DISEÑO DE LA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRERA 2°A DE GUALANDAY, MUNICIPIO DE COELLO – TOLIMA

LORENA LOZADA GUTIERREZ

DAHIANNA LISETH ZAPATA RAMIREZ

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

ESPECIALIZACIÓN EN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS

IBAGUÉ - TOLIMA

2020

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

DISEÑO DE LA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRERA 2°A DE GUALANDAY, MUNICIPIO DE COELLO – TOLIMA

LORENA LOZADA GUTIERREZ
DAHIANNA LISETH ZAPATA RAMIREZ

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de Especialistas en Diseño y Construcción de Pavimentos

Ing. Humberto González Mosquera
Director Disciplinar
MBA. Norma Patricia Gutiérrez Murillo
Director Metodológico

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS
IBAGUÉ - TOLIMA
2020

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

Firma del director

_____

Firma del codirector

_____

Firma del jurado

_____

Firma del jurado

Ibagué, febrero de 2020

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de la especialización, por ser mi fortaleza en los momentos de dificultad y por brindarme una vida llena de amor y felicidad.

Les doy gracias a mis queridos padres Humberto Lozada y María Nélida Gutiérrez por apoyarme en cada momento y más en esta etapa posgradual ya que me dieron la oportunidad de tener esta educación que es satisfacción para mi vida profesional.

A mi esposo Joel Perdomo e hija Sofía son mis amores, la fuerza para seguir adelante y el apoyo incondicional de mi vida.

Agradezco por el apoyo, disposición y confianza de los ingenieros por ser mis guías en esta última etapa posgradual.

Lorena Lozada Gutiérrez

Agradezco a Dios principalmente por guiarme en cada paso de mi vida, a mis padres Delio Zapata Moreno y María Ruth Ramírez, a mi hija Emily Rubiano Zapata y mi esposo Edicson Rubiano Aranzales, quienes con mucho amor son mi apoyo incondicional para alcanzar mis metas, siendo ellos los que me encaminan para cambiar y mejorar mi vida personal como ser humano, familiar y profesional.

Dahianna Liseth Zapata Ramírez

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

DEDICATORIA

A Dios ya que gracias a él he logrado culminar mis estudios. A mis padres que siempre estuvieron a mi lado, a mi esposo por brindarme el apoyo incondicional y a mi hija por ser mi motor de vida.

Lorena Lozada Gutiérrez

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por ser mi guía y compañía a lo largo de mi vida personal y profesional de igual manera ahora en mi especialización, por darme la fuerza en los momentos de dificultad y debilidad, sobre todo por otorgarme la posibilidad de vivir experiencias nuevas llenas de mucha alegría.

A mis padres por su apoyo a cada instante en mi vida, por los valores y principios con los que he sido educada y a lo largo de mi especialización para alcanzar esta meta y sobre todo por ser mi ejemplo y la fortaleza de mi vida.
A mi esposo e hija; parte ser parte importante de mi vida con su amor, unión y apoyo cada día.

A mis compañeros por el camino que emprendieron junto a mí a lo largo de este pregrado, por su apoyo, confianza, ayuda mutua y alegrías brindadas.
A mis profesores, asesores y jurados por su confianza, disposición y apoyo; por compartir sus conocimientos para que sean reflejados en mi como profesional.

Dahianna Liseth Zapata Ramírez

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

CONTENIDO

GLOSARIO 13

RESUMEN 15

INTRODUCCION 17

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 19

2. JUSTIFICACIÓN 20

3. OBJETIVOS 21

3.1 OBJETIVO GENERAL 21

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 21

4. MARCO TEÓRICO 22

4.1 PAVIMENTOS 22

4.2 FACTORES PARA CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS. . 23

4.3 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO 24

4.3.1 Mezcla Asfáltica 24

4.3.2 Base Granular ..... **¡Error! Marcador no definido.**

4.3.3 Sub-base Granular 28

4.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 30

4.4.1 Ubicación 30

4.4.2 División Político – Administrativo 30

5. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS) 32

5.1 DIAGNÓSTICO INICIAL 33

5.2 AFOROS VEHICULARES 33

5.3 ESTUDIOS DE SUELOS 35

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

5.3.1 Granulometría 36
5.3.2 Ensayo de límite líquido 36
5.3.3 Ensayo de límite plástico.....36
5.3.4 Ensayo de CBR.....37
5.4 DISEÑO ESTRUCTURAL.....37
5.4.1 Método AASHTO.....37
5.4.2 Método RACIONAL 39
6. RESULTADOS 40
6.1 DIAGNÓSTICO INICIAL 40
6.2 AFOROS.....42
6.3 ESTUDIOS DE SUELOS 49
6.3.1 Ensayo de granulometría 50
6.3.2 Ensayo de Límite líquido 61
6.3.3 Ensayo de Límite Plástico 68
6.3.4 Ensayo de CBR.....72
6.4 DISEÑO ESTRUCTURAL.....81
6.4.1 Método AASHTO.....82
6.4.2 Método racional.....93
7. CONCLUSIONES.....109
8. RECOMENDACIONES 111
9. BIBLIOGRAFÍA 112
10. ANEXOS 114

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

FIGURAS

Figura 1. División Política Administrativa del Municipio 30
Figura 2.Foto de la Localización de la Vía a Intervenir. 31
Figura 3. Etapas metodológicas para el desarrollo del proyecto 32
Figura 4. Estado de la vía existente. 40
Figura 5. Zonas de recreación existente. 41
Figura 6. Excavaciones para las muestras. 50
Figura 7. Juego de Tamices. 51
Figura 8.Muestra 01. 52
Figura 9.Curva Granulométrica de la Muestra 01. 55
Figura 10. Muestra 02. 57
Figura 11. Curva Granulométrica de la Muestra 02. 60
Figura 12.Lavado de la Muestra. 62
Figura 13. Maceramiento de la Muestra. 62
Figura 14. Numero de golpes. 63
Figura 15. Cazuela de Casagrande. 64
Figura 16.Grafica del Limite Liquido de la Muestra 01. 65
Figura 17.Grafica del Limite Liquido de la Muestra 02. 67
Figura 18.Porcion de Muestra. 68
Figura 19. Rollitos. 69
Figura 20. Muestras en moldes para CBR. 72
Figura 21. Muestra Sumergida. 73
Figura 22. Máquina de Compresión. 74
Figura 23. Grafica Deformación VS carga muestra 01. 76
Figura 24.Grafica Deformación VS carga muestra 02. 79
Figura 25. Grafica para hallar coeficiente estructural en función del módulo. 88
Figura 26.Coeficiente estructural y MR de la base. 88
Figura 27. Coeficiente estructural y MR de la subbase. 89
Figura 28. Estructura típica de un pavimento flexible. 92
Figura 29. Estructura por Método AASTHO 93

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 30. Modulación WinDepav Estructura No.1 101
Figura 31. Resultados WinDepav Estructura No.1.....102
Figura 32. Modulación WinDepav Estructura modificada. 104
Figura 33. Resultados WinDepav Estructura modificada.....105
Figura 34. Estructura Final del Diseño.....106
Figura 35. Plano de la Vía Intervenida.....108

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los Pavimentos.....22
Tabla 2. Tipos de mezclas asfálticas en caliente.....25
Tabla 3.Franjas Granulométricas para Mezclas Asfálticas en caliente de Gradación Continua. 26
Tabla 4.Uso típico de las diferentes clases de base granular.....27
Tabla 5.Franjas Granulométricas del material de Base Granular. 28
Tabla 6. Uso típico de las diferentes clases de Sub-base granular. 29
Tabla 7.Franjas Granulométricas del material de Sub-base Granular. 29
Tabla 8.Niveles de confiabilidad. 38
Tabla 9.Categoria de las vías. 41
Tabla 10. Cantidad de Vehículos Transitados. 42
Tabla 11.Transito Promedio Diario (TPD).....43
Tabla 12. Factor daño por tipo de vehículo (FD).....43
Tabla 13.Factor de distribución por carril.....45
Tabla 14.Tasa de crecimiento del tránsito. 46
Tabla 15.Niveles de tránsito. 46
Tabla 16.Periodos de diseño estructural recomendados. 48
Tabla 17.Coefiente de Agresividad Media. 49
Tabla 18.Resultados de Granulometría de la Muestra 01.....52
Tabla 19.Datos de la muestra 01.....53
Tabla 20. Valores obtenidos de la curva granulométrica Muestra 01. 56
Tabla 21.Resultados de Granulometría de la Muestra 02.....57
Tabla 22.Datos de la muestra 02.....58
Tabla 23. Valores obtenidos de la curva granulométrica Muestra 02. 61
Tabla 24. Datos de Limite Líquido de la Muestra 01.....64
Tabla 25.Datos de Limite Líquido de la Muestra 02.....66
Tabla 26. Datos de Limite Plástico de la Muestra 01. 69
Tabla 27.Datos de Limite Plástico de la Muestra 02.....71
Tabla 28. Resultados CBR muestra 01.....75

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 29. Datos para %Humedad y %Expansión Muestra 01. 76
Tabla 30.Resultados CBR muestra 02.....78
Tabla 31.Datos para %Humedad y %Expansión Muestra 02. 80
Tabla 32.Espesores mínimos.....83
Tabla 33. Calidad de drenaje. 84
Tabla 34. Valores del coeficiente de drenaje Cd.....84
Tabla 35.Confiabilidad. 85
Tabla 36. Desviación estándar normal.....86
Tabla 37. Error normal combinado.....86
Tabla 38. Valores de módulos de capas de pavimentos asfalticos.....87
Tabla 39. Datos obtenidos de la estructura No.1. 89
Tabla 40. Números Estructurales de estructura 01.....90
Tabla 41.Espesores y SN corregidos estructura 01.....90
Tabla 42. Datos para la deformación. 94
Tabla 43. Características de materiales bituminosos en fatiga. 95
Tabla 44. Características de los materiales bituminosos. 96
Tabla 45.Tipos de plataformas.....96
Tabla 46. Determinación de los coeficientes. 97
Tabla 47. Determinación de riesgo. 98
Tabla 48.Valores de la ley normal.....98
Tabla 49. Datos obtenidos. 99
Tabla 50. Datos obtenidos para los esfuerzos. 100
Tabla 51. Diferentes modulaciones por WinDepav. 103
Tabla 52. Presupuesto de la Obra Vial. 107

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

GLOSARIO

Base granular: Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material fino.

Beneficios: posee alta resistencia a la deformación lo que hace que soporte presiones altas. Usos y aplicaciones: se emplea en la conformación de estructuras de pavimento. (CEMEX)

Capa de rodadura: Capa superior del pavimento formado por mezclas bituminosas. A su vez, el pavimento es la capa superior del firme que, colocada sobre la base, soporta directamente las solicitaciones del tráfico. Las cualidades superficiales de la calzada dependen de la adecuada selección y ejecución del pavimento. (Fundación Laboral de la Construcción, 2006)

Carretera: Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma. (INVIAS, 2013)

Carreteras terciarias: Corresponde a la Red Vial Terciaria, son vías que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí. La mayoría se encuentran en afirmado. Si se pavimentan deben cumplir con las condiciones geométricas fijadas para las vías secundarias. Las carreteras terciarias generalmente se encuentran a cargo de los municipios, así mismo hay carreteras a cargo del departamento y carreteras terciarias a cargo del INVIAS. (INVIAS, 2013)

INVIAS: organización que Ejecuta políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de infraestructura de la Red Vial carretera, férrea, fluvial y marítima, de

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

acuerdo con los lineamientos dados por el Gobierno Nacional. (Instituto Nacional de Vias)

Pavimento: Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la Subrasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñado la estructura y el efecto degradante de los agentes climáticos. (INVIAS, 2013)

Pavimento flexible: Tipo de pavimento constituido por una capa de rodadura bituminosa apoyada generalmente sobre capas de material no ligado. (INVIAS, 2013)

Subrasante: Superficie especialmente acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento. (INVIAS, 2013)

Tránsito: Acción de desplazamiento de personas, vehículos y animales por las vías (INVIAS, 2013)

WinDEPAV: es la más reciente entrega del software de apoyo para el análisis y diseño de pavimentos basado en el programa DEPAV del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca en Colombia.

El programa DEPAV fue desarrollado por los Ingenieros Alberto Murgueitio Valencia, Carlos Alberto Benavides y Efraín de Jesús Solano Fajardo para la Investigación Nacional de Pavimentos de Colombia (INPACO) de 1993.

WinDEPAV es una interfase para Windows que facilita definir la estructura del pavimento, las propiedades de sus capas (2 a 6), las características de la carga aplicada y la interpretación de los resultados del análisis estructural. (Varela, 2019)

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

RESUMEN

El presente trabajo muestra el estado actual de la vía Carrera 2°A del corregimiento de Gualanday del Municipio de Coello – Tolima y el diseño en pavimento flexible para este tramo de vía. Esta vía terciara cuenta con una longitud de 350 metros, sin capa de rodadura, cual por sus condiciones no brinda una movilidad óptima para los habitantes de este municipio y las personas que hacen uso de esta. Es por esto que se hace necesario plantear el diseño de la estructura de un pavimento asfaltico para esta vía, no solo por su cercanía a viviendas y a cultivos, sino también a por ser una de las vías de acceso a la quebrada Guacarí (lugar turístico de la localidad) y da acceso a una zona de deporte que es utilizada por la comunidad del sector y aledaños.

