

**COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS EN
TUNJA CON RELACIÓN AL COSTO-BENEFICIO**

**CÉSAR AUGUSTO OTÁLORA GARIBELLO
YANDHY TATIANA ROBERTO GARRIDO**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2014**

**COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS EN
TUNJA CON RELACIÓN AL COSTO-BENEFICIO**

**CÉSAR AUGUSTO OTÁLORA GARIBELLO
YANDHY TATIANA ROBILTO GARRIDO**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

**Director del proyecto
ING. ANA MARÍA BENÍTEZ CAMARGO
Especialización en Geotecnia Vial y Pavimentos**

**Jurados del proyecto
ING. YASMIN ANDREA PEREZ
ING. RODRIGO MENDEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2014**

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente proyecto de grado expresan sus agradecimientos a:

Ingeniera ANA MARÍA BENÍTEZ CAMARGO, directora del proyecto de grado y profesora de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomas, por su gran apoyo, valiosas orientaciones y sabios consejos para lograr el cumplimiento de este proyecto de grado.

Ingeniero NÉSTOR RAFAEL PERICO GRANADOS, profesor de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomas, por su tiempo, dedicación y empeño en el desarrollo del proyecto de grado.

Entidades gubernamentales y no gubernamentales, por la información prestada.

Un logro más apoyado por mi familia, se lo quiero dedicar a mi Madre Cristina Garibello, mis Hermanas Carolina y Alejandra Garibello, a mi sobrina Manuela Calderón, las mujeres que siempre me han impulsado y apoyado a ser mejor, son el motor de vida. A mi padre Julio Cesar Otálora por ser alguien ejemplar y buen guía de vida, a mis abuelas Elvía Gómez y Josefina Vargas por ser el tótem de mi familia e iconos de fortaleza y superación, mi ejemplo. A mi compañera y amiga Tatiana Robelto por su colaboración en este proyecto, Y a todos y a cada uno de mis compañeros y compañeras por compartir y hacer todo más agradable.

Cesar Augusto Otálora Garibello

Un nuevo escalón el cual conlleva a la etapa del éxito, dedicado a mis padres Héctor Sabas Robelto y Nidia Janneth Garrido quienes con su apoyo, amor, esfuerzo y comprensión contribuyeron a este logro; a mis abuelos Carlos Eduardo y Aura María quienes me vieron crecer como persona; a mis tíos y primos pero en especial a un ángel que me cuida y guía mis pasos Ana Sofía que desde el cielo siempre estará presente en mí; a mis amigos los cuales hicieron de esto un momento agradable y a mi compañero de tesis Cesar Otálora por su esfuerzo, persistencia y dedicación.

Tatiana Robelto Garrido

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL DIRECTOR DE TESIS

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Tunja, 24 de Junio de 2014

CONTENIDO	Pág.
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
GLOSARIO	17
INTRODUCCIÓN	19
1. GENERALIDADES	21
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	21
1.1.1 Descripción de la Problemática	21
1.1.2 Preguntas De Investigación	22
1.1.3 Justificación	22
1.1.4 Objetivos	23
1.1.4.1 Objetivo General	23
1.1.4.2 Objetivo Específicos	23
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y/O ESTADO DEL ARTE	25
2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	25
2.2 APROXIMACIÓN CONCEPTUAL	26
2.2.1 Aproximación al concepto de pavimento	26
2.2.2 Aspectos fundamentales del concepto de los elementos para la estimación del tránsito	27
2.2.3 Elementos esenciales del concepto de pavimentos flexibles	27
2.2.4 Aproximación conceptual al concepto de subrasante	27
2.2.5 Elementos fundamentales para el concepto de subbase	27
2.2.6 Aspectos importantes del concepto de base al pavimento flexible	28
2.2.7 Aproximación conceptual a carpeta asfáltica	28

2.2.8 Elementos esenciales del concepto de resistencia de diseño de la subrasante	28
2.2.9 Aproximación conceptual del método Invias	28
2.2.10 Elementos fundamentales del concepto de método Aashto	28
2.2.11 Aspectos fundamentales del concepto del método Racional	29
2.2.12 Aproximación conceptual al método Shell	29
3. DIAGNÓSTICO	30
3.1 POBLACIÓN SERVIDA	30
3.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	30
3.3 RELACIÓN DE HERRAMIENTAS	30
3.4 LUGAR Y TIEMPO DE EJECUCIÓN	31
3.5 METODOLOGÍA	31
3.6 LABORES EJECUTADAS	32
3.6.1 Estado Actual de La Vía	32
3.6.2 Localización	32
3.6.1.1 Reconocimiento geotécnico de la vía	36
3.6.1.2 Reconocimiento Hidráulico de la Vía	41
3.6.2 Información existente	44
3.6.2.1 Geología del sector	44
3.6.2.2 Climatología	45
3.6.4 Resultados de ensayos de laboratorio	50
3.6.5 Clasificación de suelos	50
3.6.6 Descripción del perfil en campo	54
3.6.7 Capacidad de Soporte	56

4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES Y MÉTODOS DE DISEÑO	60
4.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO	60
4.2 MÉTODO INVIAS	60
4.2.1 Método AASTHO Pavimentos Flexibles	65
4.2.2 Método Racional	69
4.2.3 Método Shell	73
5. DISCUSIÓN DE LAS VARIABLES Y MÉTODOS DE DISEÑO	79
5.2 DISCUSIÓN DEL ESTUDIO DE SUELO Y EL TRÁNSITO	79
5.3 DISCUSIÓN SOBRE LOS MÉTODOS DE DISEÑO	81
5.3.1 Comparación de alternativas	85
5.4 COMPARACIÓN DEL PRESUPUESTO.	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	97

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores mensuales de precipitacion	46
Tabla 2. Valores mensuales de temperatura	47
Tabla 3. Valores máximos, medios y mínimos de temperatura	48
Tabla 4. Apiques, profundidades y localización de las vías de diseño	49
Tabla 5. Apique N°1	50
Tabla 6. Apique N°2	51
Tabla 7. Apique N°3.	51
Tabla 8. Apique N°4.	52
Tabla 9. Apique N°5	52
Tabla 10. Apique N°6	52
Tabla 11. Apique N°7	53
Tabla 12. Apique N°8.	54
Tabla 13. Unidad de diseño, método Invías	60
Tabla 14. Resumen, método INVIAS unidad 1	63
Tabla 15. Resumen, método INVIAS unidad 2 Alternativa 1	63
Tabla 16. Resumen, método INVIAS unidad 2 Alternativa 2	64
Tabla 17. Resumen, método INVIAS unidad 3 Alternativa 1	64
Tabla 18. Diseño de espesores	67
Tabla 19. Resumen, método AASHTO unidad 1.	67
Tabla 20. Resumen, método AASHTO unidad 2-Alternativa 1	67
Tabla 21. Resumen, método AASHTO unidad 2-Alternativa 2	68
Tabla 22. Resumen, método AASHTO unidad 2-Alternativa 3	68

Tabla 23. Resumen, método AASHTO unidad 3	68
Tabla 24. Comparación del método Racional alternativa 1	71
Tabla 25. Datos de entrada método DEPAV.	72
Tabla 26. Resumen, método racional unidad 1-Alternativa 1.	73
Tabla 27. Resumen, método racional unidad 2-Alternativa 1.	73
Tabla 28. Resumen, método racional unidad 2-Alternativa 2.	73
Tabla 29. Resumen, método racional unidad 2-Alternativa 3.	73
Tabla 30. Resultados- Alternativa método Shell unidad 1.	77
Tabla 31. Resultados- Alternativa método Shell unidad 2.	77
Tabla 32. Resultados- Alternativa método Shell unidad 3.	77
Tabla 33. Presupuesto método-Unidad de diseño.	87
Tabla 34. Presupuesto total por método.	91

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen1. Ubicación de la zona de estudio unidad 1.	33
Imagen2. Ubicación de la zona de estudio unidad 2	34
Imagen 3. Ubicación de la zona de estudio unidad 3.	35
Imagen 4. Perfiles litográficos	55

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1. Pendientes de la zona de estudio unidad 1.	33
Grafica 2 Pendientes de la zona estudio unidad 2	35
Gráfica 3. Valores máximos, medios y mínimos de la precipitación	46
Grafica 4. Valores máximos, medios y mínimos de Temperatura	48
Grafica 5. Determinación del CBR de diseño unidad 1	56
Grafica 6. Determinación del CBR de diseño unidad 2.	57
Grafica 7. Determinación del CBR de diseño unidad 3.	57
Grafica 8. Alternativas unidad 1	85
Grafica 9. Alternativas unidad 2.	86
Grafica 10. Alternativas unidad 3	87
Grafica 11. Presupuesto Unidad 1.	88
Grafica12. Presupuesto Unidad 2.	89
Grafica 13. Presupuesto Unidad 3.	90
Grafica 14. Presupuesto total por método de diseño.	91

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Vista desde la carrera 8ª hacia la carrera 9ª ascendente	36
Fotografía 2. Km. 0.0+0 Doble calzada-Curubal.	38
Fotografía 3. Inspección visual PR 0 (12A # 16-115 sur).	40
Fotografía 4. Calle 12 N° 8-32 Pozo 1: K0+420m	41
Fotografía 5. Alcantarilla 1: K0+786 metros	43
Fotografía 6. Pozo 1 PR 0+0.	43

ANEXOS

Anexo A1. Localización Geológica

Anexo A2. Precipitaciones y condiciones de humedad.

Anexo A3. Fallas geológicas.

Anexo A4. Profundidades de exploración.

Anexo A5. Clasificación del suelo.

Anexo A6. Descripción del perfil en campo.

Anexo A7. Determinación del CBR de diseño.

Anexo A8. Estudio del tránsito.

Anexo A9. Métodos de diseño.

Anexo A10. Registro fotográfico.

Anexo A11. Ensayos de laboratorio.

Anexo A12. Presupuesto.

RESUMEN

Para el presente estudio se realizó una comparación de diseños para estructuras de pavimentos según los métodos propuestos por Invias, Aashto, Shell y Racional, para el diseño y la rehabilitación de las vías interurbanas de la ciudad de Tunja, las cuales están definidas como; Unidad 1 desde la Calle 12 N° 8-32 y la Calle 12 N° 8-28 cerca al barrio residencial (San Laureano), la Unidad 2 ruta 55 (doble calzada –Curubal) la cual se encuentra ubicada en la calle 18 y ruta 62 de la vía principal Tunja-Bogotá y la Unidad 3 la calle 14 sur-puesto de salud cerca a la vereda (Runta) de la ciudad. A través de estudios del tránsito, los cuales permitieron realizar con una inspección visual el estado de la estructura del pavimento, para la elaboración del estudio, se recopiló la información existente referente al lugar del proyecto, como al Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Tunja. Se realizó la exploración geotécnica en las vías a pavimentar, con el fin de realizar ensayos de CBR y caracterizar el terreno sobre el cual se desarrolla el proyecto, para tener un volumen de información suficiente que sirva de soporte en la caracterización geotécnica del suelo de la subrasante.

El estudio incluyó un reconocimiento geológico y geotécnico preliminar del área del proyecto y sus zonas perimetrales, la explotación del subsuelo mediante la realización de (8) exploraciones, efectuando ensayos de campo y un análisis geotécnico a partir de los resultados obtenidos. Además se tuvo en cuenta que las variables con las cuales fueron creados los métodos de diseño para estructuras de pavimentos tienen parámetros diferentes del clima, tránsito y el suelo a los existentes en nuestra ciudad, para definir la mejor alternativa en condiciones locales.

Una vez concluida la etapa de recopilación de información y trabajo de campo se hizo el análisis geotécnico para diseño estructural de pavimento, a partir de los resultados obtenidos por las alternativas de diseño en donde se definieron las variables de influencia de manera local específicamente en cada uno de los métodos. Con base en la teoría del diseño de los métodos de estructuras para pavimentos Invias, Aashto, Racional y Shell, se realizaron las comparaciones de las alternativas propuestas por cada uno de los métodos teniendo en cuenta la diversidad de factores en las variables y en costo-beneficio. Se realizó el análisis presupuestal correspondiente a los materiales que conforman la alternativa de diseño, y así poder evaluar cual presenta un mejor ajuste entre la estructura (materiales) y su análisis económico, teniendo en cuenta recomendaciones geotécnicas, hidráulicas y funcionalidad a largo plazo.

ABSTRACT

The present study was a comparison of designs for structures of roads According To Proposed by the methods Invias , Aashto , Shell and rational , for the design and the rehabilitation of the city of Tunja long -distance routes , That are defined as; Unit 1 from the street 12 No 8-32 and the street 12 No. 8-28 near the residential district (San Laureano) , unit 2 route 55 (dual carriageways - Curubal) Which is located at 18th Street and route 62 from the Tunja main road cape and unit 3 - sur- health post near the 14th Street sidewalk (Runta) in the city . Through studies of the transit, que allowed to perform with a visual inspection of the condition of the structure of the pavement, to the preparation of the study, will compile the information Existing Relating to the project site and the scheme of Territorial Planning of the municipality of Tunja. I was on geotechnical exploration roads to be paved to CBR test and characterize the land on Which the project is developed, to have a volume of Sufficient information That would serve as support in the Geotechnical characterization of the subgrade soil.

The study included a preliminary geological and geotechnical survey of the area of the project and its perimeter, the exploitation of the subsoil by means of eight (8) scans, making field testing and a geotechnical analysis from the results. Also taking into account the variables with design methods for pavement structures Were To Have created different parameters from weather, traffic, and soil to Existing Those in our city, to define the best alternative in the local conditions.

Once completed the stage of data collection and fieldwork was done for geotechnical analysis of pavement structural design, based on the results Obtained by the design alternatives where locally defined variables of influence específicamente in each of the methods. Based on the theory of the design of structures Invias methods for pavements, Aashto, rational and Shell, comparisons of the alternatives Were Proposed by each of the methods taking into account the diversity of factors and variables in the cost -benefit . Analysis Corresponding to the budget the materials That make up the design , and be able to evaluate- Malthus Which alternative presents a better fit Between the structure (materials) and its economic analysis , taking into account recommendations geotechnical , hydraulic and long- term functionality .

GLOSARIO

Apique: excavación utilizada para examinar detalladamente el subsuelo y obtener muestras inalteradas y cuyas dimensiones en planta son aproximadamente iguales entre sí y menores que su profundidad.

Cazuela: casagrande Instrumento utilizado en la determinación del límite líquido, consiste en un recipiente de bronce en forma de sector esférico montado sobre un bastidor diseñado y construido para controlar su caída, desde una altura de 1 cm, sobre una base de caucho duro. (Norma ASTM D4318).

Deformimetro: llamado también extensómetro; Instrumento utilizado para la medición de pequeña de formaciones lineales.

Depósito: acumulación de material térreo de cualquier tipo, consolidado o no. Originalmente tuvo la connotación de material transportado por agua pero su significado se ha ampliado para incluir todo tipo de acumulación de material dejado por cualquier agente o proceso, incluyendo los suelos residuales y los depósitos antrópicos.

Deslizamiento: término genérico que comprende una amplia variedad de procesos de erosión en masa que incluye el transporte pendiente abajo de masas de suelo y de roca.

Drenaje: condición o característica de una masa de suelo que permite el flujo del agua hacia el exterior.

Erosión: conjunto de procesos en los que los materiales de la corteza terrestre son removidos y transportados de un lugar a otro, por agentes naturales o antrópicos.

Estratificación: término genérico que enuncia o implica la existencia de capas o estratos, planos, u otro tipo de superficies que dividen o limitan cuerpos de roca de igual o diferente litología.

Filtro: capa o combinación de capas de materiales permeables diseñados e instalados de manera que permitan el drenaje, al tiempo que impiden el movimiento de las partículas sólidas del suelo por acción del flujo del agua.

Geomorfología: se centra en el estudio de las formas del relieve, pero dado que éstas son el resultado de la dinámica litosfera en general integra, como insumos, conocimientos de otras ciencias de la Tierra, tales como la climatología, la hidrografía, la pedología, la glaciología, y también de otras ciencias, para abarcar la incidencia de fenómenos biológicos, geológicos y antrópicos, en el relieve.

Geotécnico: se puede definir como conjunto de actividades que comprenden la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones para el diseño y construcción de la obra que tenga contacto con el suelo.

Geotextil: elemento laminar permeable manufacturado a partir de polímeros. Los geotextiles normalmente son utilizados como elemento de drenaje o de protección de obras de drenaje; ocasionalmente lo son como elementos de refuerzo.

Hidráulico: es una rama de la mecánica de fluidos y ampliamente presente en la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los líquidos. Todo esto depende de las fuerzas que se interponen con la masa y a

las condiciones a que esté sometido el fluido, relacionadas con la viscosidad de este.

Índice Plástico: medida de la plasticidad de un suelo dado por el valor absoluto de intervalo de humedad en el que el suelo se comporta como un material plástico, numéricamente e índice de plasticidad es igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Precipitación: medida de la cantidad de agua que llega a la superficie terrestre desde la atmósfera medida como su equivalente líquido independientemente de la forma en que se presente.

Relación de Poisson: relación entre la deformación unitaria transversal, y la deformación unitaria axial en un cuerpo sometido a un esfuerzo uniaxial.

Corrimiento: distorsiones de la superficie del pavimento por deslazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañado por levantamientos de material formado “cordones”, principalmente lateral, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera. Típicamente pueden identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación de los carriles, por efecto de corrimiento.

Exudación: consiste en el afloramiento de un material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.

Parcheo Y Reparaciones Por Servicio Público: un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con material similar o diferente para reparar el pavimento existente. También un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio subterráneo.

N: tránsito de diseño expresado en ejes equivalentes de 80 KN en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Zr: desviación normal estándar; determinado como el nivel de confiabilidad.

So: error normal combinado de la previsión del tránsito y del comportamiento.

AIPS: diferencia entre el índice de serviciabilidad P_o y final P_t ; se consideró un valor de 2.2 correspondiente a una serviciabilidad de 4.2 y un índice final de 2.0.

Mr: módulo resiliente de la subrasante.

SN: número estructural indicativo del espesor total del pavimento.

$\epsilon_{r adm}$: deformación de tracción admisible de la capa asfáltica.

Vb: porcentaje en volumen de asfalto de la mezcla, %.

E1: módulo dinámico de la mezcla asfáltica (N/M^2).

K: coeficiente de Calage ($k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$).

E_s : módulo resiliente de la subrasante (kg/cm^2).

CBR: capacidad de soporte del suelo de la subrasante (%).

Δz_{adm} : deflexión vertical admisible (mm).

$M_{r_{sbg}}$: módulo resiliente de la capa de subbase granular (kg/cm^2).

h_{sbg} : espesor de la capa de subbase (mm).

Mr: módulo resiliente de la subrasante (kg/cm^2).

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema acerca de la comparación de los métodos de diseño para estructuras de pavimentos Invias, Aashto, Shell y Racional en condiciones locales de la ciudad de Tunja, para el diseño y rehabilitación del pavimento de tres vías interurbanas, las cuales están definidas como; Unidad 1 desde la Calle 12 N° 8-32 y la Calle 12 N° 8-28 cerca al barrio residencial (San Laureano), la Unidad 2 ruta 55 (doble calzada –Curubal) la cual se encuentra ubicada en la calle 18 y ruta 62 de la vía principal Tunja-Bogotá y la Unidad 3 la calle 14 sur-puesto de salud cerca a la vereda (Runta) de la ciudad. Estas requerían de intervención para entregar alternativas de solución a las diferentes problemáticas, acorde al crecimiento municipal y a las necesidades básicas. Para esto se definieron las variables del tránsito, el clima y el suelo de la ciudad y así poder determinar el comportamiento de los métodos bajo condiciones locales.

Las principales características para la elaboración del presente proyecto de grado, estuvieron sustentadas en demostrar la aplicación de los conocimientos adquiridos en el pregrado a través de las líneas de investigación en geotecnia vial y pavimentos, llevados a la práctica a lo largo de la investigación. Con el fin de caracterizar de forma regional los métodos de diseño, específicamente para la ciudad de Tunja, evaluando las variables de forma local y ver el comportamiento que se obtiene en las alternativas propuestas por los diferentes métodos, para ello es necesario tener en cuenta la proyección y el crecimiento socioeconómico de la ciudad. Para dar como resultado la mejor metodología en condiciones adecuadas a través del estudio y el análisis del tránsito, el clima y el suelo.

Con base a ello los resultados obtenidos del estudio de tránsito, el estudio de suelos y el análisis climático, fueron determinadas variables del análisis comparativo de los métodos para diseño de pavimentos propuestos por Invias, Aashto, Racional y Shell, para así seleccionar la mejor alternativa de diseño y la selección del método, para lograr demostrar cual fue la mejor solución al momento de diseñar una estructura de pavimento en condiciones locales. Con el fin de proporcionar información de cómo seleccionar un método de diseño en condiciones de la ciudad y además de mejorar la calidad de las vías, en lo que significa valorar y aplicar conocimientos ingenieriles en la proyección y ejecución de obras mencionadas que se encuentran acordes a los crecimientos actuales.

Una vez concluida la etapa de recopilación de información y trabajo de campo, se hizo el análisis geotécnico para diseño estructural de pavimento permitió analizar los beneficios que trae en cuanto a la contribución de vías de acceso en movilidad y desarrollo sostenible, cubriendo las necesidades de la comunidad de rehabilitar y diseñar estas vías que requerían de atención para así mejorar la movilidad de la ciudad, lo cual se observó que fue un aspecto de alcance y viabilidad teniendo en

cuenta que actualmente Tunja se encuentra en crecimiento socioeconómico y que presta un servicio para la movilidad vial y corredores interurbanos. El proyecto presenta todos los detalles del estudio, memorias de los resultados de la investigación las conclusiones y recomendaciones, el estudio se inició en mayo de 2013.

En el ámbito profesional como ingenieros civiles, el interés académico para poder ofrecer mejores soluciones es importante para que a través del campo de la investigación podamos aumentar el interés por mejorar nuestro conocimiento bajo condiciones locales y así dar soluciones más acordes a nuestro entorno.

1. GENERALIDADES

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 Descripción de la Problemática. En la actualidad, el diseño de pavimentos en Colombia se encuentra de una forma muy generalizada, por tanto en algunos casos se evidencia que hay sobredimensionamiento en estas estructuras lo más evidente son los elevados costos que se pueden presentar en la etapa de construcción. Para esto se realizó el análisis de los métodos utilizados a nivel nacional de acuerdo al departamento de Boyacá, para tener conceptos más asertivos en cuanto a clima, movilidad, el tránsito y el suelo. Para la comparación de los métodos Invias, Aashto, Racional y Shell, se logró determinar, la influencia directa de las condiciones y el medio en el cual se desarrollan las metodologías propuestas por cada uno.

Para la comparación de los métodos se determinaron tres vías de la ciudad de Tunja las cuales se determinaron por unidades con sus respectivas nomenclaturas así: Unidad 1 (Calle 12 N° 8-32 y la Calle 12 N° 8-28), cerca al barrio residencial San Laureano cuenta con un tramo de vía de 149 metros en el cual existe un ancho de 7,7 metros vía interurbana la cual es referente a rehabilitación, donde el estado de su pavimento se encontraba en 70% de pérdida, para lo cual fue necesario realizar especificaciones geotécnicas. Unidad 2 (intersección doble calzada-Unad-prados de Alcalá-Curubal), la cual se encuentra ubicada en la calle 18, cuenta con un tramo de vía de 1 km vía interurbana referente a diseño, interconecta a la proyección con el nuevo terminal de transporte de la ciudad y con la avenida oriental, para lo cual se realizó el diseño en base a el estado que se encontraba la vía en la que no presentaba ninguna estructura de pavimento.

