

**APLICACIÓN EN TEMÁTICAS DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA AASHTO Y SHELL PARA EL DISEÑO DE  
PAVIMENTO DE LA VÍA “CARACOLÍ” QUE CONECTA A “LA CARRETERA  
DEL AMOR” EN VILLAVICENCIO - META**



Por:

**Carolina Cecilia Garzón Garzón**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO  
2020**

**APLICACIÓN EN TEMÁTICAS DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA AASHTO Y SHELL PARA EL DISEÑO DE  
PAVIMENTO DE LA VÍA “CARACOLÍ” QUE CONECTA A “LA CARRETERA  
DEL AMOR” EN VILLAVICENCIO - META**



Por:

**Carolina Cecilia Garzón Garzón**

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional  
de ingeniero civil

Aprobado por:

**I.C. Juan Manuel Salgado Díaz, M.Eng.**  
Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
VILLAVICENCIO  
2020**

## **AUTORIDADES ACADÉMICAS**

**Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.**  
Rector General

**Fray Eduardo González Gil, O.P.**  
Vicerrector Académico General

**Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.**  
Rector Sede Villavicencio

**Fray Rodrigo García Jara, O.P.**  
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**Julieth Andrea Sierra Tobón**  
Secretaria de División Sede Villavicencio

**Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón, ME.**  
Decano Facultad de Ingeniería Civil

**Nota de aceptación**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN.ME  
Decano Facultad Ingeniería Civil

\_\_\_\_\_  
I.C. Juan Manuel Salgado Díaz, M.Eng.  
Director

\_\_\_\_\_  
I.C. Erika Lorena Becerra Becerra, Esp.  
Jurado

Villavicencio, 14 de octubre de 2020

## RESUMEN

Hoy día el mundo cuenta con diferentes métodos para el diseño de pavimentos flexibles que se diferencian entre sí, por las ecuaciones y nivel de información que requieren. Si bien es cierto que en Colombia se utiliza el método AASHTO 93, es válido cuestionarse respecto de la conveniencia de explorar y analizar otros métodos que pudiesen ser aplicables en el país.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este proyecto se estudiaron y compararon los métodos de diseño semiempírico (AASHTO 93) y mecanicista-racional (SHELL 78). Para ello se realizó en primera instancia una comparación teórica de los métodos seleccionados en cuanto al enfoque y al nivel de información requerido por cada método. Posteriormente se realizó una comparación de resultados obtenidos por los distintos métodos, en una serie de escenarios definidos para la vía “Caracolí”, en el municipio de Villavicencio en el Meta, según variables de tránsito, subrasante y clima. Al igual que en términos de espesores de capa y costo de materiales.

Los resultados indicaron que el método más conservador, considerando los espesores de las capas de una estructura de pavimento flexible y los costos que ello implica, es el método AASHTO 93. Sin embargo, el método que considera una mayor cantidad de información, es el de SHELL 78, porque que ha logrado determinar las combinaciones de espesores de las diferentes capas del pavimento que garantizan el cumplimiento de los valores de deformación por tracción en las capas asfálticas ( $\epsilon_t$ ) y la deformación vertical por compresión en la subrasante ( $\epsilon_z$ ) durante el periodo de diseño, este método supone la estructura del pavimento como un sistema multicapa linealmente elástico, bajo la gestión de las cargas de tránsito, en el cual los materiales se hallan por su módulo de elasticidad. La principal recomendación es complementar los resultados obtenidos con programas más actualizados que incorporen el análisis de los datos según un método empírico-mecanicista.

**Palabras Claves:** *Diseño para pavimentos flexibles, Métodos de diseño, espesores de capa, costo, tránsito, subrasante, clima, deformación por tracción, deformación vertical.*

## ABSTRACT

Nowadays, the world has different methods for the design of flexible pavements that differ from each other, due to the equations and level of information they require. Although it is true that the AASHTO 93 method is used in Colombia, it is valid to question the advisability of exploring and analyzing other methods that could be applicable in the country.

Bearing in mind the above, in this project the semi-empirical (AASHTO 93) and mechanistic-rational (SHELL 78) design methods were studied and compared. Taking this in place, a theoretical comparison of the selected methods was carried out in the first instance in terms of the approach and the level of information required by each method. Subsequently, a comparison was made of the results obtained by the different methods, in a series of scenarios defined for the "Caracolí" road, in the small town of Villavicencio at Meta, according to variables of traffic, subgrade and weather as well as in terms of layer thicknesses and cost of materials.

Furthermore, the results indicated that the most conservative method, considering the thickness of the layers of a flexible pavement structure and the costs that this implies, is the AASHTO 93 method. Nonetheless, the method that considers a greater amount of information is by SHELL 78 because it has managed to determine the combinations of thicknesses of the different layers of the pavement that tensile strain in the asphalt layers ( $\epsilon_t$ ) and vertical compression strain in the subgrade ( $\epsilon_z$ ) values during the design period, this method assumes the pavement structure as a linearly elastic multilayer system, under the management of the traffic loads, in which materials are found by their modulus of elasticity. The main recommendation is to complement the results obtained with more updated programs that incorporate a complete data analysis according to an empirical-mechanistic method.

**Keywords:** *Design for flexible pavements, Design methods, layer thicknesses, cost, traffic, subgrade, climate, tensile deformation, vertical deformation.*

## CONTENIDO

|        |                                                                                |    |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | INTRODUCCIÓN .....                                                             | 12 |
| 2.     | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                                                  | 13 |
| 2.1.   | DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....                                                 | 13 |
| 2.2.   | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....                                                  | 14 |
| 3.     | JUSTIFICACIÓN.....                                                             | 15 |
| 4.     | OBJETIVOS.....                                                                 | 16 |
| 4.1.   | OBJETIVO GENERAL .....                                                         | 16 |
| 4.2.   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                                                     | 16 |
| 5.     | ALCANCE .....                                                                  | 17 |
| 6.     | MARCO DE REFERENCIA .....                                                      | 18 |
| 6.1.   | MARCO TEÓRICO .....                                                            | 18 |
| 6.1.1  | Temperatura media anual ponderada del aire TMAP°C .....                        | 18 |
| 6.1.2  | Capacidad de soporte de la subrasante .....                                    | 18 |
| 6.1.3  | Características de la mezcla asfáltica .....                                   | 18 |
| 6.1.4  | Índice de penetración de la temperatura T800 del asfalto.....                  | 19 |
| 6.1.5  | Rigidez del asfalto a la temperatura de trabajo en obra .....                  | 19 |
| 6.1.6  | Rigidez (Stiffness) de la mezcla asfáltica .....                               | 19 |
| 6.1.7  | Identificación del código de rigidez de la mezcla (S1 o S2) .....              | 19 |
| 6.1.8  | Deformación máxima admisible de tracción .....                                 | 20 |
| 6.1.9  | Identificación del código de fatiga de la mezcla .....                         | 20 |
| 6.1.10 | Espesores para el diseño Shell.....                                            | 20 |
| 6.1.11 | Número de ejes equivalentes (N 8.2).....                                       | 20 |
| 6.2.   | MARCO CONCEPTUAL .....                                                         | 22 |
| 6.2.1  | Pavimento .....                                                                | 22 |
| 6.2.2  | Pavimentos flexibles.....                                                      | 22 |
| 6.2.3  | Obras de drenaje.....                                                          | 22 |
| 6.3.   | ESTADO DEL ARTE.....                                                           | 23 |
| 6.4.   | MARCO NORMATIVO .....                                                          | 28 |
| 6.5.   | MARCO GEOGRÁFICO .....                                                         | 28 |
| 7.     | METODOLOGÍA .....                                                              | 31 |
| 7.1.   | DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS .....                                           | 31 |
| 7.2.   | POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE<br>RECOLECCIÓN DE DATOS ..... | 32 |
| 7.2.1  | Aforos.....                                                                    | 32 |
| 7.2.2  | Ensayos de laboratorio.....                                                    | 32 |
| 8.     | ETAPA 1 ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURA.....                             | 33 |
| 8.1.1  | Estudio De Tránsito.....                                                       | 33 |
| 8.1.2  | Estudio de suelos .....                                                        | 33 |
| 8.1.3  | Estudio del clima .....                                                        | 33 |
| 9.     | ETAPA 2 DISEÑO DE ESTRUCTURA.....                                              | 34 |
| 9.1.   | DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO.....                                                | 34 |
| 9.2.   | CALCULO MÓDULO DE LA SUBRASANTE.....                                           | 34 |
| 9.3.   | MEJORAMIENTO DE CBR .....                                                      | 34 |

|         |                                                             |    |
|---------|-------------------------------------------------------------|----|
| 9.4.    | ESPEORES DE DISEÑO .....                                    | 35 |
| 9.5.    | ESTRUCTURA DE PAVIMENTO .....                               | 35 |
| 10.     | ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                                | 36 |
| 10.1.   | ANÁLISIS DE MOVILIDAD EN LA VEREDA EL AMOR VÍA CARACOLÍ ... | 36 |
| 10.2.   | ESTUDIO DE TRÁNSITO .....                                   | 36 |
| 10.3.   | ESTUDIOS DE SUELOS .....                                    | 36 |
| 10.4.   | DETERMINACIÓN DEL PERFIL DEL SUELO .....                    | 36 |
| 10.5.   | TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO .....             | 37 |
| 10.6.   | GRANULOMETRÍA.....                                          | 37 |
| 10.7.   | NIVEL FREÁTICO Y LOCALIZACIÓN.....                          | 38 |
| 10.8.   | LIMITE DE CONSISTENCIA .....                                | 43 |
| 10.9.   | CBR DE ENSAYO LABORATORIO.....                              | 47 |
| 10.10.  | CLIMA.....                                                  | 50 |
| 10.10.1 | Temperatura .....                                           | 50 |
| 10.11.  | PRECIPITACIÓN .....                                         | 52 |
| 10.12.  | DISEÑO DE ESTRUCTURA.....                                   | 54 |
| 10.12.1 | METODOLOGÍA AASHTO 93.....                                  | 54 |
| 10.12.2 | SHELL 78.....                                               | 58 |
| 10.13.  | COMPARATIVO COSTOS DIRECTOS .....                           | 59 |
| 11.     | RESULTADOS E IMPACTOS .....                                 | 62 |
| 12.     | CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....                        | 63 |
| 12.1.   | CONCLUSIONES .....                                          | 63 |
| 12.2.   | TRABAJOS FUTUROS.....                                       | 64 |
| 13.     | BIBLIOGRAFÍA.....                                           | 64 |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 6-1. Constantes de factor daño .....                                                                                                | 21 |
| Tabla 6-2. Estado del Arte.....                                                                                                           | 23 |
| Tabla 6-3. Marco normativo.....                                                                                                           | 28 |
| Tabla 9-1. Composición vehicular típica.....                                                                                              | 34 |
| Tabla 10-1. Porcentaje que pasa por los diferentes tamices del apique número 1 (K0+500). ....                                             | 39 |
| Tabla 10-2. Porcentaje de grava, arena y finos del apique 1(K0+500).....                                                                  | 39 |
| Tabla 10-3. Coeficientes de uniformidad y de curvatura. ....                                                                              | 40 |
| Tabla 10-4. Porcentaje que pasa por los diferentes tamices del apique 2 (K1+000). ....                                                    | 40 |
| Tabla 10-5. Porcentaje de grava, arena y finos del apique 2 (K1+000).....                                                                 | 40 |
| Tabla 10-6. Coeficientes de uniformidad y de curvatura. ....                                                                              | 41 |
| Tabla 10-7. Porcentaje que pasa por los diferentes tamices del apique 3 (k1+500). ....                                                    | 41 |
| Tabla 10-8. Porcentaje de grava, arena y finos del apique 3 (K1+500).....                                                                 | 42 |
| Tabla 10-9. Coeficientes de uniformidad y de curvatura. ....                                                                              | 43 |
| Tabla 10-10. Porcentaje de contenido de humedad apique 1(K0+500). ....                                                                    | 43 |
| Tabla 10-11. Porcentaje de contenido de humedad apique 2 (K1+000). ....                                                                   | 44 |
| Tabla 10-12. Porcentaje de contenido de humedad apique 3 (K1+500). ....                                                                   | 45 |
| Tabla 10-13. Resultados de límites e índice de plasticidad .....                                                                          | 46 |
| Tabla 10-14. Porcentaje del CBR compactado. ....                                                                                          | 49 |
| Tabla 10-15. CBR requerido según la ecuación de IVANOV .....                                                                              | 49 |
| Tabla 10-16. Datos de la temperatura mensual promedio últimos 10 años.....                                                                | 50 |
| Tabla 10-17. Temperatura media anual ponderada y temperatura de diseño .....                                                              | 51 |
| Tabla 10-18. Temperatura media anual ponderada y temperatura de diseño.....                                                               | 52 |
| Tabla 10-19. Variables de diseño por AASTHO 93 del pavimento flexible + mejoramiento.....                                                 | 54 |
| Tabla 10-20. Variables de diseño por AASTHO 93 del pavimento flexible + mejoramiento.....                                                 | 55 |
| Tabla 10-21. Variables de diseño por AASTHO 93 del pavimento flexible.....                                                                | 56 |
| Tabla 10-22. Variables de diseño por AASTHO 93 del pavimento flexible.....                                                                | 57 |
| Tabla 10-23. Cálculo de metodología SHELL Parte 1.....                                                                                    | 58 |
| Tabla 10-24. Cálculo de metodología SHELL Parte 2.....                                                                                    | 58 |
| Tabla 10-25. Cálculo de metodología SHELL Parte 3.....                                                                                    | 58 |
| Tabla 10-26. Comparativo de precios suministrados por INVIAS y canteras cercanas a la zona de estudio para diseño flexible AASHTO 93..... | 60 |
| Tabla 10-27. Comparativo de precios suministrados por INVIAS y canteras cercanas a la zona de estudio para diseño flexible SHELL 78. .... | 60 |
| Tabla 11-1. Resultados. ....                                                                                                              | 62 |
| Tabla 11-2. Impactos.....                                                                                                                 | 62 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Modelo estructural.....                                                                                          | 20 |
| Figura 2. Ubicación del proyecto, vía caracolí Villavicencio-Meta.....                                                     | 29 |
| Figura 3. Ubicación del proyecto, vía caracolí Villavicencio-Meta.....                                                     | 29 |
| Figura 4. Vía alledaña existente a la vía Villavicencio-Meta.....                                                          | 30 |
| Figura 5. Metodología.....                                                                                                 | 31 |
| Figura 6. Sección metodología.....                                                                                         | 31 |
| Figura 7. Apique K1+000 con profundidad de 1.50m .....                                                                     | 33 |
| Figura 8. Muestra de suelos extraídos en los apiques. ....                                                                 | 37 |
| Figura 9. Tamices utilizados para realizar la granulometría del suelo.....                                                 | 38 |
| Figura 10.10. Localización exploración del subsuelo (apiques cada 500 metros) .                                            | 38 |
| Figura 11. Curva granulométrica apique 1 (K0+500).....                                                                     | 39 |
| Figura 12. Curva granulométrica apique 2 (K1+000).....                                                                     | 41 |
| Figura 13. Curva granulométrica apique 3 (K1+500).....                                                                     | 42 |
| Figura 14. Curva flujo apique 1 (K0+500).....                                                                              | 43 |
| Figura 15. Curva flujo apique 2 (K1+000).....                                                                              | 44 |
| Figura 16. Curva flujo apique 3 (K1+500).....                                                                              | 45 |
| Figura 17. Carta de plasticidad de Casagrande .....                                                                        | 47 |
| Figura 18. Muestra Sumergida para ensayo CBR en el laboratorio .....                                                       | 47 |
| Figura 19. Ensayo CBR en el laboratorio .....                                                                              | 47 |
| Figura 20. Grafica CBR seco.....                                                                                           | 48 |
| Figura 21. Temperatura media anual en Villavicencio.....                                                                   | 50 |
| Figura 22. Temperatura Media Anual Ponderada .....                                                                         | 52 |
| Figura 23. Precipitación Media Mensual.....                                                                                | 52 |
| Figura 24. Precipitación promedio anual. ....                                                                              | 53 |
| Figura 25. Estructura de pavimento para el diseño de pavimento flexible +<br>mejoramiento según metodología AASTHO 93..... | 55 |
| Figura 26. Estructura de pavimento para el diseño de pavimento flexible según<br>metodología AASTHO .....                  | 57 |
| Figura 27. Estructura de pavimento para el diseño de pavimento flexible +<br>mejoramiento según metodología SHELL .....    | 59 |
| Figura 28. Estructura de pavimento para el diseño de pavimento flexible según<br>metodología SHELL .....                   | 59 |

## **LISTA DE ECUACIONES**

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Ecuación 1. Heukelom y Foster (1960) y Heukelom y Klomp (1962) ..... | 18 |
| Ecuación 2. Número de ejes equivalentes $N_{8.2}$ .....              | 21 |
| Ecuación 3. Factor camión .....                                      | 21 |
| Ecuación 4. Temperatura Media Mensual .....                          | 50 |

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es uno de los países del mundo con mayor retraso en infraestructura vial [1]. De acuerdo al reporte de INVIAS, 2017 el país cuenta con 206.727 km en lo referente a la red vial de carreteras de estos 19.306 km son red primaria, 45.137 km de red secundaria y 142.284 km de red terciaria, siendo este último el 70% de la red nacional. Este rezago se debe a la crisis vial que atraviesa el país, las principales causas de esta crisis son: falta de recursos, deficiencia de materiales para construcción, continuo aumento de los límites legales de carga y la inexistencia de apoyo por parte de la administración vial a la investigación y al desarrollo tecnológico [2]. Las vías que comunican ciudades o municipios son una base para el desarrollo económico y el incremento de la calidad de vida de los usuarios y personas que habitan en su entorno por la necesidad de minimizar costos y disminuir los tiempos de transporte.