Para el diseño de esta vía se estudió la situación actual del sector y de igual manera evaluamos el impacto socioambiental que este iba a tener en la zona y la comunidad, así mismo se realizó un aforo que permitió analizar la parte de transporte determinando la movilidad del sector, también junto con ensayos de suelos como granulometría, límites y CBR que nos brindaron la caracterización actual del terreno en donde se implementara el diseño.

Por consiguiente, se implementó una metodología que permite llegar al objetivo de este proyecto que es el diseño de la vía. En primera instancia se realiza un diagnóstico de la situación actual de la zona a intervenir, enseguida se realiza un aforo vehicular para determinar el número de ejes equivalentes que transitan en la vía, luego se realiza ensayos de suelos que ayuda la caracterización de la zona por medio de la granulometría y con el ensayo de CBR se determina el índice de resistencia del suelo y así realizar el diseño estructural de la vía por los métodos AASTHO Y RACIONAL para determinar la estructura óptima que se implementará en la vía.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Con lo anterior, se realizó el estudio y diseño necesario que cumpliera con las especificaciones técnicas y que nos permitiera mitigar y mejorar los impactos y la calidad de vida de la comunidad del sector.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

INTRODUCCION

La infraestructura vial es un componente fundamental para el desarrollo de un país. En Colombia, las vías son importantes puesto a que es el medio principal de transporte ya sea de carga o de pasajeros. Según el informe de indicadores del sector del transporte en Colombia, la infraestructura vial no es la óptima, gran parte se debe por las características geográficas que se presentan en el país.

En los últimos años el retraso de la infraestructura vial en Colombia se estima por los indicadores que se han obtenido del desarrollo en cada una de las redes viales del país, siendo así, la red terciaria tiene un 76 % de extensión vial, enseguida la secundaria con 14% y la primaria con una 10%, teniendo en cuenta que en la red primaria el 83% esta pavimenta, la red secundaria tiene 26% y en la red terciaria no se tiene datos. (Quintana, 2016)

Además, las operaciones y mantenimientos de las redes viales secundarias y terciarias están a cargo de los departamentos y los municipios, sin embargo, la insuficiencia en estas redes, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) es el encargado del mantenimiento de esta red.

De igual manera, las dificultades en desarrollo y mantenimiento de estas redes y el creciente uso de la infraestructura vial han ayudado a que la infraestructura vial y de transporte sea un fundamento importante dentro de las políticas de desarrollo.

En consecuencia, a lo descrito anteriormente, con la cantidad y calidad de las vías nacionales de nuestro país, se refleja la necesidad de progresar en los procesos constructivos y de mantenimientos de la malla vial existente, por medio de proyectos que sean amigables con el medio ambiente ya que es un factor importante para el desarrollo sostenible del país. Por esta razón, una alternativa en el mejoramiento de la malla vial del país es otorgar un diseño para una vía en

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

pavimento flexible que se encuentra en alto grado de deterioro y su ubicación es en el Corregimiento de Gualanday del Municipio de Coello - Tolima.

Este corregimiento tiene un alto índice en las actividades agrícolas ya que depende económicamente de la agricultura y de productos como el mango que es la materia prima más importante de la zona estudiada, razón por la cual se necesita un mejoramiento de la vía de la carrera 2°A para disminuir gastos de transporte y poder comercializar el producto a diferentes partes de la región.

La seguridad y comodidad de una vía depende del estado del pavimento, ya que es la que ayuda al desarrollo en el sector socioeconómico de la región, en el cual debe estar en el mejor confort para así permitir la comunicación, integración y la competitividad de los sectores rurales.

El propósito de este diseño es aplicar los diferentes conceptos técnicos y académicos vistos a lo largo de la especialización, verificando los parámetros empleados en el método de diseño a utilizar para poder establecer resultados acordes teniendo en cuenta el comportamiento de la estructura.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el corregimiento de Gualanday del Municipio de Coello – Tolima existe una vía terciaria de 350 metros de longitud (Carrera 2°A), la cual se encuentra destapada en su totalidad, generando problemas de movilidad de los vehículos y peatones que hacen uso de ella. Además, no posee estructuras de drenaje, necesarias para este tipo de infraestructura que está expuesta a los diferentes periodos de lluvias que se presentan en la región.

Debido a lo expuesto anteriormente, es evidente la necesidad de pavimentar la vía citada, más aun considerando que junto a ella se encuentra una zona de recreación y deporte (canchas de fútbol y micro fútbol), que concentra gran cantidad de vehículos y personas, especialmente los fines de semana ya que allí se concentran visitantes de la población de Gualanday y otras localidades cercanas a este corregimiento. La situación se torna más grave aún debido a que la vía en mención es una ruta alterna para acceder a la zona de recreación y deporte citada anteriormente. Otro factor que contribuye a la demanda de uso de esta vía está relacionado con su proximidad a la quebrada Guacarí en la cual la comunidad acostumbra a realizar actividades familiares y recreativas.

Con relación a las actividades de tipo agrícola, la carrera 2ª da acceso a una finca con cultivos de mango. Estas actividades económicas se ven restringidas debido al estado de la vía, sobre periodos de lluvias ya que la colecta y el transporte de este cultivo no pueden transitar con comodidad y seguridad, ni para los vehículos ni para los productos.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

2. JUSTIFICACIÓN

La Universidad Cooperativa de Colombia para generar impacto positivo en la comunidad, brinda alternativas de solución a diferentes problemáticas que estas enfrentan. Para esto, a través de sus estudiantes de graduación y especialización viene actuando en áreas como la del diseño de vías, considerando la normatividad vigente y procesos de diseño y constructivos avalados por los diferentes entes de tipo nacional e internacional cuando así es requerido. De esa forma, en la universidad se nutre un banco de proyectos que son fuente de información para estudiantes y comunidad en general, sea para fines de investigación o fines de aplicación directa en la vida real, como es el objetivo del presente estudio.

El diseño de la vía que surja de este proyecto será útil para toda la comunidad que habita en el sector y sus cercanías, debido a que la zona de estudio, es una de las de mayor impacto en la comunidad del Corregimiento de Gualanday del Municipio de Coello – Tolima, esto relacionado a actividades de tipo económico y agrícola (presencia de cultivos de mango). Adicionalmente, con actividades de recreación y esparcimiento asociadas con la quebrada Guacarí y una zona deportiva existente. Dado el estado actual de la vía ha sido difícil ejecutar acciones de mejoramiento, por esto es importante realizar una propuesta factible de diseño para beneficiar a la población y mejorar su desarrollo socioeconómico.

Este proyecto permitirá ampliar y poner en práctica los conceptos adquiridos en la Especialización Diseño y Construcción de Pavimentos, generando un impacto positivo en la calidad de vida de la comunidad, a través del mejoramiento del acceso a locales relacionados con actividades como salud, educación, laboral, insumos, materias primas y todas las facilidades que requiere una comunidad para vivir de forma digna y amparada por el estado.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar la vía en pavimento flexible de la Carrera 2°A del Corregimiento de Gualanday, Municipio de Coello – Tolima.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación actual de la vía de la carrera 2°A del Corregimiento de Gualanday, Municipio de Coello – Tolima.
- Realizar el estudio de aforo vehicular de la vía objeto de estudio
- Caracterizar el suelo mediante diferentes ensayos de laboratorio.
- Realizar el ensayo CBR para determinar la resistencia del suelo.
- Elaborar el diseño de la vía por los métodos de AASHTO y RACIONAL.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 PAVIMENTOS

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le trasmiten durante el periodo para el cuan fue diseñado la estructura del pavimento. (Montejo, 2002)

Los pavimentos se clasifican en: Pavimento flexible, pavimento semiflexible o semirrígido, pavimento rígido y pavimentos articulados.

Tabla 1. Clasificación de los Pavimentos

Clasificación de los Pavimentos			
Pav. Flexible	Pav. Semiflexible ó Semirrígido	Pav. Rígido	Pav. Articulado
Están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la	Aunque este tipo de pavimento tiene la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas es rigidizada artificialmente con	Están construidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa de material	Están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada en bloques de concreto prefabricado,

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

subbase.	un aditivo como el asfalto, cal, cemento.	seleccionado.	llamados adoquines.

Fuente: Los Autores basada en Montejo, 2002.

4.2 FACTORES PARA CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.

Tránsito. Interesan para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje 8simple, tándem o tridem) esperadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo.

Subrasante. De la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzos constantes bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo.

Clima. Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de la subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas. (Montejo, 2002).

4.3 ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

El pavimento consta de tres capas importantes que son la Mezcla asfáltica, la Base granular y la Sub-base granular. Cada capa define el tipo de material que se va emplear teniendo en cuenta las diferentes especificaciones del INVIAS y del proyecto.

4.3.1 **Mezcla Asfáltica.** Se relaciona tres tipos de mezclas asfálticas de gradación continua, en función del tipo de granulometría. Para nuestro caso la Mezcla Densa en Caliente (MDC) es la que vamos a utilizar, la mezcla densa en caliente se divide en tres tipologías que son:

MDC10: mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua, con agregado de tamaño máximo 10 mm, que se usa generalmente para construir capas de rodadura en vías con tráfico bajo, ciclo rutas y canchas deportivas.

MDC19: Mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua, con agregado de tamaño máximo 19 mm, que se usa generalmente para construir capas de rodadura en vías con tráfico medio y alto.

MDC25: Mezcla asfáltica densa en caliente de gradación continua, con agregado de tamaño máximo 25mm, que se usa generalmente para construir capas intermedias y capas de base en vías con tráfico medio y alto. (INVIAS, 2007)

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 2. Tipos de mezclas asfálticas en caliente.

TIPO	DENOMINACIÓN
POR TIPO DE GRANULOMETRÍA	
- Mezclas densas	MDC
- Mezclas semidensas	MSC
- Mezclas gruesas	MGC
MEZCLAS ESPECIALES	
Mezclas de alto módulo	MAM

Fuente: INVIAS, 2012.

Además, la granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, deberá estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas de la siguiente tabla:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 3.Franjas Granulométricas para Mezclas Asfálticas en caliente de Gradación Continua.

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 ½"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSA	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70- 88	49-65	29-45	14-25	8–17	4–8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5–10
SEMIDENSA	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM -25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		-	4 %					3 %			2 %

ESPECIFICACIONES 2014

Fuente: INVIAS, 2012.

4.3.2 **Base Granular.** Se tiene en cuenta el Capítulo 3, artículo 330; define la base en tres clases en función de la calidad de los agregados. Los documentos del proyecto definirán la clase de sub-base granular por utilizar en el proyecto; así mismo, definirán el tipo de granulometría por emplear. Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, las clases de la sub-base se usarán como lo indica en la función del nivel de tránsito del proyecto. Según INVIAS, 2018.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 4.Uso típico de las diferentes clases de base granular.

CLASE DE BASE GRANULAR	NIVEL DE TRÁNSITO
Clase C	NT1
Clase B	NT2
Clase A	NT3

*Fuente: I*NVIAS, 2012.

Los agregados para la construcción de la base granular deberán satisfacer los requisitos de calidad. Además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestran en la siguiente tabla:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 5.Franjas Granulométricas del material de Base Granular.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA							
BASES GRANULARES DE GRACACIÓN GRUESA								
BG-40	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
BG-27	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
BG-25	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

TICACIONES 2012 INVIAS

*Fuente: I*NVIAS, 2012.

4.3.3 **Sub-base Granular.** Se tiene en cuenta el Capítulo 3, articulo 320; define la sub-base en tres clases en función de la calidad de los agregados. Los documentos del proyecto definirán la clase de sub-base granular por utilizar en el proyecto; así mismo, definirán el tipo de granulometría por emplear. Si los documentos del proyecto no indican otra cosa, las clases de la sub-base se usarán como lo indica en la Tabla 6 en función del nivel de tránsito del proyecto. Según el INVIAS, 2018.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 6. Uso típico de las diferentes clases de Sub-base granular.

CLASE DE BASE GRANULAR	NIVEL DE TRÁNSITO
Clase C	NT1
Clase B	NT2
Clase A	NT3

Fuente: INVIAS, 2012.

Los agregados para la construcción de la Sub-base granular deberán satisfacer los requisitos de calidad. Además, se deberán ajustar a alguna de las franjas granulométricas que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7.Franjas Granulométricas del material de Sub-base Granular.

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)								
	50.0	37.5	25.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	2"	1 ½"	1"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA								
SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %				6 %			3 %

Fuente: INVIAS, 2012.

