de deflexión, distancia de deflexión.

Para la implementación del modelo Hogg se empleó el caso II para calcular módulos de subrasante con propósitos de evaluación de pavimentos mediante calculo directo.

Así los datos obtenidos en las deflectometrías, los módulos resilientes de subrasante y los módulos resilientes de diseño, son los siguientes:

Tabla N. 7.

Deflectometrías tomadas en campo

ABSCISA	CARGA ORIGINAL (KN)	DEFLEXIONES ORIGINALES (MICRONES)						
		DF0 (0)	DF1 (300)	DF2 (600)	DF3 (900)	DF4 (1200)	DF5 (1500)	DF6 (1800)
k 0+016	41.1	1220.8	742.7	361.1	188.7	113.2	80	67.4
k 0+016	41.2	1195.5	737.5	364.4	191.4	115.4	81.2	68.2
k 0+047	40.2	1208.5	705.3	297.8	140.9	88.7	64.4	60.3
k 0+047	40.2	1178.6	699.3	298.8	141.2	89.1	65.3	61.6

Nota. Valores de deflectometrías tomadas en campo.

Tabla N. 8.

Correcciones a deflectometrías con carga corregida

CARGA CORREGIDA (KN)	DEFLEXIONES CORREGIDAS A 40 KN(MICRONES)						
	DF0 (0)	DF1 (300)	DF2 (600)	DF3 (900)	DF4 (1200)	DF5 (1500)	DF6 (180)
40	1188	723	351	184	110	78	66
40	1161	716	354	186	112	79	66
40	1202	702	296	140	88	64	60
40	1173	696	297	140	89	65	61

Nota. Valores de deflectometrías corregidas a una carga de 40 KN.

Tabla N. 9.

Deflectometrías y correcciones por temperatura.

Abscisa	Temp. Asfalto (°c)	Temp. Superficie (°c)	Temp. Aire (°c)	FT	Deflexiones Corregidas por Temperatura 20°						
					Df0 (0)	Df1 (300)	Df2 (600)	Df3(900)	Df4	Df5	Df6
k 0+016	20.4	19.5	15.6	0.997	1184.71	720.75	350.43	183.12	109.85	77.64	65.41
k 0+016	20.4	19.5	15.6	0.997	1157.35	713.96	352.77	185.29	111.72	78.61	66.02
k 0+047	20.4	18	15.4	0.997	1199.03	699.78	295.47	139.80	88.01	63.90	59.83
k 0+047	20.4	18	15.4	0.997	1169.37	693.82	296.46	140.09	88.40	64.79	61.12

Nota. Correcciones por temperatura a las deflexiones tomadas.

Tabla N. 10.

Cálculos método directo (Módulos de la subrasante)

Espesores De Capas			Área	Io	Módulo De La Subrasante	Módulo De Diseño		Ep	Sn (Yonapave)
Asf.	Gran.	H Sub				Psi	Mpa		
9	64	73	17.181	103.27	4401.46	5853.94	40.36	1.0035	3.263440169
9	64	73	17.403	90.581	3481.40	4630.26	31.92	1.0484	2.849444284
9	64	73	16.26	88.77	3783.46	5032.00	34.69	1.0554	2.789862705
9	64	73	16.476	92	3921.14	5215.11	35.96	1.0429	2.896066871

Nota. Módulos de la subrasante.

Tabla N. 11.

Parámetros de HORAK

Parámetros de HORAK						Verificación r	
ICS	Calf.	IDB	Calf.	ICB	Calf.	r	¿Cumple?
µm		µm		µm			
445	Mala	363	Mala	168	Mala	57.3	Si
477	Mala	398	Mala	157	Mala	53.1	Si

Nota. Parámetros de HORAK

A fin de conocer información adicional sobre la condición relativa del pavimento, se realizan cálculos sobre el cuenco de deflexión, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla N. 12.

Parámetros Cuenco de Deflexión

Muestra numero 1		
Área	rigidez relativa entre el pavimento y su soporte	17.18
Índice de curvatura superficial	indica rigidez de las capas asfálticas	0.454
Índice de daño de la base	deformación compresiva sobre la base granular	0.366
Índice de curvatura de la base	deformación compresiva sobre la subrasante	0.167
Área	rigidez relativa entre el pavimento y su soporte	0.016
Índice de curvatura superficial	indica rigidez de las capas asfálticas	0.487
Índice de daño de la base	deformación compresiva sobre la base granular	0.401
Índice de curvatura de la base	deformación compresiva sobre la subrasante	0.156

Nota. Tomado de guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

La tabla anterior permite concluir que la rigidez del pavimento es mínima, ya que su valor máximo no debe superar los 36 y su valor mínimo (suponiendo que tiene la misma rigidez de la subrasante) es 11. En cuanto al restante de los parámetros los valores de IDB superiores a 0.15 milímetros indican la posibilidad de un comportamiento deficiente por parte de la sub base granular y superiores a 0.08 milímetros indican una condición pobre de la subrasante. Lo anterior concluye que la rigidez del pavimento es mínima y que la respuesta de la subrasante a las cargas es deficiente.

6.1.3 Evaluación funcional

La evaluación funcional incorpora la comparación de medidas de regularidad superficial y de fricción con estándares establecidos previamente por el INVIAS, en sus diferentes manuales.

Tabla N. 13.

Niveles de IRI para evaluar la lisura de pavimentos asfálticos de carreteras en servicio.

CLASIFICACIÓN	IRI (M/KM)		CONDICIÓN TÍPICA
	TRÁNSITO BAJO NT1	TRANSITO MEDIO Y ALTO NT2 Y NT3	
Bueno	<2.5	<2.0	Pavimento con gran regularidad superficial; circulación muy cómoda
Aceptable	2.5 - 4.0	2.0 - 3.5	Pavimento algo rugoso; el valor superior es advertido por los usuarios al circular a la velocidad de operación de la vía
Pobre	4.0 - 5.5	3.5 - 5.0	Rugosidad notoria; incomodidad para los conductores de los vehículos pesados
Muy pobre	>5.5	<5.0	Pavimento muy rugoso y carente de confort para todos los usuarios

Nota. Tomado de guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

Otro aspecto a considerar en la evaluación de la condición global del pavimento es la evaluación de la resistencia al deslizamiento, relacionada directamente con la fricción generada por el contacto ente el neumático y el pavimento. El segundo aspecto tiene que ver con el ruido en el contacto neumático – pavimento.

Tabla N. 14.

Umbral de resistencia al deslizamiento en pavimentos asfálticos de carreteras nacionales en servicio.

TIPO DE SECCIÓN	COEFICIENTES DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO					
	NT 1		NT 2		NT 3	
Glorietas; curvas con radios menores de 200 metros; pendientes 5% en longitudes de 100 metros o más; intersecciones; glorietas; zonas de frenado frecuente.	0.45	0.35	0.5	0.4	0.55	0.45
Otras secciones	0.4	0.3	0.45	0.35	0.45	0.35

Nota. Tomado de guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

6.1.4 Evaluación del drenaje

Este aspecto se prioriza, ya que determinara la rapidez con la que el agua puede causar los deterioros sobre el pavimento. Mediante inspección visual se determinó que los daños en el pavimento causaban desniveles en la capa asfáltica, por lo cual no existía continuidad longitudinal y transversal en el diseño vertical, lo que se traduce en un deficiente sistema de drenaje.

En la toma de muestras destructivas a una profundidad promedio de 1.48m no se encontró presencia de nivel freático, ya que los análisis de laboratorio de las muestras tomadas (pruebas destructivas) se consideran con humedad media. Así mismo, el total de las redes húmedas se encuentran canalizadas y sujetas a sistemas de drenaje compuestos por sumideros laterales.