Los pavimentos son construidos por diferentes capas superpuestas sobre el suelo natural, con el fin de disminuir los esfuerzos generados por el tránsito repetitivo. Dichas capas, son materiales específicos como bases granulares y una carpeta asfáltica o una losa de concreto según sea el diseño requerido, de tal manera que se logre evitar daños prematuros al pavimento como asentamiento, fisuras, levantamiento de losas, ahuellamiento, fatiga, entre otras y se logre aumentar la resistencia, adicionalmente asegurar la máxima vida económicamente útil para el proyecto. [2]

Dentro del diseño de un pavimento es fundamental incluir en la estructura vial las diferentes características de los materiales a emplear en cada una sus capas definiendo los espesores necesarios para asegurar un índice de serviciabilidad alto para su vida útil.

Actualmente en Colombia, el diseño de pavimento flexibles se realiza en base al método de la American Association of State Highway and Transportation Officials del año 1993 (AASHTO 93) con adaptaciones a condiciones nacionales. Sin embargo, considerando que en el mundo existen otros métodos de diseño, es que se hace necesario investigar y conocer estos métodos respecto del nivel de información que requieren y de los costos asociados para luego verificar su aplicabilidad para distintos escenarios nacionales.

En este proyecto se estudiaron y se compararon las metodologías de diseño de pavimento semiempírico y racional para la estructura de un tramo de 1.5 km de vía terciaria conocida como “Caracolí” que conecta a la carretera del amor, para ello se hace pertinente establecer parámetros de selección y establecer que alternativa estructural es aplicable en la vía objeto de estudio.

## **2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El desarrollo de la capacidad vial sigue en constante actualización, para las vías existentes y nuevas, como también para las que se pretenden reparar o reconstruir, esto se evidencia en los constantes trabajos de infraestructura del país.

En lo relacionado con las vías en Colombia por lo general se encuentran en mal estado comparándolas con otros países de Latinoamérica la revista BBC publicó cifras de los mejores o peores países de infraestructura vial, según las cifras dadas; el mejor país de Latinoamérica es Chile por su avance en un sistema de carreteras de acuerdo con su desarrollo infraestructura de carreteras, con una red de 77.764 kilómetros que incluye 2.387 kilómetros de autopistas, y las buenas condiciones de mantenimiento, los países que siguen son México y Panamá, igualmente salen con bajo puntaje en el listado del Foro Mundial Paraguay y Colombia, en donde es notoria la insatisfacción de la población con sus carreteras, esto influye en la deficiencia del desarrollo humano y social de las poblaciones de diferentes regiones; pese al auge observado en los últimos años y a los esfuerzos que ha hecho el gobierno por invertir en la infraestructura vial, pocos han sido los cambios tangibles para el diseño de pavimentos flexibles como tal, dado que el uso de la metodología AASHTO 93 siempre es la que más se concibe.

Dado que existen en el medio, otros enfoques de diseño de pavimentos, con bases mecanicistas-rationales distintas, es de enorme conveniencia, de primera mano conocer dichas metodologías, en especial, debido a que Colombia no está familiarizada con diversas opciones de diseño, con el objeto de comparar resultados en cuánto a las características de diseño que arrojaran cada una de ellas, analizando su desempeño, funcionalidad y las ventajas económicas de usar un método sobre otro.

Sumado a esto se requiere aplicar soluciones a las problemáticas presentadas en las vías por causa de malos diseños de infraestructura que afecta directamente a los usuarios dificultando el transporte y otras consecuencias como: altos costos en mantenimiento de los vehículos, incremento en los tiempos de viaje, atraso en el desarrollo económico de la región y posibles enfermedades a causa del levantamiento de partículas generados por el tránsito de vehículos, la vía en cuestión, se clasifica como vía terciaria y actualmente presenta una difícil conexión con cuatro colegios aledaños, la iglesia y el conjunto Caracolí; ahora bien en temporadas de invierno, cuando se presenta lluvias continuas, esta zona se vuelve intransitable siendo tedioso el ingreso vial en horas pico, debido a esto, se generan retraso en las actividades como el acceso oportuno a los colegios, inasistencia de los estudiantes y aplazamientos de las congregaciones realizadas por la iglesia.

## 2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en la vía caracolí, ubicada en el municipio de Villavicencio-Meta, no cuenta con vías en óptimas condiciones para el acceso vehicular, debido a esto se genera levantamiento de partículas de polvo por el tránsito diario y constante de vehículos; los habitantes de la zona presentan molestias e inconformidad dado a que este hecho es un originador potencial de infecciones gripales; los estancamientos de aguas superficiales o pantanos formados en temporadas de invierno donde se presentan constantes lluvias, son las principales fuentes de creación de bacterias e insectos portadores de virus y enfermedades.

Podemos identificar alguna de las causas por las cuales no se había pavimentado la vía entre ellas está: que en los últimos años se ha incrementado el flujo vehicular de la vía, ya que anteriormente no se transitaban tanto y no afectaba a la población aledaña, por ello no era importante o primordial invertir en ella; el abandono del tramo en estudio ha ocasionado deterioro en toda la estructura vial, afectando notoriamente la transitabilidad en el sector. Factor que influye en forma directa en los usuarios.

Se ha observado un avance constructivo en los últimos años a nivel nacional en distintos proyectos de infraestructura vial, sin embargo, las necesidades actuales se van haciendo cada vez más grandes, exigiendo nuevos enfoques que permitan abordar el problema del diseño de pavimentos flexibles desde las perspectivas de la economía, la competencia estructural y funcional de la vía, requiriendo a su vez el estudio de nuevas metodologías de diseño que se adapten a los parámetros en estudio, para este caso se realizará la evaluación de dos metodologías de diseño para la vía de acceso a la vereda “El Amor” y lo que se propone es buscar cuál de las dos alternativa arrojen resultados adecuados que brinden durabilidad y sea factible mediante la implementación de materiales de la zona y de métodos para la conservación de la estructura.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Conociendo la alta inversión del estado en el área de infraestructura vial, y sobre todo en las vías terciarias se hace evidente la necesidad de atender en especial el componente específico del diseño de pavimentos flexibles, con miras a que estos sean más efectivos, obteniendo una economía sustancial y el funcionamiento estructural para la ejecución del proyecto como tal.

En Colombia uno de las metodologías más usadas para pavimentos flexibles es el de la AASHTO 93, método semiempírico, esto hace que exista dificultad al momento de establecer las relaciones propuestas para unas condiciones diferentes a las que existen en el lugar de prueba, por lo que se considera necesario aplicar otros métodos o alternativas de diseño con la combinación de conceptos mecanicista-racional, como en las que se basa la metodología SHELL 78. En el presente proyecto se realizará un análisis comparativo entre las dos alternativas de diseño, calibrándolas a condiciones del proyecto. Analizando su desempeño, funcionalidad y las ventajas económicas de usar un método sobre otro.

Es importante mencionar que las vías locales deberán conectar siempre con las vías desarrolladas por los proyectos urbanísticos colindantes, lo cual permitirá tener continuidad en los desplazamientos intrabarriales. Como lo establece el plan de ordenamiento territorial del municipio de Villavicencio (POT, 2015). Si este proyecto es presentado a la alcaldía con un convenio entre la comunidad y la universidad Santo Tomás desde su consultorio de ingeniería, puede ser el punto de partida para que la alcaldía se interese en invertir en el desarrollo no solo de esta vereda sino de las demás que presentan situaciones similares.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la metodología AASHTO y SHELL mediante un análisis comparativo para el diseño de pavimento de la vía “Caracolí” que conecta a “La Carretera del Amor” en el municipio de Villavicencio - Meta.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los factores climáticos y ambientales del área de estudio que afectan la estructura del pavimento.
- Identificar las propiedades del suelo de la vía objeto de estudio, teniendo en cuenta las normas INVIAS 2013.
- Calcular el módulo resiliente de la sub-rasante mediante una correlación con el CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California).
- Proponer el uso de material de la zona para implementar como base o subbase en la estructura cumpliendo con la metodología de estabilización granulométrica.
- Calcular los costos directos para la construcción de estructuras de pavimento diseñadas para el tramo en estudio con precios del INVIAS y una cantera cercana al proyecto

## **5. ALCANCE**

El presente proyecto tiene como alcance bien definido elaborar un análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las metodologías AASHTO 93 y SHELL 76, evaluando consigo los parámetros de diseño de cada una y las variables generadas durante el proceso de diseño de un mismo pavimento flexible, esto genera un fundamento tanto teórico como práctico, que permita al ingeniero civil escoger por un método o alternativa de diseño en particular, acertado a la necesidad que se desea cubrir.

Los lineamientos que rigen el diseño corresponden a los estipulados en la norma y especificaciones del INVIAS 2013, en lo referente a los estudios de suelos, tránsito y caracterización de la subrasante. Adicionalmente, este proyecto busca también analizar materiales de la fuente AGREMET, que puedan ser útiles como base o subbase para la estructura de pavimentos, luego de aplicar metodología de estabilización granulométrica y su respectiva evaluación económica.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

La realización de un diseño de pavimento para cualquier clase de vía se realiza siguiendo los parámetros especificados en las diferentes normas, ensayos y teorías de diseño y construcción de pavimentos para garantizar el óptimo rendimiento y vida útil del mismo. El evaluar de una estructura para una vía y en particular para el pavimento se primordial el soporte de las cargas aplicadas por el tránsito. Se debe conocer la capacidad portante de la capa o de las capas sobre las cuales se apoya la estructura del pavimento.

### 6.1. MARCO TEÓRICO

#### 6.1.1 Temperatura media anual ponderada del aire TMAP°C

Para estimar la temperatura media anual ponderada de aire es necesario obtener un factor de ponderación (Fp).

Al obtener cada una de las temperaturas medias mensuales del aire, el promedio de la sumatoria de los productos del factor de temperatura es un factor de ponderación promedio y del cual se halla TMAP, los datos obtenidos de cada año son sacados del ejecutable Clima.

Para determinar la temperatura anual ponderada del aire w–MAAT se utiliza la carta W que está relacionada con el factor de ponderación y la temperatura anual ponderada [3].

#### 6.1.2 Capacidad de soporte de la subrasante

Se determina el módulo resiliente de la subrasante en N/m<sup>2</sup> (Mr), como resultado de evaluación de campo y los ensayos de laboratorio con ayuda de correlaciones con el valor de CBR a través de múltiples ecuaciones disponibles en la literatura. Algunas de ellas se presentan a continuación:

Ecuación 1. Heukelom y Foster (1960) y Heukelom y Klomp (1962)

$$Mr = 10 \cdot CBR \text{ (Mpa)} \text{ ó } Mr = 1500 \cdot CBR \text{ (psi)}, \text{ para } CBR < 10\%$$

#### 6.1.3 Características de la mezcla asfáltica

Las dos propiedades para la caracterización son:

- El módulo dinámico de elasticidad tanto del asfalto como de la mezcla (S)
- Resistencia de la mezcla a la fatiga (F)

El CA de 80-100 inferiores a 24 °C con numero de 100 y los CA de 60-70 o 40-50 para temperaturas superiores a 24 °C con número 50.

Combinaciones: S1-F1-50; S1-F1-100; S1-F2-50; S1-F2-100; S2-F1-50; S2-F1-100; S2-F2-50; S2-F2-100

#### **6.1.4 Índice de penetración de la temperatura T800 del asfalto**

Con ayuda de la gráfica HELKELLOM se halla el índice de penetración el cual es la medida de susceptibilidad térmica del asfalto y la temperatura de penetración de 800 décimas de milímetros, Ver Anexo 1.

Se grafica las temperaturas con sus respectivas penetraciones con ello se calcula el valor de T800 se traza una recta hacia abajo y se lee la temperatura correspondiente, se hace una paralela a la línea que se prolonga a la T800 y se calcula el índice de penetración [3].

#### **6.1.5 Rigidez del asfalto a la temperatura de trabajo en obra**

Para determinar la rigidez (Stiffness) del asfalto se debe averiguar el índice de penetración, el tiempo de aplicación de la carga y la diferencia de temperatura la cual corresponde a la temperatura de T800 menos Temperatura de la mezcla la cual es la misma temperatura media anual.

En el eje y se ubica la temperatura de la mezcla y en el eje x la temperatura media anual del aire, al unirse esas dos líneas se obtiene el espesor del asfalto en mm [3].

A continuación, se debe dirigir a la gráfica de Nomograma de Van Der Poel para determinar el módulo dinámico del asfalto uniendo con una recta el tiempo de aplicación de la carga con la diferencia de temperatura hallado anteriormente y el índice de penetración, desde ese punto se sigue paralelamente a la curva hasta la parte superior de esa manera se calcula el Stiffness del asfalto [3]. Ver Anexo 2.

#### **6.1.6 Rigidez (Stiffness) de la mezcla asfáltica**

Se debe conocer la composición volumétrica de la mezcla obtenida por el método Marshall, se grafica el módulo de rigidez del asfalto con el porcentaje de volumen del asfalto de la mezcla se traza una recta horizontal hasta interceptar la escala vertical con el volumen del agregado de la mezcla para tener como resultado el módulo de rigidez de la mezcla asfáltica [3]. Ver Anexo 4.

#### **6.1.7 Identificación del código de rigidez de la mezcla (S1 o S2)**

En la Carta M-1 se relaciona la rigidez de la mezcla y la del asfalto para determinación un punto de fluencia el cual indica el código de rigidez S1 o S2 en el eje Y se ubica la rigidez de la mezcla y en el eje X la rigidez del asfalto [3]. Ver Anexo 5.

### 6.1.8 Deformación máxima admisible de tracción

En el nomograma NFAT se relaciona el módulo de rigidez de la mezcla y el volumen de asfalto de la mezcla y su respectivo número de ejes equivalentes para obtener la deformación del asfalto por fatiga [3]. Ver Anexo 6.

### 6.1.9 Identificación del código de fatiga de la mezcla

En las Carta M-3 y Carta M-4 se grafica en relación con la deformación del asfalto por fatiga y la rigidez de la mezcla, al realizarlo se debe observar el valor que esté más cerca al número de ejes equivalentes y se identifica el código de fatiga, a continuación, se debe seleccionar el numero ya sea 50 o 100 dependiendo de la temperatura o del espesor de la capa asfáltica [3]. Ver Anexo 7.

### 6.1.10 Espesores para el diseño Shell

Se observa el código de la mezcla asfáltica con respecto al módulo resiliente y la temperatura y se obtiene el índice de la carta HN, se dirige a la carta correspondiente y se grafica para obtener los  $M_r$  de cada capa del pavimento y sus respectivos espesores [3].

Se realiza la modelación estructural del pavimento con sus respectivas capas y espesores, y se programa en WinDepav para comparar con los cálculos realizados a mano y verificar que los resultados que se obtienen del programa sean menores a los calculados [3]. Ver Anexo 8.

Figura 1. Modelo estructural

|                   |                                                         |                |
|-------------------|---------------------------------------------------------|----------------|
| Capa asfáltica    | <b>S mix <math>4.5 \times 10^9</math></b>               | <b>e= 8 cm</b> |
| Base granular     | <b>BG = <math>8 \times 10^8</math> N/m<sup>2</sup></b>  | <b>e= 20cm</b> |
| Sub base granular | <b>SBG = <math>4 \times 10^8</math> N/m<sup>2</sup></b> | <b>e= 25cm</b> |
| Subrasante        | <b>SBR = <math>5 \times 10^7</math> N/m<sup>2</sup></b> |                |

Fuente: Propia

### 6.1.11 Número de ejes equivalentes (N 8.2)

A través del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas que circulan en el carril y el período de diseño (N), se caracterizan los vehículos que circulan por una vía que presentan diferentes magnitudes, configuraciones de ejes, presiones de inflado, velocidad de circulación y número de llantas, teniendo en cuenta la Ecuación 2.

Ecuación 2. Número de ejes equivalentes  $N_{8,2}$

$$N_{8,2} = TPD * \frac{K_1}{100} * \frac{K_2}{100} * \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} * 365 * FC$$

Fuente: AASHTO 93.