La Unidad 3 (ruta 62 vía principal Tunja Bogotá -calle 14 sur puesto de salud Runta), cuenta con un tramo de vía de 105 metros en el cual existe un ancho de 5,40 metros vía interurbana la cual es referente a diseño ya que no existe ninguna estructura de pavimento. Las alternativas propuestas de diseño de la estructura de pavimento, está definido por parámetros obtenidos mediante el estudio de tránsito que se desarrolló, para establecer el número de ejes equivalentes que tendrá que soportar durante el periodo, al cual se proyectó el diseño final, de igual manera fue necesario establecer un estudio hidráulico para una correcta evacuación de las aguas de escorrentía a manera de recomendación, implementar nuevas alcantarillas, filtros y cunetas las cuales solventaran los malos drenajes que son causantes de empozamientos de agua en baches y a su vez representan en la vía daños considerados que deben corregirse.

Dentro del análisis presupuestal, es necesario evaluar las alternativas de diseño de la capa de rodadura calculada y determinar bajo parámetros nacionales como son el clima, los materiales de la región y las necesidades de la movilidad, el desarrollo del proyecto hacer una evaluación de las estructuras planteadas, de igual manera formalizar sus costos respectivamente.

1.1.2 Preguntas De Investigación

- ¿Qué diferencias presentan los métodos Invias, Aashto, Racional Y Shell, bajo parámetros locales de la ciudad de Tunja?
- ¿Cuáles son las condiciones actuales de las vías interurbanas de la ciudad de Tunja, estas son funcionales y facilitan el desplazamiento de los habitantes?
- ¿Cuáles son las condiciones actuales geotécnicas e hidráulicas de las vías interurbanas de la ciudad de Tunja?
- ¿Cuáles son los factores climatológicos que pueden afectar la selección de las condiciones de humedad para determinar la capacidad de soporte de la subrasante?
- ¿Cuáles son los factores que permiten establecer la capacidad de soporte del suelo, así como el de reconocer el tipo de CBR a utilizar para el diseño de las alternativas de pavimento?
- ¿A qué tipo de cargas está sometida la estructura de pavimento, traducida en el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño para evaluar el tránsito de las vías interurbanas?
- ¿Cuál de las metodologías Invias, Aashto, Racional Y Shell, presenta la mejor alternativa adoptada bajo parámetros locales de las vías interurbanas de la ciudad de Tunja?
- ¿Cuál es la metodología que nos ofrece la propuesta de diseño óptimo, que cumpla técnica y económicamente el desempeño de las vías interurbanas?

1.1.3 Justificación. Para este proyecto se realizó la comparación de los diferentes métodos de diseño para estructuras de pavimentos Invias, Aashto, Racional y Shell, bajo los parámetros regionales del concepto referente a las diferentes variables como materiales y métodos constructivos, para así lograr determinar, la mejor alternativa y la más adecuada al medio en el cual se desarrolla. Teniendo propuestas las alternativas que se pueden obtener en el desarrollo de la metodología por cada uno de los métodos de diseño, se puede realizar una comparación más detallada, dando como resultado la mejor alternativa de diseño. Se determinaron las siguientes vías para rehabilitación como para diseño de la estructura del pavimento debido a que; unidad 1 conlleva a realizar su rehabilitación debido a la nueva medida de pico y placa implementada en la ciudad, a su vez se analizó que era una vía alterna que comunica a la avenida oriental, Unidad 2 para esta vía fue necesario del análisis del diseño de la estructura debido a que el ingreso de pasajeros será de alta movilidad por la

construcción del nuevo terminal de transporte de la ciudad, por ende será una vía de interconexión con la avenida oriental. Unidad 3 en cuanto a diseño para esta vía se tuvo en cuenta que requiere de atención debido a que todas las veredas cercanas al puesto de salud, necesitan de una vía de acceso para el tránsito de ambulancias y transporte vehicular.

Teniendo en cuenta que Tunja es una ciudad con un nivel poblacional medio, carece de tener pocas vías de acceso para la movilidad vehicular por ello, se observó la necesidad latente de la intervención de las vías, mediante alternativas que beneficie la movilidad vial de manera segura y contribuyendo con el mejoramiento y la construcción de nuevas edificaciones en las cuales se verá la importancia que comprende estas vías. Mediante la rehabilitación y diseño de estas vías es importante rescatar que Tunja, siendo una ciudad en crecimiento, requiere de nuevas rutas de acceso para el transporte público y privado, lo cual debido al deterioro de estas vías era bastante complicado el paso por ellas recurriendo a utilizar otras vías de comunicación las cuales hacen que el recorrido en traslado de tiempo se incremente.

Por ello es necesario de la intervención y ejecución de estas vías en el casco urbano teniendo en cuenta que es una necesidad del municipio lo cual todo costo lo acarrea el mismo, para así contribuir con la movilidad vial y el desarrollo de la malla vial. Para elaborar el estudio, se procedió a recopilar la información existente referente al lugar del proyecto, como Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio.

1.1.4 Objetivos

1.1.4.1 Objetivo General. Determinar a través de la comparación, de los métodos para diseño de estructuras de pavimentos Invias, Aashto, Racional y Shell, la mejor alternativa de diseño con base en costo- beneficio, para las vías de la ciudad de Tunja: calle 12 # 8-32 a calle 12 # 8-28; ruta 55 a calle 18 y ruta 62 a calle 14 sur, puesto de salud.

1.1.4.2 Objetivo Específicos

- Determinar el estado en que se encuentran las vías a intervenir, a través de una inspección visual, mediciones y clasificación de fallas presentes.
- Elaborar el estudio de tránsito de cada una de las la vías mencionadas, con el fin de determinar el número de ejes equivalentes de diseño, a través del conteo del tráfico.
- Caracterizar el perfil de suelo, obteniendo muestras inalteradas mediante apiques y toma de CBR, para determinar las características físicas y mecánicas del material subrasante presente.
- Determinar los parámetros tránsito, clima y suelo de la ciudad de Tunja a través de aforos, investigación climatológica y la exploración del suelo.
- Desarrollar la metodología propuesta por cada uno de los métodos Invias, Aashto, Racional y Shell para el diseño de estructuras para pavimentos.

- Asignar las variables locales, que determinaran el fin del estudio y la comparación respectiva de alternativas.
- Comparar bajo el parámetro costo-beneficio cada una de las alternativas propuestas por los métodos desarrollados.
- Seleccionar la mejor alternativa de diseño en base a la comparación de las variables presentadas por cada uno de los métodos Invias, Aashto, Racional y Shell.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y/O ESTADO DEL ARTE

2.1 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Este es el caso del proyecto de grado nombrado “Estudio y propuesta de rehabilitación de la estructura de una pavimento. La cual se encuentra ubicada en la Calle 79, entre Carrera 2 Este y Avenida Norte, en la Ciudad de Tunja, está fue elaborada por los estudiantes Fonseca William Ricardo, Gutiérrez Rosas Yesmy Lorena. Esté contempla la inspección visual del estado actual de la vía, ya que está es catalogada como una vía urbana de segundo orden de tipo departamental, con una longitud de 782,75 m, realizaron las fallas por medio de la metodología Vizir e Invias.

Para la información ofrecida dentro del trabajo de grado llamado “Propuesta para el diseño de pavimento flexible por el método de la AASHTO y propuesta de diseño para la implementación del plan maestro de movilidad en el municipio de Tuta, realizado por los estudiantes Cuadros Diego Fernando y Pinzón Oscar Ivan. Dentro de éste se realizaron la adecuación, reestructuración y propuesta de diseño para pavimento flexible por el método de la Aashto de la vía ubicada en la Carrera 8 entre Calles 2 y 6, lo cual ocasiona una fuerte concurrencia de público dando lugar a un congestionamiento los días domingo, de igual forma se realizó, un inventario de red de alcantarillado del tramo con su respectiva ubicación de estructuras hidráulicas de drenajes (sumideros).

Dentro del documento elaborado por Ayala Hasblady, Fuentes Rodolfo y Quintana Maribel nombrado “Evaluación y análisis de la estructura de pavimento de la calle 22 Avenida Colón, Avenida Maldonado y Avenida Villa Olímpica de la ciudad Tunja-Boyacá.” el proyecto se basa principalmente de las series de fallas superficiales tales como el descascaramiento, fisuras en bloque e insipientes, desgaste superficial, perdida de agregado que están orientadas hacia la comunidad y seguridad del usuario; y estructurales tales como fisuras longitudinales y transversales, piel de cocodrilo, bache, parche, ahuellamiento, ondulación, hundimiento las cuales interfieren con la capacidad que tiene el pavimento para soportar apropiadamente el tránsito actual y futuro.

El artículo que tiene por encabezado “Investigar y comparar el tráfico inducido y contenida Temperatura hincapié en un pavimento rígido convencional” elaborado por A. Setyawan, S.E. Zoorob. El artículo trata sobre el tráfico representa un parámetro fundamental utilizado en el análisis y diseño de las estructuras de pavimento. Con el fin de simplificar la caracterización de la variable del tráfico para el análisis estructural del pavimento y el diseño, los ejes de los vehículos se convierten en una serie de 80 kN equivalentes cargas por eje simple (ESAL) a través de los factores de equivalencia de carga (LEF).

En el trabajo social nombrado “Informe pavimentación de la vía el tierrero carrera 11 entre calle 2- avenida oriental y pavimentación carrera 13 entre calle 4-5 Barrio Libertador. Realizado por los estudiantes López Wilberth y Rincón Miguel Ángel. En este proyecto que corresponde a trabajo social, correspondiente a las diferentes obras del municipio de Tunja y a las cuales los asignaron como auxiliares de interventoría la cual tuvo funcionalidad el seguimiento técnico a pavimento rígido y flexible teniendo en cuenta las normas vigentes para el diseño y la construcción.

El artículo llamado “Evaluación del ciclo de vida útil del pavimento comparativo con el parámetro incertidumbre.” elaborado por Noshadravan Arash y Wildnauer Margaret. Este artículo presenta un análisis del ciclo de vida comparativo de pavimentos considerando la incertidumbre de medición y la incertidumbre de calidad de datos. Cuenta la incertidumbre debida a la predicción de la rugosidad durante la vida útil del pavimento y propagamos la consecuencia en la huella global.

En el trabajo de grado comparativo llamado “Estimación del tránsito para diseño de pavimentos en las metodologías Aashto 1993 y 2002” realizado por el Ing. Pérez Juan Ricardo y Ing Cubides Edwin Guillermo. En esta tesis presenta una comparación entre la metodología Aashto 1993 y 2002 para el diseño del pavimento flexible.

El artículo “Modelado flexible de rendimiento superposición de pavimento para uso con las especificaciones relacionadas con la calidad” elaborado por Mensching David y McCarthy Leslie. En este artículo presenta los recientes avances se han hecho en relación a las propiedades construidas de materiales bituminosos para la ejecución de pavimento flexible en el tiempo. La investigación en este estudio explora una de las herramientas de predicción de nuevo desarrollo para evaluar su potencial para el diseño de mezclas asfálticas de mayor duración.

2.2 APROXIMACIÓN CONCEPTUAL

2.2.1 Aproximación al concepto de pavimento: un pavimento es una estructura vial formada por una o varias capas de materiales seleccionados, capaces de resistir las cargas impuestas por el tránsito y la acción del medio ambiente y de transmitir al suelo de apoyo esfuerzos y deformaciones tolerables por este. Desde el punto de vista estructural, un pavimento transmite en forma adecuada las cargas hacia el terreno de fundación, es decir sin rotura de los materiales deformaciones exageradas para la estructura; controla la infiltración de aguas superficiales que pueden alterar las propiedades de los materiales que constituyen el subsuelo. La estructura del pavimento a través de una rugosidad que debe poseer la carpeta de rodadura que permite una circulación libre de los vehículos pero que también garantice una fácil detención en el proceso de

frenado. La visibilidad y señalización de la vía, factores inherentes a su diseño le dan confianza al usuario y disminuye la accidentabilidad.¹

2.2.2 Aspectos fundamentales del concepto de los elementos para la estimación del tránsito: es uno de los parámetros de diseño fundamentales ,y aunque se pueden permitir ciertas incertidumbres en la determinación de esta variable, siempre será necesario conocerla para poder determinar los espesores de las capas que constituyen el pavimento, es necesario distinguir los siguientes aspectos: tránsito promedio diario (TPD),clasificación de vehículos, factores de equivalencia de carga para cada tipo de vehículo, distribución direccional, distribución por carril, proyección de las variables en la vida de diseño. El tránsito promedio diario es una de las variables fundamentales para la determinación número de ejes equivalentes que solicitara el pavimento.²

2.2.3 Elementos esenciales del concepto de pavimentos flexibles: que están formados por una capa bituminosa apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (base y subbase) que transmiten los esfuerzos al terreno de soporte o fundación mediante un mecanismo de disipación de tensiones las cuales van disminuyendo con la profundidad.³

2.2.4 Aproximación conceptual al concepto de subrasante: al material más superficial de los cortes en los terraplenes durante las operaciones de explanación de la vía; su función es servir de fundación al pavimento aportando una adecuada capacidad de soporte para recibir las cargas debidas al peso propio del pavimento y al tránsito vehicular, presentando un comportamiento adecuado ante la acción de medio ambiente que puede modificar significativamente sus propiedades.⁴

2.2.5 Elementos fundamentales para el concepto de subbase: está constituida por materiales seleccionados cuya principal función es transmitir a la subrasante los esfuerzos que el tránsito le impone a través de la base, proporcionando resistencias teniendo en cuenta la características granulométricas de sus materiales puede servir como elemento de drenaje y por su propio peso contrarresta cambios volumétricos de la subrasante asociadas con la presencia en ella de materiales.⁵

¹ Cfr GARCES Claudia María, GARRO Olga María. Pavimentos, Medellín pp 24.Universidad de Medellin.SF.

² Cfr HIGUERA Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras, Tunja pp 54.Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Año 2011.

³ Cfr MONTEJO Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras pp 129. Universidad católica de Colombia. Año 2001.

⁴ Cfr. GARCES Claudia María, Garro Olga María. Pavimentos, Medellín pp 29. Universidad de Medellin.SF.

⁵ Cfr. GARCES Claudia María, Garro Olga María. Pavimentos, Medellín pp 29. Universidad de Medellin.SF.

2.2.6 Aspectos importantes del concepto de base al pavimento flexible. La base es la capa intermedio entre la capa rodadura y la subbase, esta capa permite reducir las demás capas, además la viabilidad económica. Es una capa de materiales seleccionados colocados sobre la subbase en algunas ocasiones se construye directamente sobre la directamente sobre la subrasante, tiene como función principal transmitir las cargas recibidas del tránsito con intensidades adecuadas.⁶

2.2.7 Aproximación conceptual a carpeta asfáltica. La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento para los vehículos y que se elabora con materiales pétreos y productos asfálticos. Es la capa o serie de capas de materiales granulares seleccionados ligados con asfalto que conforman la superficie de rodadura del pavimento; disipa las cargas recibidas por el tránsito.⁷

2.2.8 Elementos esenciales del concepto de resistencia de diseño de la subrasante. La subrasante es el suelo preparado y compactado para soportar una estructura o un sistema de pavimento .Es la fundación de la estructura de un pavimento; por lo tanto, es necesario conocer su resistencia de diseño, con el fin de determinar el dimensionamiento de la estructura y predecir su comportamiento estructural y funcionalidad ante las solicitaciones de las cargas impuestas por el tránsito. En una unidad de diseño se deben realizar estudios para condiciones geológicas, geotécnicas, topográficas, drenaje, estabilidad volumétrica, posibilidad de mejoramiento o de estabilización y condiciones ambientales.⁸

2.2.9 Aproximación conceptual del método Invias. Es un método aplicable a carreteras interurbanas de dos o más carriles y abarca todas las gamas probables de tránsito. El diseño estructural de pavimento tiene como fin proveer protección a la subrasante mediante la interposición de capas, incluidas las rehabilitaciones, y así obtener un nivel de servicio fijado, minimizando los costos totales.⁹

2.2.10 Elementos fundamentales del concepto de método Aashto: el método de la “American Association of State Highway Transportation Officials” (AASHTO), se basa primordialmente en identificar un “número estructural (SN)” para el pavimento, que pueda soportar el nivel de carga solicitado. Para determinar el

⁶ Cfr GARCES Claudia María, Garro Olga Maria .Pavimentos, Medellín pp29. Universidad de Medellín.SF.

⁷ Cfr GARCES Claudia María, Garro Olga Maria. Pavimentos, Medellín pp 29. Universidad de Medellín.SF.

⁸ Cfr HIGUERA Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras, Tunja pp 136. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Año 2011.

⁹ Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, Carlos Hernando Higuera Sandoval paginas 127

número estructural, el método se apoya en una ecuación que relaciona los coeficientes con sus respectivo número estructural el cual se calcula con ayuda de un software, (Aashto 93 Universidad del Cauca) el cual requiere unos datos de entrada como son el número de ejes equivalentes, el rango de serviciabilidad, la confiabilidad y el módulo resiliente de la capa a analizar.¹⁰

2.2.11 Aspectos fundamentales del concepto del método Racional: el método racional tiene varias aplicaciones dentro de sus variables como el tránsito, la velocidad de operación y tiempo de aplicación de las cargas, evalúa las condiciones climáticas y regionales, la caracterización de los materiales, la determinación del modo resiliente, determinación de los módulos resilientes de los suelos por correlación, definición de los criterios de comportamiento o modelos de falla de los materiales, cálculo de los esfuerzos y deformaciones, cálculo de esfuerzos y deformaciones comparación de solicitaciones calculadas con las admisibles utilizando el software(Depav), en conjunto de todas la herramientas y resultados obtenidos hace que el método racional se ajuste más a las necesidades locales.¹¹

2.2.12 Aproximación conceptual al método Shell. Desarrollado para el uso práctico de los ingenieros con un refinamiento en los cálculos y resume gran número de variables y todo lo que involucra el diseño para hacerlo más práctico, su actualización incluyo características tales como los efectos de la temperatura, el uso de distintas mezclas asfálticas y las deformaciones permisibles por esta estructura de pavimentos, principalmente el desarrollo del método es a través de cartas y cuadros de diseño de los pavimentos. Para el método la estructura funciona como un sistema multicapa linealmente elástico bajo la acción de cargas del tránsito, las capas se consideran de extensión infinita y horizontales, esté calcula esfuerzos, deformaciones y deflexiones, tiene presente módulos como Young E y la relación de Poisson, las variables presentes a lo largo del desarrollo de la metodología son la deformación horizontal y vertical, las deformaciones a tracción permisibles en cualquier tipo de base cementada, módulo de la subrasante, el tipo de la mezcla asfáltica, temperatura media anual, la aplicación de cargas de ejes estándar de diseño esperados a lo largo de la vida útil de los materiales.¹²

¹⁰ Cfr HIGUERA Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras, Tunja pp 65. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Año 2011.

¹¹ Cfr HIGUERA Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras, Tunja pp 109. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Año 2011.

¹² Cfr HIGUERA Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras, Tunja pp 13. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Año 2011.

3. DIAGNÓSTICO

3.1 POBLACIÓN SERVIDA

Principalmente la población de la ciudad de Tunja y la cual tiene un total de 145.138 habitantes, los cuales son los beneficiados con la rehabilitación y el diseño de las 3 vías a estudiar en la ciudad, tales como el tiempo y recorrido más cortos a los habitualmente acostumbrados por las nuevas medidas implementadas como lo son: sistema de pico y placa, nuevo terminal de transportes y vía de acceso al centro de salud de Runta.

3.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo del proyecto se basa principalmente en la metodología descriptiva, cuantitativa, ya que se identificó las características actuales de la vía, además se cuantifico los resultados obtenidos durante la investigación con el fin de suplir la problemática presentada actualmente en la vía en estudio.

Los estudios descriptivos busca especificar las propiedades, características y los perfiles de procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis, además pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, su objetivo no es indicar como se relaciona estas.¹³

El enfoque cuantitativo es necesario la recolección de datos para aprobar hipótesis con base a la medición numérica y el análisis estadístico para establece patrones de comportamiento y probar teorías, de las preguntas establecen hipótesis y determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas, se miden las variables en un determinado contexto, se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones respecto de las hipótesis.¹⁴

3.3 RELACIÓN DE HERRAMIENTAS

En el proyecto se utilizaron herramientas de gran utilidad que se llevaron a cabo la realización de este. En el trabajo de campo fue necesario el equipo para apiques como los barrenos, palas, picas, pesa, molde para CBR, decámetro,

¹³ Cfr ROBERTO Sampieri, Fernández Carlos, BAPTISTA Pilar. Metodología de la investigación pp 80.

¹⁴ Cfr ROBERTO Sampieri, Fernández Carlos, BAPTISTA Pilar. Metodología de la investigación pp 36.

flexometro y cámara fotográfica. Para la ejecución de cada uno de los ensayos de laboratorio fue necesario el tamiz N4 y el N200, balanzas para pesar la muestra seca y húmeda; en los límites Atterberg fue necesario utilizar capsulas para los límites líquido y plásticos, cazuela Casagrande para los límites plásticos. En la determinación de la resistencia de cada uno de los CBR se utilizó la máquina de compresión. Para el diseño del pavimento se utilizó diferente software tales como el de la universidad del Cauca Aashto y DEPAV para la modelación de deflexiones y deformaciones del diseño del pavimento.

3.4 LUGAR Y TIEMPO DE EJECUCIÓN

El proyecto se llevó a cabo seis (6) meses y se ejecutó en las vías: Desde la Calle 12 N° 8-32 y la Calle 12 N° 8-28 cerca al barrio residencial (San Laureano), ruta 55 (doble calzada –Curubal) la cual se encuentra ubicada en la calle 18 y ruta 62 de la vía principal Tunja-Bogotá y la calle 14 sur-puesto de salud cerca a la vereda (Runta). Como primera instancia se hizo un reconocimiento geotécnico e hidráulico, se extrajeron muestras para CBR inalterado, los diferentes ensayos de laboratorio, recopilación de información, alternativas de diseño de pavimentos y seguimiento de obra para las vías ejecutadas.

3.5 METODOLOGÍA

- Estado actual de la vía.
 - Delimitación geométrica (largo y ancho) de la vía.
 - Reconocimiento geotécnico
 - Reconocimiento hidráulico.
- Realizar el estudio geotécnico.
 - Plan de exploración.
 - Realización de ocho apiques y toma de muestras inalteradas in situ cada 50 m.
 - Realización del perfil estratigráfico
- Realización de los ensayos de laboratorio.
 - Humedad
 - Límite líquido y límite plástico.
 - Granulometría
 - Densidad.
 - Peso específico
 - Resistencia de las muestras inalteradas (CBR)
 - Lecturas de expansión para cada una de las muestras inalteradas.
- Recopilación de la información.
 - Revisión bibliográfica y estado del arte.