La evidencia de ahuellamientos por causas estructurales, la presencia de daños de tipo piel de cocodrilo y las altas deflexiones, indican que se requiere mejorar las condiciones de drenaje sobre la superficie, así como considerar las cargas causadas por el tránsito, mejorar los materiales que conforman el pavimento y los procedimientos constructivos para su conformación.

6.2 Cálculo de transito de diseño

El objetivo de esta actividad es realizar el conteo vehicular en la vía ubicada sobre la calle 17a entre las carreras 55 y 56, discriminando las clases de vehículos en términos del servicio que presta, es decir, comerciales, buses y camiones.

Para tal fin se emplearon turnos de tres personas durante el día, encargadas de realizar el conteo, ubicadas en los extremos de la calle, con el fin de mitigar la incertidumbre en los datos.

Las variables que se evaluaron fueron las siguientes:

1. Las clases de vehículos a considerar son de servicio público y privado:
2. clasificación del tipo de camiones indicado por el INVIAS, 2P, 2G, 3, 3S2 y 3S3.

El conteo se realizó durante una semana de lunes a domingo, todo el día y parte de la noche, encontrado que en la noche disminuye notablemente la cantidad de vehículos que operan en la zona.

- 7 AM – 9 AM Hora Pico
- 9 AM – 4 PM Hora Valle
- 4 PM – 7 PM Hora Pico
- 8 PM – 10 PM Hora Valle

Cabe resaltar que los días festivos disminuye notablemente el número de vehículos, ya que es una vía local utilizada por los trabajadores de la zona, los vehículos de carga de las industrias aledañas y vehículos ocasionales que buscan una ruta de salida.









CLASE	ESQUEMA	CLASE	ESQUEMA
2		2S3	
3		3S1	
2S1		3S2	
2S2		3S3	

Figura 3. Tipo de camiones.

Fuente. Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

El tránsito semanal y la respectiva desviación estándar de los datos recolectados en campo es la siguiente:

Tabla N. 15.

Transito diario corregido

DÍA	TD (TRANSITO DIARIO)	DESVIACIÓN	TD CORREGIDO
1	1305	104	10816
2	1309	108	11664
3	1101	-100	10000
4	1203	2	4
5	1280	79	6241
6	1208	7	49
7	1003	-198	39204

Nota. Tomado de guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.

Tabla N. 16.

Transito promedio diario anual

Transito promedio diario semanal (TDPS)	1201		
(s)	114		
Confiabilidad (r)	80%		
Desviación estándar (zr)	-0.841		
Tránsito promedio diario anual (TPDA)	36	+ / -	1201
Rango TPDA	1237	1165	
Índice de servicio inicial	4.2		
Índice de servicio final	2.5		

Nota. Variables para el cálculo de transito promedio diario anual.

Tabla N. 17.

Composición vehicular y factores de cálculo

Automóviles	444.37
Buses	180.15
C2P	95
C2G	227
C3-C4	110
C5	44
C6	98
Factor Camión	2.42
Factor Direccional	0.5
Factor De Distribución Por Carril	0.89

Nota. Composición vehicular y sus respectivos factores de cálculo.

Tabla N. 18.

Proyección de crecimiento del tránsito en un 3% anual, periodo 10 años

Año	TPD vc	DD	DC	FC	NESEi
2020	756.63	0.5	0.89	2.42	297013.604
2021	779.3289	0.5	0.89	2.42	305924.012
2022	802.0278	0.5	0.89	2.42	314834.42
2023	824.7267	0.5	0.89	2.42	323744.828
2024	847.4256	0.5	0.89	2.42	332655.236
2025	870.1245	0.5	0.89	2.42	341565.644
2026	892.8234	0.5	0.89	2.42	350476.052
2027	915.5223	0.5	0.89	2.42	359386.46
2028	938.2212	0.5	0.89	2.42	368296.868
2029	960.9201	0.5	0.89	2.42	377207.276
2030	983.619	0.5	0.89	2.42	386117.685
NESE ACUMULADO					3757222.08

Nota. Cálculo de ejes equivalentes acumulados de 8.2 T multianual.

6.3 Diseño de pavimentos método ASSHTO

El método de diseño ASSHTO se utilizó para conocer el número estructural para posteriormente determinar los espesores de las capas de materiales del diseño, y por ende los espesores mínimos de cada una de ellas, los parámetros de diseño son los siguientes:

Tabla N. 19.

Índice de serviciabilidad (p)

INDICE DE SERVICIABILIDAD (p)	CALIFICACIÓN
0 a 1	Muy mala
1 a 2	Mala
2 a 3	Regular
3 a 4	Buena
4 a 5	Muy buena

Nota. Tomado de ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

Tabla N. 20.

Desviación estándar (So)

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTANDAR
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0.25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0.35 - 0.50

Nota. Tomado de ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

Tabla N. 21.

Clasificación funcional

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	NIVEL DE CONFIABILIDAD, R, RECOMENDADO	
	URBANA	RURAL
Interestatales y vías rápidas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Nota. Tomado de ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

Tabla N. 22.

Desviación estándar, según índice de confiabilidad.

RELIABILITY, R (PERCENT)	STANDAR NORMAL DEVIATE, ZR
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Nota. Tomado de ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

Tabla N. 23.

Calidad del drenaje, en función del tiempo que tarda el agua en ser evacuada.

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	El agua no evacúa

Nota. Tomado de ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

Según el IDEAM el promedio de lluvia total anual es de 797mm y durante el año se distribuyen en dos periodos secos y dos temporadas lluviosas¹.

Tabla N. 24.

Características del drenaje.

CARACTERISTICAS DEL DRENAJE	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	MENOS DEL 1%	1-5%	5-25%	MAS DEL 25%
Excelente	1.4-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.5-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Nota. Tomado de ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