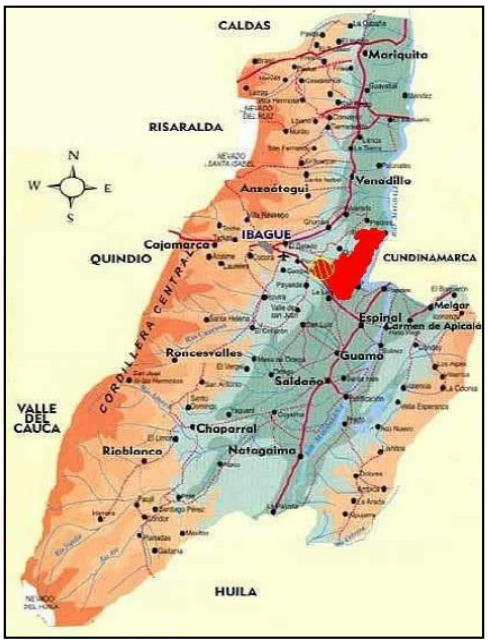
Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

4.4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Se realizara una breve descripción del lugar en donde se llevó a cabo la realización del diseño del pavimento flexible de la vía intervenida.

4.4.1 **Ubicación.** El área de estudio (ver Figura 2) está localizada en el Corregimiento de Gualanday del Municipio de Coello. El municipio de Coello está situado en el centro del Departamento del Tolima, en límites por el norte con el municipio de Piedras, oriente con el Rio Magdalena, occidente con los municipios de Piedras e Ibagué y el sur con los municipios de San Luis, Espinal y Flandes. (Alcaldía de Coello, 2016)

Figura 1. División Política Administrativa del Municipio



Fuente: Acuerdo PDM, Municipio de Coello, 2016.

4.4.2 **División Político – Administrativo.** El Municipio de Coello está dividido en:

Centros poblados: Vega de los Padres y Gualanday.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Veredas: Barrialoza, Vindí, Dosquebradas, Chicualí, La Salina, Lucha Afuera, Lucha Adentro, Llano de la Virgen, Arenosa, Cunira, Chagualá Adentro, Santa Bárbara y Chagualá Afuera. (Alcaldía de Coello, 2016)

Figura 2.Foto de la Localización de la Vía a Intervenir.

Fuente: Google Maps.2019.

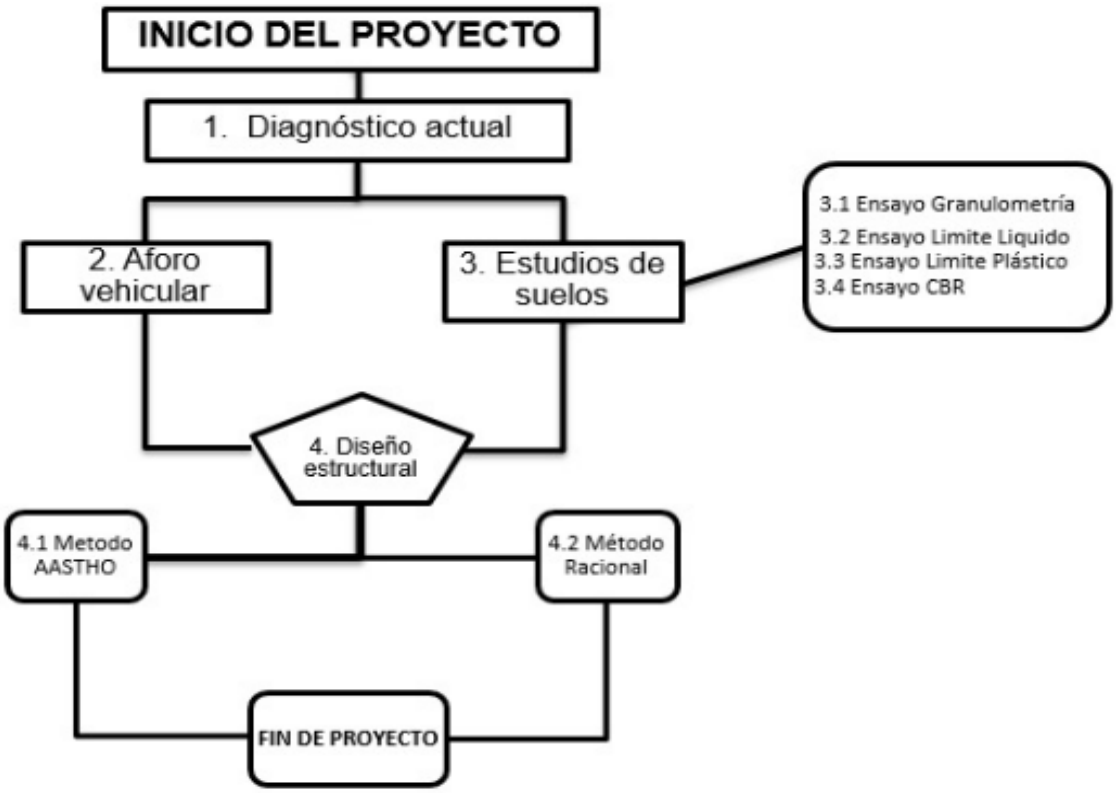
Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

5. METODOLOGÍA (MATERIALES Y MÉTODOS)

Este proyecto se enmarca en una investigación de tipo exploratoria, documental, no experimental, y la muestra (tramo de vía analizada) fue escogida por conveniencia y es de tipo mixta ya que contiene elementos cuantitativos y cualitativos.

Para el desarrollo del proyecto se siguieron una serie de etapas relacionadas entre ellas y que se muestran a continuación, ver Figura 3.

Figura 3. Etapas metodológicas para el desarrollo del proyecto



Fuente: Los autores

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

A continuación, se presentan de manera detallada cada una de las actividades indicadas en la metodología:

5.1 DIAGNÓSTICO INICIAL

En esta etapa, se realizó el diagnóstico de la situación actual de la vía, realizando visitas de campo que permitió identificar por medio de la inspección visual el estado de la vía y los problemas que se presentan, identificando aspectos relevantes tales como los siguientes aspectos: Tipo de pavimento existente, estado, patología (cuál frecuencia), comunidad cercana, zonas de recreación, viviendas, clima, entre otras.

Para la visita de campo se realizará un registro fotográfico.

5.2 AFOROS VEHICULARES

El procedimiento propuesto para llevar a cabo el programa de conteos vehiculares en una vía consta de:

- División del tramo en subramos con transito homogéneo.
- En cada uno de los subtramos se llevará a cabo un conteo vehicular, día típico de semana y un día típico de mercado.
- El conteo se debe realizar por sentido de circulación, hora del día y por tipo de vehículo, y en un periodo diario no inferior a las 18 horas.
- El transito promedia diario se calculara en forma ponderada a los días normales y de mercado. (INVIAS, 2007)

$$\mathrm{TPD} = \%\mathrm{TotalAutos} + \%\mathrm{TotalCamiones} + \%\mathrm{TotalBuses} + \%\mathrm{Transito\ atraido} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

De igual manera se considera que este proyecto se asimila a la situación No.4 según el Manual de Bajos Volúmenes de INVIAS; ya que es un proyecto nuevo en zona de bajo potencial de desarrollo económico. En esta situación las componentes que se podrían dar en el transito son la de transito atraído.

Para este caso, el componente como lo es el tránsito atraído es el que utilizara el proyecto, por las ventajas o beneficios que ofrece, y hoy hace uso de otra infraestructura. Esta componente se determina a través de encuestas de preferencia a usuarios y modelos de selección modal o de ruta. (INVIAS, 2007)

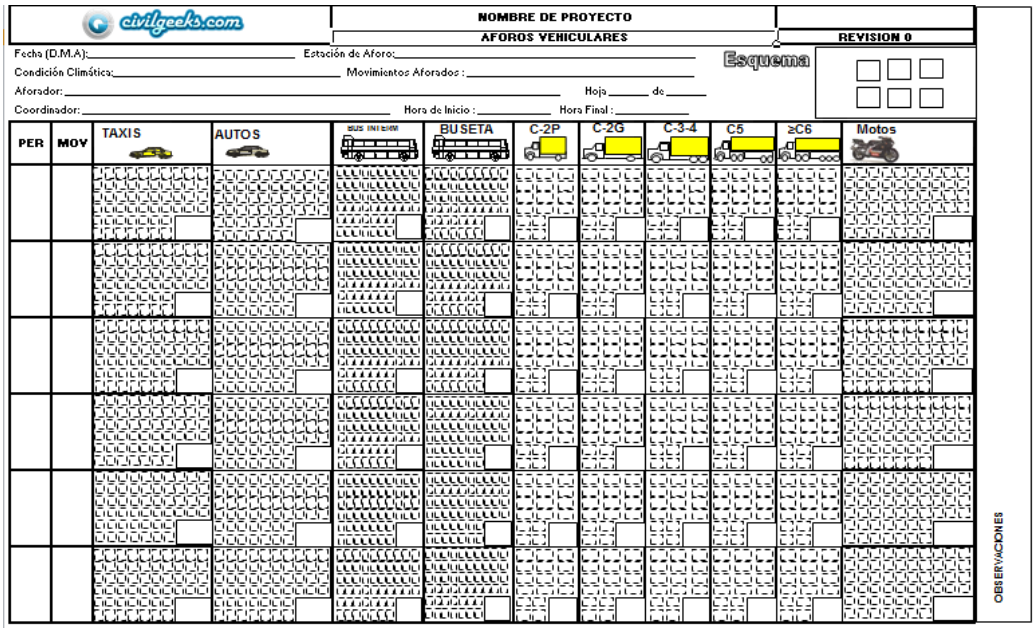
A partir de la información recolectada, será calculado los parámetros del diseño, que son los siguientes:

- Periodo de diseño (n)
- Tasa de crecimiento anual (r)
- Ancho de la calzada
- Factor direccional (Fd)
- Composición de los vehículos comerciales.
- Factor daño (FD)
- Confiabilidad.

Para llevar a cabo lo anterior, el aforo vehicular se debe realizar por medio de los formatos que especifica la Norma INVIAS al momento de realizar los registros vehiculares. En los formatos se hace una pequeña descripción de la zona intervenida, las horas correspondientes del aforo y los diferentes tipos de vehículos que existen a nivel nacional con sus respectivas casillas como lo indica la siguiente figura:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Ilustración 1. Formato para Aforo Vehicular.


civilgeeks.com

NOMBRE DE PROYECTO

AFOROS VEHICULARES

REVISION 0

Fecha (D.M.A): _____ Estación de Aforo: _____

Condición Climática: _____ Movimientos Aforados : _____

Aforador: _____ Hoja _____ de _____

Coordinador: _____ Hora de Inicio : _____ Hora Final : _____

Esquema

PER	MOV	TAXIS	AUTOS	BUS INTERCAM	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥C6	Motos

OBSERVACIONES

Fuente: Los Autores.

Dichos parámetros será de vital importancia a la hora de realizar el diseño del pavimento, ya que por medio de este se conocerá el número de ejes equivalentes.

5.3 ESTUDIOS DE SUELOS

En esta etapa, se hará la caracterización del suelo por medio de unos ensayos para iniciar con nuestro diseño como lo son:

- Ensayo de granulometría, INV E – 123 – 13
- Ensayo de límite líquido, INV E – 125 – 13
- Ensayo de límite plástico, INV E – 126 – 13
- Ensayo de CBR, INV E – 148 – 13.

Por consiguiente, las normas que se tuvieron en cuenta para la caracterización del suelo son:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

5.3.1 **Granulometría.** Para este ensayo se utilizó la norma INV E – 123 – 13 según el INVIAS, 2013.

Esta norma se refiere a la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de un suelo. La distribución de las partículas mayores de 75 µm (retenidas en el tamiz No. 200) se determina por tamizado.

5.3.2 **Ensayo de límite líquido.** Para este ensayo se utilizó la norma INV E – 125 – 13 según INVIAS, 2013.

Esta norma se refiere a la determinación del límite líquido de los suelos.

La norma presenta dos métodos para determinar el límite líquido: el Método A, que consiste en un ensayo de varios puntos, y el Método B, consistente en un ensayo de un solo punto.

El método multipunto es, por lo general, más preciso que el de un solo punto.

5.3.3 **Ensayo de límite plástico.** Para este ensayo se utilizó la norma INV E – 126 – 13 según INVIAS, 2013.

Esta norma de ensayo se refiere a la determinación del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos.

El método descrito en esta norma se debe aplicar únicamente sobre la porción de suelo que pasa el tamiz de 425 µm (No. 40). Por lo tanto, se deberá considerar la contribución relativa de esta fracción de suelo en las propiedades de la muestra como conjunto, cuando se usen los valores de límite plástico e índice de plasticidad para evaluar las propiedades de un suelo.

El ensayo del límite plástico se realiza sobre el mismo material preparado para la determinación del límite líquido.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

5.3.4 **Ensayo de CBR.** Para este ensayo se utilizó la norma INV E – 148 – 13 según el INVIAS, 2014.

Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos de subrasante, subbase y base, denominado CBR (California Bearing Ratio). La experiencia ha demostrado que los resultados del ensayo CBR para aquellos materiales que contienen porcentajes sustanciales de partículas retenidas en el tamiz 4.75 mm (No. 4), son más variables que los de los materiales más finos. En consecuencia, se pueden requerir más pruebas para estos materiales, con el fin de establecer un valor confiable de CBR.