- Climatología
 - Valores mensuales de precipitación
 - . Valores mensuales de Temperatura
- Determinar la capacidad de soporte.
 - Criterio del Instituto de asfalto.
- Determinar la unidad de diseño.
- Estimar el tránsito de la vía.
 - Aforos
 - Tránsito promedio diario.
 - Numero de ejes equivalente de 8.2 toneladas durante el carril de diseño durante el periodo de diseño
- Determinar las alternativas de diseño
 - Método Invias para pavimentos flexibles, mezcla densa en caliente, base granular, subbase granular y pedraplen.
 - Método Aashto para pavimentos flexibles, mezcla densa en caliente, base granular, subbase granular y pedraplen .Utilización del software de la Universidad del Cauca.
 - Método Racional para pavimentos flexibles, mezcla densa en caliente, base granular, subbase y pedraplen. Utilización del software DEPAV para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones.
 - Método Shell para pavimentos flexibles. mezcla densa en caliente, base granular, subbase y pedraplen
 - Reconocimiento de la ubicación de las obras de drenaje complementarias.
- Presupuesto
- Recomendaciones ambientales.
- Conclusiones y recomendaciones.

3.6 LABORES EJECUTADAS

3.6.1 Estado Actual de La Vía

3.6.2 Localización.

Unidad 1: La vía a rehabilitar se encuentra delimitada desde la Calle 12 N° 8-32 y la Calle 12 N° 8-28 cerca al barrio residencial (San Laureano) según como se muestra en la imagen. Cuenta con un tramo de vía de 149 metros en el cual existe un ancho de 7,7 metros.

Imagen1. Ubicación de la zona de estudio unidad 1.

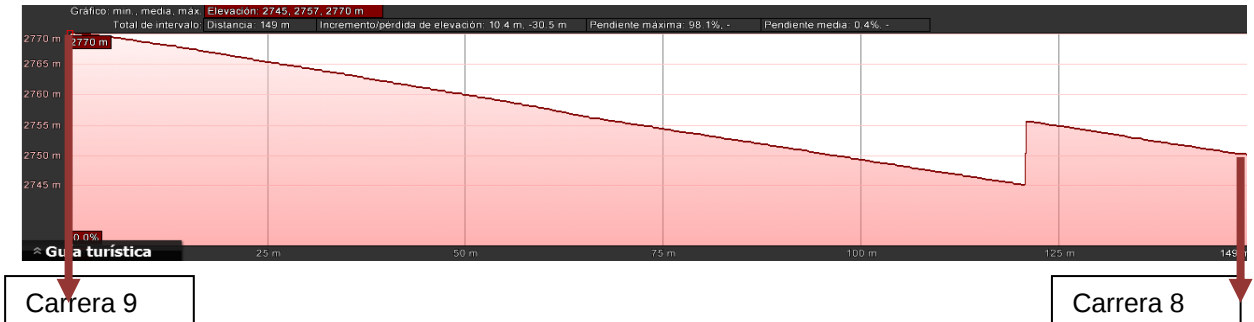


Ubicación de la vía.

Fuente. Google Earth. Mayo de 2013.

Se observa en la Image 1 la localización y al ser realizada la inspección visual se presenta agrietamiento, baches, huecos, desintegración de las mismas, además esta interconectada con la avenida oriental y algunas vías principales al centro de la ciudad. Dentro del recorrido de la vía se observa andenes a cada tramo el cual está por encima de la vía y a nivel con las casas lo cual hace más fácil el deslizamiento de la escorrentía. A continuación la Grafica 1 presenta el perfil de la vía en el cual presenta la inclinación en el tramo.

Grafica 1. Pendientes de la zona de estudio unidad 1.



Fuente Google Earth. Mayo de 2013.

Unidad 2: Delimitada desde la ruta 55 (doble calzada –Curubal), la cual se encuentra ubicada en la calle 18, cuenta con un tramo de vía de 1 km en la que se encuentra que en el k-0,00 existe un ancho de empalme de 11 metros. La Imagen 2 representa la localización.

Imagen2. Ubicación de la zona de estudio unidad 2.

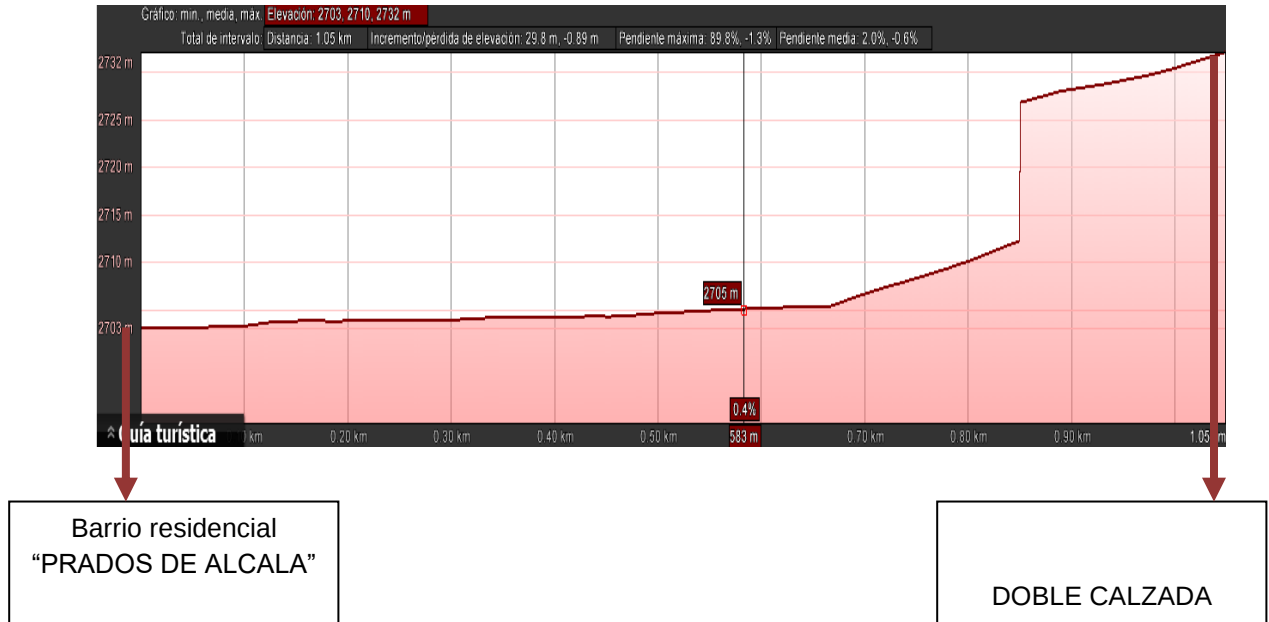


Fuente. Google Earth. Mayo de 2013.

Al realizar la topografía para esta vía, se encontró que existe capa vegetal a ambos extremos con aparición de carreteras interconectadas a la vía y reductores de velocidad hasta el k 0,0+ 150 metros en la que hubo la aparición de la primera casa, en lo que se pudo observar que el tramo de la presente vía está por encima del andén. Durante el recorrido se observa que la vía se encuentra en afirmado hasta el k-0,00+650 metros en el cual se encuentra una intersección con el barrio residencial Manzanares y un tramo de vía en adoquín que termina en el k-0,00+738 metros. Además se reconoce la presencia de zanjas, algunos pozos de alcantarillado y sardinell. Cabe resaltar que la vía es bastante transcurrida y que presenta variaciones en el ancho de la misma.

A continuación en la Grafica 2 se presenta el perfil de la vía en el cual presenta la inclinación en el tramo.

Grafica 2 Pendientes de la zona estudio unidad 2.



Fuente Google Earth. Mayo de 2013.

Unidad 3: Delimitada desde la ruta 62 de la vía principal Tunja-Bogotá y la calle 14 sur-puesto de salud cerca a la vereda (Runta) según como se muestra en la Imagen 3. Cuenta con un tramo de vía de 105 metros en el cual existe un ancho de 5,40 metros.

Imagen 3. Ubicación de la zona de estudio unidad 3.



Fuente Google Maps. Mayo de 2013.

Se observa que para esta vía se encontró presencia de capa vegetal a ambos extremos, además esta interconectada al sur occidente con la vía principal entre Tunja -Bogotá y al sur oriente con el barrio residencial San Carlos de la ciudad. Al realizar el recorrido de la vía se observa que no existe presencia de andenes peatonales y que además es una ruta de acceso con la entrada principal al (puesto de salud de Runta). Se reconoce la presencia de zanjas, y de tres pozos de alcantarillado ubicados en el PR 0, PR 41,5 Y PR 81,40 metros. Cabe resaltar que la vía se encuentra en afirmado, es transcurrida y presenta variaciones en el ancho de la misma.

3.6.1.1 Reconocimiento geotécnico de la vía.

Unidad 1 (Calle 12 N° 8-32-Calle 12 N° 8-28)

Fotografía 1. Vista desde la carrera 8ª hacia la carrera 9ª ascendente.



Fuente: Autores. Mayo de 2013.

- **Identificación de fallas**

El reconocimiento se inicia desde la carrera 8ª ascendiendo hasta la carrera 9ª en el cual se inicia en la intersección de la calle 12 con la carrera 8ª.

- **Baches**

Se refleja en la Fotografía 1 la desintegración de la superficie de la rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares. Las posibles causas de esta falla podrían ser; fundaciones y capas inferiores inestables, espesores insuficientes, defectos constructivos, retención de aguas en zonas hundidas y/o fisuras, la acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento y/o fundación, o sobre las áreas en las que se han desarrollado fisuras de tipo

cocodrilo, que han alcanzado un nivel alto de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, además de las acometidas realizadas por las empresas de agua, luz y/o gas, originando un bache. En función del área afectada y de la profundidad del bache, se determinó por observación y medición que las fallas presentes tienen una profundidad máxima de 2.5 a 5.0 cm. con un diámetro entre los 70cm y mayor a 100cm. Se determinó un abscisado en la intersección de la calle 12 con la carrera 8ª como punto de inicio, con una distancia entre falla menor a un metro, con esta información también se determinó el porcentaje de afectación con respecto a los 100m de distancia que tiene la vía corresponde, al 72% de daño este porcentaje corresponde al área afectada con respecto a la vía total. (Ver anexo Registro Fotográfico).

- **Corrimiento y exudación de asfalto**

El nivel de severidad mediano esté relacionado con que el corrimiento genera una vibración significativa o balanceo al vehiculó, que genera cierta incomodidad.

El porcentaje de afectación de la falla exudación de asfalto con respecto al resto de la vía (unidad 1) es de un 4%, su ubicación correspondiente es cercana a los 460m del punto inicial. (Ver Anexo Registro Fotográfico).

- **Parcheo y reparaciones por servicio público.**

El parcheo se extiende desde el inicio en una distancia de 350m, en la mitad a los 555m y la parte final en los 950m en tres puntos de la vía con áreas determinantes que cumple con un 24% de afectación a la vía. (Ver Anexo Registro Fotográfico).

- **Unidad 2 (intersección doble calzada-Unad-prados de Alcala-Curubal)**

Km. 0.0+0 En el inicio de la vía se observa la unión que se presenta con la ruta 55 (doble calzada), con un grado de pendiente alto, además de encontrar presencia vegetal a lado y lado de la calzada; no hay presencia de carpeta asfáltica, y su estructura es una capa de afirmado, con un ancho de 11m respectivo al empalme de la vía con la ruta 55 (doble calzada). (Ver Anexo Registro Fotográfico).

Fotografía 2. Km. 0.0+0 Doble calzada-Curubal.



Fuente: Autores. Mayo de 2013

Km. 0.0+50m Presencia por derecha e izquierda de capa vegetal que cuenta con una altura mayor a la calzada que es de afirmado, con un ancho respectivo de 6.70m. La Fotografía 2 enseña la inclinación del alud presente..

Km. 0.0+100m Por derecha: Presencia de capa vegetal con estructura de contención (sardinel) con altura mayor a la calzada. Por izquierda: capa vegetal en igualdad a la calzada. Presencia de pozo de alcantarillado al Km. 0.0+106m y un ancho de calzada de 6.60m. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+150m Por derecha: estructura de contención (sardinel) y capa vegetal. Por izquierda: inicio del área urbana; primera casa. Cuenta con un ancho de 6.60m de calzada, y la unión con una carrera a los Km. 0.0+160m, en la cota Km. 0.0+169m y Km. 0.0+183m se hace evidente la presencia de pozo de alcantarillado. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+200m Por derecha e Izquierda: presencia de estructura de contención sardinel (anden).Cuenta con un ancho de 6.60m. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+250m Por derecha: presencia de estructura de contención anden (sardinel). Por izquierda: capa vegetal. Cuenta con ancho de calzada de 6.60m; en la cota Km. 0.0+260.5m se presenta aparición de una carrera y en la cota Km. 0.0+288.2m un reductor de velocidad transversal a la calzada. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+300m Por derecha: estructura de contención andén, aparición de casas. Por izquierda: capa vegetal con estructura de contención (sardinel). Tiene un ancho de calzada de 10m, en la cota Km. 0.0+319.20m se encuentra un pozo de

alcantarillado. En esta parte se identifica que las casas quedan por debajo de la capa de rodadura hasta los siguientes 600m correspondientes al abscisado. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+350m Por derecha e izquierda: presencia de casas con estructura de andén. En la cota Km. 0.0+369m se hace presente un pozo de alcantarillado. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+400m Por derecha: estructura de contención y casa. Por izquierda: inicio de carrera (esquina) Cuenta con un ancho de 7.80m de calzada además en la cota Km. 0.0+420m por la parte derecha inicia una carrera. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+450m Por derecha: presencia de construcción (casa) y estructura de contención andén. Por izquierda: capa vegetal. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+500m Por derecha: aparición de carrera. Por izquierda: presencia de capa vegetal. Tiene un ancho de calzada de 8.20m y en la cota Km. 0.0+541m hay un reductor de velocidad transversal a la calzada. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+550m Por derecha: estructura de contención andén y casas. Por izquierda: capa vegetal. En la abscisado del Km. 0.0+576 se hace presente un pozo de alcantarillado. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+600m Por derecha: presencia de estructura de contención andén y capa vegetal. Por izquierda: estructura de contención andén y casas. Tiene un ancho de calzada de 9.40m y en el abscisado del Km. 0.0+611m y Km. 0.0+629m existe reductores de velocidad a través de la calzada. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+650m Por derecha: intersección con carrera. Por izquierda: Inicio de carrera en adoquín (estructura articulada). Tiene un ancho de 9.20m, en el abscisado del Km. 0.0+645m, se da inicio a la calle en adoquín Km. 0.0+659m en el cual existe presencia de un pozo de alcantarillado. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+800m Por derecha: capa vegetal. Por Izquierda: capa vegetal y presencia de zanja demarcada para drenaje hacia la alcantarilla. Presenta un ancho de 6.90m de calzada. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+850m Por derecha: capa vegetal. Por izquierda: presencia de zanja y muro. Cuenta con un ancho de 7.6m, en la cota Km. 0.0+896m hay una intersección con una carrera en la parte izquierda. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+900m Por derecha: capa vegetal. Por izquierda: intersección calle. Tiene un ancho de 8.80 m de calzada además en la cota Km. 0.0+929m se hace presente una nueva intersección con una carrera. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 0.0+950m Por derecha: capa vegetal. Por izquierda: inicio del parque del barrio prados de Alcalá. Tiene un ancho de 6 m de calzada y en la cota Km. 0.0+968m se presenta un pozo de alcantarillado. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Km. 1.00 Aquí se termina el reconocimiento y este finaliza con un ancho de 6m con el final del parque y capa vegetal. (Ver anexo Registro Fotográfico).

- **Unidad 3 (ruta 62 vía principal Tunja Bogotá -calle 14 sur puesto de salud Runta)**

Fotografía 3. Inspección visual PR 0 (12A # 16-115 sur).



Fuente: Autores. Mayo de 2013.

PR 0. El reconocimiento inicia en la carrera 12A # 16-115 sur, la cual cuenta con un ancho de calzada de 10.50m, la calzada se encuentra con una capa de afirmado, el reconocimiento se realizó cada 25m ya que la vía cuenta con una longitud corta de 105m como se enseña en la Fotografía 3. (Ver anexo Registro Fotográfico).

PR 25m. En este punto se identificó por derecha la presencia de capa vegetal (cultivo) con mayor altura a la capa de afirmado presente en la calzada, y en la izquierda una casa la cual está al mismo nivel de la calzada, con un ancho de 4m. (Ver anexo Registro Fotográfico).

PR 50m. En esta longitud de la vía en la parte derecha e izquierda se evidencia la presencia de capa vegetal la cual para la parte izquierda es un cultivo en el mismo nivel de la vía, cuenta con un ancho de 5.40m. (Ver anexo Registro Fotográfico).

PR 75m. En el punto de referencia indicado la vía se intercepta con la carrera 13A # 15-16 San Carlos, en la parte derecha hay presencia de capa vegetal (cultivo). (Ver anexo Registro Fotográfico).

PR 105m. Aquí se termina la vía por derecha con el puesto de salud de Runta y en la izquierda presencia de capa vegetal con mayor altura a la calzada de la vía. (Ver anexo Registro Fotográfico).

3.6.1.2 Reconocimiento Hidráulico de la Vía

- **Unidad 1 (Calle 12 N° 8-32-Calle 12 N° 8-28)**

Para el reconocimiento hidráulico de la presente vía se encontró tan solo 1 pozo ubicado en el centro de la vía, además no existe captación de agua por medio de rejilla de alcantarillado. Cabe resaltar que es una vía con un tránsito medio en el cual se observa que los pozos de inspección se encuentran bastante deteriorados debido al tránsito inducido y generado. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Fotografía 4. Calle 12 N° 8-32 Pozo 1: K0+420m.



Fuente: Autores. Mayo de 2013

Pozo 1: K0+420m

Se sugiere ubicar dos sumideros en ambos costados de la vía, cerca al pozo de inspección que está ubicado a 420 metros del inicio de la misma para que así

exista un mejor drenaje con respecto a la escorrentía; además de la instalación de cunetas a ambos costados de la vía para mayor desagüe. En la fotografía 4 se evidencia la presencia de un pozo. (Ver anexo Registro Fotográfico).

- **Unidad 2 (intersección doble calzada-Unad-prados de Alcala-Curubal)**

Existen serios, problemas, de drenajes pluviales, principalmente en las zona urbana construida y habitada; además se observa que cada vez que caen "lluvias", las calles son convertidas en lagunas, principalmente en zonas bajas, donde no existen drenajes o los existentes son "deficientes" o no "funcionan" por falta de mantenimientos adecuados, y periódicos, por parte de las entidades pertinentes, se observa que el único elemento que descarga las aguas lluvias intensas es tan solo una alcantarilla como se observa en las fotos. (Ver Anexo Registro Fotográfico).

Talud K0+0,00

Para la unidad 2 se observa que al inicio de la vía existe un talud para el cual es recomendable que exista un sumidero para desagüe del agua entre el k0+0 y el k0, 0+ 106, 3, teniendo en cuenta que desde el k0+0 hasta el punto nombrado, es donde termina la inclinación del talud. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Pozo 1 K0+183

En el K0, 0+183 metros se encuentra una pendiente en la cual se recomienda un sumidero de desagüe teniendo en cuenta que está cerca al tercer pozo de inspección, se recomienda que en K0.0+ 400 metros ubicar filtros y sumideros ya que en este tramo existe una interconexión de vías las cuales al desembocar, se están empozando en un solo sitio. (Ver anexo registro fotográfico).

Alcantarilla 1 K0+786

Para el K0.0+ 786 metros se encuentra localizada una alcantarilla la cual recolecta toda el desagüe de escorrentía de aguas lluvias, es necesario instalar solado para el recubrimiento y mantenimiento del mismo, además se recomienda la ubicación de cunetas a ambos tramos de la vía ya que en la mayoría de la vía la rasante está por encima de las casas.

Fotografía 5. Alcantarilla 1: K0+786 metros.



Fuente: Autores. Mayo de 2013

Dentro de la alcantarilla de la Fotografía 5 se determino que está hecha en concreto, con una rejilla la cual está tapada por residuos sólidos y basuras, capa vegetal y ducto de aguas lluvias el cual se encuentra en muy mal estado, cabe resaltar que existen 2 alcantarillas que se encuentra en el k0+786 metros y están ubicadas a cada extremo. Cuando se va a proyectar y diseñar una carretera, camino o calle, hay que hacer estudios hidrológicos para poder diseñar un sistema de drenaje funcional, económico, seguro y que contribuya con las vías de comunicaciones. (Ver anexo Registro Fotográfico).

- **Unidad 3 (ruta 62 vía principal Tunja Bogotá -calle 14 sur puesto de salud Runta).**

Fotografía 6. Pozo 1 PR 0+0.



Fuente: Autores. Mayo de 2013

Para el reconocimiento hidráulico de la presente vía se observó en la Fotografía 6 un pozo presente, se encontraron tres pozos ubicado en el tramo de la vía, además se observa que no existe captación de agua por medio de rejilla de alcantarillado. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Pozo 1 PR 0+0: para la unidad 3 (ruta 62 vía principal Tunja-Bogotá-calle 14 sur-puesto de salud Runta'), se observa que en el inicio de la vía se encuentra el primer pozo de alcantarillado el cual es recomendable que para el PR 0 exista un sumidero para desagüe del agua teniendo en cuenta que es el punto donde existe una intersección entre dos rutas las cuales conectan a la vía. (Ver anexo registro fotográfico). (Ver anexo Registro Fotográfico).

Pozo 2: PR 0+ 41,5: en el PR 0+41,5 metros, se encuentra el segundo pozo de alcantarillado en el cual se observa que existe una pendiente, para este caso es recomendable dos sumideros de desagüe teniendo en cuenta que los pozos están ubicados en forma distribuida por encima de la vía. (Ver anexo registro fotográfico).

Pozo 3 PR 0+ 81,40: en el PR 0+ 81,40 metros se encuentra el tercer pozo de alcantarillado el cual se recomienda la ubicación de filtros y de dos sumideros, ya que en este tramo existe una intersección con la carrera 13ª, y está junto con el puesto de salud de Runta. (Ver anexo Registro Fotográfico).

Dentro del reconocimiento se observa que desde el ultimo pozo ubicado a los 81,40 metros hasta el final de la vía, presenta una socavación producida por el agua, para lo cual se recomienda la construcción de filtros y cunetas a ambos extremos de la vía, que por medio del peralte, el agua tome dirección hacia las estructuras recomendadas. Cabe resaltar que dentro del tramo de la vía no existe ninguna alcantarilla que recolecte las aguas lluvias, por esto es necesario instalar los sumideros y filtros ya sugeridos, además de la instalación de cunetas a ambos extremos de la vía para generar una rápida evacuación del agua de escorrentía. (Ver anexo Registro Fotográfico).

3.6.2 Información existente

3.6.2.1 Geología del sector. Es necesario el estudio geológico del municipio, para tener un conocimiento general de la estructura y composición de material que compone el subsuelo, permitiéndonos así conocer con qué se cuenta en materia de su composición mineralógica, los procesos geológicos que han actuado en el pasado y cuales puedan ser las fuentes de amenazas geológicas en el sector tales como formación Plaeners, Arenisca labor y Tierna, Guaduas, Bogotá, Tilatá, Cuaternaria aluvial (VER ANEXO A1).