Dónde:

TPD: tránsito promedio diario

$K_1$ : número de vehículos pesados

$K_2$ : factor carril

r: tasa de crecimiento

n: periodo de diseño

FC: factor camión

Ecuación 3. Factor camión

$$FC = \frac{(\#vehiculos * FD1 + \#vehiculos * FD2 + \#vehiculos * FDN)}{\Sigma vehiculos pesados}$$

Fuente: AASTHO 93

Tabla 6-1. Constantes de factor daño

| TIPO DE VEHÍCULO |                    | FACTOR DAÑO       |        |
|------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                  |                    | Murgueitio et al. | INVÍAS |
| A                | Automóvil          | 0                 | 0      |
|                  | Microbús           | 0                 | 0      |
| B                | Buseta             | 0,05              | 0,05   |
|                  | Bus Intermunicipal | 1                 | 1      |
|                  | C2-P               | 1,14              | 1,14   |
| C                | C2-G               | 3,44              | 2,15   |
|                  | C3                 | 3,76              | 3,15   |
|                  | C3-S2              | 4,4               | 4,21   |
|                  | C3-S3              | 4,72              | 5,31   |

Fuente: INVÍAS

## **6.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **6.2.1 Pavimento**

Un pavimento está compuesto por una serie de capas superpuestas horizontales sobre una subrasante, diseñadas y construidas con material técnicamente apropiados y compactados capaces de resistir los esfuerzos que ejercen las cargas repetitivas del tránsito durante el periodo de tiempo al cual se diseña la estructura del pavimento. [4].

### **6.2.2 Pavimentos flexibles**

Los pavimentos flexibles se caracterizan por tener una capa superficial asfáltica sobre capas granulares para distribuir tensiones y deformaciones generadas por las cargas del tránsito. Estas capas absorben las tensiones de manera vertical y en este proceso se generan tensiones de deformación y tracción de la fibra interior del revestimiento asfáltico que producen fisuras o fatiga. [5]

### **6.2.3 Obras de drenaje**

Estimar un sistema o estructura de drenaje de aguas de escorrentía superficial o lluvias que se presenten sobre la vía.

### 6.3. ESTADO DEL ARTE

**Tabla 6-2. Estado del Arte**

| Año  | Autor                                                                 | Título                                                                                                                                         | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Aporte                                                                                                                                                                                                                               |
|------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2002 | MARTHA LUCIA OSPINA TARAZONA                                          | Comparación entre las metodologías de diseño de pavimentos flexibles utilizadas del año 1950 al año 2002 en estados unidos y Colombia (Bogotá) | El diseño de los pavimentos flexibles nace como ciencia a principios del siglo XX, teniendo lugar en 1901 con la aparición del método Massachusetts. Desde ese año, diversos organismos viales han trabajado para métodos que puedan abarcar con ellos las diferentes variables                                                                                         | A pesar de la existencia de los manuales o guías de diseño. Es el diseñador quien da la última instancia                                                                                                                             |
| 2005 | VASQUEZ TORRES,LUIS CARLOS DIOMAN                                     | Diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible fase I de la vía acceso al barrio ciudadela del café – vía badea                  | Se enfoca en el estudio, diagnóstico y diseños de una vía existente de pavimento flexible de la vía nueva mediante paramentos obtenidos del estudio en fase i de la vía acceso al barrio Ciudadela del Café- vía la Badea en el municipio de Manizales                                                                                                                  | El método de revisión de esfuerzos por medio del programa DEPAV, permite realizar simplificaciones, explorando diferentes alternativas y así encontrar una que permita optimizar los materiales con muestreos muy sencillos          |
| 2009 | NÉSTOR EDUARDO CORNEJO ALVARENGA WILLIAM ALEXANDER VELÁSQUEZ GALDÁMEZ | Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido                                                                | Se hace un análisis comparativo de los resultados obtenidos en las diferentes metodologías de diseño para estructuras de pavimento, estos diseños se ejecutaron a partir de especificaciones y criterios de diseño que fueron iguales para todas las metodologías, esto con el fin de establecer las diferencias entre los espesores obtenidos al ejecutarse el diseño. | El diseño de la estructura de pavimento siguiendo las diferentes metodologías se observó la variación de los resultados, en donde el espesor varió entre 44 y 55 cm para pavimentos flexibles y 43 y 47.5 cm para pavimentos rígidos |

**Tabla 6-2. Estado del Arte**

| Año  | Autor                                                                                      | Título                                                                                                                                                                                                                                      | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Aporte                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2014 | ANGEL BALTAZAR GARCÍA VARGAS FELIPE ALBERTO GUTIÉRREZ ROMERO JOSUÉ DAVID HERNÁNDEZ SORIANO | Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: imt-pave y cr-me del método mecanicista empírico, con el método AASHTO 93                                                                               | El método AASHTO 93, es de carácter empírico, lo que hace que sea difícil establecer las relaciones propuestas para condiciones diferentes a las que existen en el lugar de prueba, situación que representa dificultades al momento de aplicarlo a condiciones locales de un proyecto, lo que hace necesario la combinación de conocimientos empíricos con conceptos mecanicistas, en la presente investigación se realizará un análisis comparativo entre las alternativas de diseño de pavimentos flexibles IMT-PAVE y CR-ME que son modelos mecanicistas-empíricos | Para la introducción de datos de tránsito en el diseño por las alternativas mecanicistas empíricas, solo se considera el tráfico pesado, los que son tomados en cuenta en la metodología AASHTO MEPDG, en la cual se amparan las alternativas estudiadas.                                                            |
| 2014 | MARÍA ANGÉLICA SALAMANCA NIÑO SANTIAGO ARTURO ZULUAGA BAUTISTA                             | Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e instituto del asfalto para la vía la ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre los abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el departamento del Cesar | Con el fin de conocer las implicaciones técnicas asociadas a la pavimentación de vías de tercer orden este trabajo se basó en diseñar la estructura de pavimento de una vía terciaria como lo es la vía La Ye – Santa Lucia – Barranca Lebrija, para ello y con el fin de establecer parámetros de selección se diseñó la estructura de pavimento usando los métodos del INVIAS para medios y altos volúmenes de tránsito                                                                                                                                              | La estructura recomendada para la construcción en los 6.5 km de vía evaluados es la obtenida mediante el Método del Instituto del Asfalto debido que se optimizaron los espesores definidos por el Método AASHTO 93 y se validó el cumplimiento de los parámetros de fatiga de la subrasante y de la capa asfáltica. |

**Tabla 6-2. Estado del Arte**

| Año  | Autor                                                | Título                                                                                                                                                                                                | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Aporte                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2015 | HANS SEBASTIAN LÓPEZ CHAPARRO                        | Análisis comparativo entre diferentes metodologías de diseño para estructuras de pavimento implementando los parámetros de diseño requeridos para el corredor Mulaló – Loboguerrero                   | Las metodologías de diseño tienen como fin simular analíticamente el comportamiento de una estructura de pavimento, ante diferentes esfuerzos y condiciones a la cual va a ser sometida, esto con el fin de determinar su periodo de vida útil. Para esto se establecen metodologías de diseño, que tienen en cuenta diferentes variables que contemplan parámetros inherentes a la durabilidad de la estructura, estos parámetros son los que diferencian una metodología con otra. | De acuerdo a los resultados alcanzados y los análisis efectuados, se considera que la metodología AASHTO 93, realiza un diseño más detallado de acuerdo a las características intrínsecas del proyecto, sin embargo es de gran importancia considerar que un modelo entre más variables requiera, mayor es la incertidumbre, debido a que será necesario que cada variable refleje exactamente las condiciones que está representando |
| 2017 | MARCO ANTONIO CHAMBI CHAMBILLA ROLANDO ISIDRO CHAGUA | Estudio comparativo técnico-económico entre pavimento rígido y pavimento flexible como alternativa de pavimentación de la avenida circunvalación del distrito de Yunguyo, provincia de Yunguyo – Puno | Debido a la necesidad de realizar una comparación técnica económica entre pavimento rígido y flexible usando las metodologías AASHTO 93 y Racional en el dimensionamiento                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Se recomienda adaptar la metodología racional ya que te permite imbuirte en el diseño y plantear las condiciones locales o las condiciones reales de la vía que se pretende diseñar como características de fundación, tráfico y clima.                                                                                                                                                                                               |

**Tabla 6-2. Estado del Arte**

| <b>Año</b> | <b>Autor</b>                                           | <b>Título</b>                                                                                                                                                                 | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Aporte</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2017       | <b>SIERRA GARZON, ANGELA MARIA</b>                     | Diseño de la estructura del pavimento de la Vía Puente de Piedra - Colón - variante Madrid, Cundinamarca                                                                      | Se realizó una propuesta para el diseño de la estructura del pavimento de la Vía Puente de Piedra - Colón - variante Madrid, Cundinamarca; donde tenían una superficie de terreno compuesto en su totalidad por granulares de origen aluvial y un terreno estable sin probabilidad de deslizamientos.                                                      | De acuerdo a los resultados alcanzados y los análisis efectuados, se considera que la metodología AASHTO 93, realiza un diseño más detallado de acuerdo a las características intrínsecas del proyecto, sin embargo es de gran importancia considerar que un modelo entre más variables requiera, mayor es la incertidumbre |
| 2019       | <b>MILLER ESCARRAGA LOPEZ MARIA PAULA MEJIA ROMERO</b> | Diseño de la estructura de pavimento, implementando geoceldas para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500 en San José del Guaviare | Se expone un caso de diseño de una estructura pavimento asfáltico empleando la metodología SHELL, a través de la utilización de la herramienta computacional llamada. Esta herramienta permitirá ejecutar de manera rápida y precisa los diferentes cálculos numéricos para la obtención de números estructurales, así como la verificación de los mismos. | El método racional para diseñar pavimentos flexibles es muy eficaz en el momento de determinar los esfuerzos admisibles, ya que esto es de vital importancia para la vida útil de la estructura, dando a entender que el pavimento realmente puede soportar cargas con un factor de seguridad alto                          |

**Tabla 6-2. Estado del Arte**

| <b>Año</b> | <b>Autor</b>                                                         | <b>Título</b>                                                                                                         | <b>Descripción</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>Aporte</b>                                                                                                                                                                                                       |
|------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2020       | <b>Andrés Mauricio Bejarano Alcántara Juan Pablo Lozano Céspedes</b> | Estudios y diseños de la estructura de pavimento para la vía ubicada en la calle 10 en el Municipio de Acacias – Meta | Este proyecto de grado contiene la respectiva recopilación de las problemáticas existentes en el sector para luego analizarlos y dar su solución; las diferentes definiciones y teorías expuestas para la elaboración del proyecto; la metodología a utilizar para su desarrollo, además de un paso a paso respectivo para establecer el proceso adecuado que se debe seguir para el desarrollo del proyecto. | Los diseños realizados por la metodología PCA son más precisos dado que se hace un análisis evaluando la erosión y la fatiga, parámetros fundamentales en el correcto comportamiento de la estructura de pavimento. |

#### 6.4. MARCO NORMATIVO

Tabla 6-3. Marco normativo

| NORMA                                                                                                                  | RELACIÓN                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RESOLUCIÓN 0001376 DEL 2014                                                                                            | Se implementa como norma técnica para los proyectos de la red vial nacional las especificaciones generales de construcción para carreteras elaborado por el INVIAS.                                                                  |
| ARTÍCULO 230- INVIAS 2013<br>MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE                                                             | Incorpora la disgregación del material de la subrasante existente, la adición de materiales, la mezcla, humedecimiento, compactación, por medio de la especificación.                                                                |
| ARTICULO 300.1<br>DISPOSICIONES GENERALES PARA LA EJECUCION DE AFIRMADOS, SUB-BASES Y BASES GRANURALES Y ESTABILIZADAS | Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos sobre afirmados, sub base y base granulares y estabilizadas.                                                                                         |
| NORMA INVE-148-07                                                                                                      | Habla sobre el paso a paso del ensayo para el análisis de un índice de resistencia de los suelos nombrado relación de soporte de California, que es muy conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio). NORMA ASTM |

Fuente. Propia

#### 6.5. MARCO GEOGRÁFICO

El proyecto está ubicado en la vereda El Amor vía Caracolí el k0+000 al k1+500 en el municipio de Villavicencio, Meta, además de ser un municipio colombiano, es la capital del departamento del Meta y es conocido como el centro comercial más importante. Está ubicada en la cordillera oriental y al noroccidente del departamento del Meta, cuenta con una población urbana aproximadamente de 506.000 habitantes en 2017 [5]. Presenta un clima bastante húmedo y cálido, con temperaturas que oscilan entre los 28° C y 30°C.

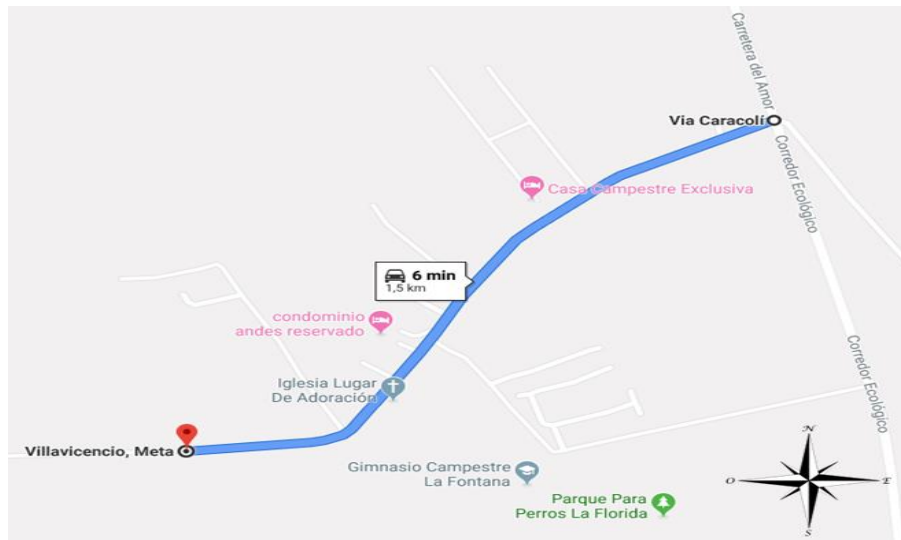
La vía Caracolí se encuentra ubicada al sureste del municipio de Villavicencio en el departamento del Meta; se realiza el diseño que comprende mil quinientos metros iniciando desde la abscisa K0+000 (fin de la Carretera del Amor) y finalizando en la abscisa k1+500.

Figura 2. Ubicación del proyecto, vía caracolí Villavicencio-Meta.



Fuente: Google Maps.

Figura 3. Ubicación del proyecto, vía caracolí Villavicencio-Meta.



Fuente: Google Maps

Actualmente existe una vía aledaña a la zona que permite el ingreso de vehículos para dirigirse al mismo punto donde se localiza el punto final del tramo (K1+500), esta vía alterna está situada al final de la Carretera del Amor, siguiendo la ruta del Corredor Ecológico y realizando el desvío hacia el colegio Gimnasio Campestre la Fontana. A continuación, se muestra un esquema de las rutas mencionadas anteriormente (vía en estudio y vía aledaña existente).

Figura 4. Vía aledaña existente a la vía Villavicencio-Meta.

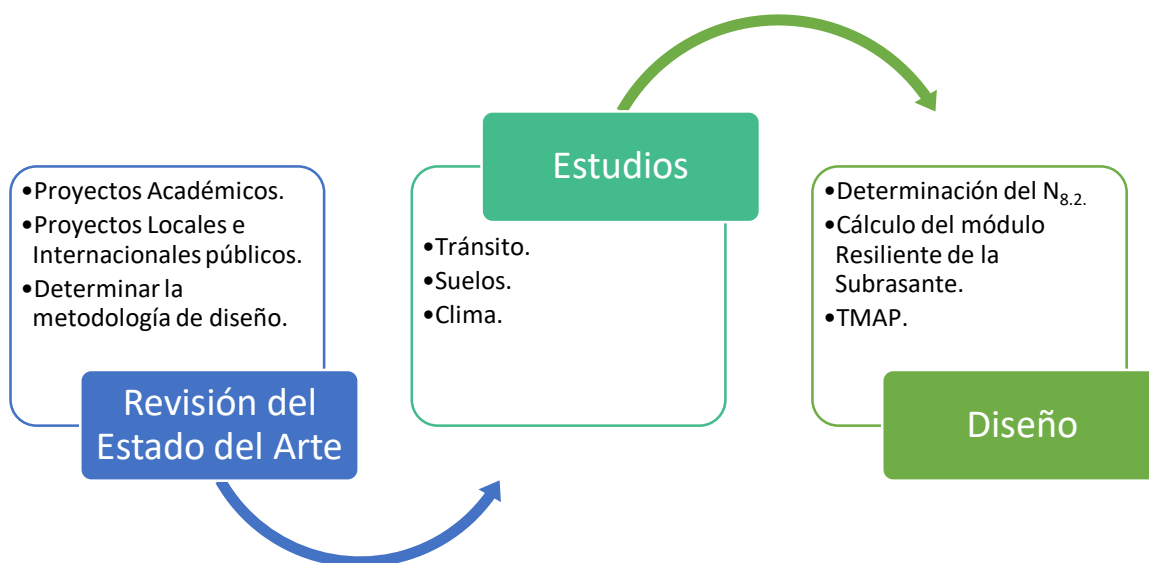


Fuente: Propia

## 7. METODOLOGÍA

Para el siguiente capítulo se tuvieron en cuenta todas las etapas realizadas durante la ejecución de este proyecto, se da su respectiva descripción de cada una secuencialmente, teniendo en cuenta que es una investigación mixta. La metodología llevada a cabo para el proyecto se muestra a continuación:

Figura 5. Metodología

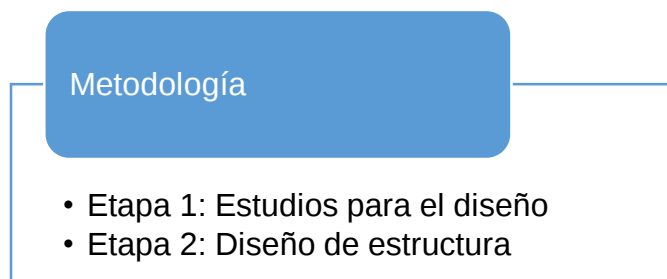


Fuente: Propia

### 7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

De acuerdo los objetivos planteados para la realización de este proyecto se pretenden realizar las siguientes actividades.