5.4 DISEÑO ESTRUCTURAL

Se llevará a cabo el diseño en pavimento flexible de la vía intervenida que se encuentra en la Carrera 2°A del Corregimiento de Gualanday por dos métodos como lo son el método AASHTO y el método RACIONAL. Con estos métodos se diseñará estructuralmente la vía y se determinara el método más viable y óptimo para el diseño de la misma, por consiguiente, se debe tener en cuenta los siguientes métodos:

5.4.1 **Método AASHTO.** El método AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles, se basa en identificar el número estructural (NS) que pueda soportar el nivel de carga. Para el diseño, se debe considerar:

5.4.1.1 Variables para el diseño

Restricciones de tiempo. Se incluye la escogencia de los datos de entrada para los periodos de diseño que afectarán o restringirán el diseño del pavimento desde el punto de vista del tiempo.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tránsito. El método de diseño se basa en el número de ejes equivalentes de 18 Kips en el carril de diseño (W_{18}) valor que es conocido en nuestros métodos de diseño como N.

Confiabilidad. Se entiende por confiablidad de un proceso diseño-comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientes durante el periodo de diseño

Tabla 8.Niveles de confiabilidad.

Tabla 5.44 Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras		
Clasificación	**Nivel de confiabilidad recomendado**	
	Urbana	**Rural**
Autopistas interestatales y otras	85 -99.9	80 -99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de Tránsitos	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 -80	50 -80

Fuente: Montejo, 2002

Serviciabilidad. Se define como la idoneidad que tiene el mismo para servir a la clase de tránsito que lo va a utilizar. La mejor forma de evaluar es a través del índice de servicio presente, el cual varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta). (Montejo, 2002)

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

5.4.2 **Método RACIONAL.** La metodología racional basada en el cálculo de esfuerzos y deformaciones en las interfaces de las capas del pavimento asfaltico, permite el diseño óptimo y durable de pavimentos ya que se puede verificar su vida útil con respecto a las admisibilidades propias de cada capa del pavimento. El método hace uso de la teoría de la elasticidad y aplicación de las leyes de fatiga de las capas, integrando modelos matemáticos. A nivel experimental se integra con la medición de módulos elásticos dinámicos y leyes de fatiga para las capas asfálticas, granulares y subrasantes por medios de equipos triaxiales, y prensas dinámicas de tipo MTS.

La modelación se ha adaptado para ser compatible con el programa CEDEM o WinDepav, y su uso simple, hace esta metodología muy sencilla comparada con otros métodos de cálculo de pavimentos, sirviendo tanto para pavimentos flexibles, rígidos, semirrígidos o estructuras no convencionales. (Reyes, 2018)

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

6. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de acuerdo con el orden establecido en el capítulo anterior (metodología)

6.1 DIAGNÓSTICO INICIAL

Con la visita de campo que se realizó en la Carrera 2°A del corregimiento de Gualanday se evidencia que en la vía no presenta ningún tipo de pavimentación existente como se muestra en la Figura 4, de igual manera, como no cuenta con ningún tipo de obras de drenaje, en las épocas de lluvia el paso por esta vía es limitado, debido a que no se encuentra en las condiciones para hacer uso de ella.

Figura 4. Estado de la vía existente.

Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

En esta zona se hace presencia de zonas de recreación y esparcimiento asociadas con la quebrada Guacari y una zona deportiva como se indica en la Figura 5; además, hay una finca con cultivos de mango.

Figura 5. Zonas de recreación existente.

Fuente: Los Autores.

De igual manera, se determina el tipo de categoría que tiene esta vía por medio de la descripción de cada una de ellas posee, ver Tabla 9 para así mismo diseñar la estructura del pavimento que necesita esta vía.

Tabla 9.Categoria de las vías.

Tabla 7.11
Categorías de las vías

	Categoría de la vía			
	I	II	III	Especial
Descripción	Autopistas interurbanas, caminos interurbanos principales	Colectoras interurbanas, caminos rurales e industriales principales	Caminos rurales con tránsito mediano, caminos estratégicos	Pavimentos especiales e innovaciones
Importancia	Muy importante	Importante	Poco importante	Importante a poco importante
Tránsito promedio diario	> 5000	1.000 – 10.000	< 1.000	< 10.000

Fuente: INVIAS., 2002.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Esta tabla busca mostrar que el transito promedio diario depende de la categoría que tiene la vía, teniendo en cuenta que esta puede ser categoría I, II, III o especial según la descripción y lo observado en campo.

6.2 AFOROS

Para el diseño de la vía en pavimento flexible de la carrera 2°A del Corregimiento de Gualanday del Municipio de Coello – Tolima, se realizaron dos aforos con una intensidad de 18 horas cada uno, ver ANEXO A y *ANEXO B*. Con los aforos se determina la cantidad de vehículos que transitaron en general, ver Tabla 10 .

Tabla 10. Cantidad de Vehículos Transitados.

TPD (TRANSITO PROMEDIO DIARIO)						
Tipo de vehículo	**Días**		**Total**	**%**		**TPD**
	Martes	**Domingo**				
AUTOS	23	28	51	67,1	67,1	25,5
BUSES	0	0	0	0,0	32,9	0
CAMIONES	17	8	25	32,9		12,5
C-2P	14	6	20	80	100	
C-2G	3	2	5	20		
TOTAL	40	36	76	100		**38**

Fuente: Los Autores.

Una vez identificado el número de vehículos que transitan por la vía objeto de estudio, se procede a calcular el Tránsito Promedio Horario (TPH), esto se debe a que los aforos se realizaron durante 18 horas consecutivas; posterior a esto, se determina el Tránsito Promedio Diario (TPD) que es el Tránsito Promedio Horario (TPH) multiplicado por 24 horas lo que equivale un día, como lo indica la Tabla 11.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Además, se debe estimar el tránsito atraído que puede generar este proyecto en la zona, en este caso, se tomó un tránsito atraído de 5% ya que el proyecto está localizado en una zona de bajo desarrollo económico.

Tabla 11.Transito Promedio Diario (TPD).

TPH	2	Vehículos	
TPD	51	Vehículos	
Transito atraído	5%	3	Vehículos
TPD	**53**	Vehículos	

Fuente: Los Autores.

Se procedió a determinar el Factor Camión Camión (FCc) y Factor Camión (FC).

Para el FCc se debe considerar el factor de daño cargado dependiendo del tipo de vehículo según la Tabla 12 que se presentó en los aforos.

Tabla 12. Factor daño por tipo de vehículo (FD).

Tipo de vehículo	Factor de daño (FD)	
	Vacío	Cargado
Autos		0.0
Bus grande		1.0
C2p	0.01	1.01
C2g	0.08	2.72
C3-C4	0.24	3.72
C5	0.25	4.88
> C5	0.26	5.23

Fuente: INVIAS, 2007

En donde el Factor Camión camión (FCc) se determina:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

$$\text{FCc} = \frac{\%\text{Tipo de Vehiculo} * FD}{100}$$ Ecuación 2

$$\text{FCc} = \frac{(80*1{,}14)+(20*2{,}72)}{100} = 1.34$$

Para este caso, el Factor Camión camion tiene un valor de 1.34 referente al tipo de camiones que transitan por la vía intervenida.

En donde el FC se determina:

$$\text{FC} = \frac{(\%\text{Camiones} * FCc) + (\%Buses * 0{,}5)}{(\%Camiones + \%Buses)}$$ Ecuación 3

$$\text{FC} = \frac{(32{,}9*1{,}34)+(0*0{,}5)}{(32{,}4+0)} = 1.34$$

Para este caso, el Factor Camión tiene un valor de 1,34; este es el promedio ponderado de cada camión que circula por la vía.

Determinación de número de ejes equivalentes

Con los datos obtenidos anteriormente, procedió a determinar el número de ejes equivalentes para realizar el diseño en el método AASHTO y RACIONAL. Para el método de AASHTO el número de ejes equivalentes (NESE) se determina por la siguiente formula:

$$\text{NESE} = TPD * 365 * \%VC * Fd * Fca * \frac{(1+i)^n}{(In(1+i)} * FC$$ Ecuación 4

Dónde:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

%VC: porcentaje de vehículos comerciales.

Fd: Factor direccional (como nuestra vía es de dos direcciones se considera una distribución del 50% del tránsito para cada carril).

Fca: Factor de distribución por carril, ver Tabla 13.

i: tasa de crecimiento del tránsito (depende del nivel de tránsito que tenga la vía, además se debe verificar si el nivel de transito es el óptimo para el diseño con el número de ejes equivalentes), ver Tabla 14 y Tabla 15.

n: periodo de diseño estructural (depende del tipo de categoría de la vía), ver Tabla 9 y 10.

FC: Factor Camión.

$$\text{NESE} = 53 * 365 * \frac{32{,}9}{100} * \frac{50}{100} * 1 * \frac{\left(1+\frac{2}{100}\right)^{10}}{(In(1+\frac{2}{100})} * 1.34$$

NESE= 47398

El número de ejes equivalentes para este caso es de 47398 y es la cantidad de repeticiones del eje de carga equivalente.

Tabla 13.Factor de distribución por carril.

Tabla 7.15
Factor de distribución por carril

Número total de carriles en cada dirección	Factor de distribución para el carril de diseño (Fca)
1	1.0
2	0.90
3	0.75

Fuente: INVIAS, 2002.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

El factor de distribución depende del número de carriles por dirección que tiene la vía, en este caso, la vía intervenida tiene un carril por dirección, es decir que el factor es 1.

Tabla 14.Tasa de crecimiento del tránsito.

Nivel de tránsito	Tasa de crecimiento
T1	2.0
T2	3.0

Fuente: INVIAS, 2002.

La tasa de crecimiento depende del nivel de transito (NT) que tiene la vía intervenida, es decir, la tasa de crecimiento es 2 ya que el nivel de transito es 1.

Tabla 15.Niveles de tránsito.

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: INVIAS, 2002.

El nivel de transito debe tener en cuenta el número de ejes equivalentes para determinar si es nivel de transito 1 o 2 ya que cada una de ellas tiene un rango para su estimación.

Para el método de RACIONAL el número de ejes equivalente (NE) se determina para la capa de rodadura y subrasante, por la siguiente formula:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

$$\mathrm{NECr} = TPD * 365 * \%VC * Fd * Fca * \frac{(1+i)^n}{(In(1+i)} * CAM$$ Ecuación 5

Dónde:

%VC: porcentaje de vehículos comerciales.

Fd: Factor direccional (como nuestra vía es de dos direcciones se considera una distribución del 50% del tránsito para cada carril).

Fca: Factor de distribución por carril, ver Tabla 13.

i: tasa de crecimiento del tránsito (depende del nivel de tránsito que tenga la vía, además se debe verificar si el nivel de transito es el óptimo para el diseño con el número de ejes equivalentes), ver Tabla 14 y Tabla 15.

n: periodo de diseño estructural (depende del tipo de categoría de la vía), ver Tabla 9 y 10.
CAM: Coeficiente de Agresividad Media (depende de la estructura), ver Tabla 17.

Para la capa de rodadura:

$$\mathrm{NECr} = 53 * 365 * \frac{32{,}9}{100} * \frac{50}{100} * 1 * \frac{\left(1+\frac{2}{100}\right)^{10}}{(In(1+\frac{2}{100})} * 0.8$$

NECr=28255

El número de ejes equivalentes para la capa de rodadura es 28255 y es la cantidad de repeticiones del eje de carga equivalente.

Para la subrasante:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

$$\mathrm{NESr} = 53 * 365 * \frac{32{,}9}{100} * \frac{50}{100} * 1 * \frac{\left(1+\frac{2}{100}\right)^{10}}{(In(1+\frac{2}{100})} * 1$$

NESr= 35319

El número de ejes equivalentes para a subrasante es 35319 y es la cantidad de repeticiones del eje de carga equivalente.

Tabla 16.Periodos de diseño estructural recomendados.

Tabla 7.13
Períodos de diseño estructural recomendados

Categoría de la vía	Período de diseño (P.D.E.) años	
	Rango	Recomendado
I	10-30	20
II	10-20	15
III	10-20	10
Especiales	7-20	10-15

Fuente: INVIAS., 2002.

En este caso la categoría de la vía es III, es por esto que se debe considerar un periodo de diseño de 10 años para que la vida útil de la vía sea óptima.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 17.Coefiente de Agresividad Media.

Tabla B.16
Determinación del Coeficiente de Agresividad Media
para tránsitos mediano y alto

Estructura		Coeficiente de Agresividad Media (CAM)
Asfáltico	h < 20 cm	0,8
	h ≥ 20 cm	1,0
Semirrígido		1,3
Concreto		1,3
Suelo, grava no tratada o GRH	1,0	
Mixta	Material asfáltico	0,8
	Material tratado con ligante hidráulico	1,3
Inversa	Material asfáltico	0,8
	Grava recompuesta humidificada GRH	1,0
	Material tratado con ligante hidráulico	1,3

Fuente: MONTEJO, 2002.