3.6.2.2 Climatología. Los niveles de estudio se enfatizan sobre el mesoclima que es el clima general modificado de forma local por diversos aspectos como paisaje, relieve, altitud, construcciones entre otros, y sobre el microclima que es el conjunto de características especiales que adquiere el mesoclima bajo condiciones restringidas teniendo una gran diferenciación respecto al macroclima en cuanto a su representatividad, destacando que los valores normales de los caracteres climáticos registrados en dichas estaciones suministran períodos óptimos en años para la región en estudio excepto para precipitaciones (40 a 50 años).

El clima del municipio de Tunja se tuvo en cuenta la información presentada en el esquema de ordenamiento territorial. El Municipio de Tunja (se encuentra a una altura promedio de 2800 m.s.n.m. Tunja debido a su cercanía a la capital del departamento; Tunja, comparten las mismas clasificaciones climáticas. Según la clasificación de Köppen, Tunja posee un clima de tipo EH: Frío de alta montaña. Los valores totales mensuales de precipitación y temperatura fueron consultadas en la estación ubicada en la Universidad Pedagógica de Colombia (UPTC).

El ambiente de montaña tropical en que se encuentra el Municipio presenta un gradiente térmico con variaciones microclimáticas por el efecto de Barrera, por los valles y depresiones donde se invierten las direcciones y sentidos del viento: de la madrugada al anochecer y de la tarde a la noche, por la formación de cinturones térmicos (días con temperaturas cercanas a la media y noches con máxima temperatura, y por el embolsamiento de aire frío que en la noche desciende al fondo de los valles con inminente peligro de heladas.

- Precipitación.

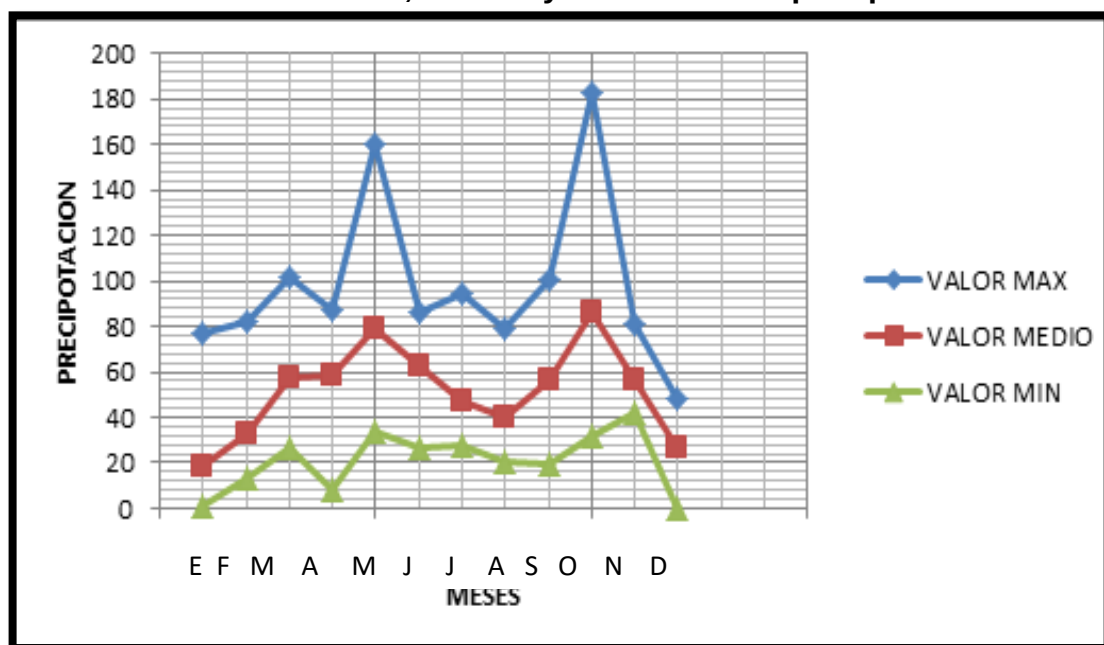
Valores mensuales de precipitación obtenida de la estación climatológica de la universidad pedagógica de Colombia del año 2000 al 2012.

Tabla 1. Valores mensuales de precipitación.

año	enero	febr.	mar	abr.	mayo	jun	jul.	Agos.	sep	oct.	nov.	dic.	vr/an
2000	5,1	26,1	61,2	46,9	75	75,1	59	50,8	79,2	65,1	62,6	32,8	639
2001	2,2	26,1	37,6	7,8	87,6	54,9	34	22,2	60,5	31,8	81,3	39,8	486,2
2002	13,5	15,1	69,6	87,2	131	57,7	40	46,7	67,2	82	48,3	16,3	674,8
2003	1	18,9	101,9	67,9	42,8	35,9	41	21,5	71,1	136,8	83,1	46,6	668,7
2004	13,3	24,3	40,9	139	140,8	35,3	51	24,8	52,9	106,1	76	30,1	734,4
2005	22,8	29,5	10,9	70,2	87,7	34,3	34	43,8	29,1	97,5	120	24,5	603,9
2006	93,7	8,2	106	148	33,2	101	40	17,2	51,3	113	89	61,4	862,3
2007	5,1	5,1	36,6	108	59	37,5	42	65,1	28,9	142	82,7	45,5	657,6
2008	15,2	8,4	37,2	72,6	115,1	35,9	51	96,2	36,2	65,8	153	36,5	722,8
2009	40,1	29,6	54,4	101	66,1	66,9	25	29,6	35,6	81,3	40,8	8,1	578,4
2010	0	24,6	21,8	174	137,2	65,1	166	31	40,7	111	122	110	1002,8
2011	7,5	128	125,5	270	163,4	42,7	85	23,8	56,1	135,1	181	99,9	1318,3
2012	36,4	20	50	308	35,2	27,2	68	31,2	15,4	46,8	23,4	18,6	680,3

Fuente: Registros de estación climatológica de la Universidad Pedagógica de Colombia. Mayo 2013.

Gráfica 3. Valores máximos, medios y mínimos de la precipitación.



Fuente. Autores.

- Precipitación Medio anual 741 mm, lo que constituye un clima frío tipo seco.

- Se observa en la Grafica 3 que los meses en donde se presenta precipitación elevada son Marzo, Mayo, Julio, Septiembre y Octubre lo cual indica que estos meses son de épocas de lluvias.
- Los meses Enero, Abril, Junio, Diciembre presenta precipitación mínima lo cual refiere que son épocas secas.
- Se observa en la Tabla 1 que en el año 2010-2011 aumento la precipitación considera dablemente, debido que ocurrió el fenómeno de la niña.
- En el 2009, se redujo la precipitación con respecto a los demás años es decir que en este año tuvo épocas secas.
- En el año 2012, el mes que presento una mayor precipitación fue Abril, lo cual indica que ese mes estuvo en época de lluvias.

- Temperatura

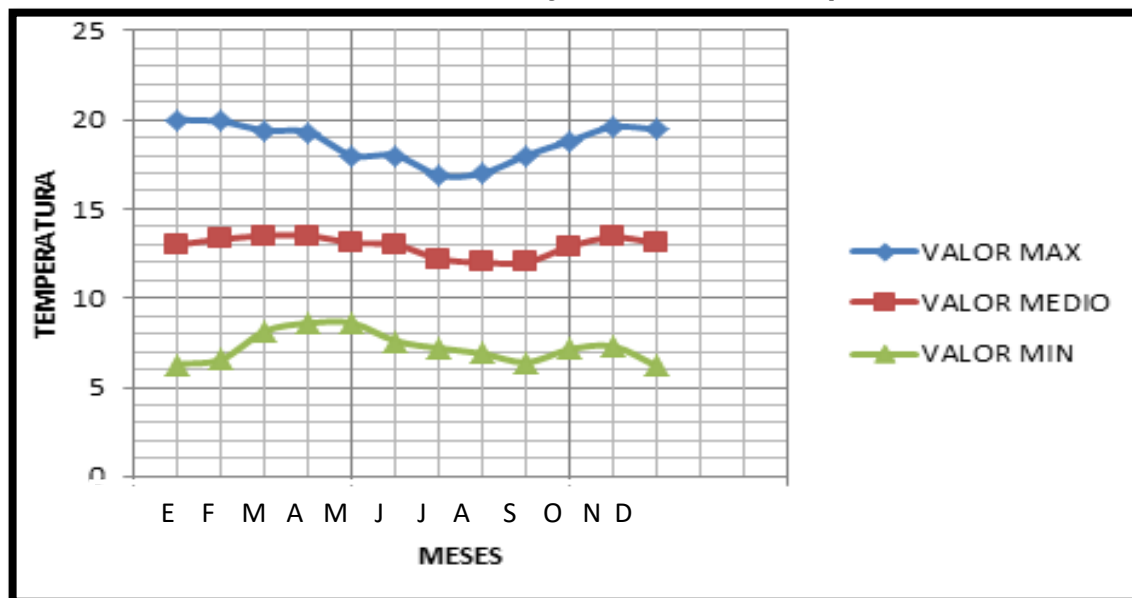
Valores mensuales de precipitaciones obtenidas de la estación climatológica de la universidad pedagógica de Colombia del año 2000 al 2012.

Tabla 2. Valores mensuales de temperatura.

AÑO	ENER	FEBR	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS.	SEP	OCT	NOV	DIC	VR/AN
1995	12,6	13,3	13,8	14	13,4	12,9	12	12,6	12,7	12,9	13,4	12,8	13,1
1996	12,7	13	13,4	13,7	13,2	12,7	12	12	12,5	13,1	13,2	12,6	12,8
1997	13,3	12,9	13,8	13,6	13,4	13,2	12	12,2	13,1	13,7	13,9	13,5	13,2
1998	14,8	15	15	15,3	14,2	12,9	13	12,7	13	13,7	13,6	13,2	13,8
1999	13,1	13,1	13,2	13	13	12,8	12	12,1	12,3	12,8	13,5	13,8	12,9
2000	13,2	13,2	13,6	13,5	13	13	12	12,1	12,5	12,8	13,3	12,6	12,9
2001	12,6	12,9	13,4	13,5	13,6	12,2	13	12,1	13	13,6	13,5	14,2	13,1
2002	13,2	14,1	13,9	13,6	13,6	12,6	12	12,3	12,7	13,1	12,9	13,4	13,2
2003	13,8	14,2	13,8	13,8	13,5	12,9	12	12,7	12,7	13,6	13,6	13,3	13,3
2004	13,7	13,8	14,2	13,6	13,5	12,3	13	12,1	12,8	13,3	13,4	13,6	13,2
2005	13,6	14,3	15	14,1	14	13	12	12,5	12,9	13,3	13,6	13,6	13,5
2006	13,5	14	13,5	13,6	13,3	12,7	12	12,5	12,7	13,6	13,6	13,3	13,2
2007	13,5	13,4	13,9	14,1	13,6	12,6	12	12,1	12,4	13,2	13,2	13	13,1
2008	12,8	13,3	13,4	13,6	13,2	12,8	12	12,8	12,6	13,2	13,5	13,3	13,1
2009	13,2	13,3	13,7	13,5	13,2	12,7	12	13,1	12,9	13,5	14,1	13,9	13,3
2010	13,6	14,8	14,6	14,6	14,3	13,4	13	12,4	13,1	13,4	12,8	12,9	13,6
2011	13,1	12,9	13	13,5	13	13,1	12	12,5	12,2	12,8	13,4	13,3	12,9
2012	13,4	13	13,2	13,3	13,1	12,4	12	12,3	12,5	13,1	13,5	13,1	12,93

Fuente: Autores, Mayo 2013.

Grafica 4. Valores máximos, medios y mínimos de Temperatura.



Fuente: Autores, Mayo 2013.

Tabla 3. Valores máximos, medios y mínimos de temperatura.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
VALOR MAX	20	19,9	19,4	19,3	18	18	16,9	17	18	18,8	19,6	19,46
VALOR MEDIO	13	13,3	13,5	13,5	13,1	13	12,2	12	12	12,9	13,4	13,1
VALOR MIN	6,3	6,57	8,15	8,6	8,6	7,6	7,2	6,9	6,4	7,13	7,3	6,2

Fuente: Autores, Mayo 2013.

- Es de anotar que debido a los cambios bruscos de temperatura entre las horas del día y las horas de la noche, especialmente durante la época seca de diciembre y enero, en las partes planas de esta región y, en general, en las zonas planas de la cuenca alta del río Chicamocha por encima de los 2.500 msnm, se registran temperaturas bajas que producen heladas.
- Los valores que revela la Tabla 3 presenta que en el nivel mensual permanecen estables, alrededor del promedio anual, con oscilaciones aproximadas 13°C. Es decir, se puede concluir que la temperatura en esta región permanece constante durante todo el año.
- La temperatura promedio anual se establece alrededor de los 13°C.
- Las temperaturas máximas medias mensuales, mínimas medias y máximas presentan un comportamiento lineal ya que la temperatura no presenta variaciones.

- La temperatura máxima media presenta un valor promedio anual de 18°C, mientras que la temperatura mínima media presenta un valor promedio anual de 8°C.
- Precipitaciones se presentan para el fenómeno de la niña.

- Precipitación y condiciones de humedad para el ensayo.

Para la precipitación y condiciones de humedad se determinó un R1, en una región fría seca con una temperatura menor a 13°C, precipitación media anual menor a 1000 mm y condiciones de humedad para el ensayo con humedad y densidad de equilibrio según la norma I.N.V.E. 146. Según como se muestra en la tabla (ver anexo A2).

3.6.3 Localización de apiques en la vía. En las vías de estudio se realizaron ocho (8) apiques los cuales se hicieron para tres vías apoyándonos en la INVE 101-07, para la distancia entre apiques. En cada uno de los apiques se tomaron muestras inalteradas, la profundidad adoptada para los cuales se encuentra entre 0.35 a 0.45 ya que esta profundidad depende mucho de donde se encuentre el suelo natural de las vías. El tipo de perforación empleada para cada uno de los apiques realizados en el proyecto es manual, la transmisión de esfuerzo y deformaciones del suelo de fundación empiezan a ser mínimos como se muestra en la tabla 5.

Tabla 4. Apiques, profundidades y localización de las vías de diseño.

APIQUE	PROFUNDIDAD	LOCALIZACION
1	0,37m-0,60m	CALLE 12 N° 8-32
2	0,30m-0,54m	CALLE 12 N° 8-28
3	0,27m-0,53m	RUTA 55 DOBLE CALZADA - CURUBAL
4	0,25m-0,49m	RUTA 55 DOBLE CALZADA - CURUBAL
5	0,29m-0,52m	RUTA 55 DOBLE CALZADA - CURUBAL
6	0,26m-0,49m	RUTA 55 DOBLE CALZADA - CURUBAL
7	0,31m-0,55m	RUTA 62- VIA PRINCIPAL TUNJA-BOGOTA
8	0,16m-0,40m	CALLE 14 SUR- PUESTO DE SALUD RUNTA

Fuente: Autores.

La investigación preliminar se efectuara con base a una profundidad por debajo de la cota de rasante donde las características del suelo tienen un efecto significativo en el comportamiento del pavimento. Por debajo de este nivel la resistencia y la densidad del suelo no afectan la estructura, debido a que la incidencia de las cargas de tránsito es prácticamente insignificante.

Para investigaciones preliminares se recomienda una profundidad mínima de exploración a partir de la cota rasante de 1.20 m. (ver anexo A4)

3.6.4 Resultados de ensayos de laboratorio. Sobre una cantidad representativa de los diferentes tipos de suelo encontrados, se realizaron las pruebas de laboratorio requeridas para clasificar y determinar las propiedades In-situ, así:

Clasificación.

- Límites de consistencia:
- Limite líquido (i.n.v.e. 126)
- Limite plástico (i.n.v.e. 123)
- Índice de plasticidad
- Propiedades "in situ":
- Humedad natural (i.n.v.e. 122)
- Ensayo de valor relativo de soporte cbr (i.n.v.e. 148)

(Ver anexos-hojas de cálculo ensayos de laboratorio)

3.6.5 Clasificación de suelos. Según los resultados obtenidos en laboratorio, el proyecto para estas tres vías contiene arcillas con grava, comprendiendo mezclas de arena, arcilla y limos con plasticidad media a baja en su composición, calificado como malo en superficie de rodadura y con capacidad de soporte buena a deficiente.

- **Unidad 1. (CALLE 12 N° 8-32-CALLE 12 N° 8-28)**

Tabla 5. Apique N°1.

ABCSISADO	LITOLOGIA	HUMEDAD	% PASA N°	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		DESCRIPCION
(m)	Carpeta Asfáltica 3cm	(%)		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
CALLE 12 N° 8-32	prof 0,37 a 0,60 m	14,4	41,67	21,9	12,6	9,3	SC	A4	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLA DE ARENA Y ARCILLA

Fuente: Autores, Mayo 2013.

Dentro de la clasificación del suelo para la unidad 1 se observó que en el apique 1 se presentó arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla, se obtuvo una

clasificación SUCS de SC y por la clasificación de la Aashto de A4. (Remítase al anexo A5-unidad 1).

Tabla 6. Apique N°2.

ABCSISADO	LITOLOGIA	HUMEDAD	% PASA N° 200	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		DESCRIPCION
(m)	Carpeta Asfáltica 4cm	(%)		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
CALLE 12 N° 8-28	prof 0,30 a 0,54 m	13,4	45,42	19,5	11	8,6	SC	A4	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLA DE ARENA Y ARCILLA

Fuente: Autores, Mayo 2013.

Para el apique N° 2 de la unidad 1 se encuentra la misma clasificación del apique 1 debido a que se tomó la misma muestra inalterada del suelo. (Remítase al anexo A5- unidad 1).

SC: Arenas con Finos – Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla.

Con un suelo de tipo SC, y formado con material arenoso en proporción mayor, comprende suelos gruesos que generalmente son regularmente estables en terraplenes y con capacidad de soporte que puede variar entre buena a deficiente; esto, sumado a la plasticidad encontrada y una capas pequeñas de afirmado en el tramo, representa consistencias que deben ser controladas con buenos drenajes y estabilidad en la estructura base de la capa de pavimento.

- **Unidad 2. (ruta 55 doble calzada-Curubal)**

Tabla 7. Apique N°3.

ABCSISADO	LITOLOGIA	HUMEDAD	% PASA N° 200	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		DESCRIPCION
(m)	Recebo prof 20cm	(%)		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
K0+100	prof 0,27 a 0,53 m	26,3	36,46	71,8	27,7	44,1	CH	A-7-5a	ARCILLAS INORGANICAS DE ALTA PLASTICIDAD, ARCILLAS FRANCAS

Fuente: Autores, Mayo 2013.

Dentro de la clasificación del suelo para la unidad 2 se observó que en el apique 3 se presentó arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas se obtuvo una clasificación SUCS de CH y por la clasificación de la Aashto de A-7-5A. (Remítase al anexo A5 unidad 2).

Tabla 8. Apique N°4.

ABCSISADO	LITOLOGIA	HUMEDAD	% PASA N° 200	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		DESCRIPCION
(m)	Recebo prof 20cm	(%)		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
K0+500	prof 0,25 a 0,49 m	3,1	37,63	31,5	13,4	18,1	SC	A6	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLA DE ARENA Y ARCILLA

Fuente: Autores, Mayo 2013.

Dentro de la clasificación del suelo para la unidad 2 se observó que en el apique 4 se presentó arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla, se obtuvo una clasificación SUCS de SC y por la clasificación de la Aashto de A6. (Remítase al anexo A5 unidad 2).

Tabla 9. Apique N°5.

ABCSISADO	LITOLOGIA	HUMEDAD	% PASA N° 200	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		DESCRIPCION
(m)	Recebo prof 20cm	(%)		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
K0+800	prof 0,29 a 0,52 m	19,6	39,89	34,7	18,4	16,4	SC	A6	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLA DE ARENA Y ARCILLA

Fuente: Autores, Mayo 2013.

Dentro de la clasificación del suelo para la unidad 2 se observó que en el apique 5 se presentó arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla, se obtuvo una clasificación SUCS de SC y por la clasificación de la Aashto de A6.). (Remítase al anexo A5 unidad 2).

Tabla 10. Apique N°6.

ABCSISADO	LITOLOGIA	HUMEDAD	% PASA N° 200	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		DESCRIPCION
(m)	Recebo prof 20cm	(%)		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
K0+950	prof 0,26 a 0,49 m	18,9	65,23	34,6	16,8	17,8	SC	A6	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLA DE ARENA Y ARCILLA

Fuente: Autores, Mayo 2013.

Dentro de la clasificación del suelo para la unidad 2 se observó que en el apique 6 se presentó arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla, se obtuvo una clasificación SUCS de SC y por la clasificación de la Aashto de A6. (Remítase al anexo A5 unidad 2).

K0+100

CH= arcillas inorgánicas de alta plasticidad-arcillas francas

Con un suelo de tipo CH conformado por arcillas inorgánicas y arcillas francas, arcillas formadas por descomposición química de cenizas volcánicas, tales como la bentonita o la arcilla del valle de México, con límites líquidos de hasta 500% se encasillan en el grupo CH.

K0+500- K0+950

SC: Arenas con Finos – Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla.

Con un suelo de tipo SC, y formado con material arenoso en proporción mayor, comprende suelos gruesos que generalmente son regularmente estables en terraplenes y con capacidad de soporte que puede variar entre buena a deficiente; esto, sumado a la plasticidad encontrada y una capas pequeñas de afirmado en el tramo, representa consistencias que deben ser controladas con buenos drenajes y estabilidad en la estructura base de la capa de pavimento.

- **Unidad 3. (ruta 62 vía principal Tunja Bogotá -Calle 14 sur puesto de salud Runta)**

Tabla 11. Apique N°7.

ABCSISADO	LITOLOGIA	HUMEDAD	% PASA N° 200	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		DESCRIPCION
(m)	Recebo prof 23cm	(%)		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
K0+0 RUTA 62 VIA PRINCIPAL TUNJA- BOGOTA	prof 0,31 a 0,55 m	1,2	44,3	30,8	17	13,7	SC	A6	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLA DE ARENA Y ARCILLA

Fuente: Autores, Mayo 2013.

Dentro de la clasificación del suelo para la unidad 3 se observó que en el apique 7 se presentó arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla, se obtuvo una clasificación SUCS de SC y por la clasificación de la Aashto de A6. (Remítase al anexo A5 unidad 3).

Tabla 12. Apique N°8.

ABCSISADO	LITOLOGIA	HUMEDAD	% PASA N° 200	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACION		DESCRIPCION
(m)	Recebo prof 11cm	(%)		LL	LP	IP	SUCS	AASHTO	
CALLE 14 SUR- PUERTO DE SALUD RUNTA	prof 0,16 a 0,40 m	0,4	59,9	43,4	26,8	16,6	CL	A-7-5a	ARCILLA DE BAJA PLASTICIDAD

Fuente: Autores, Mayo 2013.

SC: Arenas con Finos – Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla.

Con un suelo de tipo SC, y formado con material arenoso en proporción mayor, comprende suelos gruesos que generalmente son regularmente estables en terraplenes y con capacidad de soporte que puede variar entre buena a deficiente; esto, sumado a la plasticidad encontrada y una capas pequeñas de afirmado en el tramo, representa consistencias que deben ser controladas con buenos drenajes y estabilidad en la estructura base de la capa de pavimento.