Figura 6. Sección metodología.



Fuente: Propia

## **7.2. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **7.2.1 Aforos**

Se tenía previsto realizar conteos o aforos durante una semana como mínimo, esto con el fin de tener una perspectiva del tráfico que se produce en la semana y en los fines de semana. Con estos datos se organizaban por tipo de vehículos y se procedería a calcular el número total de vehículos que transitaron durante el tiempo del aforo en ambos sentidos.

Debido al distanciamiento social, para este proyecto no se pudo llevar a cabo esta actividad.

### **7.2.2 Ensayos de laboratorio**

Para la obtención del material que será utilizado para cada ensayo de laboratorio se requiere de un grupo de personas en el sitio donde se deba extraer el suelo para su debida caracterización, regularmente se realiza cada 500 metros a lo largo de la vía. Los instrumentos a utilizar en campo y laboratorio son los estipulados para cada actividad.

## 8. ETAPA 1 ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURA

### 8.1.1 Estudio De Tránsito

Para este proyecto en particular no se pudo hacer aforos a causa del distanciamiento social, también llamado "distanciamiento físico" para evitar la propagación del COVID-19 (Virus mundial). Por lo tanto, se hace uso de lo estipulado en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito del INVIAS 2007, capítulo 2. El tránsito, numeral 2.1 Niveles de tránsito.

### 8.1.2 Estudio de suelos

Se debe realizar apiques en el tramo de vía a estudiar lo más cerca posible para mejor resultado con los valores obtenidos se caracteriza el suelo para poder calcular el CBR presente en la zona, deben obtenerse datos completos sobre el suelo, tales como granulometría, límite líquido, límite plástico, composición y otras características. Con esos valores se calculan la capacidad portante del suelo y si se debe o no mejorar el suelo del tramo de la vía.

Figura 7. Apique K1+000 con profundidad de 1.50m



Fuente: Propia

### 8.1.3 Estudio del clima

Para obtener los factores climatológicos para el diseño de la estructura del pavimento se utiliza las estaciones cercanas al tramo de la vía y con la ayuda del software CLIMA se consultan todas las especificaciones de las zonas como temperatura, precipitación, humedad y demás ítems en un periodo de 10 años que sería la vida útil de la estructura, se realiza a continuación el valor promedio del factor de ponderación para calcular la temperatura promedio de la zona de estudio

## 9. ETAPA 2 DISEÑO DE ESTRUCTURA

Con la información obtenida del estudio de suelo y estudio de tránsito se procede a realizar el diseño de la estructura de pavimento flexible.

### 9.1. DETERMINACIÓN DEL TRÁNSITO

Los métodos usuales para el diseño de pavimentos asfálticos consideran esta variable en términos de repeticiones de ejes de 80 kN en el carril de diseño, cuya valoración con cierto grado de confiabilidad exige un conocimiento más o menos preciso de la magnitud de las cargas pesadas circulantes, a efectos de establecer su respectiva equivalencia con el eje patrón de diseño.

Haciendo uso de lo estipulado en el Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito del INVIAS 2007, se clasifica el tránsito de diseño en 2 niveles, en función del número de ejes equivalentes de 80 kN previstos durante el período de diseño en el carril de diseño. En la Tabla 9-1, se indican las categorías de tránsito adoptadas.

Tabla 9-1. Composición vehicular típica

| Nivel de tránsito | Número de ejes equivalentes de 80 kN durante el período de diseño en el carril de diseño |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| T1                | < 150.000                                                                                |
| T2                | 150.000 - 500.000                                                                        |

Fuente: Elaboración propia con base en los conteos del INVIAS.

### 9.2. CALCULO MÓDULO DE LA SUBRASANTE

Mediante las tensiones inducidas por las cargas del tránsito se calcula su grado de elasticidad en el suelo del tramo de vía, para calcular el módulo resiliente de la subrasante es inevitable la corrección del valor de CBR para obtener un número que sea menos a  $CBR < 10\%$ .

### 9.3. MEJORAMIENTO DE CBR

Se observan como materiales capacitados para las capas de la subrasante suelos con  $CBR \geq 6\%$ . Si llega a observarse que es menos lo cual quiere decir que es pobre de subrasante o presenten zonas húmedas locales donde se debe realizar las alternativas para mejorar el CBR y estabilizar el suelo mecánicamente o con productos o con geosintéticos.

#### **9.4. ESPESORES DE DISEÑO**

Se realiza el cálculo de los esfuerzos y deformaciones con fórmulas para el pavimento con la vida útil proyectada y se comparan con los valores obtenidos por el software WinDepav teniendo como referencias el módulo elástico, la relación de Poisson y el espesor de las capas del pavimento con el fin de obtener los estados de esfuerzos y deformación. Los cuales los valores calculados a mano deben ser mayores a los obtenidos por el software para que cumplan y poder dimensionar las capas que conforman la estructura de pavimentos flexibles.

#### **9.5. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

Teniendo los espesores de diseño y módulo de la subrasante mejorada se propone una alternativa de diseño de un pavimento flexible que cumplan con los valores de admisibilidad propuestos por la metodología SHELL.

## **10. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **10.1. ANÁLISIS DE MOVILIDAD EN LA VEREDA EL AMOR VÍA CARACOLÍ**

En esta zona rural, se debe asegurar la igualdad de condiciones de vida entre todos los habitantes que pertenecen a la sociedad, haciendo que esta inversión en mejoramiento de vías sea necesaria, porque debido a la falta de vías se viene presentado un atraso en las zonas rurales.

Esta vía se clasifica como vía terciaria y actualmente presenta una difícil conexión con cuatro colegios aledaños, la iglesia y el conjunto Caracolí, el mejoramiento de la vía a población rural contribuyen a su desarrollo y crecimiento.

Debido a que, en temporadas de invierno, cuando se presentan lluvias continuas, esta zona se vuelve intransitable siendo tedioso el ingreso.

### **10.2. ESTUDIO DE TRÁNSITO**

Para el presente proyecto se toma en consideración el límite de tránsito del Manual [6] el cual es de 500.000 ejes equivalentes de 80 kN en el carril de diseño durante el período de diseño para vías de bajos volúmenes de tránsito. Es de aclarar que la vía de estudio es interbarrial y no se prevé un tránsito mayor. Por lo tanto, el nivel de tránsito es T2.

### **10.3. ESTUDIOS DE SUELOS**

Comprender las características que tiene el suelo al que vamos a realizar el estudio vial, es tal vez uno de los factores más imprescindibles para el diseño y estudio de una vía, debido a que es un factor limitante directo para el tránsito que va a sobrellevar la vía.

Se debe adquirir un informe detallado del estudio geotécnico de los diversos tipos de suelos que se tiene en la zona de estudio, se lleva a cabo investigaciones en campo y laboratorio, que determinaron su estructura y propiedades físicas a lo largo de la vía proyectada. El estudio de suelos de la vía caracolí vereda el amor recopiló:

### **10.4. DETERMINACIÓN DEL PERFIL DEL SUELO**

Lo primero que se llevó a cabo en el estudio de la vía fue realizar unas investigaciones específicas al suelo mediante la realización de sondeos, con el objeto de establecer la cantidad y tamaño de los diferentes tipos encontrados, se observa que están organizados en diferentes capas cada una con sus características específicas y la búsqueda del nivel freático.

Se tuvo en cuenta cada vez que el suelo cambiaba y se anotaron los espesores de las diversas capas, su posición exacta en sentido vertical, como también sus características visuales del material con sus diferentes colores y consistencia.

### 10.5. TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Con el fin de implantar las estipulaciones de la vía proyectada, se realizaron tres (3) apiques a una profundidad de 1,50 m durante la toma de muestra se tomó el perfil estratigráfico, para su correspondiente clasificación y caracterización. Cuando ya se tenía todos los datos se hizo sus respectivos ensayos en laboratorio.

Figura 8. Muestra de suelos extraídos en los apiques.



Fuente: Propia

### 10.6. GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico es el acumulado cuyo fin es determinar la distribución del tamaño de los elementos que componen una muestra, los tamices que se tuvieron en cuenta a la hora de hacer los ensayos son los números 4, 8, 10, 30, 40, 60, 100 y 200 sus diámetros respectivamente en mm 4.750, 2.360, 2.000, 0.600, 0.425, 0.250, 0.150 y 0.075.

Figura 9. Tamices utilizados para realizar la granulometría del suelo.

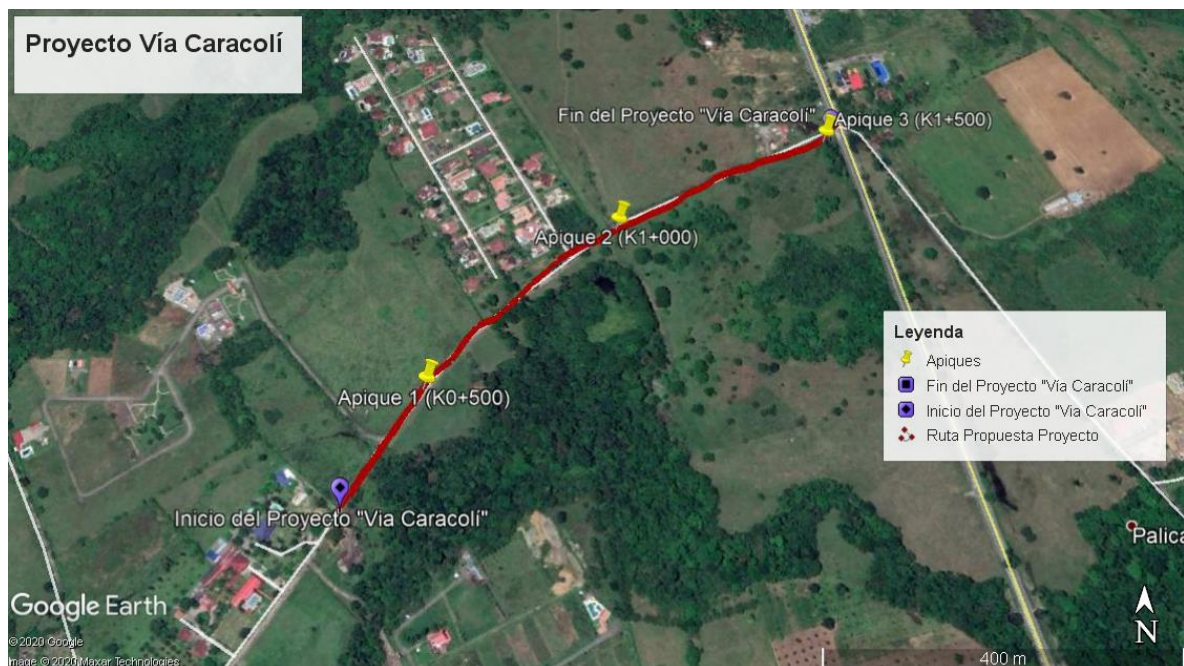


Fuente: Propia

### 10.7. NIVEL FREÁTICO Y LOCALIZACIÓN

El perfil estratigráfico del corredor de estudio se identificó y caracterizó a partir de la exploración geotécnica por medio de apiques los cuales se distribuyeron cada quinientos (500) m a lo largo del tramo desde la abscisa K0+500 hasta la abscisa K1+500 con profundidad de 1,50 m. Durante la extracción de material y sondeos no se encontró el nivel freático.

Figura 10.10. Localización exploración del subsuelo (apiques cada 500 metros)



Fuente: Propia

### APIQUE No. 1 (k0+500)

Tabla 10-1. Porcentaje que pasa por los diferentes tamices del apique número 1 (K0+500).

| Tamiz | Diámetro(mm) | Peso retenido | % retenido | % retenido acumulado | % pasa |
|-------|--------------|---------------|------------|----------------------|--------|
| 4     | 4.750        | 156           | 32.36      | 32.36                | 67.64  |
| 8     | 2.360        | 72            | 14.94      | 47.30                | 52.70  |
| 10    | 2.000        | 12            | 2.49       | 49.79                | 50.21  |
| 30    | 0.600        | 208           | 43.15      | 92.95                | 7.05   |
| 40    | 0.425        | 34            | 7.06       | 100                  | 0      |
| 60    | 0.250        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| 100   | 0.150        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| 200   | 0.075        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| Total |              | 482           | 100        | -                    |        |

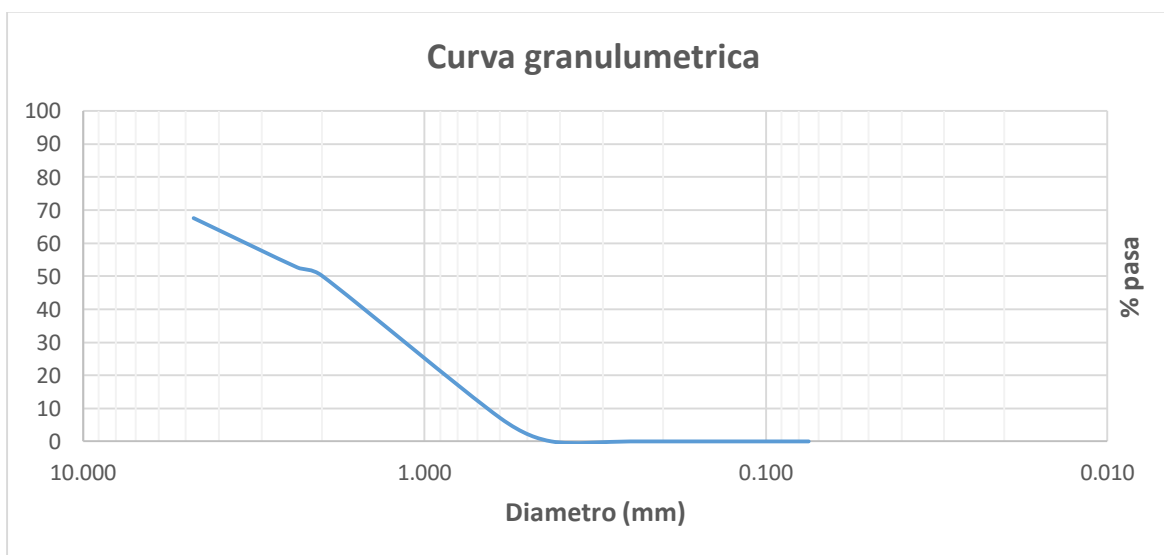
Fuente: Propia

Tabla 10-2. Porcentaje de grava, arena y finos del apique 1(K0+500).

|          |              |
|----------|--------------|
| % Gravas | <b>32.36</b> |
| % Arenas | 67.63        |
| % Finos  | 0            |

Fuente: Propia

Figura 11. Curva granulométrica apique 1 (K0+500)



Fuente: Propia

Tabla 10-3. Coeficientes de uniformidad y de curvatura.

|           |             |           |      |
|-----------|-------------|-----------|------|
| D 60 (mm) | <b>3.32</b> |           |      |
|           |             | <b>Cu</b> | 5.10 |
| D 30 (mm) | 1.14        |           |      |
|           |             | <b>Cc</b> | 0.59 |
| D 10 (mm) | 0.65        |           |      |

Fuente: Propia

### APIQUE 2 (K1+000)

Tabla 10-4. Porcentaje que pasa por los diferentes tamices del apique 2 (K1+000).

| Tamiz      | Diámetro(mm) | Peso retenido | % retenido | % retenido acumulado | % pasa |
|------------|--------------|---------------|------------|----------------------|--------|
| <b>4</b>   | 4.750        | 144           | 29.63      | 29.62                | 70.37  |
| <b>8</b>   | 2.360        | 56            | 11.52      | 41.15                | 58.84  |
| <b>10</b>  | 2.000        | 106           | 21.81      | 62.96                | 37.03  |
| <b>30</b>  | 0.600        | 180           | 37.04      | 100                  | 0      |
| <b>40</b>  | 0.425        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| <b>60</b>  | 0.250        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| <b>100</b> | 0.150        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| <b>200</b> | 0.075        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| Total      |              | 486           | 100        | -                    |        |