En el coeficiente de agresividad media se debe considerar la estructura asfáltica y la del suelo para determinar el valor correspondiente a cada estructura. En el caso de la estructura asfáltica se tiene en cuenta el espesor de la capa en centímetros.

6.3 ESTUDIOS DE SUELOS

En esta etapa del procedimiento se dan a conocer los resultados de los ensayos realizados para el diseño de la vía del Corregimiento de Gualanday, municipio de Coello – Tolima.

Para este estudio de suelo se realizaron dos muestras a diferentes profundidades y a una distancia de 250 m de una a la otra. La primera muestra se tomó a una profundidad de 1.25m y la segunda muestra a 0.9m.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

6.3.1 **Ensayo de granulometría.** Para este ensayo se hicieron excavaciones para tomar cada muestra como lo indica la Figura 6, las profundidades fueron de 1,25m y a 0,90m con una distancia de una a la otra de 350 m de longitud.

Figura 6. Excavaciones para las muestras.

Fuente: Los Autores.

Se usaron los siguientes equipos para la realización de este ensayo, tales como:

-Tamices

-Horno

-Recipientes

-Cepillo y brocha para limpiar el residuo de los tamices.

-Balanza

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 7. *Juego de Tamices.*

Fuente: Los Autores.

6.3.1.1 Muestra 01

La muestra se tomó a una profundidad de 1.25m, se lavó y se llevó al horno como lo muestra la Figura 8, cuando ya estaba debidamente seca la muestra se procede a realizar el ensayo por medio del tamizaje manual que consiste en sacudir los tamices de forma lateral y verticalmente para separar las partículas según los tamaños, de tal manera se conocerán las cantidades en peso de cada tamaño, estos datos son reflejados en el ANEXO *C* y para separar los tamaños se utilizan tamices con mallas de diferentes aberturas. Con los resultados se desarrolla la Tabla 18 para determinar el porcentaje del material que es grava, arena y fino.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 8.Muestra 01.

Fuente: Los Autores.

Tabla 18.Resultados de Granulometría de la Muestra 01.

Tamiz	N° tamiz	peso Retenido	% Retenido	% R. Acumulado	% Pasa	% Material	
19	1/2"	0	0%	0%	100,0 %	41,9%	Grava
9,5	3/8"	34,0	10%	10,1%	89,9%		
4,75	4	23,7	7%	17,2%	82,8%		
2,36	8	19,4	6%	23,0%	77,0%		
1,10	16	23,3	7%	29,9%	70,1%		
0,600	30	40,0	12%	41,9%	58,1%		
0,425	40	32,4	10%	51,5%	48,5%	81,2%	Arena
0,300	50	27,9	8%	59,8%	40,2%		
0,250	60	17,2	5%	65,0%	35,0%		
0,150	100	61,0	18%	83,2%	16,8%		

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

0,075	200	51,2	15%	98,4%	1,6%		
	Fondo	5,30	2%	100,0%	0,0%	1,6%	Fino
	Total	335,400					

Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla se muestra los porcentajes obtenidos en cada uno de los materiales como lo son la grava, arena y fino. El porcentaje de grava es de 41.9% que depende del porcentaje retenido acumulado del tamiz No.30; en la arena el porcentaje es de 81.2% que es la diferencia de los porcentajes que pasan en los tamices No. 4 y No.200; y para el material fino el porcentaje es de 1.6% que es el porcentaje que pasa en el tamiz No. 200.

Para obtener el cálculo de los porcentajes de la granulometría se tiene en cuenta las siguientes formulas:

$$\%\text{Retenido} = \frac{\text{peso retenido}}{\text{peso total}} * 100$$ Ecuación 6.

$$\%\text{R. Acumulado} = \frac{\%\text{R. Acumulado anterior}}{\%\text{Retenido}}$$ Ecuación 7

$$\%\text{R. Acumulado} = \%\text{Pasa total} - \%\text{R. Acumulado}$$ Ecuación 8

Para este ensayo se debe determinar el porcentaje de humedad que tiene la muestra y se realiza con los datos de la Tabla 19 .

Tabla 19.Datos de la muestra 01.

	Peso (gr)
P1 Peso muestra humedad más recipiente	696

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

P2 Peso muestra seca más recipiente	650
P3 Peso del recipiente	105
P4 Peso muestra lavada más recipiente	441

Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla se observa el peso en gramos de la muestra en las diferentes fases que se encontrar durante la realización del ensayo de granulometría, se debe considerar el peso del recipiente ya que este es un factor importante en el desarrollo del ensayo.

El porcentaje de humedad se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$\%W = \frac{P1 - P2}{P2 - P3} * 100$$ Ecuación 9

$$\%W = \frac{696 - 650}{650 - 105} * 100 = 8.4\%$$

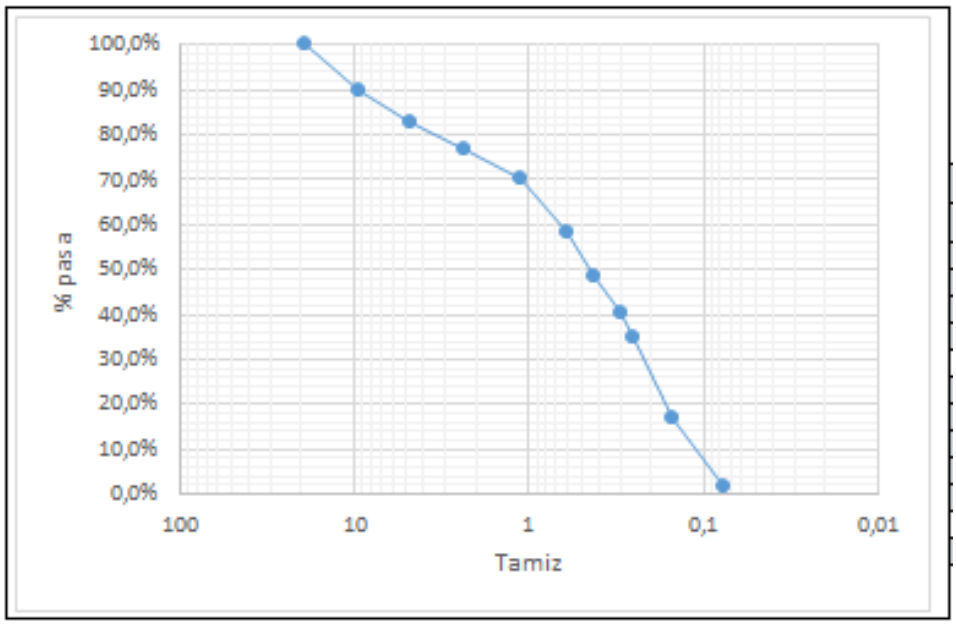
Para la muestra No.1 el porcentaje de humedad es del 8.4%, lo que indica es que ese valor es la cantidad de agua contenida en la muestra.

Grafica granulométrica e indicadores

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

La curva granulométrica es la representación de los resultados de este ensayo como lo indica Figura 9. En esta curva se tiene en cuenta el tamiz utilizado en el ensayo y el porcentaje que pasa en cada uno de los tamices.

Figura 9.Curva Granulométrica de la Muestra 01.



Fuente: Los Autores.

Con la información obtenida se conoce los diámetros característicos tales como el D10, D30 y D60, en donde D se refiere el tamaño del grano y los subíndices (10, 30, 60) son los porcentajes de material más fino. Con estos diámetros, podemos determinar el valor de Cu, Cc como lo indica la Tabla 20

En donde:

El coeficiente de uniformidad (Cu) es definido:

$$Cu = \frac{D60}{D10} \qquad \text{Ecuación 10}$$

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

El coeficiente de concavidad (Cc) es definido:

$$Cc = \frac{D30^2}{D10 * D60} \qquad \text{Ecuación 11}$$

Tabla 20. Valores obtenidos de la curva granulométrica Muestra 01.

D10	0,35
D30	0,96
D60	13,53
Cc	0,191
Cu	38,161

Fuente: Los Autores.

Con los valores obtenidos de dichos coeficientes, se clasifica la muestra 01 como una SW (arena bien gradada).

6.3.1.2 Muestra 02

La muestra se tomó a una profundidad de 0.90m, se lavó y se llevó al horno como lo muestra la Figura 10, cuando ya estaba debidamente seca la muestra se procede a realizar el ensayo por medio del tamizaje manual que consiste en sacudir los tamices de forma lateral y verticalmente para separar las partículas según los tamaños, de tal manera se conocerán las cantidades en peso de cada tamaño, estos datos son reflejados en el ANEXO D y para separar los tamaños se utilizan tamices con mallas de diferentes aberturas. Con los resultados se desarrolla la Tabla 21 para determinar el porcentaje del material que es grava, arena y fino.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 10. Muestra 02.

Fuente: Los Autores.

Tabla 21.Resultados de Granulometría de la Muestra 02

Tamiz	N° tamiz	peso Retenido	% Retenido	% R. Acumulado	% Pasa	% Material	
19	1/2"	0	0%	0%	100,0%	28,2%	Grava
9,5	3/8"	3,2	1%	1%	99,1%		
4,75	4	3,8	1%	1,9%	98,1%		
2,36	8	15,6	4%	6,3%	93,7%		
1,1	16	32,4	9%	15,3%	84,7%		
0,6	30	46,6	13%	28,2%	71,8%		
0,425	40	37,0	10%	38,5%	61,5%	93,9%	Arena
0,3	50	30,8	9%	47,1%	52,9%		
0,25	60	23,4	7%	53,6%	46,4%		
0,15	100	83,8	23%	76,9%	23,1%		
0,075	200	68,4	19%	95,9%	4,1%		

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

	Fondo	14,8	4%	100,0%	0,0%	4,1%	Fino
	Total	359,800					

Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla se muestra los porcentajes obtenidos en cada uno de los materiales como lo son la grava, arena y fino. El porcentaje de grava es de 28.2% que depende del porcentaje retenido acumulado del tamiz No.30; en la arena el porcentaje es de 93.9% que es la diferencia de los porcentajes que pasan en los tamices No. 4 y No.200; y para el material fino el porcentaje es de 4.1% que es el porcentaje que pasa en el tamiz No. 200.

Para obtener el cálculo de los porcentajes de la granulometría se tiene en cuenta las siguientes formulas:

$$\%\text{Retenido} = \frac{\text{peso retenido}}{\text{peso total}} * 100 \qquad \text{Ecuación 12}$$

$$\%\text{R. Acumulado} = \frac{\%\text{R. Acumulado anterior}}{\%\text{Retenido}} \qquad \text{Ecuación 13}$$

$$\%\text{R. Acumulado} = \%\text{Pasa total} - \%\text{R. Acumulado} \qquad \text{Ecuación 14}$$

Para este ensayo se debe determinar el porcentaje de humedad que tiene la muestra y se realiza con los datos de la Tabla 22.

Tabla 22.Datos de la muestra 02.

	Peso (gr)
P1 Peso muestra humedad más recipiente	843

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

P2 Peso muestra seca más recipiente	733
P3 Peso del recipiente	93
P4 Peso muestra lavada más recipiente	454,4

Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla se observa el peso en gramos de la muestra en las diferentes fases que se encontrar durante la realización del ensayo de granulometría de la muestra No.2, se debe considerar el peso del recipiente ya que este es un factor importante en el desarrollo del ensayo.

El porcentaje de humedad se obtiene a partir de la siguiente formula:

$$\%W = \frac{P1 - P2}{P2 - P3} * 100$$ Ecuación 15

$$\%W = \frac{843 - 733}{733 - 93} * 100 = 17\%$$

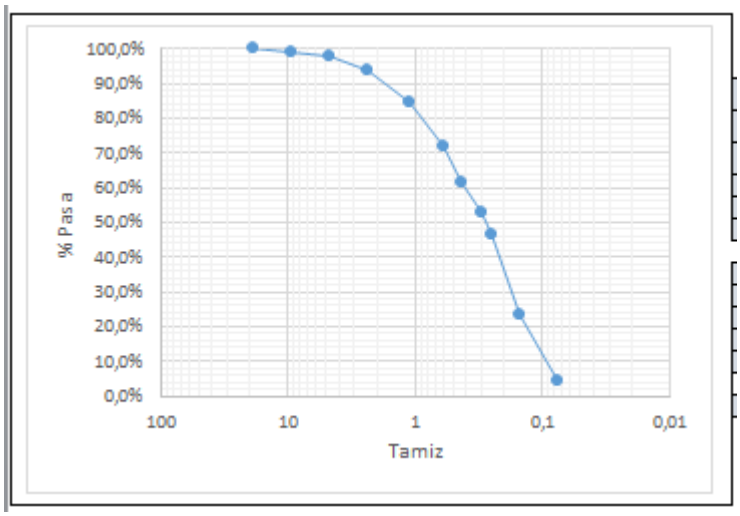
Para la muestra No.2 el porcentaje de humedad es del 17%, lo que indica es que ese valor es la cantidad de agua contenida en la muestra.