CL: Arcillas con grava - arcillas arenosas

Consecutivamente, dentro de los rangos característicos de la muestra analizada a los tramos posteriores, encontramos arcillas en un suelo base que normalmente tiene capacidad de soporte mínima o muy deficiente, con susceptibilidad a licuefacción y con características que deben controlarse geotécnica e hidrológicamente con intensidad mayor en los abscisados de pendientes altas.

3.6.6 Descripción del perfil en campo. Con base en la investigación preliminar y en las unidades de diseño ya definidas, se deben tomar decisiones acerca del tratamiento general de la subrasante, considerando alguno de los siguientes casos:

- Capa subrasante conformada por el suelo natural o de fundación.
- Remoción parcial del suelo de fundación para conformar la capa subrasante con un suelo de préstamo.
- Tratar el suelo de fundación mediante compactación o estabilización química para conformar una capa de subrasante con el suelo mejorado in situ.
- Subrasante correspondientes a coronas de terraplén.

Suelos de fundación de la estructura del pavimento considerado especial como son: suelos expansivos, suelos sensitivos de origen volcánico. (Ver Anexo 6).

Imagen 4. Perfiles litográficos.

UNIDAD 1-APIQUE 1

prof 0,37 m	prof 0,60 m
SC	SC

UNIDAD 1-APIQUE 2

prof 0,30 m	prof 0,54 m
SC	SC

UNIDAD 2-APIQUE 1

prof 0,27 m	prof 0,53 m
CH	CH

UNIDAD 2- APIQUE 2

prof 0,25 m	prof 0,49 m
SC	SC

UNIDAD 2-APIQUE 3

prof 0,29 m	prof 0,52 m
SC	SC

UNIDAD 2-APIQUE 4

prof 0,26 m	prof 0,49 m
SC	SC

UNIDAD 3-APIQUE 1

prof 0,31 m	prof 0,55 m
SC	SC

UNIDAD 3-APIQUE 2

prof 0,16 m	prof 0,40 m
SC	SC

Fuente. Autores, 2014.

En la unidad 1 la descripción del suelo se encontró: carpeta asfáltica de 0,03 m; recebo de 0,25m y descapote de la subrasante de 0,09 m, adicional a esto se muestra la localización en planta y en perfil de la vía.

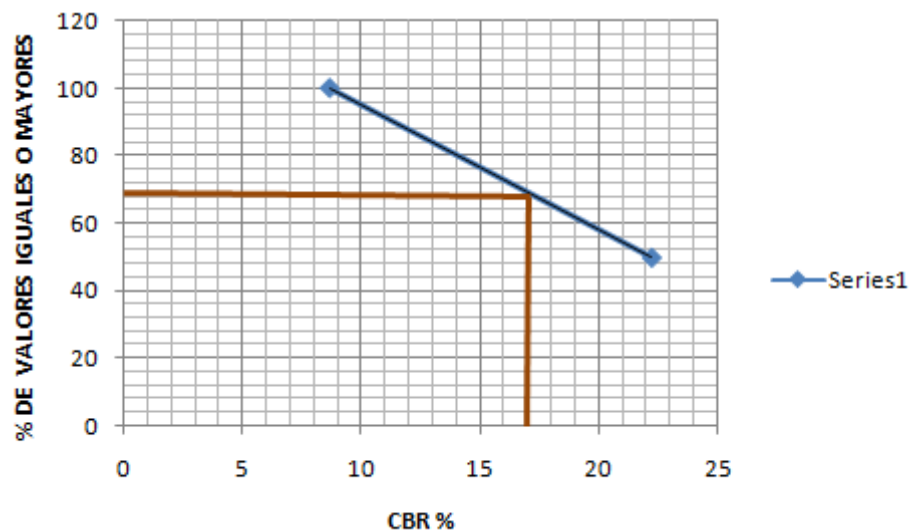
Para las unidades 2 y 3 dentro de la descripción del suelo se encontró: carpeta asfáltica de 0,04 m; recebo de 0,020m y descapote de la subrasante de 0,06 m, adicional a esto se muestra la localización en planta y en perfil de la vía. (Para ver unidad 2 y 3, remitirse al anexo A6 descripción del perfil en campo).

3.6.7 Capacidad de Soporte. Con el fin de establecer el valor de Capacidad de Soporte de la Subrasante, se llevó a cabo un análisis con base en los resultados de laboratorio obtenidos a partir de ensayos de PDC y CBR. Con el fin de definir el CBR de diseño se determinó por el criterio del instituto del asfalto.

3.6.7.1 Cálculo del CBR de diseño (criterio del instituto del asfalto). Dadas las condiciones de variabilidad de capacidad de soporte en la subrasante, se definieron diferentes unidades de diseño, definidas como sectores para las cuales se calcula el C.B.R de diseño, en cada una de ellas mediante el método del percentil 75 y teniendo en como base los datos de C.B.R obtenidos durante la exploración, Con el fin de definir el diseño se determinó por el criterio del instituto del asfalto.

- **Unidad 1 (Calle 12 N° 8-32-Calle 12 N° 8-28)**

Grafica 5. Determinación del CBR de diseño unidad 1.

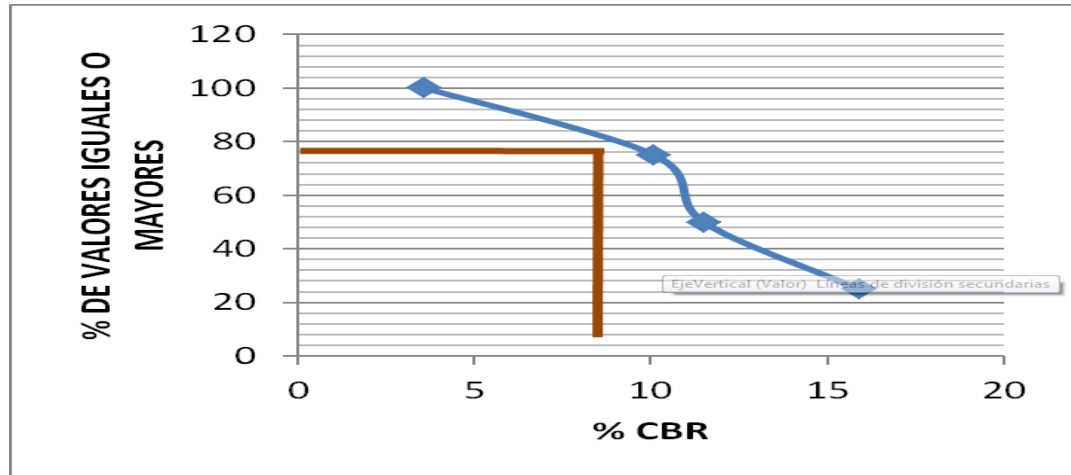


Fuente: Autores, Agosto 2013.

En la Grafica 5ª través de la cual se determinó un CBR de diseño para la unidad 1 de 17% teniendo en cuenta el número de valores iguales o mayores y del 75% de valores iguales o mayores (Ver Anexo A7 determinación de CBR de diseño unidad 1).

- **Unidad 2 (intersección doble calzada-Unad-prados de Alcala-Curubal)**

Grafica 6. Determinación del CBR de diseño unidad 2.

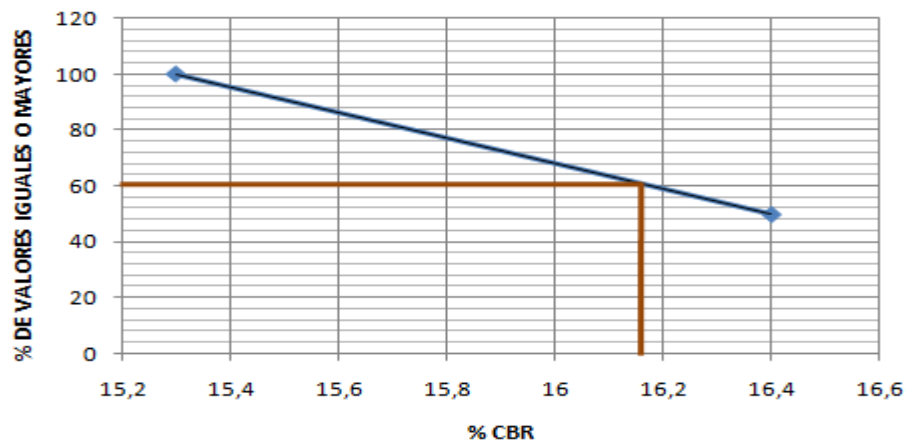


Fuente: Autores, Agosto 2013.

En la Grafica 6 en la cual se determinó un CBR de diseño para la unidad 2 de 8% teniendo en cuenta el número de valores iguales o mayores y del 75% de valores iguales o mayores (remitir a anexo A7 determinación de CBR de diseño unidad 2).

- **Unidad 3 (ruta 62 vía principal Tunja Bogotá -calle 14 sur puesto de salud Runta)**

Grafica 7. Determinación del CBR de diseño unidad 3.



Fuente: Autores, Agosto 2013.

En la Grafica 7 la cual se determinó un CBR de diseño para la unidad 3 de 16.18% teniendo en cuenta el número de valores iguales o mayores y del 75% de valores iguales o mayores (remitir a anexo A7 determinación de CBR de diseño unidad 3).

- **Estudio de tránsito.**

Dentro del presente estudio de tránsito se tuvo en cuenta los días tipos y atípicos, para así determinar el flujo vehicular circundante para estas tres unidades de diseño, teniendo en cuenta que son vías que a futuro tendrán una gran movilidad vehicular.

- **Unidad 1 (Calle 12 N° 8-32-Calle 12 N° 8-28)**

Confiabilidad En La Estimación Del Tránsito

$$N' = 10^{0.05 \cdot Z_r} \cdot N$$

Nivel de confianza= 90%

$$Z_r = 1.282$$

10 años

N'=304,138 ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

N'= $3,0 \cdot 10^5$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

15 años

N'=486,981 ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

N'= $4,8 \cdot 10^5$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

20 años

N'=603,036 ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

N'= $6,0 \cdot 10^5$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

(Para el cálculo del tránsito remitirse a anexo A8)

- **Unidad 2 (Intersección Doble Calzada-Unad-Prados De Alcala-Curubal)**

Resultados

Confiabilidad En La Estimación Del Tránsito

$$N' = 10^{0.05 \cdot Z_r} \cdot N$$

Dónde:

Nivel de confianza= 90%

$$Z_r = 1.282$$

10 años

N'= 1'296, 741 ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

$N' = 1,2 * 10^6$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño
15 años

$N' = 2'097,373$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

$N' = 2,0 * 10^6$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

20 años

$N' = 3'025,524$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

$N' = 3,0 * 10^6$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

(VER ANEXO 5 ESTUDIO DE TRÁNSITO PARA UNIDAD 2)

• **Unidad 3 (Ruta 62 Vía Principal Tunja Bogota- Calle 14 Sur Puesto De Salud Runta).**

Resultados

Confiabilidad En La Estimación Del Tránsito

$$N' = 10^{0.05 * Z_r} * N$$

Donde:

Nivel de confianza= 90%

$Z_r = 1.282$

10 años

$N' = 619,057$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

$N' = 6,1 * 10^5$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

15 años

$N' = 997,903$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

$N' = 9,9 * 10^5$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

20 años

$N' = 1437089$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

$N' = 1,4 * 10^6$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño

Como del proceso para cálculo de tránsito es bastante repetitivo a continuación se muestra la unidad 2 y unidad 3 (ver anexo A8- para unidad 2 y 3).

4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES Y MÉTODOS DE DISEÑO

4.1 DISEÑO DEL PAVIMENTO

Para el proyecto se determinaron tres unidades de diseño las cuales corresponden a la Unidad 1 localizada en la Calle 12 N° 8-32-Calle 12 N° 8-28, la Unidad 2 ubicada en Ruta 55 doble Calzada-Curubal y la Unidad 3 la cual se encuentra en Ruta 62 vía principal Tunja Bogotá -Calle 14 sur puesto de salud Runta, para cada una de estas se realizó el desarrollo metodológico de Invias, Aashto, Shell y Racional y a través de su comparación se logró determinar la mejor alternativa en base al costo- beneficio. Como el proceso es repetitivo para las tres unidades en el desarrollo de este capítulo se mostraran tablas de resumen en las cuales están los resultados finales correspondientes a los espesores que componen las alternativas, se recomienda ver los anexos A9 para ver el desarrollo de cada método de diseño para estructuras de pavimentos.

4.2 MÉTODO INVIAS

Para el desarrollo del método Invias se tomaron los siguientes datos de inicio para cada una de las unidades antes definidas.

Tabla 13. Unidad de diseño, método Invías.

		Unidad de diseño 1	Unidad de diseño 2	Unidad de diseño 3
Clasificacion jerarquica		Secundaria	Secundaria	Secundaria
Topografia		Montañosa	Ondulada	Ondulada
Superficie Actual		Pavimentado	Afirmado	Afirmado
Clima		Frio	Frio	Frio
Transito		Bajo	Alto	Bajo
Capacidad Subrasante		Baja	Baja	Alto

Fuente. Autores, Mayo 2014.

- Periodo de Análisis y Periodo de Diseño Estructural

Con el fin de satisfacer el objetivo del diseño se debe seleccionar el pavimento óptimo en términos del valor presente de los costos globales, es necesario considerar la forma en que se espera que el pavimento se desempeñe durante el periodo de análisis. La manera en que la estrategia de diseño puede ser presentada dependerá, en gran medida de la relación entre deterioro y tiempo y/o número de ejes equivalentes, la cual muestra una tendencia generalizada, de la disminución en calidad de circulación, con el tiempo y el numero acumulado de ejes equivalentes.¹⁵¹⁶

- Selección del Periodo de Análisis

El periodo de análisis es un periodo de procesamiento de datos de costos reales en vías nuevas se determinó que para el periodo de diseño se encuentra en la categoría II la cual refiere a colectores interurbanas, caminos rurales e industriales principales, importante, con un tránsito promedio diario de 1.000-10.000 como se muestra en la tabla (remitirse al anexo A9-tabla categorías de las vías unidad 1).¹⁷

- Selección del periodo de diseño estructural

Categoría II

Para las vías de la categoría II usualmente se usara un periodo de 15 años. (Remitirse al anexo A9-tabla periodo de análisis recomendado unidad 1).

- Estimación del tránsito de diseño

En la determinación del tránsito para el diseño de pavimentos asfálticos. El cálculo tiene como objetivo la cuantificación del número acumulado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas (N) que circularan por el carril de diseño durante un determinado periodo de diseño, que normalmente oscila de diez (10) a veinte (20) años según la categoría de la vía, se tomó la proyección a 15 años.¹⁸

- Rangos de Tránsito Considerados

¹⁵ Cfr. HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño De Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 127.

¹⁶ Cfr. MONTEJO Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Diseño de pavimentos Flexibles y Semirrígidos, pagina 129-135.

¹⁷ Cfr. HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 127.

¹⁸ Cfr. Cfr. GARCES Claudia María, Garro Olga María. Pavimentos, Universidad de Medellín, página 29.

Analizando la información del tránsito de la red vía nacional colombiana, las tendencias de crecimiento y desarrollo del país, se establecieron los siguientes rangos para fines de la metodología de diseño, expresados en números de ejes simples equivalentes a 8.2 toneladas que circularan en el carril de diseño durante el periodo de diseño. (Remitirse a anexos A9 rangos de tránsito contemplados en el método de diseño unidad 1)¹⁹²⁰

Tránsito de Diseño (15 Años): $N' = 4,8 \cdot 10^5$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño. (Remitirse a anexos A9 entornos de la resistencia intervalo modulo unidad 1)

Factores ambientales y climáticos

Hidrología- temperatura.

- Factores ambientales y climáticos.

En el desarrollo de la metodología para diseño de pavimentos, el Manual del Inviás elabora una categorización en términos de regiones climáticas en la que está dividido el país, con los que establece las respectivas Cartas de Diseño. Para aplicación a la zona de proyecto, se realiza la caracterización del corredor en los aspectos climáticos, según los cuales la Temperatura Media Anual Ponderada (TMAP) para el sector de Tunja-Boyacá es de 13°. Las condiciones climáticas, en cuanto a pluviosidad se enmarcan dentro del rango menor a los 2000 mm/año. (Remitirse a anexos A9 regiones climáticas según la temperatura y precipitación unidad 1).²¹

- Selección de las condiciones de humedad prevalecientes en la obra

Las condiciones de humedad en las que se debe realizar las pruebas de laboratorio dependen de las características climáticas de la zona del proyecto. Con base en estas características, se presentan en la tabla las recomendaciones para cada caso. (Remitirse a anexos A9 entornos de la resistencia-unidad 1- Precipitación y condiciones de humedad para el ensayo unidad 1). Entornos de la resistencia.

Con los datos anteriores se ubica en la carta de diseño correspondiente según los rangos:

$T = T1$

$R = R1$

¹⁹ Cfr. REYES LIZCANO. Fredy Alberto. Diseño Racional de Pavimentos, tránsito. Página 26-32.

²¹ Cfr. HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 132.

S = S5

Para determinar la estructura de pavimento utilizamos la Carta de Diseño No. 1 – Región 1 (R1) –fría seca y fría semihumeda y tenemos como resultado dos alternativas de estructura de pavimentos:

CARTA No. 1 (Fuente: Manual de diseño para medios y altos volúmenes de tránsito. Instituto Nacional de Vías,) Con las siguientes estructuras:

1- MDC-2: 7,5 cm 2- MDF -3:5 cm
BG-2: 25 cm BG-2: 30 cm

Tomados en base a las tablas valores de coeficientes estructurales y valores del coeficiente de drenaje (Ver Anexo A9 Unidad 1).

Teniendo en cuenta que el proceso de análisis del método Invias es repetitivo a continuación en la Tabla 14 resumen de las alternativas para la Unidad 1 y en la Tabla 15-16-17 se muestran el resumen de las alternativas propuestas para las unidades 2 y 3 (ver anexo A9 tablas para la unidad 2 y 3). Para la Unidad 3 la Tabla 18 muestra la alternativa propuesta para dicha unidad.

Tabla 14. Resumen, método INVIAS unidad 1.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	7,5 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	25 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado

Fuente: Invias Abril 2014.

Tabla 15. Resumen, método INVIAS unidad 2 Alternativa 1

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	10 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	15 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado
	25 cm	SBG-1	Sub-base granular	Tmax 50 mm, % pasa # 4= 30 a 70, % pasa # 200= 4 a 20% D < 50%, P<12%, EA>25%, IP<6, CBR> 20-30-40, 95% de proctor modificado

Fuente: Invias, Abril 2014.

Tabla 16. Resumen, método INVIAS unidad 2 Alternativa 2.

SIMBOLO	ESPEJOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	7,5 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	25 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado
	20 cm	BEC	Base estabilizada con cemento	Tmax <75 mm y < 1/2 del espesor de la capa compactada pasa # 4 > 50, % pasa # 200 < 50%, LL <35, IP<15, % en peso de SO4 < 0,5

Fuente: Invias, Abril 2014.

Tabla 17. Resumen, método INVIAS unidad 3 Alternativa 1

SIMBOLO	ESPEJOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	7,5 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	25 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado

Fuente: Invias, Abril 2014.

Los factores principales que contempla el método son; tiempo, tránsito, materiales de pavimentos, suelos de subrasante, condiciones climáticas, y consideraciones económicas. Para el presente proyecto se utilizaron estas variables de modo tal que las alternativas determinadas a través de este método serán analizadas. Para cada una de las carreteras interurbanas se asumió un número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante un periodo diseñado para 20 años, además de obtener parámetros de humedad, plasticidad, compactación, granulometría, consistencia de los suelos, capacidad de la subrasante y condiciones de resistencia.

Consideraciones: el método INVIAS realiza su planteamiento metódico en base al método AASHTO 93 en el cual se estandarizan parámetros como el tránsito.

Para el coeficiente de drenajes se determina de acuerdo con los niveles de precipitación y la calidad del drenaje además de tener presente que el pavimento estará a niveles de humedad próximos a la saturación. El tránsito se categoriza por la información vial nacional colombiana y las tendencias de crecimiento y desarrollo del país, se presenta a manera de rango clasificados desde T1 hasta T9 en orden descendente. Ahora si bien el clima está determinado por las temperaturas y precipitaciones, por ende el país fue clasificado en 6 regiones climáticas en un rango de R1 hasta R6 de orden descendente.

Basado en el manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito de 1998 de Popayán la clasificación de la subrasante

va desde S1 hasta S5 de modo tal que al reunir las tres letras se pueda ingresar a las cartas de diseño y se logre estipular la estructura del pavimento. cabe resaltar que estas cartas están diseñadas bajo parámetros hipotéticos que además están desactualizados y tiene poco sustento teórico, además de no conocer los materiales por zonas que esto a su vez se ve reflejado en datos económicos entre los mismos departamentos del país.²²

4.2.1 Método AASTHO Pavimentos Flexibles. Para el desarrollo del método se debe tener en cuenta:

- Tránsito

Ecuación 52 ²³

$$\log(N) = Z_r * S_o * 9.36 * \log(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta I P S}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1.094}{(SN+1)}\right)} \right] + 2.32 * \log Mr - 8.07$$

- Factores de Distribución por Carril

Se tomó un factor de distribución por carril para esta vía en una dirección, teniendo en cuenta el número de carril de cada dirección y el porcentaje de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño. Según como se muestra en la tabla (anexo A9 factores de distribución por carril-unidad 1).

- Nivel de Confianza R (%)

Dentro del nivel de confianza se tomó un tipo de carretera local con un nivel de confianza Urbana NC= 70%; teniendo en cuenta el tipo de carretera y su nivel de confiabilidad según como se muestra en tabla (ver anexo A9 niveles de confianza para diseños de carreteras-unidad 1)

- Desviación Normal Estándar, Zr

Con base a la confiabilidad se obtiene la desviación estándar como se muestra en la tabla el cual fue: Zr=-0.0524. Teniendo en cuenta el % de confiabilidad y la desviación normal estándar, Zr según como se muestra en la tabla (ver anexo A9 desviación normal estándar Zr-unidad 1).

²² HIGUERA Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras Vol II, Tunja página 133.

²³ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 128

- Error Norma Combinado So

Se toma un error combinado So de 0,45 teniendo en cuenta el proyecto de pavimento y la desviación estándar So ver tabla (anexo A9 error normal combinado-unidad1).

- Módulo resiliente = $1500 \cdot \text{CBR}$

$$\text{MR} = 25500 \text{ Psi}$$

Nivel de Serviciabilidad

Serviciabilidad Inicial, Po el cual fue de 4,2 como tipo de pavimento el asfalto (ver anexo A9 serviciabilidad inicial Po-unidad 1).

- Serviciabilidad Final, Pt

Serviciabilidad Final, Pt, Pt el cual fue de 1,5-2,0 como pavimentos urbanos secundarios (ver anexo A9 serviciabilidad final Pt-unidad 1)²⁴

Mediante el programa UC-AASTHO, determinamos el número estructural de tránsito ver imagen: (ver anexo A9 detalle ventana programa AASHTO UC alternativa 1 -unidad1).