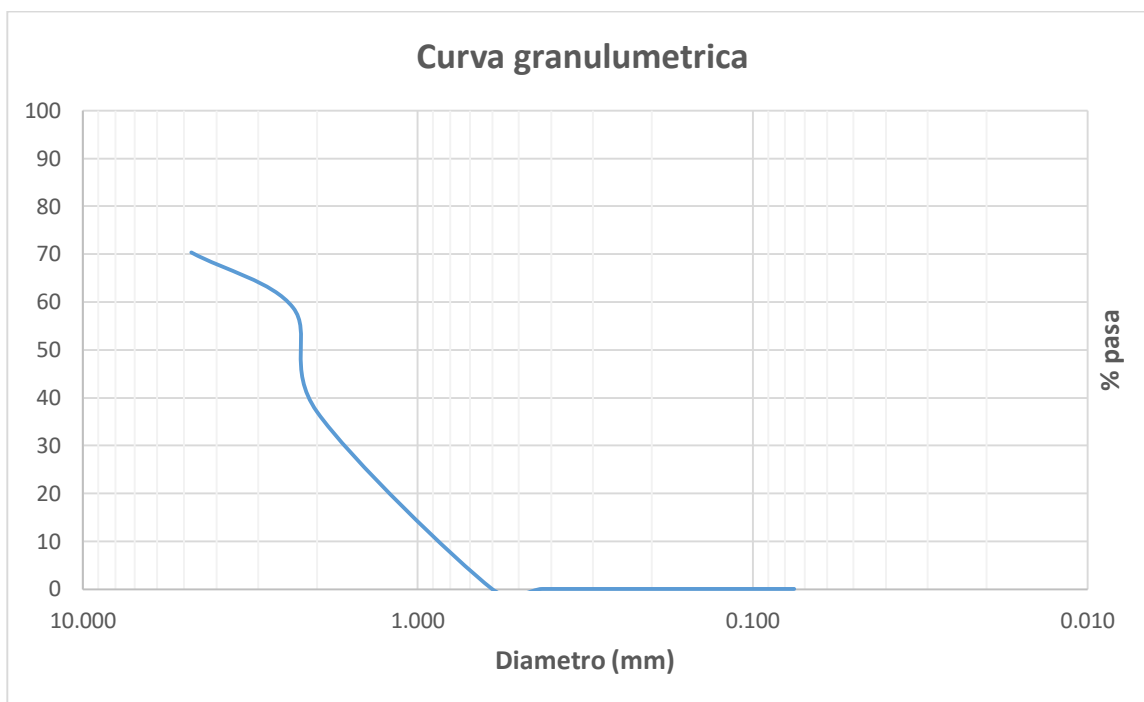
Fuente: Propia

Tabla 10-5. Porcentaje de grava, arena y finos del apique 2 (K1+000).

|          |              |
|----------|--------------|
| % Gravas | <b>29.63</b> |
| % Arenas | 70.37        |
| % Finos  | 0            |

Fuente: Propia

Figura 12. Curva granulométrica apique 2 (K1+000)



Fuente: Propia

Tabla 10-6. Coeficientes de uniformidad y de curvatura.

|           |      |           |       |
|-----------|------|-----------|-------|
| D 60 (mm) | 2.53 |           |       |
|           |      | <b>Cu</b> | 3.047 |
| D 30 (mm) | 1.59 |           |       |
|           |      | <b>Cc</b> | 1.204 |
| D 10 (mm) | 0.83 |           |       |

Fuente: Propia

### APIQUE 3 (K1+500)

Tabla 10-7. Porcentaje que pasa por los diferentes tamices del apique 3 (k1+500).

| Tamiz | Diámetro(mm) | Peso retenido | % retenido | % retenido acumulado | % pasa |
|-------|--------------|---------------|------------|----------------------|--------|
| 4     | 4.750        | 108           | 22.22      | 22.22                | 77.77  |
| 8     | 2.360        | 78            | 16.04      | 38.27                | 61.72  |
| 10    | 2.000        | 92            | 18.93      | 57.20                | 42.79  |
| 30    | 0.600        | 206           | 42.38      | 99.58                | 0.41   |

| Tamiz | Diámetro(mm) | Peso retenido | % retenido | % retenido acumulado | % pasa |
|-------|--------------|---------------|------------|----------------------|--------|
| 40    | 0.425        | 2             | 0.411      | 100                  | 0      |
| 60    | 0.250        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| 100   | 0.150        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| 200   | 0.075        | 0             | 0          | 100                  | 0      |
| Total |              | 486           | 100        | -                    |        |

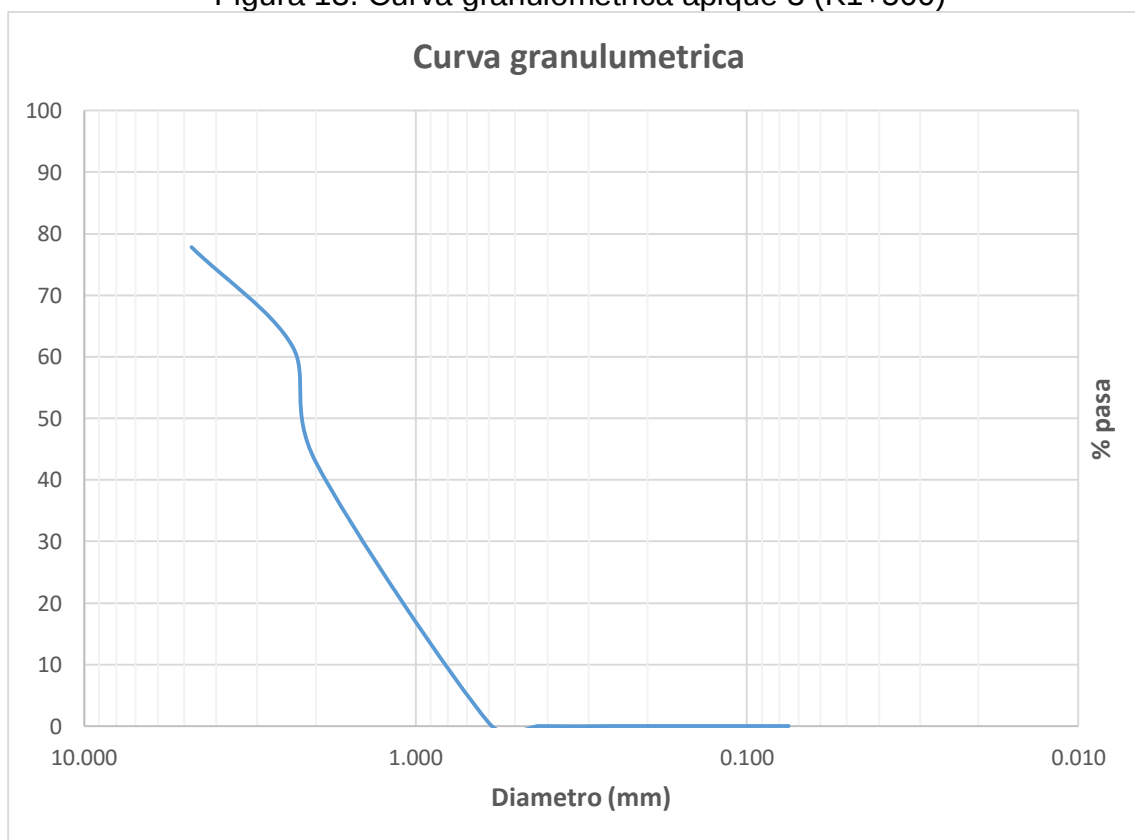
Fuente: Propia

Tabla 10-8. Porcentaje de grava, arena y finos del apique 3 (K1+500).

|          |              |
|----------|--------------|
| % Gravas | <b>22.22</b> |
| % Arenas | <b>77.77</b> |
| % Finos  | <b>0</b>     |

Fuente: Propia

Figura 13. Curva granulométrica apique 3 (K1+500)



Fuente: Propia

Tabla 10-9. Coeficientes de uniformidad y de curvatura.

|           |              |           |       |
|-----------|--------------|-----------|-------|
| D 60 (mm) | <b>2.324</b> |           |       |
|           |              | <b>Cu</b> | 2.950 |
| D 30 (mm) | 1.390        |           |       |
|           |              | <b>Cc</b> | 1.055 |
| D 10 (mm) | 0.787        |           |       |

Fuente: Propia

### **SP= ARENA MAL GRADUADA CON GRAVA**

En el estudio de la granulometría de los suelos se observa que da una arena mal graduada con grava (SP) es un conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeño tamaño tiene una composición granulométrica con exceso de algunos tamaños particulares y defecto de otros.

## **10.8. LIMITE DE CONSISTENCIA**

### **APIQUE 1 (K0+500)**

#### **10.8.1.1 Limite Líquido, Limite Plástico, Índice de Plasticidad.**

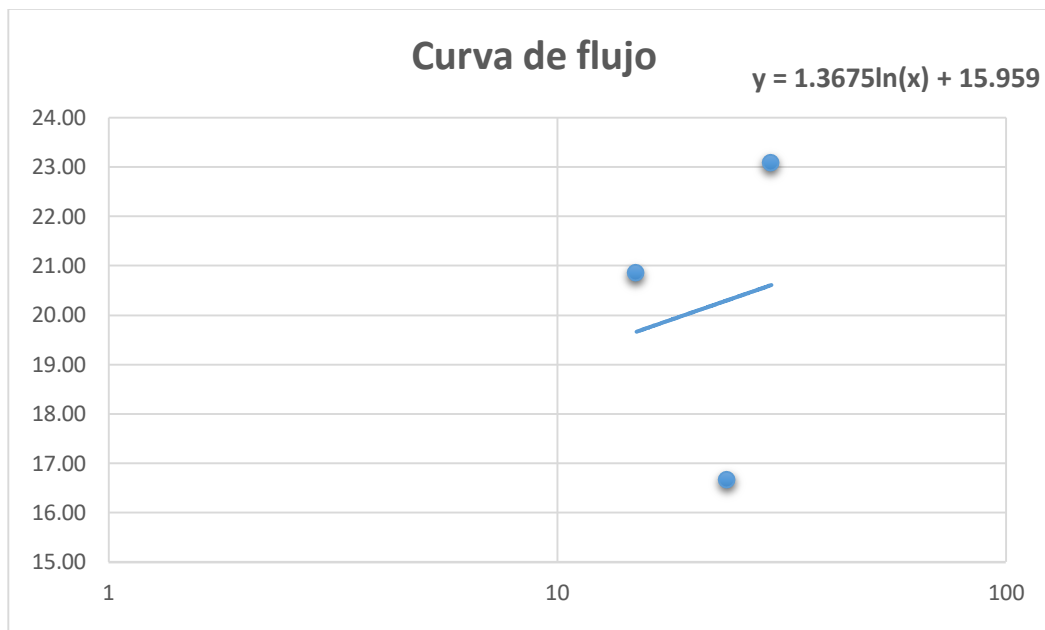
Se procede a calcular los valores relacionados para el limite líquido, plástico e índice de plasticidad.

Tabla 10-10. Porcentaje de contenido de humedad apique 1(K0+500).

| Muestras              | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|-----------------------|----------|----------|----------|
| N de golpes           | 15       | 24       | 30       |
| Suelo húmedo gr       | 5.8      | 4.9      | 4.8      |
| Suelo seco gr         | 4.8      | 4.2      | 3.9      |
| Peso agua             | 1        | 0.7      | 0.9      |
| Contenido de humedad% | 20.83    | 16.67    | 23.08    |

Fuente: Propia

Figura 14. Curva flujo apique 1 (K0+500)



**LIMITE LIQUIDO** 20.36  
**LIMITE PLASTICO** 0  
**IP** 20.36

Fuente: Propia  
**APIQUE 2 (K1+000)**

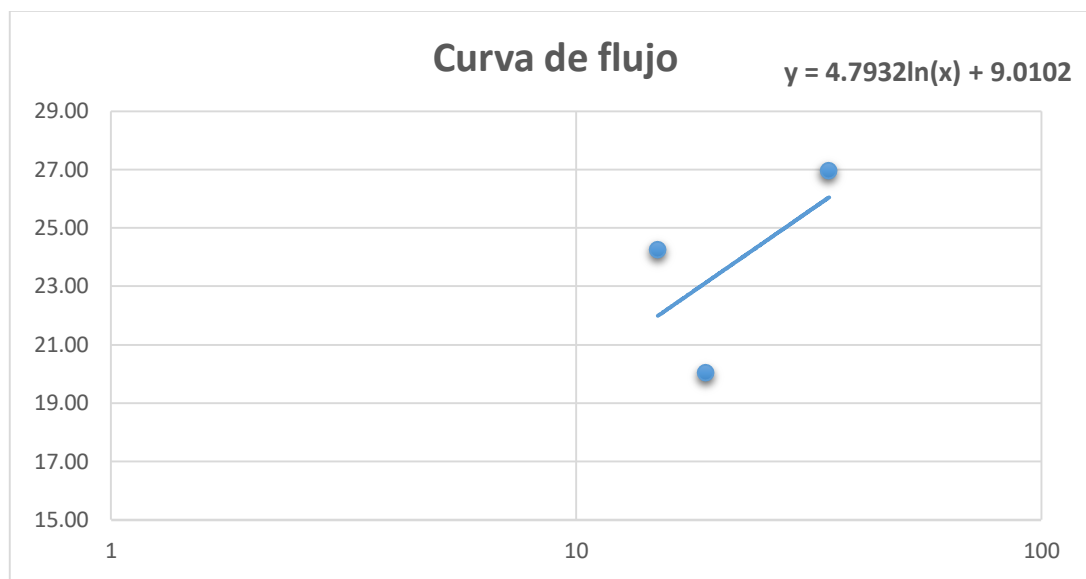
10.8.1.2 Limite Líquido, Limite Plástico, Índice de Plasticidad.

Tabla 10-11. Porcentaje de contenido de humedad apique 2 (K1+000).

| Muestras               | 1     | 2     | 3     |
|------------------------|-------|-------|-------|
| N de golpes            | 15    | 19    | 35    |
| Suelo húmedo gr        | 4.1   | 4.2   | 3.3   |
| Suelo seco gr          | 3.3   | 3.5   | 2.6   |
| Peso agua              | 0.8   | 0.7   | 0.7   |
| Contenido de humedad % | 24.24 | 20.00 | 26.92 |

Fuente: Propia

Figura 15. Curva flujo apique 2 (K1+000)



**LIMITE LIQUIDO** 24.44  
**LIMITE PLASTICO** 0  
**IP** 24.44

Fuente: Propia

**APIQUE 3**  
**Ubicado en el abscisado K1+500**

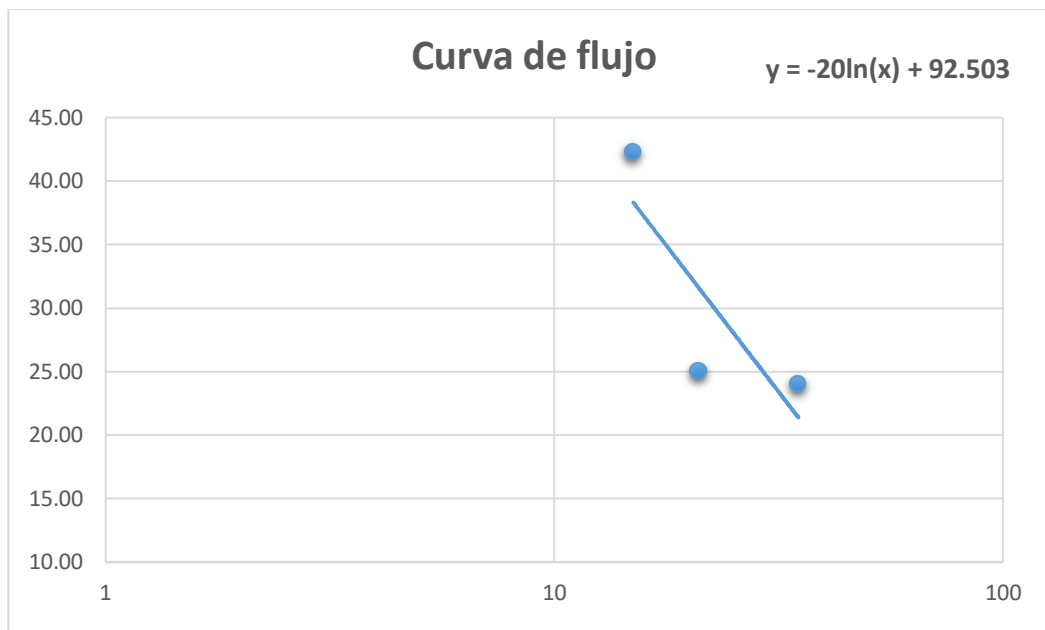
10.8.1.3 Limite Líquido, Limite Plástico, Índice de Plasticidad.