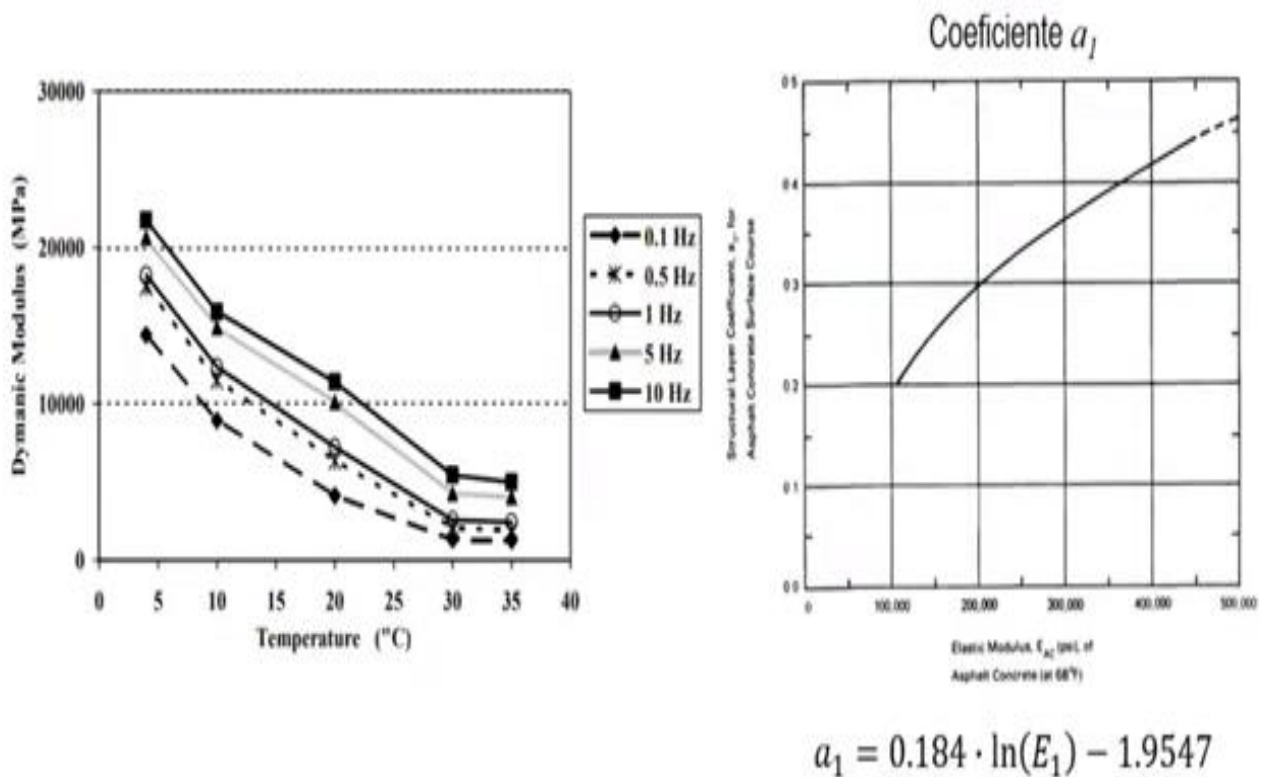


Figura 4. Cálculo del módulo de resiliencia de la carpeta asfáltica (a1).

Fuente. ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993

¹ Tomado de página WEB IDEAM,

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Horarios.pdf/f62fdf60-a35f-42b6-b8e8-4e8b5aca93d4>

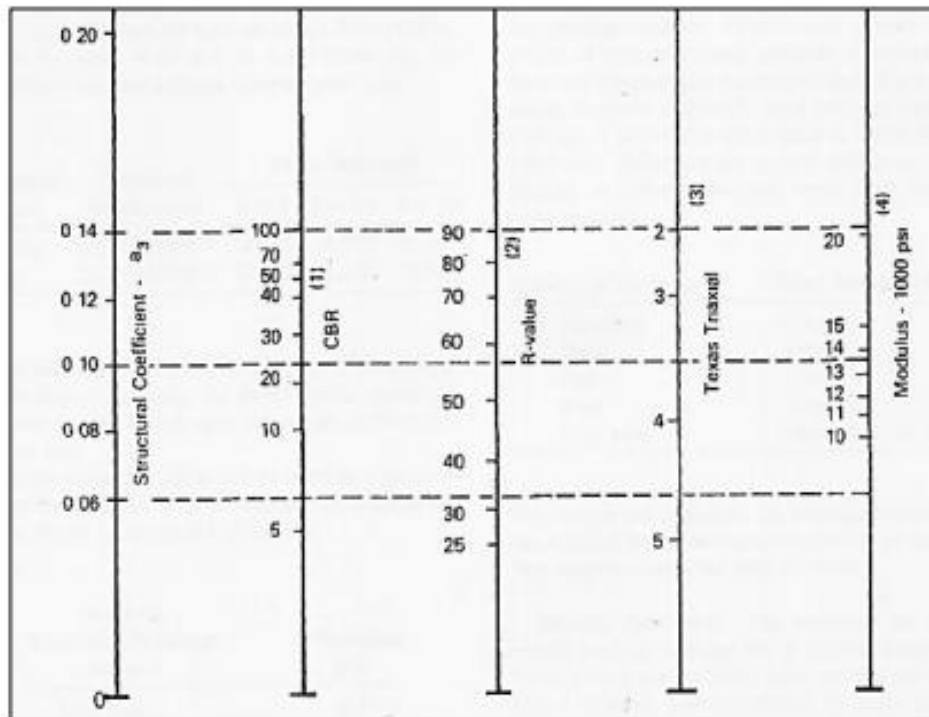


Figura 5. Gráfico para determinación coeficiente a_3 , SBG.
 Fuente. ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993

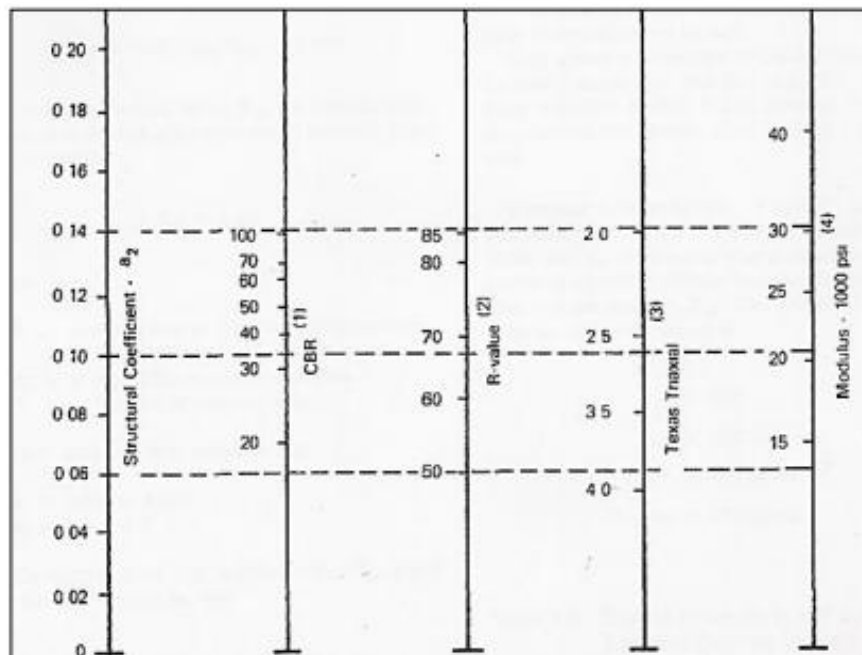


Figura 6. Gráfico para determinación coeficiente a_2 , BG.
 Fuente. ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993

El módulo de resiliencia de diseño de la subrasante generado en el retrocálculo, se utiliza para el diseño de los espesores del pavimento por el método ASSHTO. con los siguientes datos de entrada.

Tabla N. 25.

Parámetros de diseño

Parámetro	Valor
Numero de ejes equivalentes	3455750.42
Factor de confiabilidad	80.00%
Fractal de la distribución normal	-0.84
Error estándar	0.45
Índice severidad	1.70
Temperatura promedio	18.50
Espesor mínimo según n (asfalto)	87.5
Espesor mínimo según n (base granular)	150
Velocidad de operación	30
Frecuencia de carga	5
Temperatura de la capa asfáltica	28.50
Temperatura de la base granular	27.40
CBR	2.45%
Módulo resiliente subrasante	4641.0
Porcentaje número de días con lluvia	61.64%
Calidad de drenaje	REGULAR
CBR según número de ejes equivalentes SBG	40%
Módulo resiliente sub base SBG	17500.00
CBR según número de ejes equivalentes BG	80%
Módulo resiliente base BG	28500.00
Módulo resiliente carpeta asfáltica	906500.00
Coefficiente de drenaje subbase	0.80
Coefficiente de drenaje base	0.80

Nota. Variables consideradas para el diseño de espesores de los componentes de la estructura.

Tabla N. 26.

Coefficientes estructurales calculados

Coefficiente estructural subbase (a3)	0.124
Coefficiente estructural base (a2)	0.132
Coefficiente estructural asfalto (a1)	0.57

Nota. Coeficientes estructurales de los componentes de la estructura.