- Datos De Inicio

Utilizando el software de la universidad del cauca, se inicia la modelación de la alternativa correspondiente a la unidad 1 (calle 12 entre Cr 8 y Cr 9), por medio de este software se quiere determina el numero estructural, teniendo en cuenta como datos de entrada el tránsito NESE para 15 años, la desviación normal estándar (Zr), la cual para este caso el factor lo determinar la confiabilidad de la vía, esta vía pertenece a una vía local urbana, la cual hace que tenga un porcentaje de 50.0-80.0, para la modelación el valor de la desviación estándar está definido para una confiabilidad de 70.0; el parámetro de desviación estándar (So) está definido para el rango de pavimentos flexibles el cual está entre los valores 0.40-0.50, para la modelación se determinó una desviación promedio equivalente a 0.45; el índice de servicio inicial (Po) está determinado con la Serviciabilidad que presenta el asfalto el cual tiene un valor de 4.2; el índice de servicio final (Pt) determinado según el tipo de vía, que en este caso corresponde a una calle urbana secundaria, el valor equivale a 2.0 por último el módulo resiliente según la metodología AASHTO tiene como valor inicial el CBR de diseño determinado para la vía de 17%. Con los datos introducidos en las ventanas se calcula el número estructural el cual da un resultado de 1,67.

²⁴ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 65.

Diseño Espesores

Luego de haber calculado el número estructural se diseñan los espesores tomando como punto de inicio la capa de rodadura, se determinan los coeficientes estructurales (a_i) correspondientes a la composición de la alternativa, en esta primera unidad de diseño está compuesta por: (ver anexo A9 diseño de espesores programa AASHTO UC Alternativa 1-unidad 1)

Tabla 18. Diseño de espesores.

COMPOSICIÓN ALTERNATIVA 1	
ESTRUCTURA	ESPESOR
Carpeta de rodadura	8cm
Base granular	18cm
Total	26cm

Fuente: Autores, Abril 2014.

El diseño cumple con la condición del número estructural en función de los espesores es mayor que el número estructural calculado es decir:

$$\begin{aligned} SN_{\text{futuro}} &> SN_{\text{modelo}} \\ 2.16 &> 1.67 \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que el proceso de análisis del método Aashto es repetitivo a continuación se muestran las Tablas 19-23 de resumen para las unidades 1, 2 y 3 (ver anexo A9 tablas para la unidad 2 y 3).

Tabla 19. Resumen, método AASHTO unidad 1.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	8 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	18 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado

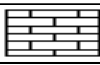
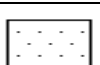
Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 20. Resumen, método AASHTO unidad 2-Alternativa 1.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	10 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	20 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado
	20 cm	SBG-1	Sub-base granular	Tmax 50 mm, % pasa # 4= 30 a 70, % pasa # 200= 4 a 20% D < 50%, P<12%, EA>25%, IP<6, CBR> 20-30-40, 95% de proctor modificado

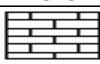
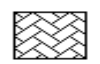
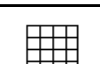
Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 21. Resumen, método AASHTO unidad 2-Alternativa 2.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	10 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	20 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado
	20 cm	BEC	Base estabilizada con cemento	Tmax <75 mm y < 1/2 del espesor de la capa compactada pasa # 4 > 50, % pasa # 200 < 50%, LL <35, IP<15,% en peso de SO4 < 0,5

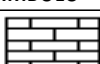
Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 22. Resumen, método AASHTO unidad 2-Alternativa 3.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	15 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
		BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado
	25cm	Geo	Geomalla	LVO-202 viaxial coextruida, tipo B 30 kn/m @12,5 mm

Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 23. Resumen, método AASHTO unidad 3.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	7,5cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	20 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado

Fuente: Autores, Abril 2014.

Para la unidad 1 y la unidad 3 por tener gran similitud en sus variables presentan sus alternativas muy cercanas determinadas en la Tabla 19 y la Tabla 23, por otro lado la unidad 2 presenta un gran número de espesores ver Tabla 20-22 esto hace que las alternativas sean económicamente costosas, y sea determinado que por medio de la metodología Aashto sea algo infructuoso para tipos de suelo altamente plásticos, ya que la segunda alternativa propuestas para disminuir espesores contiene base estabilizada con cemento refleja que no disminuye se mantiene en igualdad a la alternativa con subbase granular, para la tercera alternativa se tiene en cuenta una base estabilizada con cemento y además una geomalla hace que los espesores aumenten en vez de disminuir esto debido a que

hay que realizar una previa estabilización de los suelos expansivos presentes, por ende el método Aashto crea alternativas que en concepto costo-beneficio no es rentable y se evidencia que las condiciones locales hacen que los métodos varíen y se deban agregar acciones adicionales que no son tenidas en cuenta en el método como los es estabilizar un suelo expansivo.

4.2.2 Método Racional. Esfuerzos, Deformaciones y Deflexiones Admisibles.

La estructura de pavimento diseñada se debe chequear por medio del método racional, con el propósito de verificar que los esfuerzos, deformaciones y deflexiones críticos no superen los valores admisibles.

- Criterio De La Shell Para Determinar La Deformación Radial Admisible De Tracción En La Base De La Capa Asfáltica, $\epsilon_{R\text{ Adm}}$

$$\epsilon_{r\text{ adm}} = \left(0.856 * 10.5\% + 1,08 \right) (2 * 10^9 \frac{N}{M^2})^{-0.36} \frac{4.8 * 10^5}{10 * 2,5 * 0,80} N^{-0.20}$$

$$\epsilon_{r\text{ adm}} = 6,00 * 10^{-4} \frac{N}{M^2}$$

El modelo de fatiga propuesto por la Shell incorpora el coeficiente de Calage, que relaciona el número de aplicaciones de carga de diseño y el número de aplicaciones de carga en un ensayo dinámico de laboratorio. El factor considera principalmente variaciones laterales de las cargas de tránsito, condiciones de temperatura de trabajo de la mezcla y diferentes estados de tensiones. Ver tabla (anexo A6 coeficiente de Calage-unidad 1). Para este caso se toma un K3 ya que para este caso se obtiene temperaturas bajas.

Criterios De La Shell Para Determinar La Deformación Vertical Admisible De Compresión Sobre La Subrasante, $\epsilon_{Z\text{ adm}}$

El criterio de la deformación admisible de compresión sobre la subrasante está en función del nivel de confiabilidad, y sus expresiones de cálculo para diferentes niveles de confianza, para este caso se toma el siguiente:

²⁵ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 66

²⁶ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 109

- Para un nivel de confianza del 70%

²⁷

$$\begin{aligned} \epsilon Z_{adm} &= 2.4 * 10^{-2} N^{-0.25} \\ \epsilon Z_{adm} &= 2.4 * 10^{-2} 4.8 * 10^{5-0.25} \\ \epsilon Z_{adm} &= 9.12 * 10^{-4} \end{aligned}$$

Esfuerzos verticales admisibles de compresión sobre la subrasante, σ_{zadm}
Criterio de dormon y kerhoven

$$^{28}\sigma_{zadm} = \frac{0.007 * ES}{1 + 0.7 * LOG N}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{zadm} &= \frac{0.007 * 1700}{1 + 0.7 * LOG 4.8 * 10^5} \\ \sigma_{zadm} &= 2.39 \frac{Kg}{cm^2} \end{aligned}$$

Criterio De Crr De Bélgica

$$\begin{aligned} ^{29}\sigma_{zadm} &= \frac{0.9607 * CBR^{1.2}}{N^{0.229}} \\ \sigma_{zadm} &= \frac{0.9607 * 17^{1.2}}{4.8 * 10^{5 * 0.229}} \\ \sigma_{zadm} &= 1.44 \end{aligned}$$

- Deflexiones Vertical Admisibles En La Superficie, Δz_{adm}

Las medidas de deflexiones son un criterio de deformabilidad que permite evaluar el estado y la capacidad estructural de un pavimento en función del número de aplicaciones de carga que este es capaz de soportar antes de alcanzar la falla. La deflexión vertical admisible en la superficie de la estructura de pavimento se calcula con la expresión propuesta por Yang H Huang:

$$\begin{aligned} ^{30}\Delta z_{adm} &= 26.32202 N^{-0.2438} \\ \Delta z_{adm} &= 26.32202 * 4.8 * 10^{5-0.2438} \\ \Delta z_{adm} &= 1.08 \end{aligned}$$

- Método multicapa de la shell.

²⁷ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 109

²⁸ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 109

²⁹ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 109

³⁰ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 109.

Con el módulo resiliente (Mr), como resultado de la evaluación de campo y los ensayos de laboratorio, se determina la resistencia de la subrasante. El valor del módulo resiliente de la subrasante puede obtenerse por medio de retrocálculo, utilizando las deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto, ensayos de módulos resilientes o con ayuda de las siguientes correlaciones, para valores de CBR menos a 10%.

$$^{31}Mr \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 100 * \text{C.B.R}$$

$$Mr \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 100 * 17$$

$$Mr \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 1700$$

- Módulo Resiliente De La Base

Metodología Shell:

$$^{32}Mr_{sgb} = 0,206 * h_{sgb}^{0,45} * Mr$$

$$Mr_{sgb} = 0,206 * 180_{sgb}^{0,45} * 1700$$

$$Mr_{sgb} = 3624.00$$

Calculo de los Módulos Elásticos por Capa

- Subrasante

$$Mr \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 100 * \text{C.B.R}$$

$$Mr \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 100 * 17$$

$$Mr \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 1700$$

Tabla 24. Comparación del método Racional alternativa 1.

- ³³Base granular

Metodología Shell:

$$Mr_{bg} = 0,206 * h_{sgb}^{0,45} * Mr$$

$$Mr_{bg} = 0,206 * 180_{sgb}^{0,45} * 1700$$

$$Mr_{bg} = 3624.00 \text{ kg/cm}^2$$



ESTRUCTURA	ESPESOR
Carpeta de rodadura	8cm
Base granular	18cm
Total	26cm

Fuente: Autores. Mayo 27 de 2013

³¹ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 109

³² HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 109

³³ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 137

- Capa de rodadura

$E_s = 20.0000 \text{ kg/cm}^2$

Determinación de módulo de Poisson, el radio de carga, la presión de contacto, la configuración del eje.

$\mu = 0,35$ capa de rodadura $a = 10,8 \text{ cm}$ radio de carga
 $\mu = 0,40$ base granular $q = 5,60 \text{ kg/cm}^2$ presión de contacto
 $\mu = 0,50$ subrasante $s = 32,4$ distancia entre ejes

- Comprobación por Depav.

Datos de entrada descritos en la Tabla 25 para ingresar al programa Depav y realizar el respectivo análisis.

Tabla 25. Datos de entrada método DEPAV.

	Es	μ_s	h capa	ligada
capa de rodadura	20000	0,35	18	L
base	3624.00	0,4	20	L
subrasante	1700	0,5	0	0

Fuente: Autores, Abril 2014.

Para verificar la comprobación por el programa DEPAV, remitirse (Anexos A9-Imagen datos de entrada unidad 1 alternativa 1).

Resultados

$$\begin{array}{ll}
 \epsilon_r \text{ adm} = 6,00 * 10^{-4} \frac{N}{M^2} & > 2,61 * 10^{-4} \\
 \epsilon_z \text{ adm} = 9,12 * 10^{-4} & > 4,14 * 10^{-4} \\
 6z_{\text{adm}} = 2,39 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} & > 9,30 * 10^{-1} \\
 6z_{\text{adm}} = 1,44 & > 9,30 * 10^{-1} \\
 \Delta z \text{ adm} = 1,08 & > 0,3259
 \end{array}$$

Dentro de la comparación entre calculados y obtenidos por DEPAV, haciendo el cumplimiento de que los calculados sean mayores a los obtenidos en la modelación. Ver imagen (Anexos A9 resultados del programa DEPAV unidad 1).

Teniendo en cuenta que el proceso de análisis del método Racional es repetitivo a continuación se muestran las Tablas de resumen Tabla 26-29 para las unidades 1, 2 y 3 (ver anexo A9 tablas para la unidad 2 y 3).

Tabla 26. Resumen, método racional unidad 1-Alternativa 1.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	8 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	18 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado

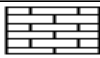
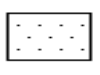
Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 27. Resumen, método racional unidad 2-Alternativa 1.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	12 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	20 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado
	20 cm	SBG-1	Sub-base granular	Tmax 50 mm, % pasa # 4= 30 a 70, % pasa # 200= 4 a 20% D < 50%, P<12%, EA>25%, IP<6, CBR> 20-30-40, 95% de proctor modificado

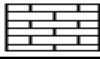
Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 28. Resumen, método racional unidad 2-Alternativa 2.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	12 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	20 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado
	20 cm	BEC	Base estabilizada con cemento	Tmax <75 mm y < 1/2 del espesor de la capa compactada pasa # 4 > 50, % pasa # 200 < 50%, LL <35, IP<15, % en peso de SO4 < 0,5

Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 29. Resumen, método racional unidad 2-Alternativa 3.

SIMBOLO	ESPESOR	CODIGO	MATERIAL	ESPECIFICACIONES
	15 cm	MDC-2	Carpeta asfáltica	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 43 a 54, % pasa # 200= 4 a 8
	25 cm	BG-2	Base granular	Tmax 25 mm, % pasa # 4= 35 a 65, % pasa # 200= 5 a 15% IP= <3. compactacion 100% de proctor modificado

Fuente: Autores, Octubre 2013.

4.2.3 Método Shell

Parámetros de diseño.

Periodo de diseño.

$N = 6,0 \times 10^5$ ejes equivalentes de 8,2 Ton en el período y carril de diseño (VER ANEXO A8)

Temperatura Media Anual Ponderada de Diseño

Luego de obtener los valores mensuales de precipitación obtenidos de la estación climatológica de la universidad pedagógica y tecnológica de Colombia del año 2000 al 2012 (VER ANEXO A2). En la curva de factores de ponderación de temperatura se obtiene un factor de ponderación para cada una de las temperaturas medias mensuales. El promedio de la sumatoria del factor de temperatura es un factor de ponderación promedio. Las temperaturas medias mensuales del aire, se refiere a una temperatura efectiva del asfalto para obtener el modulo efectivo de este.

Con este factor de ponderación se entra a la gráfica anterior y se lee el valor ponderado de la temperatura: 13,1°C. (VER ANEXO A9).

Resistencia de la subrasante:

$$^{34}Mr = 100 * 17\% = 1700 \text{ Kg/cm}^2$$

Como las unidades usadas en este método para el método dinámico es Newton m2, entonces:

$$^{35}Mr = 100 * 17\% = 1700 \text{ Kg/cm}^2$$
$$Mr = 10^7 * 17\% \frac{N}{m^2} = 17E + 07 \frac{N}{m^2}$$

Resistencia de las capas granulares:

Se debe determinar la resistencia con base al módulo de elasticidad o módulo resiliente, que es función de las características del material, el espesor y la resistencia de apoyo. La Shell emplea la misma correlación usada para la subrasante, es decir:

$$^{36}Mr = 10^7 * 17\% \frac{N}{m^2} = 17E + 07 \frac{N}{m^2}$$

- Características de la mezcla asfáltica:

La SHELL considera dos propiedades fundamentales que permiten caracterizar una mezcla asfáltica que inciden directamente sobre su comportamiento.

³⁴ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 19

³⁵ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 19

³⁶ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 19

- Módulo de elasticidad dinámico
- Resistencia de la mezcla a la fatiga (Mezcla Abierta)

Se determinó la T800 por medio de la gráfica y el índice de penetración la cual se determinó por el reporte de resultados de ensayos de laboratorio obtenido en la gerencia refinería Barrancabermeja, coordinación inspección de calidad. Para determinar el T 800 e índice de penetración del asfalto ver (Anexo A10 gráfica: Determinación de la T800 y el índice de penetración del asfalto- unidad 1).

T800=44 °C

IP= 1.4.

- Módulo dinámico del asfalto sb.

Para ello es necesario conocer:

- Índice de penetración.
- Tiempo de aplicación de carga. La SHELL recomienda emplear un tiempo de 0.02 s. Que corresponde a una velocidad del vehículo de 50 – 60 Km/h
- $\Delta T = T800 - Tmezcla$.

- Temperatura de la mezcla $T_{mix}=20.1\text{ °C}$ (VER ANEXO A10).³⁷

$$\Delta = T800 - T_{Mix}.$$

$$\Delta = 44 - 20 = 24\text{° C}$$

Se utiliza el nomograma de Van Der Poel obteniendo el determinar el modulo rigidez del asfalto (ver anexos A10, grafica Nomograma de Van der Poel para el módulo de rigidez del asfalto- unidad 1).

$$S_b=2 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2.$$

- Módulo de rigidez de la mezcla S_{mix} .

Se emplea en la gráfica de Heukelom y para ello es necesario conocer, además del módulo de elasticidad dinámica del asfalto, la composición volumétrica de la mezcla asfáltica de acuerdo con el diseño de ella en el laboratorio.

% Volumen de agregado mineral de la mezcla 84.52%

% Volumen de asfalto de la mezcla Asfalto: 10.74%

³⁷ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 19

Se ingresa a la gráfica partiendo del módulo de rigidez del asfalto (2×10^7 N/m²), volumen de asfalto 10.74%, volumen de agregado 84.52%; se obtiene un módulo rigidez de la mezcla de 2.7×10^9 N/m². (VER ANEXO A10).

- Clasificación de la Rigidez de La Mezcla.

Se ubica el punto de confluencia del módulo de elasticidad dinámica del asfalto y de la mezcla. Con módulo de elasticidad dinámica del asfalto de 2×10^7 N/m² y módulo de elasticidad dinámica de la mezcla de 2.7×10^9 N/m².

S1 50: Son mezclas corrientes de concreto asfáltico de alta rigidez, con contenidos normales o promedios de agregados, de asfalto y de vacíos con aire. (VER ANEXO A10).

Deformación máxima admisible de tracción en la fibra inferior de las capas asfálticas:

$$S_{mix} = 3.3E10^{-4}$$

Ver anexo (A10 grafica Nomograma para determinar la fatiga de la mezcla asfáltica -unidad 1)

- Clasificación de la mezcla

Se busca el punto de confluencia entre el módulo de elasticidad dinámica de la mezcla (2.9×10^7 N/m²) y la deformación por tracción et..

$$\epsilon_t = 3 \times 10^{-4}$$

N=4.8X10⁵ ejes equivalentes de 8.2 ton en el carril de diseño durante el periodo de diseño. FATIGA DE LA MEZCLA F1: Las F1 que tienen alta resistencia y que tienen cantidades moderadas de vacíos con aire y de asfalto.

- Diseño Estructural

Se obtuvieron unas especificaciones en el método de pavimento flexible método Shell las cuales fueron: S1-100-F1 encontradas en la CARTA HN45. (ver anexo A10 carta HN45-unidad1).

Carpeta de asfalto: 7 cm

Base granular: 17 cm

Subbase granular: 6,0 cm

Teniendo en cuenta que el proceso de análisis del método Shell es repetitivo a continuación se muestran las Tablas 30.-32 de resumen para las unidades 1, 2 y 3 (ver anexo A9 Tablas para la unidad 2 y 3).

Tabla 30. Resultados- Alternativa método Shell unidad 1.

METODO	CARPETA ASFALTICA (cm)	BASE GRANULAR (cm)	SUBBASE GRANULAR	ESPESOR TOTAL (cm)
SHELL	7	17	10	34

Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 31. Resultados- Alternativa método Shell unidad 2.

METODO	CARPETA ASFALTICA (cm)	BASE GRANULAR (cm)	SUBBASE GRANULAR (cm)	ESPESOR TOTAL (cm)
SHELL	10	25	20	55

Fuente: Autores, Abril 2014.

Tabla 32. Resultados- Alternativa método Shell unidad 3.

METODO	CARPETA ASFALTICA (cm)	BASE GRANULAR (cm)	SUBBASE GRANULAR	ESPESOR TOTAL (cm)
SHELL	7	17	10	34

Fuente: Autores, Abril 2014.

Ya que bajo condiciones locales y la diferencia de valores es mínima ya que los materiales son los mismo las unidades 1, y 3 tienen la misma composición en alternativa propuesta por el método, esto demuestra que la aplicabilidad del método es efectiva siempre y cuando se tenga diversidad de materiales por ende el proceso de selección de la alternativa bajo variables locales determina que son iguales, mientras que para la unidad 2 demuestra un aumento superior ratificando que los métodos no contemplan estabilidades de suelos altamente plásticos.

En el tránsito es importante tener en cuenta la clasificación de los ejes y tener claro los valores de ejes comerciales, además de sus mismas características que pueden ser simple, tándem y tridem, características como la carga y la presión de inflado el área de contacto y la separación entre llantas. La temperatura tiene en cuenta sus variaciones así sean mínimas para conocer si el material presenta sensibilidad térmica sobre todo en las capas granulares, la obtención de una temperatura óptima para el buen funcionamiento a partir de registros históricos de

los periodos de lluvia y las temperaturas medias anuales. La capacidad de soporte de la subrasante importante tener el valor del módulo dinámico de la subrasante a través de laboratorios o in situ, el módulo resiliente como resultado de la evaluación de los ensayos de los laboratorios, los materiales deben tener características definidas como resistencia a la fatiga es decir a la acción repetitiva de cargas además, también los módulos dinámicos de elasticidad de los componentes de las alternativas, el método caracteriza la rigidez con siglas S1 y S2, determina la resistencia a la fatiga con siglas F1 y F2, además da las características del cemento asfáltico bajo parámetros de penetración de 50 para climas calientes y 100 para climas fríos, para al final obtener una mezcla descrita por parámetros de rigidez S, la resistencia a la fatiga F y la penetración del asfalto P. A lo largo del desarrollo del método se determinan variables como la T800 y el índice de penetración IP lo cual es una medida de susceptibilidad térmica del asfalto.

Al realizar los procesos del desarrollo de los métodos se determinó que el método racional ofrece alternativas más acordes a las condiciones locales además de tener en cuenta el costo beneficio, tiene menos desviación de las variables y son determinadas a través de ensayos más referentes a la ciudad de Tunja, por ende se llega a definir que los otros métodos en muchos de los casos presentados están sobredimensionadas lo cual se ve reflejado en el costo al momento de la construcción.³⁸

³⁸ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 128.

5. DISCUSIÓN DE LAS VARIABLES Y MÉTODOS DE DISEÑO

Luego de realizar el proceso de análisis, definición y comprobación de alternativas por las diferentes herramientas utilizadas hay que evaluar y discutir acerca de cada uno de los métodos y sus alternativas.

5.2 DISCUSIÓN DEL ESTUDIO DE SUELO Y EL TRÁNSITO

- **Unidad 1 (Calle 12 N° 8-32-Calle 12 N° 8-28)**

Se encuentra con un pavimento en máximas condiciones de deterioro el cual se ve reflejado en la variedad de fallas de la capa de rodadura existente, la unidad 2 se encuentra con una capa de afirmado en la gran mayoría de su extensión exceptuando el abscisado de k 0+659m hasta el k 0+738m en el cual se encuentra una estructura flexible (adoquín) en medianas condiciones de serviciabilidad. Para la unidad 3 la vía se encuentra totalmente en afirmado.