Grafica granulométrica e indicadores

La curva granulométrica es la representación de los resultados de este ensayo como lo indica Figura 11. En esta curva se tiene en cuenta el tamiz utilizado en el ensayo y el porcentaje que pasa en cada uno de los tamices.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 11. Curva Granulométrica de la Muestra 02.



Fuente: Los Autores.

Con la información obtenida se conoce los diámetros característicos tales como el D10, D30 y D60, en donde D se refiere el tamaño del grano y los subíndices (10, 30, 60) son los porcentajes de material más fino. Con estos diámetros, podemos determinar el valor de Cu, Cc como lo indica la Tabla 23.

En donde:

El coeficiente de uniformidad (Cu) es definido:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$ Ecuación 16

El coeficiente de concavidad (Cc) es definido:

$$Cc = \frac{D30^2}{D10 * D60}$$ Ecuación 17

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 23. Valores obtenidos de la curva granulométrica Muestra 02.

D10	0,39
D30	0,95
D60	5,78
CC	0,400
CU	14,88

Fuente: Los Autores.

Con los valores obtenidos de dichos coeficientes, se clasifica la muestra 01 como una SW (arena bien gradada).

6.3.2 **Ensayo de Límite líquido.** Para obtener los datos correspondientes se realizó por el método tradicional de Casagrande siguiendo los alineamientos según la Norma INVIAS E-125.

La muestra se lavó debidamente como se muestra en la Figura 12 para ingresarla al horno durante 24 horas, luego de estar seca la muestra se debe macerar y pasarlo por el tamiz No. 40 para obtener una muestra representativa, ver Figura 13.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 12.Lavado de la Muestra.

Fuente: Los Autores.

Figura 13. Maceramiento de la Muestra.

Fuente: Los Autores.

Luego de tener la muestra lista, se debe humedecer para colocar una pequeña cantidad en ella en la cazuela de Casagrande y hacer su respectivo procedimiento. Para obtener los resultados se tuvieron que hacer el ensayo en 3 puntos teniendo en cuenta el número de golpes, ver Figura 14.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 14. Numero de golpes.

Fuente: Los Autores.

Se usaron los siguientes equipos:

-Cazuela de Casagrande, ver Figura 15.

-Horno

-Recipientes

-Balanza

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 15. Cazuela de Casagrande.

Fuente: Los Autores.

6.3.2.1 Muestra 01

Para dar más claridad a los datos obtenidos en este ensayo se muestran en el *ANEXO E*, se toman tres puntos, en cada uno se determina el porcentaje de humedad que tiene la muestra en dicho punto

Tabla 24. Datos de Limite Líquido de la Muestra 01.

	1	**2**	**3**
No. de golpes	15	28	46
Recipiente No	11	30	43
A Peso del suelo húmedo + recipiente	40,48	28,12	36,04
B Peso del suelo seco + recipiente	35,24	25,04	32,5
C Peso del recipiente	14,86	11,96	16,9

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

% de humedad	25,7%	23,5%	22,7%

Fuente: Los Autores.

En la tabla anterior se refleja los datos en cada punto que se referencio con el número de golpes que tuvo la muestra, se tiene en cuenta el peso en gramos en las diferentes fases que se encontrara la muestra No.1.

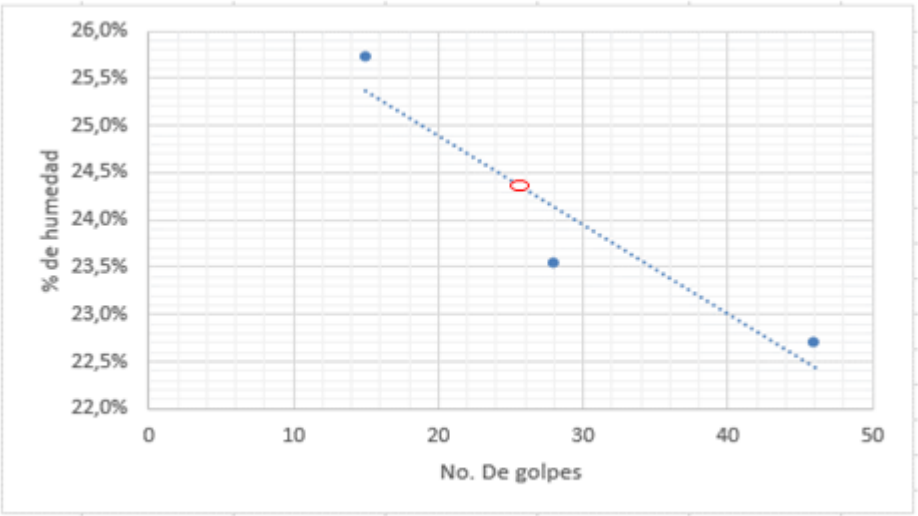
En donde el porcentaje de humedad se determina por la siguiente formula:

$$\%W = \frac{A - B}{B - C} * 100 \qquad \text{Ecuación 18}$$

Por consiguiente, se debe graficar los porcentajes de humedad con relación al número de golpes que tiene cada una de ellas como lo indica la

Figura **16** y así determinar el límite líquido que está sujeto a los 25 golpes, para nuestro caso el LL: 24,4%.

Figura 16.Grafica del Limite Liquido de la Muestra 01.



Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

En la gráfica anterior se identifica la humedad que tiene a los 25 golpes ya que esta es el porcentaje de humedad representativo para la muestra según la Norma INVIAS. Para obtener este valor se debe tener en cuenta cada porcentaje de humedad en los tres puntos en el que se encontró la muestra, se realiza una correlación y regresión lineal de los datos para así encontrar el valor de la humedad a partir de los demás datos.

6.3.2.2 Muestra 02

Para dar más claridad a los datos obtenidos en este ensayo se muestran en el *ANEXO F*, se toman tres puntos, en cada uno se determina el porcentaje de humedad que tiene la muestra en dicho punto.

Tabla 25.Datos de Limite Líquido de la Muestra 02.

	1	**2**	**3**
No. de golpes	45	28	17
Recipiente No	4	6	13
A Peso del suelo húmedo + recipiente	36,64	32,72	27,54
B Peso del suelo seco + recipiente	32,72	29,43	24,52
C Peso del recipiente	14,51	14,58	11,71
% de humedad	21,5%	22,2%	23,6%

Fuente: Los Autores.

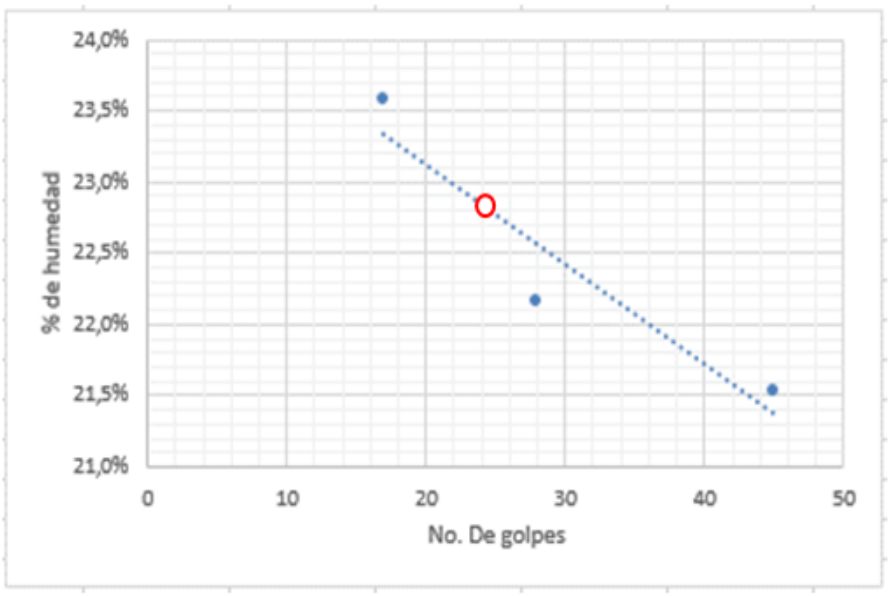
En donde el porcentaje de humedad se determina por la siguiente formula:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

$$\%W = \frac{A - B}{B - C} * 100 \qquad \text{Ecuación 19}$$

Por consiguiente, se debe graficar los porcentajes de humedad con relación al número de golpes que tiene cada una de ellas como lo indica la Figura 17 y así determinar el límite líquido que está sujeto a los 25 golpes, para nuestro caso el LL: 22,75%.

Figura 17.Grafica del Limite Liquido de la Muestra 02.



Fuente: Los Autores.

En la gráfica anterior se identifica la humedad que tiene a los 25 golpes ya que esta es el porcentaje de humedad representativo para la muestra según la Norma INVIAS. Para obtener este valor se debe tener en cuenta cada porcentaje de humedad en los tres puntos en el que se encontró la muestra, se realiza una correlación y regresión lineal de los datos para así encontrar el valor de la humedad a partir de los demás datos.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

6.3.3 **Ensayo de Límite Plástico.** El límite plástico es la humedad correspondiente en el cual la muestra se quiebra al formarse en rollitos pequeños. Para este ensayo se trabaja con el mismo material preparado para el límite líquido, se toma una porción de ella, se humedece hasta que tenga una consistencia a la cual se pueda enrollarse, ver Figura 18.

Figura 18.Porcion de Muestra.

Fuente: Los Autores.

Los rollitos deben ser delgados, se deben enrollar hasta que la muestra empiece a rajarse y tiende a desmoronarse, con esta característica del material en este ensayo se procede a poner los rollitos en los recipientes como lo indica la Figura 19 y tomar su peso para luego ser llevados al horno.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 19. Rollitos.

Fuente: Los Autores.

Se usaron los siguientes equipos:

-Balanza

-Horno

-Espátulas

-Recipientes

-Placa de vidrio

6.3.3.1 Muestra 01

Al realizar el ensayo de límite plástico los datos obtenidos se muestran en el *ANEXO E* , se toman tres tomas de misma muestra, en cada uno se determina el porcentaje de humedad que tiene la muestra en dicha toma.

Tabla 26. Datos de Limite Plástico de la Muestra 01.

	1	**2**	**3**
Recipiente No	9 A	13 A	34
Peso del suelo húmedo + recipiente	6,73	6,69	10,76

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Peso del suelo seco + recipiente	6,5	6,55	10,54
Peso del recipiente	5,63	5,61	9,3
% de humedad	26,4%	14,9%	17,7%

Fuente: Los Autores.

En donde el porcentaje de humedad se determina por la siguiente formula:

$$\%W = \frac{A - B}{B - C} * 100 \qquad \text{Ecuación 20}$$

Por consiguiente, se determina el límite plástico con la siguiente formula:

$$LP = \frac{\%W1 + \%W2 + \%W3}{3} \qquad \text{Ecuación 21}$$

Siendo así, el límite plástico en la muestra 1 es de 19,7%. Con los valores del límite líquido y límite plástico se determina el índice de plasticidad con la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP \qquad \text{Ecuación 22}$$

$$IP = 24{,}4\% - 19{,}7\% = 4{,}7\%$$

Siendo así, el índice de plasticidad es de 4,7%.

6.3.3.2 Muestra 02

Al realizar el ensayo de límite plástico los datos obtenidos se muestran en el *ANEXO F*, se toman tres tomas de misma muestra, en cada uno se determina el porcentaje de humedad que tiene la muestra en dicha toma.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 27.Datos de Limite Plástico de la Muestra 02.

	1	2	3
Recipiente No	21	28	13
Peso del suelo húmedo + recipiente	9,8	10,08	11,9
Peso del suelo seco + recipiente	9,61	9,96	11,77
Peso del recipiente	8,99	9,23	11,03
% de humedad	30,6%	16,4%	17,6%

Fuente: Los Autores.

En donde el porcentaje de humedad se determina por la siguiente formula:

$$\%W = \frac{A - B}{B - C} * 100 \qquad \text{Ecuación 23}$$

Por consiguiente, se determina el límite plástico con la siguiente formula:

$$LP = \frac{\%W1 + \%W2 + \%W3}{3} \qquad \text{Ecuación 24}$$

Siendo así, el límite plástico en la muestra 2 es de 21,6%. Con los valores del límite líquido y límite plástico se determina el índice de plasticidad con la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP \qquad \text{Ecuación 25}$$

$$IP = 22{,}75\% - 21{,}6\% = 1{,}2\%$$

Siendo así, el índice de plasticidad es de 1,2%.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

6.3.4 **Ensayo de CBR.** Para este ensayo las muestras se tomaron en insitu, teniendo en cuenta las medidas correspondientes para la extracción de la muestra. Estas muestras fueron llevadas a laboratorio como lo indica la crítico.

6.3.5 **Figura 20**, se tomaron respectivamente las deformaciones iniciales y se sumergen en un tanque de agua durante 4 días consecutivos como lo muestra la Figura 21 para mirar el punto más crítico.

Figura 20. Muestras en moldes para CBR.

Fuente: Los Autores.

En la figura anterior nos enseña la muestra que fue extraída en la vía a intervenir, luego se llevó al laboratorio para realizar en ensayo de CBR, en donde la muestra debe estar debidamente colocada en los moldes sugeridos por la norma.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 21. Muestra Sumergida.