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 80 % $Z_r = -0.841$ So: 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4.5 PSI final: 2.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 4641 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis: Calcular SN Calcular W18

Número Estructural: SN = 4.48

W18 = 3455750.42

Botones: Calcular, Salir

Figura 7. Cálculo número estructural de subrasante por medio del software ASSHTO.
Fuente. ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 80 % $Z_r = -0.841$ So: 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 2.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 28500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis: Calcular SN Calcular W18

Número Estructural: SN = 2.37

W18 = 3455750.42

Botones: Calcular, Salir

Figura 8. Cálculo número estructural SN 1 por medio del software ASSHTO.
Fuente. ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 80 % $Z_r = -0.841$ So: 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 2.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr: 17500 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): Coeficiente de transmisión de carga - (J):

Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): Coeficiente de drenaje - (Cd):

Tipo de Análisis: Calcular SN Calcular W18

Número Estructural: SN = 2.86

W18 = 3455750.42

Botones: Calcular, Salir

Figura 9. Cálculo número estructural SN 2 por medio del software ASSHTO.
Fuente. ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993

Tabla N. 27.

Números estructurales calculados por el software ASSHTO

SN 1	2.37
SN 2	2.86
SN 3	5.06

Nota. Numero estructural para cada componente de la estructura de pavimento.

Tabla N. 28.

Espesores mínimos en pulgadas según números estructurales

Esesor	Esesor	Unidad	Esesor Mínimo Aprox.
h1	4.16	in	4
h2	5.51	In	6
h3	21.62	in	22

Nota. Espesores de las capas de la estructura de pavimentos según método ASSHTO.

Tabla N. 29.

Números estructurales definitivos según espesor elegido

SN´ (1)	2.28
SN´ (2)	2.91
SN´ (3)	5.10

Nota. Numero estructural corregido para cada componente de la estructura de pavimento.

6.4 Comprobación del diseño por el método racional con el software DEPAV.

Una vez determinados los espesores que cumplen con las condiciones de diseño del método ASSHTO en cuanto a serviciabilidad, confiabilidad, módulo de resiliencia y numero estructural, se ingresaron los datos en el software DEPAV², a fin de conocer la resistencia de la estructura propuesta en términos de resistencia a la fatiga, según el número de ejes equivalentes y el factor de daño.

En primer lugar, se determinaron las variables de ingreso necesarias para la modelación en el software como se muestra en la siguiente tabla:

Con la información recolectada y procesada se concluyeron los aspectos presentados en el presente capítulo

² Software creado por la Universidad de Cauca en el año 1994. Su función es definir la estructura del pavimento, las propiedades de las capas entre 2 y 6, las características de la carga aplicada y la interpretación del análisis estructural.

Tabla N. 30.

Datos de entrada para modelación de la estructura diseñada

Numero de ejes equivalentes	e
CBR	2.45%
Temperatura promedio	18.5
Porcentaje número de días con lluvia	61.64%
Velocidad de operación	30
Calidad de drenaje	regular
Módulo resiliente subrasante	4641
Módulo resiliente subrasante	258.8028169
Módulo resiliente sub base SBG	11658.22612
Módulo resiliente sub base SBG	821.0018396
Módulo resiliente base BG	29621.16672
Módulo resiliente base BG	2085.997656
Relación de poissón base y subbase	0.35
Relación de poissón subrasante	0.4
Velocidad de operación	30
Temperatura promedio	18.5
Temperatura de la capa asfáltica	28.5
Módulo resiliente de la capa asfáltica	906500.00
Módulo resiliente de la capa asfáltica	63838.02817

Nota. Datos de ingreso software DEPAV.

Tabla N. 31.

Relación de Poisson de acuerdo a la temperatura de la capa asfáltica.

Temperatura de la capa asfáltica (°C)	Relación de Poisson
<5	0.15 - 0.20
5 a 21	0.20 - 0.30
21 a 37	0.30 - 0.40
37 a 54	0.40 - 0.48
>54	0.45 - 0.48

Nota. Diseño de pavimento flexible y rígido, Universidad del Quindío.

Capa **1** Copiar en la estructura Cancelar

Las ecuaciones y los coeficientes propuestos han sido publicados en diferentes referencias. Sin embargo, es indispensable que el usuario caracterice sus materiales particulares para un adecuado diseño.

Agrietamiento por tracción repetida en la parte inferior de las capas cementadas

$$N_f = C * k_1 * \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{k_2} * \left(\frac{1}{E}\right)^{k_3}$$

Nf: Número de repeticiones de carga para la falla.
 C: Coeficiente de ajuste laboratorio vs. campo.
 εt: Deformación horizontal de tracción en la capa.
 E: Módulo de la capa (kg./cm²).
 k1 a k3: Coeficientes empíricos de regresión.

Modelo	C	k1	k2	k3	Material
<input type="radio"/> Nottingham	1.00	8.8903E-13	4.90196	0.000	HMA
<input type="radio"/> CRR	1.00	4.8561E-14	4.76190	0.000	HMA
<input type="radio"/> MnROAD	1.00	2.8300E-06	3.14800	0.000	HMA
<input checked="" type="radio"/> Asphalt Institute (1982)	18.4		3.29100	0.854	HMA
<input type="radio"/> MEPDG (2004)	1.00		3.94920	1.281	HMA
<input type="radio"/> Shell Oil (MEPDG 2004)	1.00		5.00000	1.400	HMA
<input type="radio"/> AUSTRROADS (1987)	1.00	1.2275E-34	18.0000	6.960	CTB
<input type="radio"/> QUEENSLAND (1988)	1.00	6.6124E-26	12.0000	3.580	CTB

Módulo de la capa (kg./cm²) 63733

Variables adicionales para calcular k1

Índice de penetración del asfalto, IP 0

Volumen de vacíos de aire, va (%) 5.0

Volumen de bitumen, Vb (%) 11.0

Espesor total de las capas asfálticas, hCA (cm) 10

Cálculo de k1

HMA: Mezcla asfáltica en caliente. CTB: Base tratada con cemento.

USUARIO 18.4 3.29100 0.854

Asphalt Institute (1982)

MEPDG (2004)

Shell Oil (MEPDG 2004)

Figura 10. Agrietamiento por tracción repetida en la parte interior de las capas
 Fuente. ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993

Geometría del semieje de carga sobre el pavimento

Modelo	P(ton.)	A (cm)	D (cm)	q (kgf/cm²)
<input checked="" type="radio"/> MOPT UNICAUCA	8.200	10.8	32.4	5.594
<input type="radio"/> ASPHALT INSTITUTE	8.164	11.5	34.5	4.912
<input type="radio"/> SHELL OIL	8.156	10.5	31.5	5.887
<input type="radio"/> GUÍA FRANCESA 1994	13.26	12.5	37.5	6.752
<input type="radio"/> RUEDA SENCILLA	8.200	15.0	0.00	5.800
<input type="radio"/> Definido por el usuario	<input type="text" value="8.200"/>	<input type="text" value="10.8"/>	<input type="text" value="32.4"/>	<input type="text" value="5.594"/>

Para una rueda sencilla emplee D = 0.0 cm.

El programa calcula la presión de contacto.

Copiar a la estructura Cancelar

Figura 11. Agrietamiento por tracción repetida en la parte interior de las capas
 Fuente. ASSHTO Guide for designing of pavement structures 1993

Resultados del análisis

Archivo

Descripción del proyecto CALLE 17ª ENTRE CARRERAS 55 Y 56

Sistema de carga		Posición del valor máximo para una carga		Gráficos de respuesta
Radio de las ruedas (cm)	10.80	A Bajo una rueda simple B Bajo una de las ruedas de la carga C Al centro de la carga		Exportar resultados a Excel (csv)
Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	32.40			
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²)	5.594			

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

No.	E (kgf/cm²)	v	Z (cm)	Sigma		Tracción (fatiga)			Compresión				
				T (kgf/cm²)	Z (kgf/cm²)	Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño		
1	6.373E+04	0.35	0.00	2.488E+01	B	5.598E+00	A	246.0	C				
			10.00	-2.131E+01	B	9.830E-01	B	-242.0	B	4.7365E+05	7.296	231.0	B
2	2.082E+03	0.35	10.00	-2.101E-01	C	9.830E-01	B	-242.0	B				
			25.00	-1.285E+00	C	4.986E-01	C	-522.0	C			636.0	C
3	8.199E+02	0.35	25.00	5.853E-01	C	4.986E-01	C	262.0	C				
			80.00	-3.283E-01	C	1.785E-01	C	-343.0	C			119.0	C
4	2.580E+02	0.40	80.00	1.611E-01	C	1.785E-01	C	99.0	C				
											491.0	C	
										193.0	C	5.8169E+07	0.059

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm)	112.96	Salir y descartar los resultados
Radio de curvatura (m)	180.56	
Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100)	20396.0	

Figura 12. Análisis estructural de la superficie propuesta.
Fuente. Propia.