Tabla 10-12. Porcentaje de contenido de humedad apique 3 (K1+500).

| Muestras               | 1     | 2     | 3     |
|------------------------|-------|-------|-------|
| N de golpes            | 15    | 21    | 35    |
| Suelo húmedo gr        | 3.7   | 2.5   | 3.1   |
| Suelo seco gr          | 2.6   | 2     | 2.5   |
| Peso agua              | 1.1   | 0.5   | 0.6   |
| Contenido de humedad % | 42.31 | 25.00 | 24.00 |

Fuente: Propia

Figura 16. Curva flujo apique 3 (K1+500)



Fuente: Propia

|                        |       |
|------------------------|-------|
| <b>LIMITE LIQUIDO</b>  | 28.13 |
| <b>LIMITE PLASTICO</b> | 0     |
| <b>IP</b>              | 28.13 |

Fuente: Propia

Tabla 10-13. Resultados de limites e índice de plasticidad

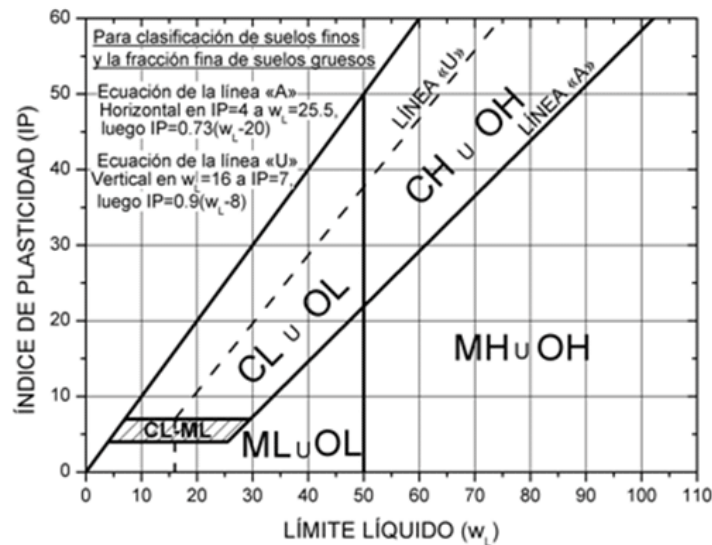
|                              | APIQUE 1 | APIQUE 2 | APIQUE 3 |
|------------------------------|----------|----------|----------|
| <b>LIMITE LIQUIDO</b>        | 20.6     | 24.4     | 28.1     |
| <b>LIMITE PLASTICO</b>       | 0        | 0        | 0        |
| <b>INDICE DE PLASTICIDAD</b> | 20.6     | 24.4     | 28.1     |

Fuente: Propia

En los tres apiques que se realizaron se observó que no se encontró en el suelo porcentaje de limite plástico. En los apiques uno, dos y tres se examina de acuerdo a la carta de plasticidad de Casagrande que el limite liquido están entre 20.6 y 28.1% y sus índices de plasticidad iguales a lo que representa suelos de limos orgánicos de baja plasticidad.

Los límites de Atterberg, consistencia o de plasticidad se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos y se realiza mediante la clasificación del suelo como se observa en la siguiente ilustración:

Figura 17. Carta de plasticidad de Casagrande



Fuente: AASHTO

Este tipo de suelo son inherentemente inestables y tienden a formar suspensión cuando se saturan además difíciles de compactar y altamente susceptibles a hinchamiento debido a altas precipitaciones.

### 10.9. CBR DE ENSAYO LABORATORIO

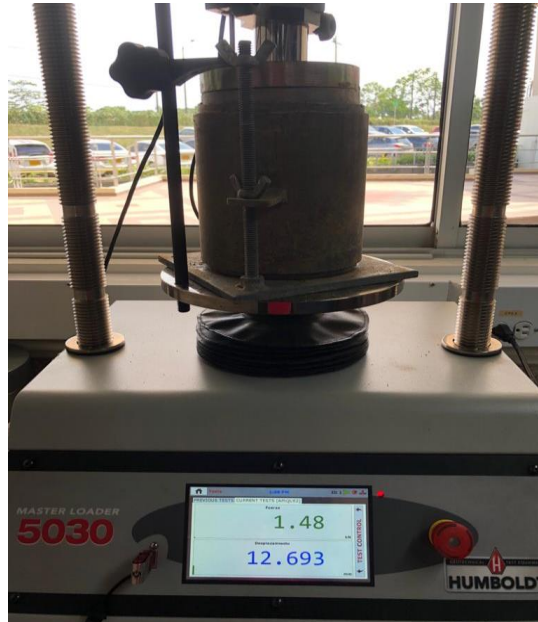
Este ensayo se utiliza con el fin de determinar la resistencia al esfuerzo cortante de los materiales compactados de subrasante, sub-base y base, evaluando su calidad, bajo efectos controlados de humedad y densidad.

Figura 18. Muestra Sumergida para ensayo CBR en el laboratorio



Fuente: Propia

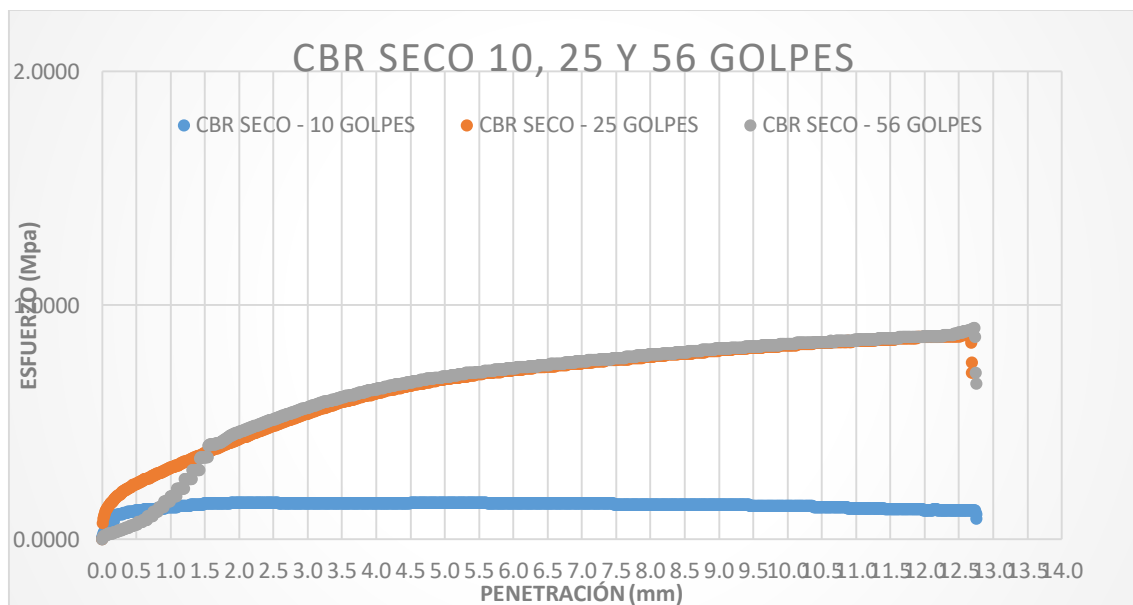
Figura 19. Ensayo CBR en el laboratorio



Fuente: Propia

Se colocó unas sobrecargas necesarias para producir la presión necesaria en el suelo (5.0 lb) y se sumergió el molde con la placa y las sobrecargas, ubicando sobre este, un trípode con un medidor, el cual midió la expansión de la muestra y se deja sumergido por un lapso de 7 días. Se aplicó carga a una velocidad uniforme de 1.27 mm por minuto para adquirir la curva de penetración esfuerzo como se observa en la figura siguiente.

Figura 20. Grafica CBR seco



Fuente: Propia

La muestra se cargó en ambas caras del molde, con el fin de corroborar resultados.

Tabla 10-14. Porcentaje del CBR compactado.

| <b>CBR's COMPACTADOS EN LABORATORIO</b>                                     |               |                |                 |                               |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>CBR COMPACTADO EN LABORATORIO - CRUDO DE RÍO - 10 GOLPES (CORREGIDO)</b> |               |                |                 |                               |                               |
| <b>10 GOLPES</b>                                                            | Presiones (") | Presiones (mm) | Esfuerzos (Mpa) | Esfuerzos de Referencia (Mpa) | Relación de Soporte (CBR) (%) |
|                                                                             | 0.10          | 2.54           | 0.16            | 6.90                          | 2.29                          |
|                                                                             | 0.20          | 5.08           | 0.15            | 10.30                         | 1.48                          |
| <b>CBR COMPACTADO EN LABORATORIO - CRUDO DE RÍO - 25 GOLPES (CORREGIDO)</b> |               |                |                 |                               |                               |
| <b>25 GOLPES</b>                                                            | Presiones (") | Presiones (mm) | Esfuerzos (Mpa) | Esfuerzos de Referencia (Mpa) | Relación de Soporte (CBR) (%) |
|                                                                             | 0.10          | 2.54           | 0.54            | 6.90                          | 7.87                          |
|                                                                             | 0.20          | 5.08           | 0.71            | 10.30                         | 6.90                          |
| <b>CBR COMPACTADO EN LABORATORIO - CRUDO DE RÍO - 56 GOLPES (CORREGIDO)</b> |               |                |                 |                               |                               |
| <b>56 GOLPES</b>                                                            | Presiones (") | Presiones (mm) | Esfuerzos (Mpa) | Esfuerzos de Referencia (Mpa) | Relación de Soporte (CBR) (%) |
|                                                                             | 0.10          | 2.54           | 0.67            | 6.90                          | 9.65                          |
|                                                                             | 0.20          | 5.08           | 0.76            | 10.30                         | 7.38                          |

Fuente: Propia

Como se observa en la tabla anterior se encuentran dos sectores de diseño. El sector número uno con CBR de 1.48 % el cual se debe hacer un mejoramiento por el método de Ivanov y el segundo sector con el CBR mínimo de 6.90%.

Al realizar el cálculo por IVANOV se calculó un CBR requerido de 5.1%.

Tabla 10-15. CBR requerido según la ecuación de IVANOV

|                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| <b>CBR inferior</b>            | <b>1.48</b>   |
| <b>CBR superior</b>            | <b>10</b>     |
| <b>ESR</b>                     | <b>148</b>    |
| <b>E Material Terraplen</b>    | <b>673</b>    |
| <b>h Material Mejoramiento</b> | <b>52</b>     |
| <b>a</b>                       | <b>15</b>     |
| <b>n</b>                       | <b>1.83</b>   |
| <b>Eeq.</b>                    | <b>508.81</b> |
| <b>CBReq.</b>                  | <b>5.1</b>    |

Fuente: Propia

## 10.10. CLIMA

Cuando hablamos de clima se debe tener en cuenta varios factores como la precipitación y temperatura ya que eso afecta a la hora de realizar cualquier estudio de la vía, se debe tener en cuenta el contenido de humedad del pavimento y de sus capas de suelo, pues repercute directamente en la capacidad de soporte de las capas del pavimento y en desarrollo del mismo.

### 10.10.1 Temperatura

Los datos para calcular la temperatura fueron tomados de una aplicación de computo “CLIMA” que contiene información de estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

Tabla 10-16. Datos de la temperatura mensual promedio últimos 10 años

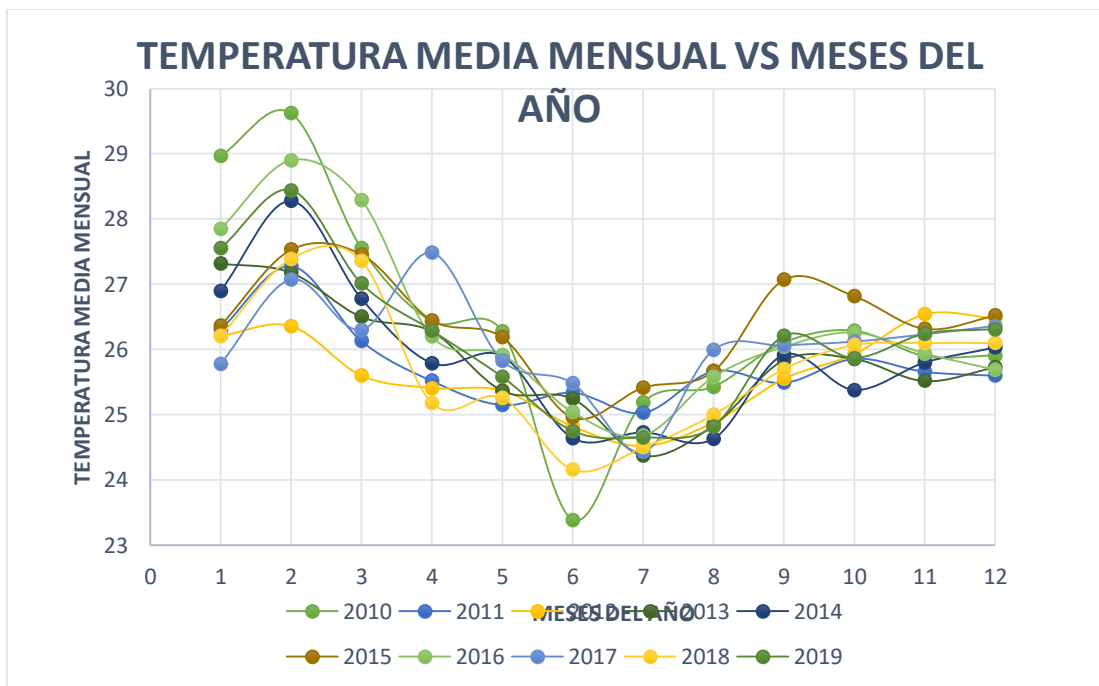
| ANO  | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 2010 | 29.0  | 29.6    | 27.6  | 26.4  | 26.3 | 23.4  | 25.2  | 25.4   | 26.1       | 26.3    | 25.9      | 25.9      |
| 2011 | 26.3  | 27.3    | 26.1  | 25.5  | 25.2 | 25.3  | 25.0  | 25.7   | 25.5       | 25.9    | 25.7      | 25.6      |
| 2012 | 26.2  | 26.4    | 25.6  | 25.4  | 25.4 | 24.8  | 24.5  | 24.9   | 25.6       | 25.9    | 26.5      | 26.5      |
| 2013 | 27.3  | 27.2    | 26.5  | 26.3  | 25.4 | 25.3  | 24.4  | 24.8   | 25.8       | 25.9    | 25.5      | 25.7      |
| 2014 | 26.9  | 28.3    | 26.8  | 25.8  | 25.9 | 24.6  | 24.7  | 24.6   | 25.9       | 25.4    | 25.8      | 26.0      |
| 2015 | 26.4  | 27.5    | 27.5  | 26.5  | 26.2 | 25.0  | 25.4  | 25.7   | 27.1       | 26.8    | 26.3      | 26.5      |
| 2016 | 27.9  | 28.9    | 28.3  | 26.2  | 25.9 | 25.0  | 24.7  | 25.6   | 26.0       | 26.3    | 25.9      | 25.7      |
| 2017 | 25.8  | 27.1    | 26.3  | 27.5  | 25.8 | 25.5  | 24.4  | 26.0   | 26.1       | 26.1    | 26.2      | 26.4      |
| 2018 | 26.2  | 27.4    | 27.4  | 25.2  | 25.3 | 24.2  | 24.5  | 25.0   | 25.7       | 26.1    | 26.1      | 26.1      |
| 2019 | 27.6  | 28.4    | 27.0  | 26.3  | 25.6 | 24.8  | 24.7  | 24.8   | 26.2       | 25.9    | 26.2      | 26.3      |

Fuente: Estación meteorológica IDEAM, con la aplicación clima

Ecuación 4. Temperatura Media Mensual

$$TMM = 20.348 + 17.5683 * \log Fg$$

Figura 21. Temperatura media anual en Villavicencio



Fuente: Propia

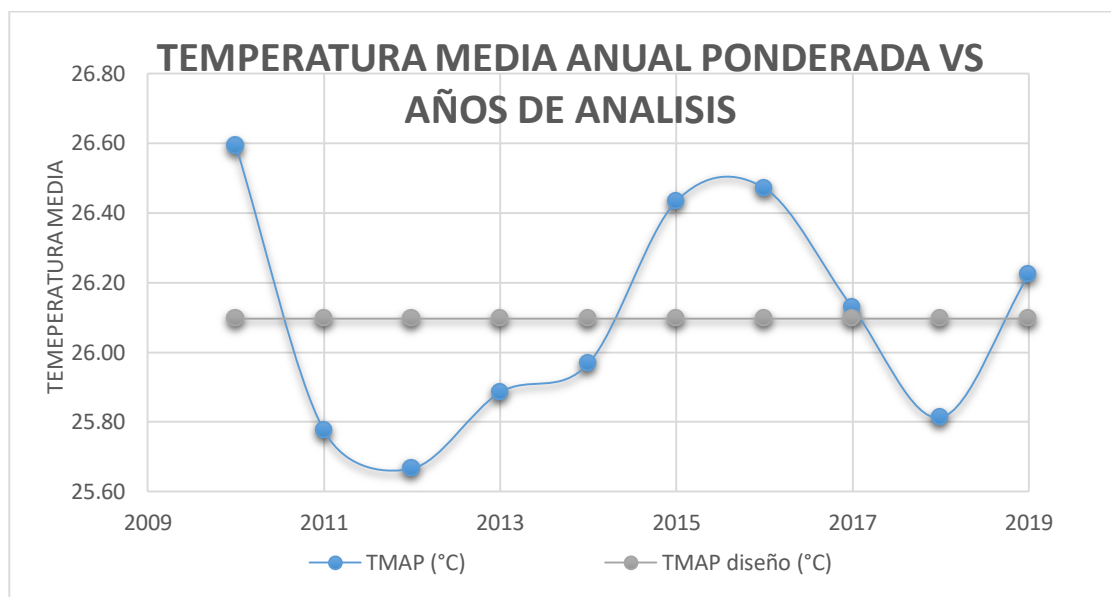
En la gráfica se puede observar que en cada año varia la temperatura el pico más bajo se encuentra en el mes de febrero en el año 2010 que corresponde a una temperatura de 23.39 C y el mes donde más calor hizo fue en diciembre del año 2019 con una temperatura de 29.62 C.