Fuente: Los Autores.

Pasados los cuatro días, se retira la muestra del tanque se toma las deformaciones finales y se procede a colocar a la máquina de compresión y se coloca el pistón sobre la superficie como lo indica la Figura 22 para tomar las lecturas de deformación o penetración de cada una de las muestras.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 22. Máquina de Compresión.

Fuente: Los Autores.

Para este ensayo se realizó dos veces la toma de las muestras ya que la relación de soporte reportada para el suelo es normalmente la de 2.54 mm (0.1”) de penetración, cuando la relación a 5.08 mm (0.2”) de penetración es mayor, se repite el ensayo. Si el ensayo de comprobación da un resultado similar, se toma como resultado del ensayo la relación de soporte para 5.08 mm (0.2”) de penetración. según INVIAS, 2018. Por consiguiente, se mostrarán los resultados que se obtuvieron en cada muestra, teniendo en cuenta que el porcentaje del CBR a utilizar es el 0.2”.

6.3.5.1 Muestra 01

Al realizar el ensayo de CBR las lecturas registradas se en el *ANEXO G*. Con estos datos procedemos a obtener el porcentaje de CBR de la muestra, tanto en la deformación de 1pulgada y de 2 pulgadas como lo indica la Tabla 28.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 28. Resultados CBR muestra 01.

CBR N°:	1				
Def. (in)	Def. (mm)	Carg. (KN)	Carg. (Lbf)	PSI	%CBR
0,000	0,00	0	0,00	0,00	
0,025	0,64	0,14	30,80	9,80	
0,050	1,27	0,25	55,00	17,51	
0,075	1,91	0,33	72,60	23,11	
0,100	2,54	0,41	90,20	28,71	3%
0,125	3,18	0,5	110,00	35,01	
0,150	3,81	0,58	127,60	40,62	
0,175	4,45	0,67	147,40	46,92	
0,200	5,08	0,75	165,00	52,52	4%
0,225	5,72	0,82	180,40	57,42	
0,250	6,35	0,87	191,40	60,92	
0,275	6,99	0,92	202,40	64,43	
0,300	7,62	0,96	211,20	67,23	
0,325	8,26	0,99	217,80	69,33	
0,350	8,89	1,02	224,40	71,43	
0,375	9,53	1,05	231,00	73,53	

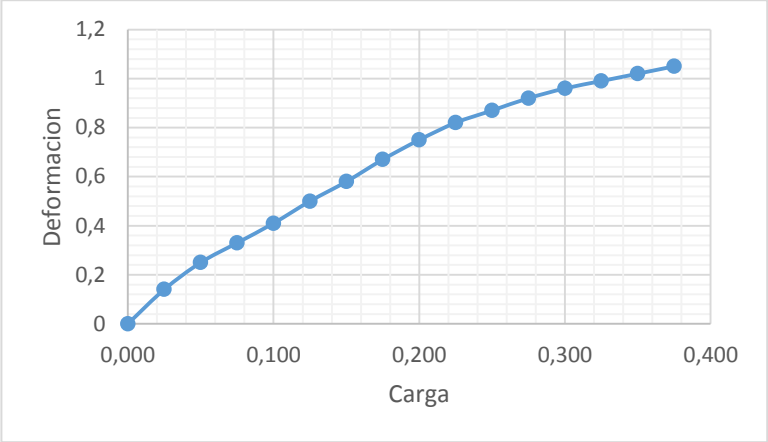
Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla nos indica los resultados obtenidos en el ensayo de CBR de la muestra No.1, estos datos son obtenidos en laboratorio por medio de la máquina de compresión que es la encargada de realizar y obtener los datos. Como lo indica la norma, se tiene en cuenta dos puntos de referencia que con en 0.1 y 0.2, en ellos se toma el valor del CBR adecuado teniendo en cuenta las especificaciones de la norma INVIAS.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Con estos datos se procede a graficar la deformación VS carga que se obtuvo en la muestra:

Figura 23. Grafica Deformación VS carga muestra 01.



Fuente: Los Autores.

De igual manera como la anterior tabla, esta grafica es obtenida por la máquina de compresión ya que ella hace un análisis interno y nos permite obtener esta grafica teniendo en cuenta la deformación y carga empleada en la muestra. Lo ideal para esta grafica es que sea de forma ascendente para lograr un buen resultado de la misma.

Además, se debe tener en cuenta el porcentaje de humedad que tiene la muestra y también el porcentaje de expansión, para determinar estos porcentajes se necesitan los siguientes datos como lo indica la Tabla 29.

T*abla 29. Datos para %Humedad y %Expansión Muestra 01.*

P1	
Peso muestra húmeda + Tara	384

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

P2 Peso muestra seca + Tara	330,0
P3 Peso Tara	105
DI Deformación Inicial	21,37
DF Deformación Final	14,35

Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla se establecen los valores para el porcentaje de humedad y el porcentaje de expansión que tiene la muestra No.1, se tiene en cuenta los pesos de la muestra en sus diferentes estados en el desarrollo del ensayo y las deformaciones que se obtienen en el antes y después de realizar el ensayo según la norma INVIAS.

En donde:

El porcentaje de humedad es:

$$\%W = \frac{P1 - P2}{P2 - P3} * 100$$ Ecuación 26

$$\%W = 24\%$$

El porcentaje de humedad que tiene la muestra es de 24, es decir que este es la humedad que tiene el suelo a la hora de realizar este ensayo.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

El porcentaje de expansión es:

$$\%Exp = \frac{DI - DF}{4{,}58} \qquad \text{Ecuación 27}$$

$$\%Exp = -1723{,}68\%$$

La expansión es negativa, es decir, que la muestra se contrajo durante el proceso del ensayo.

6.3.5.2 Muestra 02

Al realizar el ensayo de CBR las lecturas registradas se en el ANEXO H Con estos datos procedemos a obtener el porcentaje de CBR de la muestra, tanto en la deformación de 1pulgada y de 2 pulgadas como lo indica la Tabla 30

Tabla 30.Resultados CBR muestra 02.

Muestra No:	2				
Def. (in)	**Def. (mm)**	**Carg. (KN)**	**Carg. (Lbf)**	**PSI**	**%CBR**
0,000	0,00	0	0,00	0,00	
0,025	0,64	0,12	26,40	8,40	
0,050	1,27	0,22	48,40	15,41	
0,075	1,91	0,31	68,20	21,71	
0,100	2,54	0,41	90,20	28,71	3%
0,125	3,18	0,5	110,00	35,01	
0,150	3,81	0,58	127,60	40,62	
0,175	4,45	0,66	145,20	46,22	
0,200	5,08	0,75	165,00	52,52	4%
0,225	5,72	0,82	180,40	57,42	

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

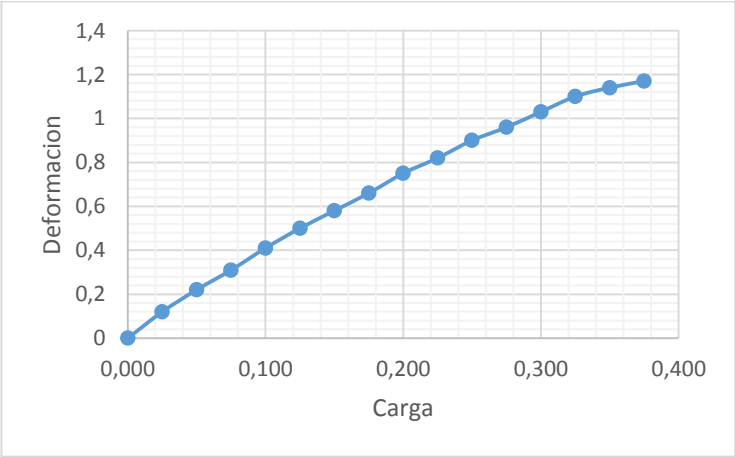
0,250	6,35	0,9	198,00	63,03	
0,275	6,99	0,96	211,20	67,23	
0,300	7,62	1,03	226,60	72,13	
0,325	8,26	1,1	242,00	77,03	
0,350	8,89	1,14	250,80	79,83	
0,375	9,53	1,17	257,40	81,93	

Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla nos indica los resultados obtenidos en el ensayo de CBR de la muestra No.2, estos datos son obtenidos en laboratorio por medio de la máquina de compresión que es la encargada de realizar y obtener los datos. Como lo indica la norma, se tiene en cuenta dos puntos de referencia que con en 0.1 y 0.2, en ellos se toma el valor del CBR adecuado teniendo en cuenta las especificaciones de la norma INVIAS.

Con estos datos se procede a graficar la deformación VS carga que se obtuvo en la muestra:

Figura 24.Grafica Deformación VS carga muestra 02.



Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

De igual manera como la anterior tabla, esta grafica es obtenida por la máquina de compresión ya que ella hace un análisis interno y nos permite obtener esta grafica teniendo en cuenta la deformación y carga empleada en la muestra. Lo ideal para esta grafica es que sea de forma ascendente para lograr un buen resultado de la misma.

Además, se debe tener en cuenta el porcentaje de humedad que tiene la muestra y también el porcentaje de expansión, para determinar estos porcentajes se necesitan los siguientes datos como lo indica la

Tabla **31**.

Tabla 31.Datos para %Humedad y %Expansión Muestra 02.

P1 Peso muestra húmeda + Tara	1650
P2 Peso muestra seca + Tara	1447
P3 Peso Tara	339
DI Deformación Inicial	13,25
DF Deformación Final	13,09

Fuente: Los Autores.

En la anterior tabla se establecen los valores para el porcentaje de humedad y el porcentaje de expansión que tiene la muestra No.2, se tiene en cuenta los pesos de la muestra en sus diferentes estados en el desarrollo del ensayo y las

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

deformaciones que se obtienen en el antes y después de realizar el ensayo según la norma INVIAS.

En donde:
El porcentaje de humedad es:

$$\%W = \frac{P1 - P2}{P2 - P3} * 100$$ Ecuación 28

$$\%W = 18{,}32\%$$

El porcentaje de humedad de la muestra es de 18,32%, es decir que este es la humedad que tiene el suelo a la hora de realizar este ensayo.

El porcentaje de expansión es:

$$\%Exp = \frac{DI - DF}{4{,}58}$$ Ecuación 29

$$\%Exp = 1039{,}19\%$$

La expansión es positiva, es decir, que la muestra se expande durante el proceso del ensayo.

6.4 DISEÑO ESTRUCTURAL

En este capítulo se hizo el diseño en pavimento flexible de la vía intervenida de la Carrera 2°A del Corregimiento de Gualanday por medio de dos métodos como lo son el método AASHTO y el método RACIONAL.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

6.4.1 **Método AASHTO.** Este método de diseño es aplicable para vías con tránsito de 8.2 toneladas y la ecuación utilizada para este diseño de pavimentos flexibles es:

Ecuación 30

$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32 \times \log(M_r) - 8.07$$

Dónde:

W_{18}: Número estimado de ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas.

ZR: Desviación estándar

S_o: Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento.

ΔPSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial (P_o) y el final (P_t).

M_R: Modulo resiliente.

SN: Numero estructural de diseño.
Para el SN se debe considerar los siguientes parámetros como lo son:

a: Coeficiente estructural de cada de la capa, el cual depende de la característica del material con que se construya.

d: Espesor de la capa en pulgadas (el método recomienda los siguientes espesores mínimos, ver Tabla 32

m: coeficiente de drenaje de la capa.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 32.Espesores mínimos.

Espesores mínimos (pulg.)		
No. De Ejes Equivalentes (millones)	**Concreto Asfáltico**	**Base Granular**
<0.05	1.0 o TSD	4
0.05 - 0.15	2.0	4
0.15 - 0.50	2.5	4
0.50 - 2.00	3.0	6
2.00 - 7.00	3.5	6
>7.00	4.0	6

Fuente: INVIAS, (Montejo, 2002).

Índice de serviciabilidad para este método se debe tener en cuenta el tipo de pavimento para determinar el índice de servicio inicial y el índice de servicio final, como el diseño se va a realizar en pavimento flexible, entonces P_o = 4 y P_t = 1,5.

$$\Delta PSI = P_o - Pt$$

$$\Delta PSI: 4 - 1.5 = 2.5$$

Coeficientes de drenaje se debe contar con información del IDEAM para conocer la cantidad de días que llueven en el año en la zona estudiada, para nuestro caso son 150 días al año que llueve, por lo tanto, el porcentaje de días anual es de 41% con esta información podemos obtener el valor del coeficiente de drenaje (m) con las siguientes tablas.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 33. Calidad de drenaje.

Calidad de drenaje	
Calidad del drenaje	**Tiempo que tarda el agua en ser evacuada**
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no se evacúa

Fuente: AASHTO 1986, Montejo, 2002.

En la anterior tabla se indica la calidad del drenaje que puede tener el diseño de la vía, con esto se pretende lograr que la calidad sea buena y así tener en cuenta el tiempo que tarda en evacuar el agua.

Tabla 34. Valores del coeficiente de drenaje Cd.