6.5 Diseño contemplando el uso de geoceldas

Alternativa de mejoramiento con geocelda, como sistema de confinamiento celular que garantiza durabilidad y estabilidad dimensional a fin de prolongar la vida útil de la vía entre las mayores ventajas que presenta es que incrementa la capacidad portante de la subrasante, genera una membrana tensionada transfiriendo cargas puntuales a zonas estables, reduce las fallas por tensión y resistencia al corte, ahorra en costos por espesores de materiales.

De acuerdo al módulo de resiliencia de la subrasante se determina el espesor del material granular que cubrirá la geocelda, como se muestra en la ecuación N.18.

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 * \left(\frac{3.48 CBR_b c^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{s}{f_s} \left[1 - 0.9e^{-\frac{r^2}{h}}\right] N c f c CBR_{sg}} - 1} r \quad (18)$$

Para el desarrollo de esta fórmula, se consideraron 200 repeticiones para una carga de 82KN durante el proceso de estabilización.

Tabla N. 32.

Datos de entrada para cálculo del espesor de la capa granular que cubrirá la Geocelda.

Presión de inflado	590	psi
Carga por eje	80	kN
Numero de repeticiones	160000	kN
Carga por rueda	41	kN
Radio de carga	0.108	m
CBR subrasante	2.40%	
CBR material granular	4.00%	
Ahuellamiento permitido	60	mm
FS	75	mm
FC	30	kPa
NC	5.71	

Nota. Datos iniciales para el diseño de la geocelda

El cálculo de la capa de material granular, determinado con la ecuación anterior, dio como resultado 0.15m, de material. Se estima que el CBR requerido para la subrasante es de 3.0%, por lo cual los 15cm de Geocelda cubierta por material granular con CBR no inferior al 10%, permitirán alcanzar dichos valores.

A fin de optimizar el espesor de los materiales y mejorarla respuesta estructural del pavimento, se analiza la inclusión de una Geomalla Biaxial, que presente entre 19KN/m y 29KN/m de resistencia a la tensión, determinando el valor del LCR³.

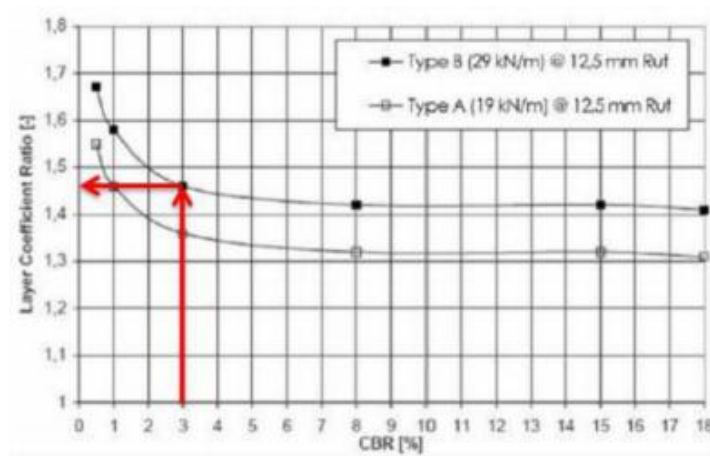


Figura 13. Valores de LCR.

Fuente. Sociedad de ingenieros civiles de Estados Unidos.

Para el respectivo análisis se proyectó un CBR de 3% en una Geomalla que presente 29 KN/m de resistencia a la tensión, lo cual arrojó un valor de 1.47, al que se le aplicó un factor de seguridad de 1.15, a fin de definir un valor de LCR de diseño de 1.29 seguridad.

³ Layer Coefficient Ratio, curvas que determinan la resistencia a la tracción de acuerdo con ensayos de pavimentos empíricos.

7. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos a través de los métodos empleados, acordes a los objetivos planteados son los siguientes:

7.1 Evolución de la condición global del pavimento

Teniendo en cuenta la guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras, se debe evaluar estructural y funcionalmente el pavimento existente a fin de definir los procesos para la optimización del pavimento, los cuales van desde el mantenimiento hasta la reconstrucción total. Para el primer caso, se considera la información recolectada mediante los diagnósticos visuales de deterioros (método PCI y método VIZIR), las deflexiones realizadas, las pruebas destructivas y la evaluación del drenaje. En el segundo caso se tienen en cuenta la evaluación de deterioros, los resultados de las medidas de regularidad superficial, fricción, ruido y drenaje superficial.

7.2 Proyección de tránsito a diez años

En la proyección de ejes equivalentes de 8.2 T se determinó que el número acumulado de ejes simples que transitarán la vía de diseño es 3.455.750.416 (Transito NT3).

Tabla N. 33.

Proyección número de ejes acumulados de 8.2 T

AÑO	TPD vc	DD	DC	FC	NESEi
0	756.63	0.5	0.89	2.42	297013.6035
1	779.3289	0.5	0.89	2.42	305924.0116
2	802.0278	0.5	0.89	2.42	314834.4197
3	824.7267	0.5	0.89	2.42	323744.8278
4	847.4256	0.5	0.89	2.42	332655.2359
5	870.1245	0.5	0.89	2.42	341565.644
6	892.8234	0.5	0.89	2.42	350476.0521
7	915.5223	0.5	0.89	2.42	359386.4602
8	938.2212	0.5	0.89	2.42	368296.8683
9	960.9201	0.5	0.89	2.42	377207.2764
10	983.619	0.5	0.89	2.42	386117.6846
NESE ACUMULADO					3757222.084
N° CORREGIDO					3455750.416

Nota. Tránsito de diseño a un periodo de diez años.

El perfil estratigráfico de la vía en estudio, cuyo pavimento se pretende diseñar, según los apiques realizados, a una altura promedio de 1.48m es el siguiente:

Tabla N. 34.

Componentes de la estructura de pavimento existente.

No	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN	PERFIL ESTRATIGRAFICO
1	M-1	0.00 – 0.09	CARPETA ASFALTICA DETERIORADA CON CUERO DE CAIMAN	
1	M-1	0.00 – 0.29	MACADAN en matriz, arenosa, amarillo, sobre tamaños >10cm; humedad media, plasticidad NL – NP, olor ninguno; materia orgánica sin indicios; compacidad medio denso.	
2	M-2	0.29 – 0.56	GRANULAR arenoso, amarillo, gravas 1 ½”, humedad media, plasticidad NI -NP, olor ninguno, materia orgánica sin indicios; compacidad medio denso.	
3	M-3	0.56 – 0.73	ARENA gravosa, amarilla, algunas gravas, humedad media, plasticidad NL – NP, olor ninguno, materia orgánica sin indicios, compacidad medio denso.	
4	M-4	0.73 – 1.48	ARCILLA limosa, habana, vetas de óxido, humedad media, plasticidad alta, olor ninguno, materia orgánica sin indicios, compacidad medio firme.	

Nota. Perfil estratigráfico de las muestras de suelo tomadas.