Según los resultados obtenidos en laboratorio, para determinar las propiedades físico-mecánicas de la subrasante, por medio de la Humedad Natural (INVE 122), límite líquido, límite plástico, densidad de la muestra seca e índice de plasticidad (INVE 126) para su clasificación. Con respecto a la unidad 1, teniendo en cuenta que se tomaron dos muestras inalteradas, con una profundidad de exploración de 0,37m a 0,60 m para la muestra 1, la apariencia física es determinada como una arcilla arenosa color amarilla con vetas rojas, la cual clasifica el suelo como arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla, lo que caracteriza este tipo de suelos es su media a alta resistencia en estado seco es decir aquel que caracteriza el rompimiento del mismo o puede representar una lenta dilatación (reacción al agitado) y una media tenacidad (consistencia cerca del límite plástico) con una clasificación SC.³⁹

Para la muestra 2 Con una profundidad de exploración de 0,30m a 0,54 m la apariencia física determinada como una arcilla color negro, en el momento de la exploración no se evidencio la presencia de nivel freático, pero si un aumento de la humedad con respecto a la profundidad.

- **Unidad 2 (intersección doble calzada-Unad-prados de Alcala-Curubal)**

³⁹ Cfr. JUAREZ BADILLO. RICO RODRIGUEZ. Mecánica de suelos. Tomo I. Capítulo VI. Páginas 51

Teniendo en cuenta el mismo procedimiento nombrado anteriormente, para la unidad 2, se tomaron 4 muestras inalteradas en las cuales se determinaron que: la apariencia física es determinada como una arcilla blanca con gris en donde la capa es de regular a pobre, se clasifica el suelo como arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas, en este caso presencia de caolinita que se refiere a un límite líquido entre 35-100 y el límite plástico entre 25-35; este tipo de materiales presentan una media a alta resistencia en estado seco (características al rompimiento), una nula o muy lenta dilatación (reacción al agitado) y una legra a media tenacidad (consistencia cerca del límite plástico) clasificación CH. En este suelo se recomienda hacer una estabilización con pedraplen este trabajo consiste en la preparación de la superficie de apoyo del pedraplen y la colocación y compactación de materiales pétreos adecuados, de las características pertenecientes a este suelo.⁴⁰

- **Unidad 3 (Ruta 62 Vía Principal Tunja Bogota- Calle 14 Sur Puesto De Salud Runta).**

Dentro de la unidad 3, se tomaron 2 muestras inalteradas de CBR, las cuales se analizó que: para la muestra 1 Con una profundidad de exploración de 0,31m a 0,55m la apariencia física del suelo determinada como una arcilla arenosa color amarilla con vetas rojas, la cual se indica que el suelo pertenece a una clasificación general de material de lodo y arcilla y que a su vez clasifica el suelo como: Arena arcillosa, mezcla de arena y arcilla. Esto indica que el suelo es caracterizado de media a alta resistencia en estado seco es decir puede presentar rompimiento o una nula o muy lenta dilatación (reacción al agitado) y una media tenacidad (consistencia cerca del límite plástico) con una clasificación SC.⁴¹

Para la unidad 3-muestra 2, Con una profundidad de exploración de 0,16m a 0,40m la apariencia física es determinada como una arcilla color negro, la cual indica que el suelo pertenece a una clasificación general de material de lodo y arcilla. A su vez se clasifica el suelo como arcilla inorgánica de baja o media plasticidad, arcillas arenosas, arcillas pobres, lo que caracteriza este tipo de suelos es la resistencia de media a alta en estado seco (características al rompimiento), una nula o muy lenta dilatación (reacción al agitado) y una media tenacidad (consistencia cerca del límite plástico) con clasificación CL.

Dentro del perfil del suelo explorado en la unidad 3, se clasificó como materiales meteorizados y depósitos coluviales (limos, arena y arcillas). Esto quiere decir que el suelo a tratar en este caso se encuentra sobre consolidados, es decir que

⁴⁰ Cfr. CRESPO. Mecánica de suelo y Cimentaciones, Capítulo IV. Página 181

⁴¹ Cfr. JUAREZ BADILLO. RICO RODRIGUEZ. Mecánica de suelos. Tomo I. Capítulo VI. Páginas 51

durante el tiempo geológico y actual, han soportado cargas de tipo permanente y transitorio.

Durante la realización de exploración geotécnica, no se encontró presencia de nivel freático para ninguno de los apiques, pero si se observó un aumento de la humedad e profundidad. Según los datos recopilados de precipitación y temperatura de la estación climatológica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, fue posible establecer las condiciones básicas para las alternativas de diseño, ya que con temperatura de 13° C y una precipitación media anual de 741 mm constituye una región fría seca, que permite la utilización de CBR inalterado con densidad y humedad de equilibrio.

Para las unidades de diseño se realizó un debido aforo para así proyectar y determinar el número de ejes equivalentes a utilizar en el diseño, para la unidad 1 se toma el tránsito proyectado a 20 años correspondiente a $N'=6,0 \times 10^5$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño, para la unidad 2 se determinó un periodo de diseño 20 años con un valor de $N=3,0 \times 10^6$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño y para la unidad 3 se determinó un periodo de diseño a 20 años con un valor de $N=1,4 \times 10^6$. se debe tener en cuenta que el tránsito inducido y generado puede ser mayor al esperado por los cambios importantes que conlleven posterior a su mejoramiento.

Dentro del tránsito estimado se observó que se realizó una composición entre autos, buses y camiones; clasificada como ABC, en el cual se determinó que para la unidad 1 existe mayor flujo de tránsito de autos con un porcentaje del 57%; para la unidad 2 se tiene un porcentaje del 46% para autos y un 38% para buses; lo cual se analizó que es una vía en la cual existe muy poco tránsito de camiones debido al difícil acceso a esta; para la unidad 3 existe una composición de un 58% para autos y un 42% para camiones, ya que es una vía interurbana la cual conecta con la plaza de mercado del sur, por ende el flujo vehicular en camiones es considerable. Además no tiene ruta de transporte público debido al deterioro de la vía.

5.3 DISCUSIÓN SOBRE LOS MÉTODOS DE DISEÑO

- **Método Invias.** Al establecer las alternativas de diseño por el método Invias se evidencia que para la unidad 1 y la unidad 3 de diseño los espesores son los mismos una base granular de 25cm y una carpeta asfáltica de 7.5cm, para un total de 32.5cm de alternativa, en este caso están comparten la clasificación del suelo, solo que con la diferencia de la localización. En cuanto a la unidad 2 a través de la metodología propuesta se obtuvieron dos alternativas la primera conformada por

subase granular de 25cm base granula de 15cm y carpeta asfáltica de 10cm para un total de 50cm de alternativa, para la segunda se obtuvo 20cm de base estabilizada con cemento, 25cm de base granular y 7.5cm de carpeta asfáltica para un total de 52.5cm.

Para el método Invias las variables corresponden a el tránsito, el clima y la geotecnia vial. Con respecto al tránsito se determinó a través de un aforo y no de una extrapolación histórica de datos como lo recomienda el método, la estimación del tránsito de diseño fue realizado a través del método de la Portland Cement Association para pavimentos rígidos esto para tener claridad en el tránsito promedio diario y la composición vehicular y así lograr determinar un periodo de diseño optimo y acorde a las necesidades actuales. Dentro del análisis climático más certeramente en parámetros como la temperatura y la humedad es de gran importancia la durabilidad de los materiales que conforman las alternativas de diseño, además de tener relación directa con el comportamiento mecánico del suelo que conlleva a tener especial atención en el drenaje del suelo y la humedad de equilibrio esto determinado en el estudio de suelos bajo influencia de las variables climáticas hay que tomar en consideración materiales resistentes al agua o muy sensibles a la temperatura.

Colombia se encuentra en una zona intertropical, lo que hace que los vientos locales, la complejidad de la geografía nacional, la diversidad climática, sea en gran medida variada, para el departamento de Boyacá y en especial la ciudad de Tunja que se encuentra en un sistema montañoso lo cual hace que las temperaturas descieran a valores bajos esto también teniendo en cuenta el calentamiento antropogénico el cual ha variado el clima año tras año, haciendo una variabilidad en las precipitaciones y la temperatura, para esto el método Invias clasifica la región según su temperatura y la precipitación media anual, estas variables pueden aumentar o disminuir la composición de las alternativas, para ello se debe ir a la zona, la desactualización del manual es presente desde el año de 1998, lo que a la actualidad afecta para el diseño de estructuras de pavimentos. La geotecnia inicia por determinar la resistencia de diseño de la subrasante la cual se realizó a través de la práctica de apiques, teniendo en cuenta las condiciones geológicas, topográficas, de drenaje, ambientales, de mejoramiento y estabilidad volumétrica; el Invias presenta un método extenso para mayor precisión se desarrolló el CBR in situ o de campo (INV. E-169-7) y de esta manera determinar las características del suelo.⁴²

Es de resaltar que estas cartas están diseñadas bajo parámetro hipotéticos del clima que además están desactualizados y tiene poco sustento teórico, ya que

⁴² HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos De Diseño De Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 127

está basado en el método Aashto 93 , además, no conoce los materiales por zonas que esto a su vez se ve reflejado en cifras económicas entre los mismos departamentos del país.

- **Método Aashto.** Los factores que determina el método por tablas aplicativas según unas características definidas, demuestra la variabilidad del método entre estos encontramos el factor de distribución por carril definido como F_{ca} el cual da un rango de valores definidos según el sentido del carril y el flujo vehicular, el nivel de confianza denominado R la seguridad al asegurar que las alternativas de diseño duraran periodos largos; el error normal combinado S_o el método ofrece este coeficiente para tener en cuenta la variación de las propiedades de los materiales, la variación del CBR, el tránsito, las condiciones climáticas y por supuesto el método constructivo; nivel de serviciabilidad ΔIPS según la metodología para pavimentos flexibles de parte de un valor de 4.2 correspondiente a la variable P_o y determina la falla funcional del pavimento 2.2 la variable denominada P_t ; todo como un proceso final de determinar el número estructural SN el cual es un valor abstracto de la resistencia del pavimento calculado a través del software AASHTO 93 Universidad del Cauca en reemplazo de la ecuación en la que se basa el método Invias. Es de resaltar que las condiciones principales de conocimiento para el método son la claridad del tránsito de diseño, la serviciabilidad obtenida en suposición de igualdad de condiciones locales, las condiciones climáticas y la resistencia de la subrasante. Las variables se determinan a través de cuadros estipulados por la guía del método, las cuales están determinadas bajo condiciones fuera de Colombia es decir no tiene ni las mismas condiciones de temperatura, tránsito y geotecnia.⁴³

- **Método Racional.** La estimación del tránsito de diseño fue realizado a través del método de la Portland Cement Association para pavimentos rígidos esto para tener claridad en el tránsito promedio diario y la composición vehicular y así lograr determinar un periodo de diseño optimo y acorde a las necesidades actuales, además de esto se debe tener análisis de las características del eje de diseño, la magnitud de la carga por eje, la presión de inflado de las llantas, el área de contacto y la separación entre las llantas. Para la velocidad de operación y tiempo de aplicación para poder determinar a través de los vehículos que circula y el tiempo de aplicación de las cargas y así tener la incidencia de cargas sobre el pavimento así se tiene más referencia de deflexiones, deformaciones y deflexiones este mismo factor se toma en cuenta la frecuencia en el método Shell y determinar los módulos del asfalto, en la evaluación de las condiciones climáticas con fin de determinar la humedad y la densidad de la subrasante, las condiciones ambientales climáticas y así poder determinar el comportamiento de

⁴³ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 66.

las mezclas asfálticas, a través de recolección histórica como ya se ha mencionada, es decir temperatura media mensual durante los últimos 10 años, precipitación media anual de los últimos 10 años y el número de días con lluvia, los materiales se caracterizaron a través de laboratorios como CBR in situ, la determinación de los módulos resilientes de los suelos por correlación tiene en cuenta la composición de la alternativa y sus correspondientes espesores en base a los materiales utilizados, y teniendo como referencia la capa más profunda hasta la superior, para esta capa asfáltica la determinación de su módulo dinámico el método determina con los ensayos de laboratorio, se toma la relación de Poison y así determinar por comparación entre calculados y obtenidos por DEPAV, haciendo el cumplimiento de que los calculados sean mayores a los obtenidos en la modelación.

Al realizar los procesos del desarrollo de los métodos se determinó que el método racional ofrece alternativas más acordes a las condiciones locales además de tener en cuenta el costo beneficio, tiene menos desviación de las variables y son determinadas a través de ensayos más referentes a la ciudad de Tunja, por ende se llega a definir que los otros métodos en muchos de los casos presentados están sobredimensionadas lo cual se ve reflejado en el costo al momento de la construcción.⁴⁴⁴⁵

- **Método Shell.** En el tránsito es importante tener en cuenta la clasificación de los ejes y tener claro los valores de ejes comerciales, además de sus mismas características que pueden ser simple, tándem y tridem, características como la carga y la presión de inflado el área de contacto y la separación entre llantas. La temperatura tiene en cuenta sus variaciones así sean mínimas para conocer si el material presenta sensibilidad térmica sobre todo en las capas granulares, la obtención de una temperatura óptima para el buen funcionamiento a partir de registros históricos de los periodos de lluvia y las temperaturas medias anuales. La capacidad de soporte de la subrasante importante tener el valor del módulo dinámico de la subrasante a través de laboratorios o in situ, el módulo resiliente como resultado de la evaluación de los ensayos de los laboratorios, los materiales deben tener características definidas como resistencia a la fatiga es decir a la acción repetitiva de cargas además, también los módulos dinámicos de elasticidad de los componentes de las alternativas, el método caracteriza la rigidez con siglas S1 y S2, determina la resistencia a la fatiga con siglas F1 y F2, además da las características del cemento asfáltico bajo parámetros de penetración de 50 para climas calientes y 100 para climas fríos, para al final obtener una mezcla descrita por parámetros de rigidez S, la resistencia a la fatiga F y la penetración del asfalto P. A lo largo del desarrollo del método se determinan variables como la T800 y el

⁴⁴ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 128, abril 2011

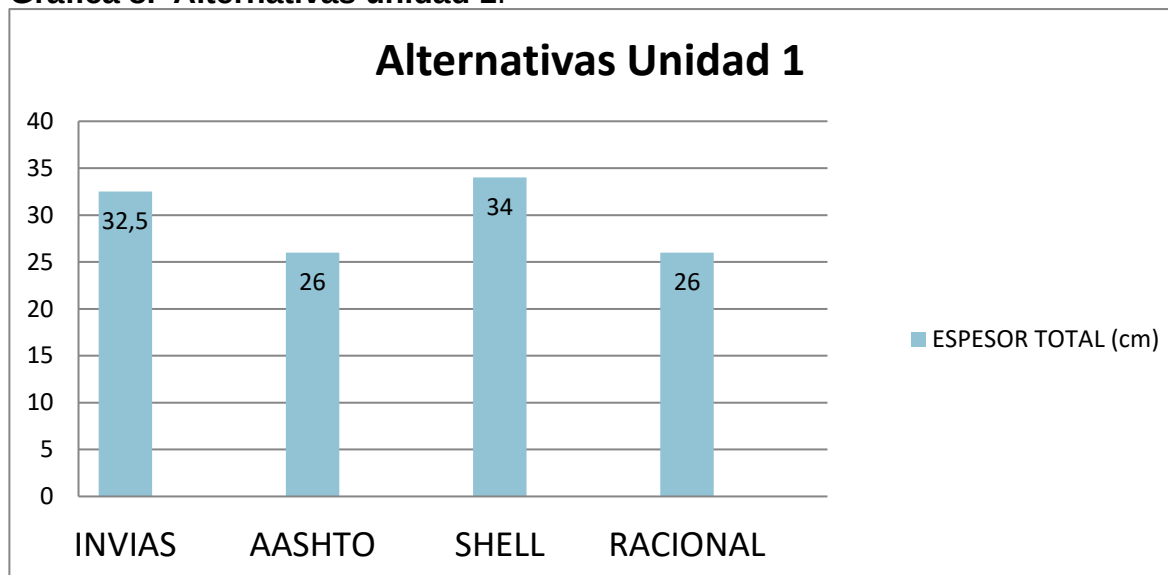
⁴⁵ MONTEJO Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras 2° edición, 2001. pp 159

índice de penetración IP lo cual es una medida de susceptibilidad térmica del asfalto.

Al realizar los procesos del desarrollo de los métodos se determinó que el método racional ofrece alternativas más acordes a las condiciones locales además de tener en cuenta el costo beneficio, tiene menos desviación de las variables y son determinadas a través de ensayos más referentes a la ciudad de Tunja, por ende se llega a definir que los otros métodos en muchos de los casos presentados están sobredimensionadas lo cual se ve reflejado en el costo al momento de la construcción.⁴⁶

5.3.1 Comparación de alternativas. Dentro de todas las alternativas obtenidas se realiza una comparación por unidad de diseño y así poder discutir sobre cuál es la mejor en cuestión de funcionalidad y cantidades. Para ello a través del Grafico 8 se ha determinado la comparación de espesores totales ofrecidos por cada una de las alternativas de la unidad 1, para ello se pudo determinar que el método racional es el cual se ajusta más a los parámetros de la ciudad de Tunja siendo la alternativa más representativa en cuanto a materiales constructivos.

Grafica 8. Alternativas unidad 1.



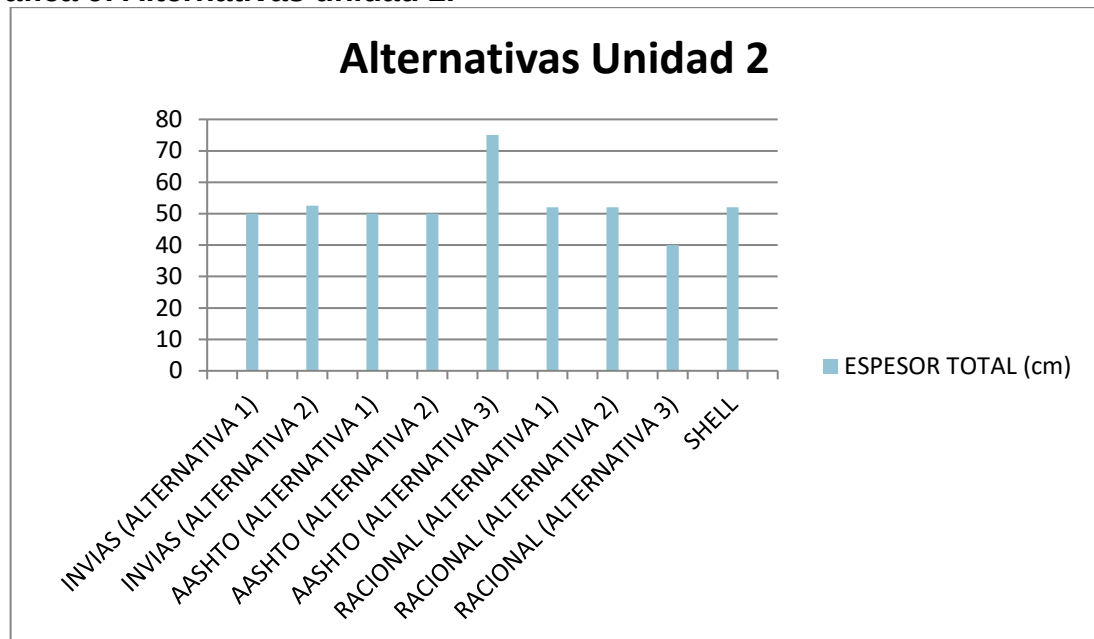
Fuente: Autores, Abril 2014.

En comparación de los espesores, se ve que el método Shell ofrece una alternativa bastante llamativa en el sentido de espesores, pero en el análisis se determinó que esta alternativa no toma en cuenta las especificaciones del suelo

⁴⁶ HIGUERA Carlos Hernando .Nociones Sobre Métodos de Diseño de Estructuras De Pavimentos Para Carreteras Volumen II Teoría, Métodos y ejemplos de aplicación, página 128.

por ende presenta déficit, las alternativas propuestas por el método Invias y Aashto tiene un promedio de espesores de 50-55, a excepción de la alternativa con geomalla la cual se eleva considerablemente determinado una alternativa no viable en costos para esta unidad, para esta se recomienda utilizar la alternativa ofrecida por el método racional.

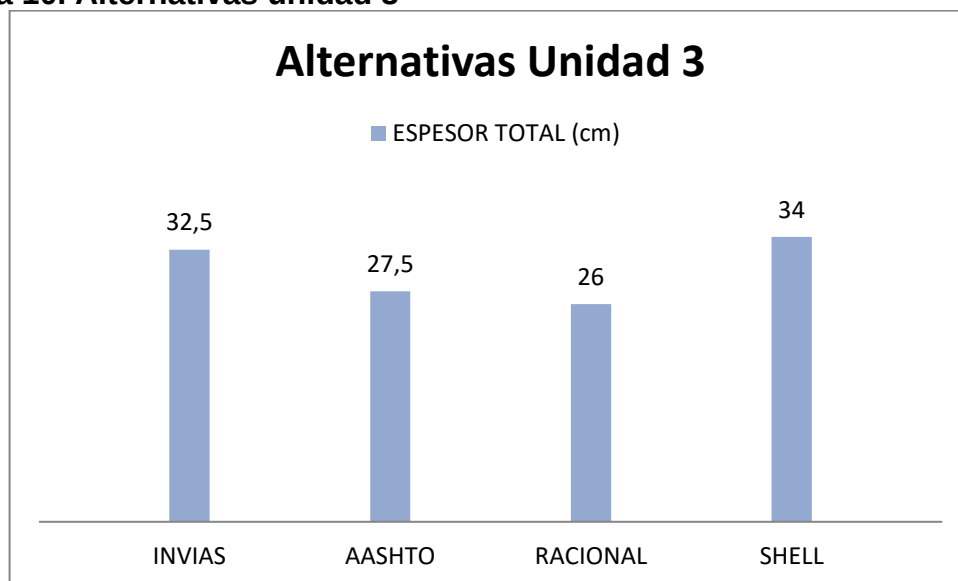
Grafica 9. Alternativas unidad 2.



Fuente: Autores, Abril 2014.

Para la unidad 2 representada la comparación en la Grafica 9 se obtuvieron resultados muy cercanos entre los 50 y 55cm, además de verificar que el utilizar una geomalla no reduce espesores sino que los aumenta de manera crítica, así que es evidente que en cuanto a utilización de materiales de la región el método racional tiene en cuenta los módulos que deben manejar las canteras y por ello hace que la comprobación de cada uno d ellos métodos lleve a que se obtén por tomar la alternativa 3 ofrecida por el método racional.

Grafica 10. Alternativas unidad 3



Fuente: Autores, Abril 2014.

En las tres unidades se evidencia en la Grafica 10 que el método Racional es el cual ofrece más seguridad a la hora de construir teniendo el principio de costo beneficio y de a menor espesor menor cantidad, para ello el desarrollo de todas las metodologías y poder ver que el ajuste va directamente relacionado a los factores de la ciudad de Tunja.