Tabla 10-17. Temperatura media anual ponderada y temperatura de diseño

| AÑO                        | Fp Promedio | TMAP (°C) |
|----------------------------|-------------|-----------|
| 2010                       | 2.27        | 26.59     |
| 2011                       | 2.04        | 25.78     |
| 2012                       | 2.01        | 25.67     |
| 2013                       | 2.07        | 25.89     |
| 2014                       | 2.09        | 25.97     |
| 2015                       | 2.22        | 26.43     |
| 2016                       | 2.23        | 26.47     |
| 2017                       | 2.13        | 26.13     |
| 2018                       | 2.05        | 25.81     |
| 2019                       | 2.16        | 26.22     |
| <b>TOTAL TMAP (°C)</b>     |             | 260.96    |
| <b>TMAP de Diseño (°C)</b> |             | 26.10     |

Fuente: Propia

Figura 22. Temperatura Media Anual Ponderada



Fuente: Propia

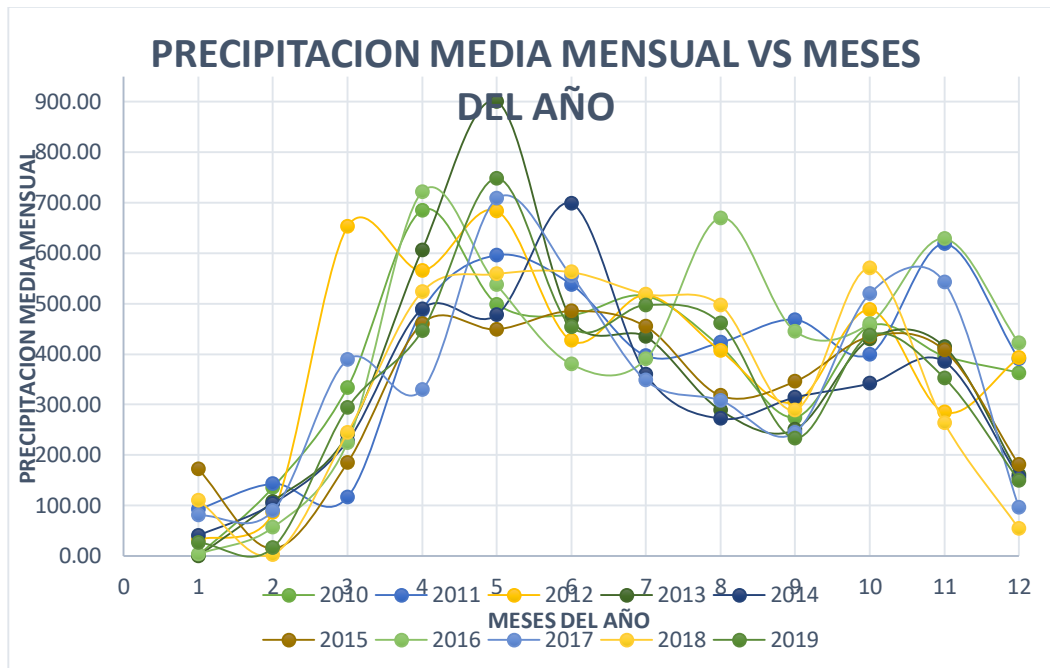
## 10.11. PRECIPITACIÓN

Tabla 10-18. Temperatura media anual ponderada y temperatura de diseño

| VALORES MEDIOS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm) |       |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|------------------------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| AÑO                                            | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
| 2010                                           | 0.6   | 135.3   | 333.3 | 684.5 | 498.9 | 477.2 | 514.5 | 414.3  | 274.2      | 454.9   | 395.6     | 362.8     |
| 2011                                           | 92.9  | 143.5   | 117.0 | 486.8 | 595.9 | 537.8 | 396.9 | 422.9  | 468.2      | 399.8   | 618.4     | 390.4     |
| 2012                                           | 32.7  | 86.6    | 652.7 | 565.6 | 683.9 | 426.7 | 517.4 | 406.9  | 305.0      | 488.2   | 285.5     | 392.7     |
| 2013                                           | 0.2   | 108.0   | 241.1 | 606.6 | 900.1 | 469.1 | 434.4 | 288.9  | 250.6      | 429.3   | 414.8     | 161.6     |
| 2014                                           | 40.8  | 104.0   | 227.7 | 490.0 | 477.9 | 698.5 | 360.5 | 272.3  | 314.5      | 341.9   | 385.2     | 156.3     |
| 2015                                           | 171.8 | 14.8    | 185.0 | 460.9 | 449.2 | 485.6 | 454.8 | 317.7  | 345.7      | 434.6   | 407.8     | 181.2     |
| 2016                                           | 3.6   | 56.5    | 225.0 | 721.7 | 537.1 | 379.8 | 390.1 | 670.1  | 445.2      | 460.2   | 628.8     | 421.7     |
| 2017                                           | 80.8  | 89.8    | 389.6 | 329.5 | 708.5 | 555.6 | 348.3 | 308.6  | 245.1      | 520.2   | 542.8     | 96.4      |
| 2018                                           | 110.3 | 2.9     | 244.4 | 523.8 | 559.0 | 562.8 | 519.3 | 497.2  | 289.7      | 570.0   | 263.6     | 53.9      |
| 2019                                           | 26.6  | 16.7    | 293.7 | 446.2 | 748.4 | 454.4 | 497.5 | 461.7  | 233.8      | 437.4   | 352.9     | 149.7     |

Fuente: Propia

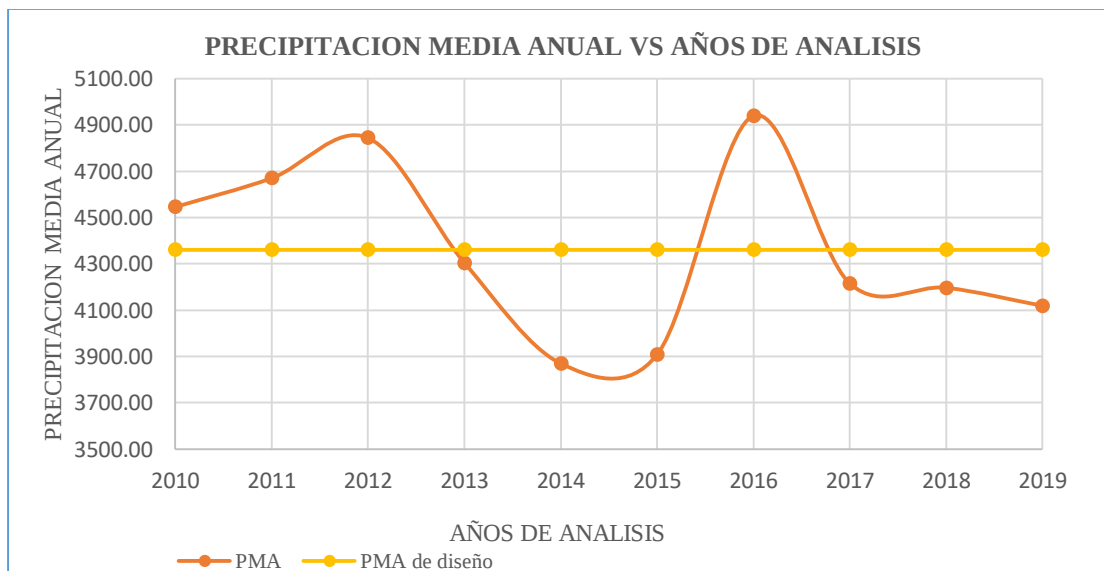
Figura 23. Precipitación Media Mensual



Fuente: Propia

En esta gráfica se observa claramente la precipitación media mensual desde el año 2010 al 2019 donde se obtiene el pico mayor en el año 2013 en el mes de mayo, donde se observó una precipitación mayor a lo común, se observa que el mes donde menos llueve es en el mes de enero continuando con febrero, y los meses donde más llueve son los meses de abril y mayo.

Figura 24. Precipitación promedio anual.



Fuente: Propia

En la ciudad de Villavicencio, de acuerdo a la información suministrada IDEAM, entre los años 2010 y 2019, se tiene lo siguiente:

- Temperatura media anual ponderada de diseño (TMAP de diseño) = 26.10°C
- Precipitación media anual de diseño PMA de diseño= 4361.41mm/año

Con base en la temperatura media anual ponderada de diseño y la precipitación media anual de diseño se determina la región climática para el diseño del pavimento corresponde a una región R6: Cálido muy húmedo.

## 10.12. DISEÑO DE ESTRUCTURA

Se compara la metodología AASHTO y SHELL para el diseño de pavimento de la vía caracolí que conecta a la carretera del amor.

### 10.12.1 METODOLOGÍA AASHTO 93

La primera metodóloga por medio de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO 93).

Se hizo por dos sectores el primer:

#### 10.12.1.1 Diseño de pavimento flexible + mejoramiento con el CBR de 5.1%.

- a) Índice de serviciabilidad (Pf) : Este índice tiene en cuenta el estado inicial y final de serviciabilidad del pavimento que se diseñará y construirá.
- b) Módulo de resiliencia de la subrasante: Si el porcentaje de CBR en menor a 10% se debe calcular multiplicar el CBR por 1500.
- c) Módulo de resiliencia de la subbase: 28000spsi
- d) Módulo de resiliencia de la base: 15000spsi
- e) Módulo de resiliencia de la capa asfáltica:327496 psi
- f) Días total de lluvia en el último año: 250 días, 68%
- g) Coeficiente de drenaje para base y subbase: como es más del 25% de lluvia en el último año se toma un valor de 0.8

Tabla 10-19. Variables de diseño por AASTHO 93 del pavimento flexible + mejoramiento

| VARIABLES DE DISEÑO         |                    |          |
|-----------------------------|--------------------|----------|
| Tránsito (Capítulo 13.1.2)  | W <sub>18</sub>    | 5.00E+05 |
| Confiabilidad (tabla 13.7)  | R (%)              | 80       |
| Desviación (tabla 13.8)     | Z <sub>r</sub> [-] | -0.841   |
| Error estándar (tabla 13.9) | S <sub>o</sub> [-] | 0.45     |

|                                                                  |                             |        |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------|
| Índice de serviciabilidad final (tabla 13.4)                     | $p_f$ [-]                   | 2.5    |
| Módulo resiliente de la subrasante (Ecuación 8.9 u otra similar) | $M_{r_{subr}}$ [psi]        | 7650   |
| Módulo resiliente de la subbase (Figura 13.8)                    | $E_{3SBG}$ [psi]            | 15000  |
| Módulo resiliente de la base (Figura 13.7)                       | $E_{2BG}$ [psi]             | 28000  |
| Módulo resiliente de la capa asfáltica (tabla 2.53)              | $E_{1concreto\ asf.}$ [psi] | 327496 |
| Coeficiente de drenaje base granular (tablas 13.5 y 13.6)        | $m_2$ [-]                   | 0.80   |
| Coeficiente de drenaje subbase granular (tablas 13.5 y 13.6)     | $m_3$ [-]                   | 0.80   |

Fuente: Propia

Se procede a calcular el valor de los SN de cada una de las capas de la estructura de pavimento, con el fin de evaluar el aporte de los materiales propuestos, así como las condiciones climáticas estimadas para el diseño de la estructura de pavimento, proponiendo espesores de cada una sus capas arrojadas por la implementación del método ASSHTO-93.

**Tabla 10-20. Variables de diseño por AASTHO 93 del pavimento flexible + mejoramiento**

|                  |        |                     |           |
|------------------|--------|---------------------|-----------|
| E1 (psi)         | 327496 | Log(N8.2)           | 5.69      |
| E2 (psi)         | 28000  | <b>SN1</b>          | 1.71      |
| E3 (psi)         | 15000  | <b>SN2</b>          | 2.19      |
| MR(psi)          | 7650   | <b>SN3</b>          | 2.85      |
| a1               | 0.38   | <b>h1 Calculado</b> | 4.52pulg. |
| a2               | 0.13   | <b>h1 Diseño</b>    | 8.00cm    |
| a3               | 0.11   |                     |           |
|                  |        | <b>SN1*</b>         | 1.19      |
| % lluvias al Año | 68.49  |                     |           |
|                  |        | <b>h2 Calculado</b> | 9.63pulg  |
| mi               | 0.8    | <b>h2 Diseño</b>    | 16.00cm   |
|                  |        |                     |           |
| R                | 80%    | <b>SN2*</b>         | 1.85      |
| Zr               | -0.841 |                     |           |
| So               | 0.45   | <b>h3 Calculado</b> | 11.35pulg |
| Pf               | 2.5    | <b>h3 Diseño</b>    | 30.00cm   |
| $\Delta PSI$     | 1.7    |                     |           |

Fuente: Propia

**Figura 25. Estructura de pavimento para el diseño de pavimento flexible + mejoramiento según metodología AASTHO 93**

|            |                                          |             |        |
|------------|------------------------------------------|-------------|--------|
| CA         | Carpeta asfáltica                        | 3pulg=8cm   | 8cm    |
| BG         | Base Granular, E2=28.000psi, a2=0.13     | 6pulg=16cm  | 16cm   |
| SBG        | Subbase Granular, E3=15.000 psi, a3=0.11 | CBReq.=5.1% | 30cm   |
| SRmejorada | Mejoramiento de la subrasante            |             | 51 cm  |
| SR         |                                          |             | 105 cm |

Fuente: Propia

Para el diseño flexible más mejoramiento se observa un espesor de 8 cm en carpeta asfáltica, 16 cm en base granular, 30 cm en subbase granular y por último el mejoramiento de la subrasante de 51 cm de espesor, para un total de 105 cm de espesor de las capas.

#### 10.12.1.2 Diseño de pavimento flexible con el CBR de 6.9 %.

Se muestran los datos para realizar el diseño por la metodología AASTHO 93 donde se tienen valores de tránsito, confiabilidad, desviación y demás módulos encontramos en las tablas del libro pavimentos: materiales, construcción y diseño de los autores Fredy Alberto Reyes Lizcano y Hugo Alexander Rondón Quintana.

Tabla 10-21. Variables de diseño por AASTHO 93 del pavimento flexible

| VARIABLES DE DISEÑO                                              |                                      |          |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------|
| Tránsito (Capítulo 13.1.2)                                       | W <sub>18</sub>                      | 5.00E+05 |
| Confiabilidad (tabla 13.7)                                       | R (%)                                | 80       |
| Desviación (tabla 13.8)                                          | Z <sub>r</sub> [-]                   | -0.841   |
| Error estándar (tabla 13.9)                                      | S <sub>o</sub> [-]                   | 0.45     |
| Índice de serviciabilidad final (tabla 13.4)                     | p <sub>f</sub> [-]                   | 2.5      |
| Módulo resiliente de la subrasante (Ecuación 8.9 u otra similar) | M <sub>r</sub> <sub>subr</sub> [psi] | 10350    |
| Módulo resiliente de la subbase (Figura 13.8)                    | E <sub>3</sub> SBG [psi]             | 15000    |
| Módulo resiliente de la base (Figura 13.7)                       | E <sub>2</sub> BG [psi]              | 28000    |
| Módulo resiliente de la capa asfáltica (tabla 2.53)              | E <sub>1</sub> concreto asf. [psi]   | 327496   |
| Coeficiente de drenaje base granular (tablas 13.5 y 13.6)        | m <sub>2</sub> [-]                   | 0.80     |
| Coeficiente de drenaje subbase granular (tablas 13.5 y 13.6)     | m <sub>3</sub> [-]                   | 0.80     |

Fuente: Propia

Tabla 10-22. Variables de diseño por AASTHO 93 del pavimento flexible

|                 |               |                    |             |
|-----------------|---------------|--------------------|-------------|
| E1 (psi)        | <b>327496</b> | Log(N8.2)          | <b>5.69</b> |
| E2 (psi)        | 28000         | <b>SN1</b>         | 1.71        |
| E3 (psi)        | 15000         | <b>SN2</b>         | 2.19        |
| MR(psi)         | 10350         | <b>SN3</b>         | 2.50        |
| a1              | 0.38          | <b>h1Calculado</b> | 4.52pulg.   |
| a2              | 0.13          | <b>h1 Diseño</b>   | 8.00cm      |
| a3              | 0.11          |                    |             |
|                 |               | <b>SN1*</b>        | 1.19        |
| %lluvías al Año | 68.49         |                    |             |
|                 |               | <b>h2Calculado</b> | 9.63pulg    |
| Mi              | 0.8           | <b>h2 Diseño</b>   | 16.00cm     |
| R               | 80%           | <b>SN2*</b>        | 1.85        |
| Zr              | -0.841        |                    |             |
| So              | 0.45          | <b>h3</b>          | 7.45pulg    |
|                 |               | <b>Calculado</b>   |             |
| Pf              | 2.5           | <b>h3 Diseño</b>   | 20.00cm     |
| $\Delta$ PSI    | 1.7           |                    |             |

Fuente: Propia

Una vez evaluados cada una de las características de los materiales que componen la estructura de pavimento propuesta mediante la implementación del Método ASSTHO 93, se presenta una estructura de pavimento en el cual se evidencian los espesores correspondientes para el diseño de la estructura.