7.3 Alternativas de diseño según información recolectada

Los diseños que se presentan a continuación se realizaron tomando el valor de deflectometría calculado por el Método ASSHTO, esto con el fin de tomar una posición conservadora en el momento de calcular los espesores de diseño.

7.3.1 Diseño mediante el software ASSHTO y verificando la falla por fatiga a través del software DEPAV se presentan la siguiente alternativa

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc. ×

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas)

CALLE 17a ENTRE CARRERAS 55 Y 56

Número de capas: 2 3 4 5 6

Archivo:

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm ²)	v	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión				
					C*k1*(1/E)*k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado		
1	63838.028	0.35	¿E?	15	<input checked="" type="checkbox"/>	6.3168E-07	3.2910	3455750.42	<input type="checkbox"/>			
2	2330.42	0.35	¿E?	35	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	3455750.42
3	710.757	0.35	¿E?	35	<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	3455750.42
4	258.80	0.4	¿E?		<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	3455750.42

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm)

Distancia entre ruedas (cm)

Presión de contacto (kgf/cm²)

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.

Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.

Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.

Luis Ricardo Vásquez Varela, 2018.

Figura 14. Modelación de los espesores propuestos en el software DEPAV.

Fuente. Propia.

Resultados del análisis

Archivo

Descripción del proyecto CALLE 17a ENTRE CARRERAS 55 Y 56

Sistema de carga		Posición del valor máximo para una carga		Gráficos de respuesta	
Radio de las ruedas (cm)	<input type="text" value="10.80"/>	A	Bajo una rueda simple	<input type="button" value="Gráficos de respuesta"/>	
Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	<input type="text" value="32.40"/>	B	Bajo una de las ruedas de la carga	<input type="button" value="Exportar resultados a Excel (csv)"/>	
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm ²)	<input type="text" value="5.594"/>	C	Al centro de la carga		

Respuestas estructurales en las interfases y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas:

No.	E (kgf/cm ²)	v	Z (cm)	Sigma T (kgf/cm ²)		Sigma Z (kgf/cm ²)		Tracción (fatiga)			Compresión				
								Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño		
1	6.384E+04	0.35	0.00	1.530E+01	B	5.598E+00	A	137.0	C						
				Continúa	15.00	-1.152E+01	B	6.587E-01	B	-132.0	C	3.6956E+06	0.935	127.0	B
2	2.330E+03	0.35	15.00	-7.995E-02	C	6.587E-01	B	-132.0	C			297.0	B	8.4450E+06	0.409
				Discontinúa	50.00	-7.026E-01	C	1.326E-01	C	-221.0	C			262.0	C
3	7.107E+02	0.35	50.00	1.438E-01	C	1.326E-01	C	67.8	C			46.7	C	3.3389E+10	0.000
				Discontinúa	85.00	-9.116E-02	C	9.799E-02	C	-134.0	C			225.0	C
4	2.590E+02	0.40	85.00	8.841E-02	C	9.799E-02	C	54.1	C			106.0	C	8.5082E+08	0.004

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm)

Radio de curvatura (m)

Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100)

Figura 15. Respuesta estructural a la superficie propuesta por tracción y compresión.

Fuente. Propia.

Tabla N. 35.

Respuesta estructural a la superficie propuesta por tracción y compresión.

Convención	Espesor (cm)	Tipo	Observación
	6	MD 12	A fin de generar una superficie de rodamiento cómoda, uniforme, rugosa e impermeable
	9	MD 20	A fin de resistir los esfuerzos inducidos y generar una superficie homogénea se propone mezcla asfáltica MD20
	35	BG-A	De acuerdo al estudio de tránsito (ejes equivalente anuales) y las especificaciones técnicas del IDU, la base granular debe ser tipo A
	35	SBG-A	De acuerdo al estudio de tránsito (ejes equivalente anuales) y las especificaciones técnicas del IDU, la subbase granular debe ser tipo A
		Geotextil T 2400	A fin de separar la subrasante (arcillas y componentes orgánicos) de las capas granulares, se propone el uso de geotextil T2400, ya que el valor del CBR es superior a 1%

Nota. Diseño propuesto con utilización de bases y subbases granulares con buen comportamiento estructural.

7.3.2 Incorporación de geoceldas

El diseño de la Geocelda incluye el espesor del material granular que lo va a soportar, según el procedimiento base para la obtención de dicho espesor, se concluyó que será de 0.15m. Se utilizará un geotextil tejido para separar las arcillas que conforma la subrasante de la Geocelda y la subbase granular que la cubre.

Ya que los cálculos indican que la subbase debe tener un CBR superior al 10%, se propone una subbase granular tipo A, ya que presenta buen comportamiento estructural. Los cálculos realizados indicaron que a fin de mejorar la respuesta estructural de la Geocelda y minimizar los espesores de las capas adyacentes, se plantea una Geomalla biaxial entre las capas granulares. Las especificaciones del proveedor, destacan las siguientes características:

Tabla N. 36.

Propiedades Geocelda 445 - 150

PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	VALOR
Resistencia a la tensión en el punto de fluencia valor mínimo (+/-3%)	ASTM D6693	kN/m	22
Resistencia a la tensión en el punto de rotura valor mínimo (+/-3%)	ASTM D6693	kN/m	16
Resistencia en la soldadura valor mínimo (+/-7%)	USACE GL-86-19 ISO 13426-1 Método B	N	2325
Material			HDPE Virgen
Densidad	ASTM D1505	g/cm ³	0.945-0.960

Nota. Tomado de Geomatrix.

Tabla N. 37.

Diseño de la sección de pavimento con Geocelda.

Convención	Espesor (cm)	Tipo	Observación
	10	MD 12	A fin de generar una superficie de rodamiento cómoda, uniforme, rugosa e impermeable
	35	BG-A	De acuerdo al estudio de tránsito (ejes equivalente anuales) y las especificaciones técnicas del IDU, la base granular debe ser tipo A.
		Geomalla biaxial	Alcance de 30KN para soporte en proceso de compactación.
	20	SBG-A	De acuerdo al estudio de tránsito (ejes equivalente anuales) y las especificaciones técnicas del IDU, la subbase granular debe ser tipo A.
	15	Geocelda	Geocelda llena con material de lleno SBG-C para superar CBR 4%
		Geotextil T 2400	A fin de separar la subrasante (arcillas y componentes orgánicos) de las capas granulares, se propone el uso de geotextil T2400, ya que el valor del CBR es superior a 1%

Nota. Diseño propuesto con incorporación de geoceldas como alternativa para el mejoramiento de la subrasante.

7.3.3 Incorporación base estabilizada con asfalto

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas) DISEÑO PAVIMENTOS CALLE 17a ENTRE CARRERAS 55 Y 56

Número de capas 2 3 4 5 6

Archivo:

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm ²)	ν	h (cm)	Liga	Daño por tensión			Daño por compresión			
					C*k1*(1/E)^k3	k2	N esperado	k4	k5	N esperado	
1	63838.028	0.35	10	<input checked="" type="checkbox"/>	6.3168E-07	3.2910	3455750.42	<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	3455750.42
2	6702	0.35	20	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	3455750.42
3	710.76	0.35	30	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	3455750.42
4	258.8	0.45		<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	1.3650E-09	4.4770	3455750.42

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm) 10.80

Distancia entre ruedas (cm) 32.40

Presión de contacto (kgf/cm²) 5.594

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.

Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.

Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.

Luis Ricardo Vásquez Varela, 2018.

Figura 16. Modelación de los espesores propuestos en el software DEPAV. Fuente. Propia.