5.4 COMPARACIÓN DEL PRESUPUESTO.

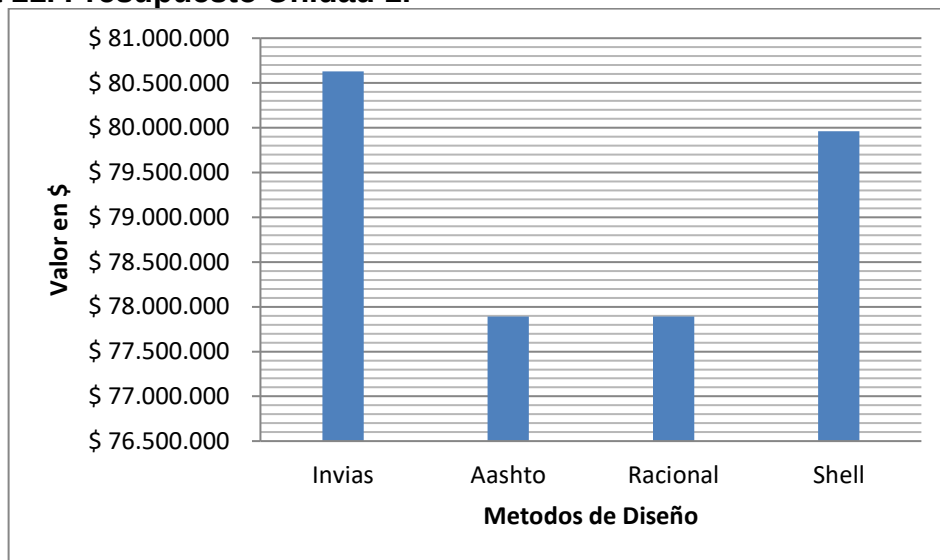
Tabla 33. Presupuesto método-Unidad de diseño.

Unidad	Invias	Aashto	Racional	Shell
Unidad 1	\$ 80.630.012	\$ 77.893.018	\$ 77.893.018	\$ 79.961.474
Unidad 2	\$ 3.726.086.075	\$ 3.008.408.550	\$ 2.027.909.520	\$ 3.970.244.880
Unidad 3	\$ 32.687.294	\$ 30.412.660	\$ 28.046.805	\$ 34.687.294,33
Total metodo	\$ 3.839.403.381	\$ 3.116.714.229	\$ 2.133.849.343	\$ 4.084.893.648

Fuente. Autores, abril 2014

El presupuesto elaborado para cada unidad por los diferentes métodos de diseño, se tuvo en cuenta los precios de la gobernación de Boyacá, para así tener precios locales de los materiales y dar a conocer los precios por método y unidad de diseño.

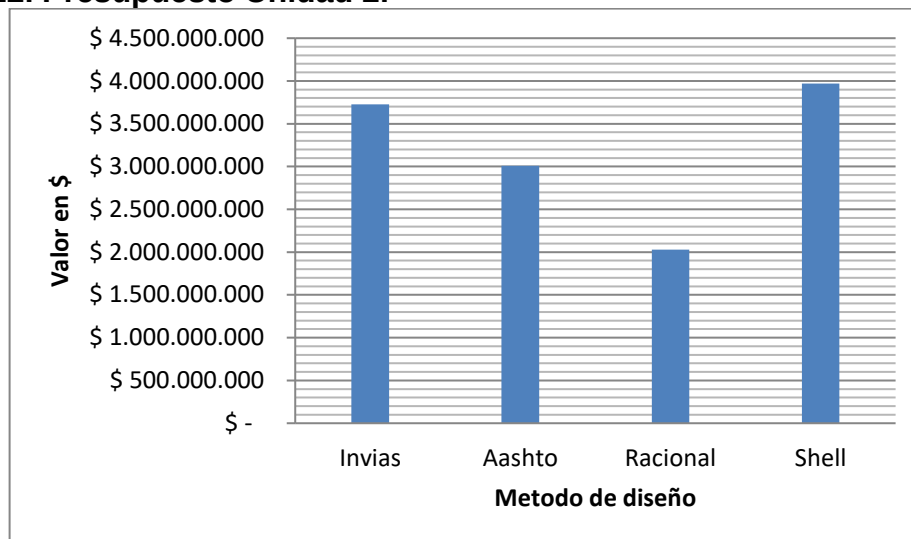
Grafica 11. Presupuesto Unidad 1.



Fuente. Autores, abril 2014

Para esto se toma en cuenta que en la unidad 1, el mejor método de diseño en cuanto a costo es el método Aashto y Racional debido a que cuenta con el mismo presupuesto de \$ 77.893.018 (setenta y siete millones ochocientos noventa y tres mil cero diez y ocho pesos) ya que en los espesores para esta unidad son similares. En comparación con el método Shell el aumento es de \$ 2.068.456 (dos millones, cero sesenta y ocho mil, cuatrocientos cincuenta y seis pesos) y el método Invias \$ 2.736.993 (dos millones, setecientos treinta y seis, novecientos noventa y tres pesos), se observa que las alternativas con respecto a la alternativa más económica que corresponde a los métodos Aashto y Racional, las diferencias de valores se ve afectando directamente los procesos de construcción, lo que se convierte en alternativas económicamente no viables.

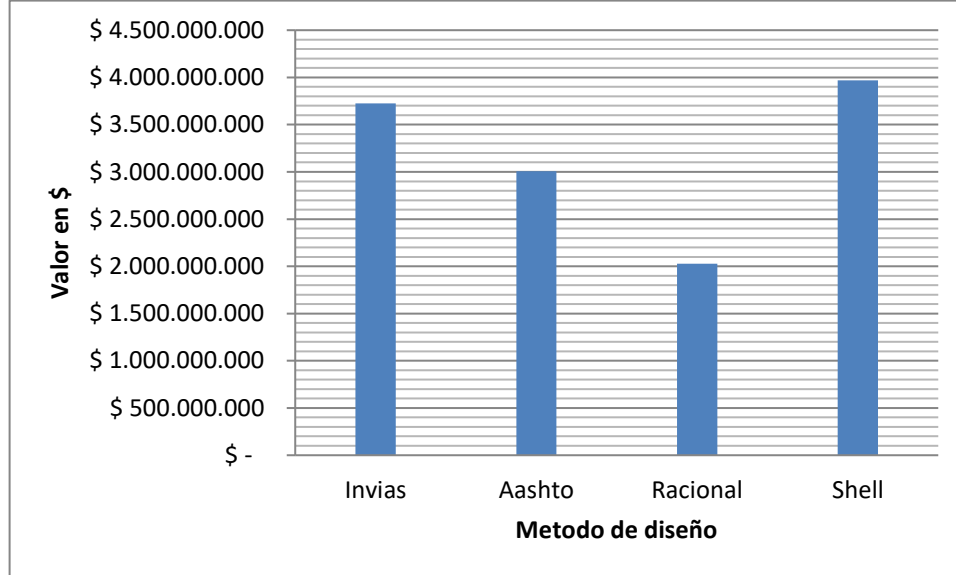
Grafica12. Presupuesto Unidad 2.



Fuente. Autores, abril 2014.

Para la unidad 2, se observa en la Grafica 12 que dentro de los métodos de diseño el más económico es el método Racional ya que cuenta con un valor de \$ 2.027.909.520 (dos mil millones, cero veinte y siete millones, novecientos nueve mil, quinientos veinte), en comparación con el método Invias que para este caso es \$ 3.726.086.075 (tres mil millones, setecientos veinte y seis millones, ochenta y seis mil, setenta y cinco pesos); logrando una diferencia de \$ 1.698.176.555 (mil millones, seiscientos noventa y ocho millones, ciento setenta y seis mil, quinientos cincuenta y cinco), con respecto al método de la Shell el valor es de \$ 3.970.244.880 (tres mil millones, novecientos setenta millones, doscientos cuarenta y cuatro mil, ochocientos ochenta pesos) la diferencia con el método Racional es \$ 1.942.335.360 (mil millones, novecientos cuarenta dos millones, trecientos treinta y cinco mil, trecientos sesenta pesos), ahora en comparación al método Aashto con un valor de \$ 3.008.408.550 (tres mil millones, ocho millones, cuatrocientos ocho mil, quinientos cincuenta pesos) con una diferencia con respecto al método racional de \$ 980.499.030 (novecientos ochenta millones, cuatrocientos noventa y nueve mil, treinta pesos). Demostrándose que la alternativa ofrecida por el método Racional es la más factible económicamente.

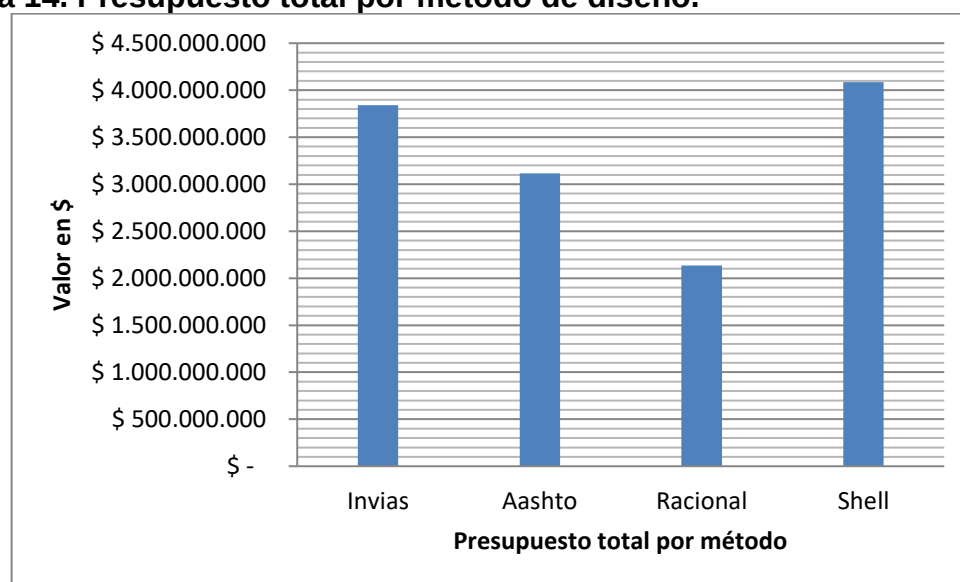
Grafica 13. Presupuesto Unidad 3.



Fuente. Autores, abril 2014.

Dentro de la unidad 3, para las unidades de diseño se observa que la más económica determinadas en la Grafica 13 es el método Racional con un valor de \$ 28.046.805 (veintiocho millones, cuarenta y seis mil, ochocientos cinco pesos), en comparación con el método Shell que para este caso es el más elevado, con una diferencia de \$ 6.640.489,60 (seis millones, seiscientos cuarenta mil, cuatrocientos ochenta y nueve mil, sesenta pesos) además se observa que para el método Invias cuenta con una diferencia de \$ 4.640.490 (cuatro millones, seiscientos cuarenta mil, cuatrocientos noventa) y para el método Aashto respecto al método Racional cuenta con una diferencia de \$ 2.365.856 (dos millones trescientos sesenta y cinco mil, ochocientos cincuenta y seis pesos), a su vez indica que para este caso el método Racional es más viables tanto económicamente como constructivamente.

Grafica 14. Presupuesto total por método de diseño.



Fuente. Autores, abril 2014.

Dentro de la comparación de estos métodos se determina que para cada método de diseño la más viable económicamente y constructivamente es el método Racional, como se observa en la tabla con un total de \$ 2.133.849.343 (dos mil millones, ciento treinta y tres millones, ochocientos cuarenta y nueve mil, trecientos cuarenta y tres pesos), este presupuesto fue evaluado a nivel de las tres unidades de diseño. Ver anexo A10 (presupuesto para los métodos de diseño)

Tabla 34. Presupuesto total por método.

Invias	Aashto	Racional	Shell
\$ 3.839.403.381	\$ 3.116.714.229	\$ 2.133.849.343	\$ 4.084.893.648

Fuente. Autores, abril 2014

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En la ciudad de Tunja se realizaron los reconocimientos de la vía correspondiente a la calle 12 entre la carrera 8ª y 9ª denominada como la unidad 1, la cual cuenta con un tramo de 149m de extensión, y la correspondiente a la intersección de la doble calzada con la universidad nacional abierta y a distancia (UNAD) nombrada como la unidad 2, la cual cuenta con una extensión de 1000m, también se realizó el reconocimiento de la vía correspondiente a la Ruta 62- vía principal Tunja-Bogotá-Calle 14 Sur - puesto de salud Runta denominada como la unidad 3, la cual cuenta con un tramo de 105m de extensión.
- La unidad 1 se encuentra con un pavimento en máximas condiciones de deterioro el cual se ve reflejado en la variedad de fallas de la capa de rodadura existente, la unidad 2 se encuentra con una capa de afirmado en la gran mayoría de su extensión exceptuando el abscisado de k 0+659m hasta el k 0+738m en el cual se encuentra una estructura flexible (adoquín) en medianas condiciones de serviciabilidad, La unidad 3 se encuentra en afirmado con un grado de serviciabilidad bajo y a su vez no presenta ninguna estructura hidráulica.
- Para las unidades de diseño se realizó un debido aforo para así proyectar y determinar el número de ejes equivalentes a utilizar en el diseño para la unidad 1 se toma el tránsito proyectado a 15 años correspondiente a $N'=4,8 * 10^5$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño, para la unidad 2 se determinó un periodo de diseño 15 años con un valor de $N=1,8 * 10^6$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño, para la unidad 3 se toma el tránsito proyectado a 15 años correspondiente a $N'=9,9 * 10^5$ ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño.
- En la exploración del suelo se realizaron en total 8 apiques, los cuales para la unidad 1 corresponden 2 , 4 apiques correspondientes a la unidad 2, 2 apiques en la unidad 3 con el fin de realizar el debido estudio y clasificación de la las propiedades portantes del suelo correspondiente a cada unidad, se realizó un programa de ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo utilizando ensayos de humedad, granulometría, peso unitario y seco, límites de Atterberg (líquido e índice plástico) y Valor de Soporte (CBR), se determinó que en la gran mayoría de los estudios se hace presente la clasificación A-4 lo cual determina que son suelos limosos con capa pobre, con una clasificación SC perteneciente con material arenoso en proporción mayor, comprende suelos gruesos que generalmente son regularmente estables en terraplenes y con capacidad de soporte que puede variar entre buena a deficiente.

- Está, sumado a la plasticidad encontrada y una capas pequeñas de afirmado en el tramo, representa consistencias que deben ser controladas con buenos drenajes y estabilidad en la estructura base de la capa de pavimento, además teniendo en cuenta que para la unidad 2 en los primeros 100m hay una clasificación del suelo correspondiente a CH conformado por arcillas inorgánicas y arcillas francas, arcillas formadas por descomposición química; para la unidad 3 se determinó que en la gran mayoría de los estudios se hace presente la clasificación A-6 lo cual determina que son suelos arcillosos con capa pobre, con una clasificación SC y CL perteneciente con material arenoso en proporción mayor, comprende suelos gruesos que generalmente son regularmente estables en terraplenes y con capacidad de soporte que puede variar entre buena a deficiente; esto, sumado a la plasticidad encontrada y unas capas pequeñas de afirmado en el tramo, representa consistencias que deben ser controladas con buenos drenajes y estabilidad en la estructura base de la capa de pavimento.

- En la unidad 2 en los primeros 100m se hace presente la clasificación de un suelo perteneciente al grupo CH el cual en sus características más representativas tiene el potencial de hinchamiento el cual es alto con un índice de plasticidad mayor a 60% se determina un hinchamiento potencial % mayor de 1,5% por tanto la clasificación del hinchamiento potencial sería perteneciente a alto.

- En este suelo se recomienda hacer una estabilización con pedraplen este trabajo consiste en la preparación de la superficie de apoyo del pedraplen y la colocación y compactación de materiales pétreos adecuados, de las características pertenecientes a este suelo además de solicitud de revisión por parte del geotecnista para los siguientes 200m a 500m para hacer la debida verificación de si se debe o no utilizar el pedraplen como estabilizador a una profundidad de 0.5-0.6m la cual se recomienda para efectos del diseño.

- Tanto en la unidad 1 como en la 3 se presenta gran correlación de elementos con un índice de plasticidad menor a 25% se determina un hinchamiento potencial menor de 0,5% por tanto la clasificación del hinchamiento potencial sería perteneciente a bajo.

-

- Las unidades 1,2 y 3 cuentan con condiciones climáticas iguales que corresponden a tipo frío seco con precipitaciones menores a los 1000mm anualmente además tener un comportamiento bimodal.

- En cuanto a las obras hidráulicas y de drenaje pluvial para la unidad 1 se recomienda el diseño de sumideros, para la unidad 2 se recomienda el diseño de

cunetas, sumideros, filtros y alcantarillas para las obras de captación, teniendo en cuenta que hay la existencia de una alcantarilla en la abscisa k 0 + 786m la restauración y debida protección de la estructura para la unidad 3 la presente vía se observó que se encontraron tres pozos ubicado en la misma, además se observa que no existe captación de agua por medio de rejilla de alcantarillado, cabe resaltar que en el inicio de la vía existe el primer pozo de alcantarillado el cual se recomienda que exista un sumidero para desagüe del agua teniendo en cuenta que es este el punto donde existe una intersección entre dos rutas las cuales conectan a la vía.

- El segundo pozo de alcantarillado se encuentra en el PR 41 metros, en el cual se observa que existe una pendiente, también se observa que desde el ultimo pozo ubicado a los 81,40 metros hasta el final de la vía, presenta una socavación producida por el agua, para lo cual se recomienda para este caso por la parte izquierda se haga una berma y por la parte derecha se construyan filtros y cunetas para la captación del agua de la vía a construir teniendo en cuenta la escorrentía y la capa vegetal presente.

- Al desarrollar la metodología Invias, Aashto, Racional y Shell, se demuestra que las variables locales más influyentes en el desarrollo de estos son el clima, el suelo y la geotecnia que presenta la ciudad de Tunja, además la influencia y el conocimiento de los materiales que se hallan en la región, los cuales fueron ajustados para el desarrollo y creación de alternativas a las necesidades locales. Para esto se tuvo en cuenta el análisis del suelo, estudio del tránsito y la exploración del suelo, las cuales en el desarrollo de la métodos de diseño, se observó que en la mayoría de los casos presenta una alta desactualización de estos, ocasionando sobredimensionamiento o subdimensionamientos en la malla vial urbana para lo cual se ve reflejado un incremento significa de los costos y la mano de obra. Por ende se determinaron los parámetros locales y se demostró que los métodos que fueron creados en condiciones diferentes a las de la ciudad de Tunja, se pueden acoplar y brindar alternativas más adecuadas las cuales fueron evaluadas por el método Racional teniendo en cuenta más a fondo las características y condiciones de los materiales de la región.

- Se recomienda que para el diseño de pavimentos de una malla vial urbana en Colombia, se haga investigación en el comportamiento del clima, estudios de movilidad, la geología del lugar, el crecimiento demográfico, el desarrollo sostenible, el manejo de la economía para así adoptar parámetros más locales y acordes al entorno.

- Realizada la evaluación económica de las alternativas propuestas por cada uno de los métodos, se demostró que bajo el criterio costo-beneficio y con base a las unidades se tiene que para la unidad 1 se realizó un análisis en el cual el método más costoso y menos beneficioso es el método Shell, ya que este método suele ser usado de forma general en otros países pero no está diseñado con variables locales como por ejemplo el comportamiento de los materiales ante el clima, el suelo y el tránsito para Colombia. A su vez dentro de esta comparación se demostró que el método más viable tanto en desarrollo como en costo es el método Aashto y racional, ya que presentan espesores bastantes similares dentro de sus alternativas de diseño, a su vez el costo de este diseño disminuye considerablemente, con respecto al método Invias se evidencia la desactualización de las cartas de diseño desde el año 1998 ya que estamos en constante cambio en parámetros como el clima, el suelo y el tránsito local.

- Con base a la relación costo- beneficio y teniendo en cuenta que para la unidad 2, la cual es una de las vías de la cual presenta mayor longitud y poca estabilidad en el suelo, se analizó que el mejor método para diseñar es el método racional, ya que evalúa el comportamiento mecánico de los materiales locales ofreciendo mayor seguridad en el momento de la etapa de ejecución, además se tiene en cuenta que para este método se usó una base estabilizada con cemento la cual proporciona características adicionales las cuales aportan al mantenimiento del suelo. En comparación con el método Invias, se observó un alto costo para el diseño de esta, teniendo en cuenta que a pesar de contar con una buena carta de diseño, al momento de ser ejecutada se observa su desactualización.

- Para determinar la comparación costo-beneficio se tuvo en cuenta los precios de la gobernación de Boyacá, ya que son vías que se encuentran dentro de la ciudad de Tunja, para este caso, en la unidad 3 se observó un incremento constante para el método Shell en comparación con los otros, debido a que esta vía actualmente se encuentra en afirmado, lo cual al realizar el diseño su costo incrementaría notablemente, lo más recomendable para este caso es usar el método Aashto ya que presenta variables acorde al estado actual de la vía.

- Teniendo en cuenta las tres unidades de diseño y con base a la relación costo-beneficio, se observó que el mejor método de diseño es el Racional, ya que presenta variables las cuales se ajustan a los parámetros locales que se presentan en estas vías, a su vez para la etapa constructiva es más eficiente en cuanto a materiales y proceso. Dentro de esta se observó que el método menos viable para esta unidad de diseño es el método de la Shell ya que presenta variables las cuales son poco recomendables a usar para este tipo de vías.

- Teniendo en cuenta la comprobación de los cuatro métodos, se escogió el método racional para las tres unidades de diseño, ya que este es el método más completo y más certero respecto a los otros, además sus espesores son más exactos. Este método evalúa dentro de su desarrollo el comportamiento de los materiales y su proyección ante los factores de la ciudad de Tunja en cuanto a clima, suelo y tránsito. Aplicando estas metodologías se tiene en cuenta las propiedades de los materiales que constituyen el pavimento; el procedimiento puede tener el grado de sofisticación. Con este procedimiento se pueden obtener los esfuerzos, deformaciones y deflexiones producidas por las cargas a las que está sometida la estructura (tránsito).

- Se recomienda la utilización y desarrollo de esta metodología en el diseño de malla vial urbana de la ciudad de Tunja, ya que se puede obtener estructuras de pavimentos resistentes con menor grado de mantenimiento y más vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

BERRY Peter- REID David- Mecanica de Suelos, 2000.

CRESPO-Mecánica de Suelos y Cimentaciones IV edición, 1998.

DAS M. Braja - Fundamentos de Ingeniería Geotécnica – Ed. Thomson Learning, 2007.

HIGUERA Sandoval Carlos Hernando - Nociones sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos para Carreteras. Volumen 1: Principios Fundamentales, Tránsito, Factores Climáticos y Geotecnia Vial 1ra Edición. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2010.

----- Nociones sobre Métodos de Diseño de Estructuras de Pavimentos para Carreteras. Volumen 2: Teoría, Métodos de Diseño y Ejemplos de Aplicación 1ra Edición. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2010.

----- Mecánica de Pavimentos, Principios Básicos - . Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2007.

JUAREZ Badillo-Rico Rodriguez- Mecanica de Suelos Tomo 1
Manual de diseño de pavimentos asfalticos INVIAS con medios y bajos volúmenes de nivel de tránsito.

MONTEJO Fonseca Alfonso - Ingeniería de Pavimentos 3ra Edición - Universidad Católica de Colombia, 2010.

MONTEJO Fonseca Alfonso - Ingeniería de Pavimentos para Carreteras 2da Edición – Universidad Católica de Colombia.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL: MUNICIPIO DE TUNJA
DEPARTAMENTO DE BOYACA

REYES Lizcano Fredy Alberto- Diseño Racional de Pavimentos, mayo 2004
Universidad del Cauca - Manual de Diseño de Altos y Medios Volúmenes.

WHITLOW roy- Fundamentos de Mecanica de Suelos II edición, 1999