Figura 26. Estructura de pavimento para el diseño de pavimento flexible según metodología AASTHO

|     |                                                 |            |       |
|-----|-------------------------------------------------|------------|-------|
| CA  | <b>Carpeta asfáltica</b>                        | 3pulg=8cm  | 9cm   |
| BG  | <b>Base Granular, E2=28.000psi, a2=0.13</b>     | 6pulg=16cm | 16cm  |
| SBG | <b>Subbase Granular, E3=15.000 psi, a3=0.11</b> |            | 20cm  |
| SR  |                                                 |            | 45 cm |

Fuente: Propia

Para el diseño flexible se observa un espesor de 9 cm en carpeta asfáltica, 16 cm en base granular, 20 cm en subbase granular, para un total de 45 cm de espesor de las capas.

## 10.12.2 SHELL 78

Metodología del método Shell para el cálculo de estructuras de pavimentos flexibles.

### Módulo de diseño (MPA)

- a) Módulo de resiliencia de la subbase: 103 Mpa
- b) Módulo de resiliencia de la base: 193 Mpa
- c) Módulo de resiliencia de Capa asfáltica: 2258 Mpa

Tabla 10-23. Calculo de metodología SHELL Parte 1.

| SOLICITACIONES ESTRUCTURAS EXISTENTES |           |                      |                       |
|---------------------------------------|-----------|----------------------|-----------------------|
| DEFORMACIONES                         |           | Esfuerzo<br>SR( MPA) | Deflexión rueda doble |
| Et                                    | Ez        |                      |                       |
| 3.20.E+02                             | 3.77.E+02 | 2.03.E-02            | 6.13.E+02             |
| 3.48.E+02                             | 3.83.E+02 | 2.73.E-02            | 5.93.E+02             |

Fuente: Propia

Tabla 10-24. Calculo de metodología SHELL Parte 2.

| SOLICITACIONES ADMISIBLES        |                              |                                       |
|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Ejes equivalentes admisibles     |                              | Esfuerzo Admisible<br>subrasante(MPA) |
| Et Fatiga por<br>Tracción MSC-19 | Ez criterio<br>Ahuellamiento |                                       |
| 5.53.E+06                        | 5.20.E+06                    | 0.072                                 |
| 3.64.E+06                        | 4.88.E+06                    | 0.097                                 |

Fuente: Propia

Tabla 10-25. Calculo de metodología SHELL Parte 3.

| CONSUMO                             |                             |                              |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Fatiga por tracción en capas MSC-19 | Ahuellamiento<br>subrasante | Esfuerzo de la<br>subrasante |
| 99%                                 | 10%                         | 28%                          |
| 14%                                 | 10%                         | 28%                          |

Fuente: Propia

Partiendo de estos conceptos, la SHELL ha logrado determinar las combinaciones de espesores de las diferentes capas del pavimento que garantizan el cumplimiento de los valores  $\epsilon_t$  y  $\epsilon_z$  durante el periodo de diseño. Para el diseño del pavimento flexible mas mejoramiento se encuentra 10 cm de carpeta asfaltica, 25 cm de base

granular, 30 cm de subbase granular y mejoramiento de la subrasante de 51 cm para un total capa de espesores de 116cm.

- CBR mejorado: 5.1 %

Figura 27. Estructura de pavimento para el diseño de pavimento flexible + mejoramiento según metodología SHELL

|            |                               |        |
|------------|-------------------------------|--------|
| CA         | Carpeta asfáltica             | 10 cm  |
| BG         | Base Granular                 | 25 cm  |
| SBG        | Subbase Granular              | 30 cm  |
| SRmejorada | Mejoramiento de la subrasante | 51 cm  |
| SR         |                               | 116 cm |

Fuente: Propia

Para el diseño del pavimento flexible por la metodología de SHELL se encuentra 9 cm de carpeta asfáltica, 20 cm de base granular, 30 cm de subbase granular, para un total capa de espesores de 59 cm

- CBR: 6.9%

Figura 28. Estructura de pavimento para el diseño de pavimento flexible según metodología SHELL

|     |                   |      |
|-----|-------------------|------|
| CA  | Carpeta asfáltica | 9cm  |
| BG  | Base Granular     | 20cm |
| SBG | Subbase Granular  | 30cm |
| SR  |                   |      |

Fuente: Propia

### 10.13. COMPARATIVO COSTOS DIRECTOS

La primera alternativa se desarrolla a partir de un pavimento flexible diseñado por AASHTO. A continuación, la Tabla 10-26, muestra los principales costos que presenta esta alternativa, señalando que para poder generar un valor a comparar,

se considerarán las dimensiones del proyecto y espesores obtenidos del diseño previo.

Tabla 10-26. Comparativo de precios suministrados por INVIAS y canteras cercanas a la zona de estudio para diseño flexible AASHTO 93.

| DISEÑO FLEXIBLE (AASHTO 93) |                   |                  |                     |
|-----------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
|                             | CAPA<br>ASFALTICA | BASE<br>GRANULAR | SUBBASE<br>GRANULAR |
| LARGO (m)                   | 1500              | 1500             | 1500                |
| ANCHO (m)                   | 7                 | 7                | 7                   |
| ESPESOR (m)                 | 0.09              | 0.16             | 0.2                 |
| % COMPACTACION              | 1.2               | 1.2              | 1.2                 |
| VOLUMEN (M3)                | 1134              | 2016             | 2520                |
| VR. CANTERA (M3)            | \$ 170,794        | \$ 32,273        | \$ 27,073           |
| <b>VR. TOTAL DISEÑO</b>     |                   | \$ 326,966,947   |                     |
| VR. INVIAS (M3)             | \$ 185,499        | \$ 57,001        | \$ 49,422           |
| <b>VR. TOTAL DISEÑO</b>     |                   | \$ 449,812,749   |                     |

Fuente: Propia

Una vez conocido el costo total de la alternativa AASHTO 93, se puede asegurar que el pavimento flexible con datos suministrados por el INVIAS presenta un costo de \$ 449,812,749 aproximadamente, superando ampliamente al pavimento flexible, con datos de la cantera el cual alcanza una suma de \$ 326,966,947. En términos porcentuales, el uso de materiales de la zona resulta en un 27% más económico que basándose en precios del INVIAS, eso en cuanto a la puesta en marcha.

Tabla 10-27. Comparativo de precios suministrados por INVIAS y canteras cercanas a la zona de estudio para diseño flexible SHELL 78.

| DISEÑO FLEXIBLE (AASHTO 93) |                   |                  |                     |
|-----------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
|                             | CAPA<br>ASFALTICA | BASE<br>GRANULAR | SUBBASE<br>GRANULAR |
| LARGO (m)                   | 1500              | 1500             | 1500                |
| ANCHO (m)                   | 7                 | 7                | 7                   |
| ESPESOR (m)                 | 0.09              | 0.2              | 0.3                 |
| % COMPACTACION              | 1.2               | 1.2              | 1.2                 |
| VOLUMEN (M3)                | 1134              | 2520             | 3780                |
| VR. CANTERA (M3)            | \$ 170,794        | \$ 32,273        | \$ 27,073           |
| <b>VR. TOTAL DISEÑO</b>     |                   | \$ 377,344,453   |                     |
| VR. INVIAS (M3)             | \$ 185,499        | \$ 57,001        | \$ 49,422           |
| <b>VR. TOTAL DISEÑO</b>     |                   | \$ 540,812,661   |                     |

Fuente: Propia

Para el caso de la estructura calculada con la metodología SHELL, también se puede asegurar que el pavimento flexible con datos suministrados por el INVIAS presenta un costo de \$ 540,812,661 aproximadamente, superando ampliamente al pavimento flexible, calculado con datos de AGREMET, donde se evidencia que alcanza la suma de \$ 377,344,453. En términos porcentuales, el uso de materiales de la zona resulta para este caso en un 30% más económico que basándose en precios del INVIAS, eso en cuanto a la puesta en marcha.

Para realizar una correcta comparación de costos entre ambas alternativas, consideraremos un tramo de 1500 metros de la vía caracolí, donde se obtiene que para el pavimento flexible diseñado por AASHTO que el costo de puesta en marcha es de \$ 449,812,749 mientras que para el Pavimento por la metodología SHELL el costo de puesta en marcha es de \$ 540,812,661. En términos porcentuales el valor de inversión entre una metodología y la otra es del orden del 17%. Resultando más conveniente hacer la instalación del diseño producto de la metodología AASHTO, sin embargo, la metodología basada en conceptos mecanicistas, presenta diseños mucho más precisos, debido a que presentan una menor incertidumbre en los resultados, ya que se trata de una cuantificación más exhaustiva de los parámetros de diseño, lo que podríamos concluir que no es costosa porque la incertidumbre juega un papel importante y al ser más preciso, no se hablaría de una gasto sino una segura inversión porque el diseño garantizará mayor durabilidad lo que acarrea menos inversión en manteamientos futuros. Y es allí donde se empieza a mirar la economía de un diseño contra otro.

En lo relacionado con los costos para los diseños de pavimentos con mejoramientos, no fue posible el cálculo, debido a que la cantera más cercana al proyecto no extrae este tipo de materiales.

## 11.RESULTADOS E IMPACTOS

La deficiente intercomunicación terrestre de las vías terciarias en la vereda el amor, vía Caracolí en Villavicencio Meta genera efectos negativos en el rendimiento y competitividad de la zona. De esta manera se presenta aumento de los tiempos de viaje. Estas deficiencias también pueden afectar el traslado de pacientes hacia los hospitales o centro de salud, inasistencia de estudiantes a escuelas y colegios y pérdida. Por lo anterior se es necesario mejorar las vías de acceso ya que esto influiría de manera positiva la accesibilidad del sector, así como también la comodidad y la seguridad de cada individuo que allí reside.

Tabla 11-1. Resultados.

| Resultado                                                       | Indicador                                                                            | Objetivo Relacionado                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Espesores de las capas de la estructura de pavimento.           | Aplicación y realización de las metodologías AASHTO y SHELL para pavimento flexible. | Seleccionar la estructura conveniente, teniendo en cuenta los análisis realizados a las diferentes estructuras calculadas con los distintos métodos de diseño. |
| Propiedades mecánicas y físicas del suelo existente en la zona. | Ensayos de laboratorio realizados al material extraído cada 500m                     | Determinar si el tipo de suelo existente en la vía es adecuado para su uso, a través de su caracterización, teniendo en cuenta las normas INVIAS.              |

Fuente: Autor

Tabla 11-2. Impactos

| Aspecto   | Impacto                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Supuesto                                                                               | Plazo   |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Social    | Rehabilitar la vía rural que se encuentra en mal estado en la vereda el amor, vía caracolí en la ciudad Villavicencio-Meta.                                                                                                                                                                                                                                   | Reducir los tiempos de viaje, al trasladarse a los colegios y a la iglesia de la zona. | Corto   |
| Social    | Dado que la vía no está pavimentada, se genera un exceso de polvo con el paso de los vehículos. Por lo que se busca disminuir enfermedades respiratorias porque este polvo bloquea la entrada y salida de aire de los pulmones y causar enfermedades relacionadas con las vías respiratorias, tales como enfermedad pulmonar obstructiva crónica, bronquitis. | Mejorar la calidad de vida y salud de los habitantes.                                  | Largo   |
| Económico | Desarrollo óptimo de movilizarse a los colegios de la zona y la iglesia ubicada en la vía caracolí.                                                                                                                                                                                                                                                           | Aumento desarrollo y paisaje que se encuentra en la zona.                              | Mediano |

Fuente: Propia

## 12. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

### 12.1. CONCLUSIONES

- La temperatura media anual ponderada de diseño para la ciudad de Villavicencio es de 26.10° C. Se debe tener especial cuidado en la construcción de la estructura del pavimento, dado que elevadas temperaturas pueden causar deformaciones o agrietamientos, influyendo en el nivel de servicio de la vía.
- Para nuestro país la condición más crítica es deformación permanente, esto principalmente a las altas temperaturas, de acuerdo a la modelación por la alternativa SHELL, en cuanto a la fatiga no presenta mucho problema, ya que las fallas que esperaríamos en nuestras carreteras, serán de tipo permanente.
- La precipitación media anual de diseño registra un valor de 4361.41 mm/año, al superar los 1200 mm/año se deben hacer ensayos de CBR sumergidos.
- Buscar alternativas para el diseño de pavimentos flexibles en las que se puedan hacer el uso de factor climático, esto debido a que en Colombia una de las metodologías más utilizadas AASHTO 93 no lo incorpora en el diseño, sabiendo que este tiene una gran influencia sobre la estructura del pavimento.
- Los cálculos arrojaron dos CBR de diseño, lo que permite sectorizar la vía en dos tramos. Para CBR menores al 5% se propone un material de mejoramiento para la subrasante con la ayuda de la metodología IVANOV y para CBR > 5% se propone una estructura convencional para pavimento sin mejoramiento.
- No fue posible hacer la estabilización granulométrica debido a que la cantera no suministro los datos requeridos, manifestando que por motivos internos de la empresa. Lo que no permite el cumplimiento del cuarto objetivo específico
- Los materiales de la cantera AGREMET, fuente cercana al proyecto, ofrece mejor precio al compararlos con los del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).
- Le diseño producto de los cálculos por metodología SHELL dan del orden de \$ 540,812,661 para una longitud y un ancho asumido, se considera una inversión segura porque el diseño garantizará mayor durabilidad lo que acarrea menos inversión en manteamientos futuros.
- De acuerdo con los perfiles estratigráficos obtenidos a partir de los apiques realizados se evidencia que el material es uniforme en su mayoría en los diferentes tramos.
- Los diseños realizados por la metodología SHELL son más precisos dado que se hace un análisis evaluando la erosión y la fatiga medidas primordiales para la adecuada conducta de la estructura de pavimento.
- La metodología SHELL 78 basada en conceptos mecanicistas, presentan diseños mucho más precisos, debido a que se cuenta con una menor

incertidumbre en los resultados, ya que se trata de una cuantificación más exhaustiva de los parámetros de diseño.

## **12.2. TRABAJOS FUTUROS**

- La propuesta es poder presentar este trabajo a la alcaldía de Villavicencio, Meta con el fin de que se pueda ejecutar y mejorar las condiciones de transporte y movilidad de esta parte de la vereda y municipio.
- Apropiarse de los conocimientos de los métodos y las alternativas de diseño en pavimentos flexibles Mecanicista-Racional, ya que en estas se realiza una mejor caracterización de los materiales, módulos elásticos, consideraciones reales del tránsito, con el peso de los vehículos y la utilización del factor climático y/o temperaturas ambientales; para el caso de estudio los diseños se realizaron acordes a condiciones de la zona.
- Implementar recursos para la investigación y generación de Guías de Diseño mecanicistas propias de nuestra región, pero en el diseño de pavimentos en general, es decir, incluir cada tipología flexible, rígido y articulado, con sus variantes y diferentes combinaciones entre sí.
- Incentivar a que las canteras de la región certifiquen el material de la zona, para cuando se les pida la información sea oportuna. Y además garantizar que el material puede utilizarse mezclado con suelos locales.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fedesarrollo, «Colombia: con pocas vías terciarias y en mal estado,» Paula Delgado Gómez, 3 diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.fedesarrollo.org.co/sites/default/files/enlosmediosimpreso/elespectadorcom3diciembre2018.pdf>. [Último acceso: 5 agosto 2020].
- [2] Rondón & Reyes, Pavimentos: materiales, construcción y diseño, 3, 2015.
- [3] C. H. H. Sandoval, «Carta de diseño de pavimento por el metodo Shell,» Sandoval, Carlos Hernando Higuera, 2011. [En línea]. Available: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:th3IGmdzrAIJ:ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/harenas/docs/PAVIMENTOS/DOCUMENTOS%2520DE%2520CONSULTA/HIGUERADISE%25C3%2591PAVIMTLIBRO2.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>. [Último acceso: 4 julio 2020].
- [4] A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras, Bogotá, D.C.: Universidad Catolica de Colombia, 2002.
- [5] Population.City, «Population for Municipal 1985-2020,» 30 mayo 2017. [En línea]. Available: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co).
- [6] Ministerio de transporte, «Manual de diseño de pavimento asfaltico,» invias, 2007. [En línea]. Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/987-manual-de-diseno-de-pavimentos-asfalticos-para-vias-con-bajos-volumenes-de-transito>.
- [7] A. C. Sole, Instrumentación Industrial, Mexico: Alfaomega, 2006.
- [8] A. Rezi and M. Allam,, «Techniques in array processing by means of transformations,» de *Control and Dynamic Systems Vol. 69*, San Diego, Academic Press, 1995, pp. 133-180.
- [9] Colón, «Proyecto diseño pavimento Vía Puente de Piedra - Colón,» Colón , variante Madrid, Cundinamarca, 2017.
- [10] R. t. Gonzales, «Proyecto Diagnostico de via existente y diseño del pavimento flexible fase1,» Gonzales, Ricardo tabares, diciembre 2005. [En línea]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2486>. [Último acceso: 14 Diciembre 2019].
- [11] M. E. y. M. p. Mejia, «Diseño de la estructura de pavimento, implementando geoceldas para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500,» Mejia, Miller Escarraga y Maria paula, 2019. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18418/2019MillerEscarraga.pdf?sequence=8&isAllowed=y>. [Último acceso: 3 enero 2020].