Resultados del análisis

Archivo

Descripción del proyecto DISEÑO PAVIMENTOS CALLE 17a ENTRE CARRERAS 55 Y 56

Sistema de carga

Radio de las ruedas (cm) 10.80

Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 32.40

Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) 5.594

Posición del valor máximo para una carga

A Bajo una rueda simple

B Bajo una de las ruedas de la carga

C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas: 4

No.	E (kgf/cm ²)	ν	Z (cm)	Tracción (fatiga)		Compresión					
				Sigma T (kgf/cm ²)	Sigma Z (kgf/cm ²)	Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño
1	6.384E+04	0.35	0.00	1.713E+01	5.598E+00	155.0			-106.0		
	Continua		10.00	-9.861E+00	1.774E+00	-119.0	5.1984E+06	0.665	127.0		
			30.00	-2.050E+00	2.733E-01	-228.0			275.0	1.1919E+07	0.290
			60.00	-1.428E-01	1.091E-01	-189.0			240.0		
2	6.702E+03	0.35	10.00	-2.407E-01	1.774E+00	-119.0			454.0	1.2633E+06	2.736
	Continua		30.00	-8.566E-02	2.733E-01	-228.0			290.0		
			60.00	-1.428E-01	1.091E-01	-189.0			407.0	2.0605E+06	1.677
3	7.107E+02	0.35	30.00	-8.566E-02	2.733E-01	-228.0					
	Continua		60.00	-1.428E-01	1.091E-01	-189.0					
4	2.590E+02	0.45	60.00	2.855E-03	1.091E-01	-189.0					

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 70.60

Radio de curvatura (m) 317.23

Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 22396.1

Salir y descartar los resultados

Figura 17. Respuesta estructural a la superficie propuesta por tracción y compresión. Fuente. Propia.

Tabla N. 38.

Diseño de la sección de pavimento acorde a las exigencias requeridas.

Convención	Espesor (cm)	Tipo	Observación
	10	MD 12	A fin de generar una superficie de rodamiento cómoda, uniforme, rugosa e impermeable
	20	Base estabilizada con asfalto	Base estabilizada con asfalto (resistencia a la compresión no confinada (50 Kg/cm ²).
		Geotextil T 2400	A fin de separar la subrasante (arcillas y componentes orgánicos) de las capas granulares, se propone el uso de geotextil T2400, ya que el valor del CBR es superior a 1%
	5	SBG-C	Material para sello de rajón, que genere uniformidad en la capa inferior
	30	Rajón	Rajón para mejoramiento de la subrasante e=0.30m aproximadamente.

Nota. Diseño propuesto con incorporación de base estabilizada con asfalto y mejoramiento de la subrasante con rajón, diámetro promedio de 0.30m.

7.4 Presupuesto de materiales

El costo total basado en los precios contractuales establecidos por el IDU, para la aplicación del diseño de las tres alternativas, es el siguiente:

- (I) el uso de geosintéticos para el mejoramiento de la subrasante \$136,492,929.90.
- (II) utilización de bases y subbases granulares con buen comportamiento estructural \$183,937,196.38.
- (III) utilización de bases estabilizadas con asfalto que mejoren la capacidad portante de la estructura inferior y mezclas asfálticas con alta resistencia a la tracción y compresión, \$226,308,302.80.

La descripción del presupuesto que totaliza los costos anteriormente mencionados se encuentra especificado en el anexo número 1 del documento.

8. Conclusiones

A partir del aforo realizado y aplicando la metodología descrita por el manual para el diseño de pavimentos flexibles con bajos niveles de tráfico, se logró determinar que en un periodo de diez años y con una tasa de crecimiento anual del 3%, el número de ejes equivalentes de 8.2 T es 3455750.416. Esta variable fue utilizada para determinar los requerimientos estructurales de las capas de pavimento en cuanto a espesores y tipos de materiales a implementar a fin de que la subrasante tolere los esfuerzos producidos por el tránsito estimado, sin que el nivel final de serviciabilidad disminuya de 2.5, como lo menciona la norma AASHTO para una vía local intermedia. Lo anterior garantizara, que el estado superficial de pavimento no presentara el nivel de deterioro actual en un transcurso de diez años.

De acuerdo con el estudio geotécnico realizado, se pudo concluir que la subrasante está clasificada como una arcilla limosa, habana, con vetas de óxido, de humedad media, plasticidad alta, sin olor ni indicios de materia orgánica y de compacidad medio firme; localizada a una profundidad de aproximadamente 0.75m, lo cual indica que el nivel de excavación no puede ser inferior a este valor e incluso se recomienda una excavación de aproximadamente 0.85m a partir de la rasante existente, con el fin de realizar una limpieza en el área que estuvo en contacto con la estructura de pavimento actual. Adicional a lo anterior y por medio de método de retrocálculo a partir de las deflectometrías realizadas se logró concluir que el módulo resiliente de la subrasante es de aproximadamente 32Mpa, lo cual demanda una estructura de pavimento con altas respuestas estructurales, a fin de garantizar una mejora en la capacidad portante del suelo.

Adicional a lo anterior y según la inspección visual de las condiciones de pavimento superficial y las deflectometrías realizadas, se logró determinar que hay presencia de ahuellamientos en la subrasante, ocasionados posiblemente por filtraciones de agua y sobrecargas en la superficie. Esto indica que la vía es clasificada en mal estado y por lo tanto los diseños a plantear requieren de una estructura de pavimento nueva y no de rehabilitación de la existente.

Una vez evaluada la capacidad portante de la subrasante y su módulo resiliente, se plantearon tres propuestas de diseño de una estructura de pavimento que tolere los esfuerzos de $3.4 \cdot 10^6$ ejes equivalentes de 8.2 t, en un periodo de diseño de diez años y con un índice de serviciabilidad no menor a 2.5. A partir de estos parámetros se concluyó que las estructuras que soportan dichas solicitaciones son las que incorporan el uso de geosintéticos para el mejoramiento de la subrasante, el uso de bases y subbases granulares con buen comportamiento estructural, el uso de bases estabilizadas con asfalto que mejoren la capacidad portante de la estructura inferior y mezclas asfálticas con alta resistencia a la tracción y compresión. A pesar de tener en cuenta que los espesores descritos en las tres alternativas y los materiales propuestos soportan las cargas estimadas a tracción y compresión, la recomendación es la alternativa que incorpora el mejoramiento de la subrasante con rajón ya que se clasificó como una arcilla limosa, su CBR sumergido no supera el 2.5% y se encuentran hundimientos y deformaciones plásticas que se han reflejado en la superficie. Con el uso del rajón se mitigarán asentamientos diferenciales y mejoras en las características mecánicas de la subrasante, así como facilidad en el drenaje de las aguas subterráneas, para su posterior encausamiento en los filtros propuestos en otras etapas de este proyecto.

9. Bibliografía

- Cordo, i. o. (septiembre de 2006). *Diseño de pavimento metodo aashto 93 español*. Obtenido de https://www.academia.edu/34103801/disenio_de_pavimento_metodo_aashto_93_espanol_1_
- Ferrer, s. a. (2019). *4.1 Influencia de la adición de policloruro de vinilo reciclado sobre la compactación, capacidad de soporte y resistencia a la abrasión de un material granular para capa de base del pavimento flexible de la carretera huanchaco – santiago de cao. trujillo*.
- Gil, a. o.-j. (2015). Analisis de costos de construcción asociados al diseño racional de pavimentos con diferentes modelos de fatiga. *scielo*, 12.
- IDU(instituto de desarrollo urbano). (s.f.). *Mejoramiento de la subrasante con rajon 321-11*. Obtenido de <https://www.idu.gov.co/web/content/7604/321-11.pdf>
- INVIAS. (abril de 2007). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de transito* . obtenido de invias: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/987-manual-de-diseno-de-pavimentos-asfalticos-para-vias-con-bajos-volumenes-de-transito>
- VÍAS, i. n. (2009). *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras*. Bogotá: Segunda Edición.

10. Anexo 1 (Presupuesto de las propuestas de diseño)

Tabla N. 39.

Presupuesto que involucra la utilización de bases y subbases granulares con buen comportamiento estructural.

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
REPLANTEO GENERAL	M2	\$ 580	617.99	\$ 358,434.20
EXCAVACION MECANICA EN MATERIAL COMUN (Incluye Cargue)	M3	\$ 4,578	525.29	\$ 2,404,784.49
TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS EN SITIO AUTORIZADO (distancia de transporte 28 Km)	M3	\$ 30,070	525.29	\$ 15,795,515.41
NIVELACION Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE	M2	\$ 1,105	617.99	\$ 682,878.95
SUBBASE GRANULAR CLASE A (SBG_A) (Suministro, Extendido, Nivelación, Humedecimiento y Compactación con vibro compactador)	M3	\$ 110,017	216.30	\$ 23,796,292.04
BASE GRANULAR CLASE A (BG_A) (Suministro, Extendido, Nivelación, Humedecimiento y Compactación con vibro compactador)	M3	\$ 114,609	216.30	\$ 24,789,525.57
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD20 ASFALTO CONVENCIONAL 60-70 (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación con vibro compactador y compactador de llantas)	M3	\$ 627,996	55.62	\$ 34,928,572.32
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD12 ASFALTO CONVENCIONAL 80-100 (cemento asfáltico 80-100) (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación con Vibro compactador y compactador de llantas)	M3	\$ 615,458	37.08	\$ 22,820,813.37
IMPRIMACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRL-1 (INCLUYE SUMINISTRO, BARRIDO DE SUPERFICIE Y RIEGO).	M2	\$ 1,695	617.99	\$ 1,047,493.05
RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRR-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego)	M2	\$ 1,727	617.99	\$ 1,067,268.73
FRESADO PAVIMENTO ASFÁLTICO Profundidad de Fresado 0 - 18 cm. (Incluye Cargue). Incluye agua, puntas. No incluye transporte de maquinaria, transporte del fresado ni disposición final.	M3	\$ 76,889	61.80	\$ 4,751,663.31
GEOTEXTIL T2400 PARA SEPARACION SUBRASANTE/CAPAS GRANULARES (Incluye Suministro e Instalación)	M2	\$ 6,553	617.99	\$ 4,049,688.47
TOTAL, PRESUPUESTO ATERNATIVA DE DISEÑO NUMERO UNO				\$ 136,492,929.90

Tabla N. 40.

Presupuesto alternativo que involucra el uso de geosintéticos para el mejoramiento de la subrasante.

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
REPLANTEO GENERAL	M2	\$ 580	617.99	\$ 358,434.20
EXCAVACION MECANICA EN MATERIAL COMUN (Incluye Cargue)	M3	\$ 4,578	525.29	\$ 2,404,784.49
TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS EN SITIO AUTORIZADO (distancia de transporte 28 Km)	M3	\$ 30,070	525.29	\$ 15,795,515.41
NIVELACION Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE	M2	\$ 1,105	617.99	\$ 682,878.95
GEOMALLA BIAxIAL PARA REFUERZO DE CAPAS ASFÁLTICAS EN FIBRA DE VIDRIO (R-100)	M2	\$ 9,813	617.99	\$ 6,064,335.87
BASE GRANULAR CLASE A (BG_A) (Suministro, Extendido, Nivelación, Humedecimiento y Compactación con vibro compactador)	M3	\$ 114,609	216.30	\$ 24,789,525.57
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD20 ASFALTO CONVENCIONAL 60-70 (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación con vibro compactador y compactador de llantas)	M3	\$ 627,996	55.62	\$ 34,928,572.32
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD12 ASFALTO CONVENCIONAL 80-100 (cemento asfáltico 80-100) (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación con vibro compactador y compactador de llantas)	M3	\$ 615,458	37.08	\$ 22,820,813.37
IMPRIMACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRL-1 (INCLUYE SUMINISTRO, BARRIDO DE SUPERFICIE Y RIEGO).	M2	\$ 1,695	617.99	\$ 1,047,493.05
RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRR-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego)	M2	\$ 1,727	617.99	\$ 1,067,268.73
FRESADO PAVIMENTO ASFÁLTICO Profundidad de Fresado 0 - 18 cm. (Incluye Cargue). Incluye agua, puntas. No incluye transporte de maquinaria, transporte del fresado ni disposición final.	M3	\$ 76,889	61.80	\$ 4,751,663.31
SUBBASE GRANULAR CLASE C (SBG_C) (Suministro, extendido manual, Humedecimiento y Compactación)	M3	\$ 106,446	92.70	\$ 9,867,384.53
GEOTEXTIL T2400 PARA SEPARACION SUBRASANTE/CAPAS GRANULARES (Incluye Suministro e Instalación)	M2	\$ 6,553	617.99	\$ 4,049,688.47

GEOCELDA HDPE PERFORADA, ALTURA 15 CM (Suministro e instalación).	M2	\$ 35,459	617.99	\$ 21,913,307.41
GEOMALLAS CON FIBRAS CONTINUAS DE MULTIFILAMENTOS DE POLIESTER DE ALTA TENACIDAD (IDU ET SECCION 342-11 TRAFICO T4 - T5, RESISTENCIA ULTIMA > 75KN/m) Y/O SIMILAR. SUMINISTRO E	M2	\$ 15,533	617.99	\$ 9,599,238.67
TOTAL, PRESUPUESTO ATERNATIVA DE DISEÑO NUMERO DOS				\$ 183,937,196.38

Fuente. Propia.

Tabla N. 41.

Presupuesto que involucra la utilización de bases estabilizadas con asfalto que mejoren la capacidad portante de la estructura inferior y mezclas asfálticas con alta resistencia a la tracción y compresión.

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
REPLANTEO GENERAL	M2	\$ 580	617.99	\$ 358,434.20
EXCAVACION MECANICA EN MATERIAL COMUN (Incluye Cargue)	M3	\$ 4,578	525.29	\$ 2,404,784.49
TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE ESCOMBROS EN SITIO AUTORIZADO (distancia de transporte 28 Km)	M3	\$ 30,070	525.29	\$ 15,795,515.41
ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTE CON RAJÓN, INCLUYE EQUIPO DE COMPACTACIÓN (SUMINISTRO, EXTENDIDO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN CON EQUIPO MECÁNICO)	M3	\$ 80,580	185.40	\$ 14,939,290.26
NIVELACION Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE	M2	\$ 1,105	617.99	\$ 682,878.95
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE TIPO DENSO MD12 ASFALTO CONVENCIONAL 80-100 (cemento asfáltico 80-100) (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación con vibro compactador y compactador de llantas)	M3	\$ 615,458	61.80	\$ 38,034,688.94
IMPRIMACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRL-1 (INCLUYE SUMINISTRO, BARRIDO DE SUPERFICIE Y RIEGO).	M2	\$ 1,695	617.99	\$ 1,047,493.05

RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA CRR-1 (Suministro, Barrido Superficie y Riego)	M2	\$ 1,727	617.99	\$ 1,067,268.73
FRESADO PAVIMENTO ASFÁLTICO Profundidad de Fresado 0 - 18 cm. (Incluye Cargue). Incluye agua, puntas. No incluye transporte de maquinaria, transporte del fresado ni disposición final.	M3	\$ 76,889	61.80	\$ 4,751,663.31
BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA (50 Kg/CM2)	M3	\$ 352,641	123.60	\$ 43,585,722.32
SUBBASE GRANULAR CLASE C (SBG_C) (Suministro, extendido manual, Humedecimiento y Compactación)	M3	\$ 106,446	30.90	\$ 3,289,128.18
TOTAL, PRESUPUESTO ATERNATIVA DE DISEÑO NUMERO TRES				\$ 226,308,302.80

Fuente. Propia.