Valores del coeficiente de drenaje Cd				
Calidad del drenaje	**Porcentaje de tiempo en el que la estructura del pavimento esta expuesto a niveles de humedad**			
	Menos del 1%	**1% - 5%**	**5% - 25%**	**Más del 25%**
Excelente	1,25 - 1,20	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10
Bueno	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00
Mediano	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90
Malo	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Muy malo	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Fuente: AASHTO 1986. Montejo, 2002.

En la tabla anterior nos indica los porcentajes del coeficiente de drenaje, se debe tener en cuenta el porcentaje de los días que llueve y también la calidad del drenaje que para nuestro caso es bueno.

Siendo así, el valor de m2 y m3 es de 1.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Confiabilidad depende de la clasificación de la carretera como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla 35.Confiabilidad.

Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras		
Clasificación	**Nivel de confiabilidad recomendado**	
	Urbana	**Rural**
Autopistas interestatales y otras	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colestoras de Tránsito	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 -80	50 - 80

Fuente: Montejo, 2002.

Desviación estándar normal depende del valor que le damos a la confiabilidad del proyecto, como lo indica la siguiente figura, como la confiabilidad es del 80% entonces el ZR= -0,841.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 36. Desviación estándar normal.

Valores de Zr en función de la confiabilidad	
Confiabilidad R %	**Desviación normal estándar**
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: INVIAS. Montejo, 2002.

Error normal combinado se recomienda para el método AASHTO adoptar los siguientes valores teniendo en cuenta el tipo de pavimentación, para este caso el S_o = 0.45 ya que es una construcción nueva en pavimento flexible.

Tabla 37. Error normal combinado.

Proyecto de pavimento	**S o**	
	Rígido	**Flexible**
	0.30 – 0.40	**0.40 – 0.50**
Construcción nueva	0,35	0,45
Sobrecapas	*0,4*	*0,5*

Fuente: García, 2016.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Para iniciar este método, se debe conocer los valores de los módulos resilientes y los coeficientes de cada una de las capas, dichos valores se estiman a continuación.

Para el MR de la subrasante es:

$$MR = 1500 * CBR$$

$$MR = 1500 * 4 = 6000\ PSI$$

Para el MR del concreto asfaltico es:

Tabla 38. Valores de módulos de capas de pavimentos asfalticos.

Tabla 3.2.3.
Valores típicos de los módulos de capas de pavimentos asfálticos

MATERIAL	RANGO GENERAL (MPa)	VALOR TÍPICO (MPa)
Concreto asfáltico(*)	1,000-4,000	2,500
Base estabilizada con asfalto(*)	700-3,500	1,700
Grava cemento	2,000-7,000	4,000
Suelo cemento	350-700	500
Suelo cal	200-400	300
Base granular	140-280	210
Subbase granular	70-140	100
Subrasante granular	50-140	80
Subrasante fina	20-50	35

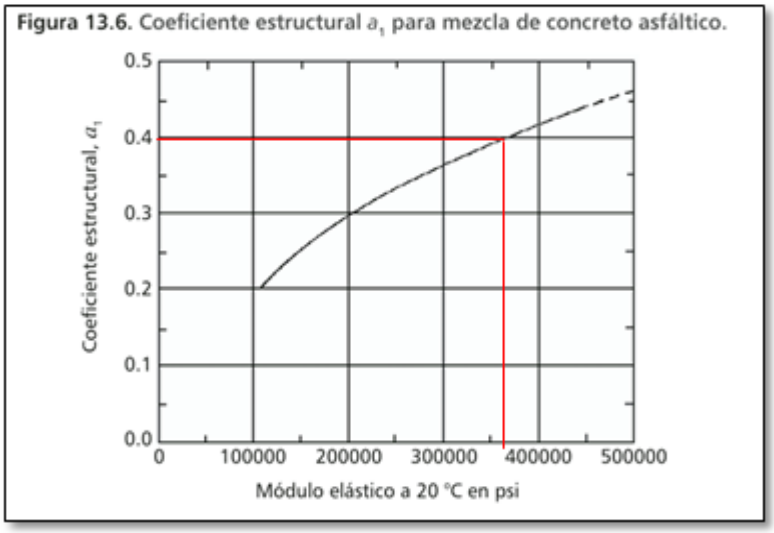
(*) Los módulos de las capas asfálticas son altamente dependientes de la temperatura y de la frecuencia de aplicación de la carga. Los valores indicados corresponden a temperaturas entre 20 °C y 30 °C y a las velocidades corrientes de circulación de los vehículos pesados en las carreteras colombianas.

Fuente: INVIAS, 2008.

Con el valor del módulo del concreto asfaltico en PSI obtenemos el valor del coeficiente estructural del concreto asfaltico por medio de la siguiente gráfica.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

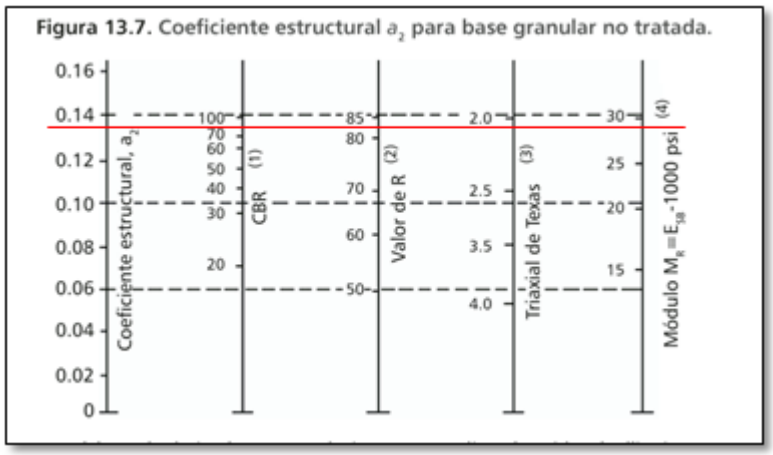
Figura 25. Grafica para hallar coeficiente estructural en función del módulo.



Fuente: AASHTO 1993. Montejo, 2002.

Para el MR y coeficiente estructural de la base granular depende del porcentaje del CBR de compactación que debe tener la estructura que es del 80% como lo indica la siguiente figura.

Figura 26.Coeficiente estructural y MR de la base.

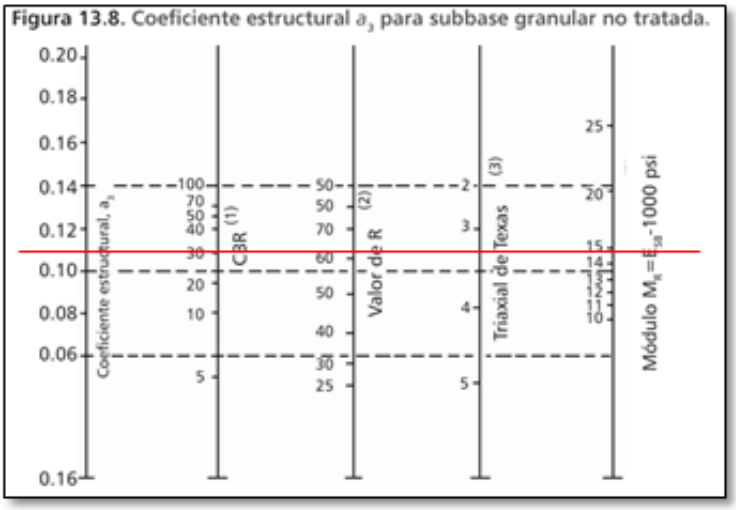


Fuente: AASHTO, 1993. Montejo, 2002.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Para el MR y coeficiente estructural de la subbase granular depende del porcentaje del CBR de compactación que debe tener la estructura que es del 30% como lo indica la siguiente figura.

Figura 27. Coeficiente estructural y MR de la subbase.



Fuente: AASHTO1993. Montejo, 2002.

Siendo así, se obtiene los siguientes datos:

Tabla 39. Datos obtenidos de la estructura No.1.

CBR	**4**		**%**
NESE	47398		
MR SUBR	6000	**PSI / MPA**	41,37
MR CR	362595	**PSI / MPA**	2500
a1	0,40		
MR BASE	28000	**PSI / MPA**	193,05
a2	0,13		

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

MR SUBASE	15000	**PSI / MPA**	103,42
a3	0,11		

Fuente: Los Autores.

Se determina los números estructurales por medio de la Ecuación *30* .

Tabla 40. Números Estructurales de estructura 01.

SN3	2,08
SN2	1,45
SN1	1,10

Fuente: Los Autores.

Los espesores de cada capa se determinan teniendo en cuenta los SN (números estructurales), además, se corrigen esos números estructurales ya que los espesores varían a los espesores mínimos según el Manual de Bajos Volúmenes de Transito de INVIAS.

Tabla 41.Espesores y SN corregidos estructura 01.

ESPESOR			**CORREGIDO**			
h1	2,74	pulg			**cm**	**pulg**
h1	**6,95**	**cm**	**SN1***	**1,183**	7,5	2,953
h2	2,03	pulg				
h2	**5,16**	**cm**	**SN2***	**0,770**	15	5,906
h3	3,25	pulg				

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

h3	**8,25**	**cm**	**SN3***	**0,354**	15	5,906

Fuente: Los Autores.

Siendo un pavimento un sistema de multicapa, la distribución de los espesores debe hacerse de acuerdo con los siguientes principios y así lograr los anteriores resultados.

$$h_1 corregido \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1 corregido = a_1 * h_1 corregido \geq SN_1$$

$$h_2 corregido \geq \frac{SN_2 - SN_1 corregido}{a_2 * m_2}$$

$$SN_1 corregido + SN_2 corregido \geq SN_2$$

$$h_3 corregido \geq \frac{SN_3 - (SN_1 corregido + SN_2 corregido)}{a_3 * m_3}$$

Para finalizar nuestra estructura queda compuesta con tres capas que son la capa asfáltica, base y subbase, como lo indica, los espesores mínimos que rige la norma INVIAS.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 28. Estructura típica de un pavimento flexible.

Fuente: INVIAS.2018.

La anterior imagen es la estructura que la Norma INVIAS propone para un buen diseño de una vía ya sea terciaria, secundaria o primaria. Se debe contar con capa de sub-base granular, base granular y carpeta asfáltica teniendo en cuenta que cada una de las capas tiene sus especificaciones tanto técnicas como constructivas para un diseño.

En nuestro caso, la estructura es la siguiente:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 29. Estructura por Método AASTHO

MDC-19	MR (Psi)	362595	a1	0,4
	MR (MPA)	2500		
	h1 (cm)	7,5		
BASE GRANULAR (Clase C BG-38)	MR (Psi)	28000	a2	0,13
	MR (MPA)	193,05		
	h2 (cm)	15		
SUBBASE GRANULAR (Clase C SBG-38)	MR (Psi)	15000	a3	0,11
	MR (MPA)	103,42		
	h3 (cm)	15		
SUBRASANTE	MR (Psi)	6000		
	MR (MPA)	41,37		
	CBR%	4		

Fuente: Los Autores

En la estructura anterior, cada capa se especificó de acuerdo con la Norma INVIAS, en la Mezcla Densa en Caliente (MDC) se tomó la del agregado de tamaño máximo 19mm, ya que es la que se está produciendo y comercializando en las plantas cercanas a la zona que son Martínez Y Asfaltemos. De igual manera la Base Granular (BG) y la Sub-base Granular (SBG) es de tipo C por el nivel de transito que se establece en el diseño, con una gradación de 38 según la franja granulométrica del material ya que estas son las que están en el mercado y comúnmente se van a producir en dichas plantas.

6.4.2 **Método Racional.** En este método se debe tener en cuenta los números de ejes equivalentes de la subrasante y la capa de rodadura. La metodología racional nos permite determinar los esfuerzos y las deformaciones admisibles de las capas de la siguiente forma:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Para las deformaciones:

$$\varepsilon_{t,ad} = \varepsilon_6(10°C, 25Hz) \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10°C)}{E(\theta_{eq})}} \times k_C \times k_r \times k_S$$

Tabla 42. Datos para la deformación.

Ɛ6	1,00E-04
Nf	28255,4
b	-0,2
E(10°C)	7200
T	30
E(Ɵeq)	1300
Kc	1,1
Kr	0,92
Ks	1
□t,ad	4,9,E-04

Fuente: Los Autores.

Dónde:

Ɛ6=deformación al millón de repeticiones, ver

Tabla **43**

NECr= ejes equivalentes de la capa de rodadura

b: pendiente de la ley de la fatiga, ver

Tabla 43

E(10°C) = módulo de elasticidad en la temperatura de 10°C, ver Tabla 44

T= temperatura.

E(Ɵeq)= módulo de elasticidad en la temperatura de 30°C, ver Tabla 44

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Kc= coeficiente de ajuste, ver

Tabla **43**

Ks= coeficiente de los defectos en la capacidad, ver Tabla 45 y Tabla 46

Kr= coeficiente de riesgo

Tabla 43. Características de materiales bituminosos en fatiga.

Caracteristicas de los materiales en fatiga					
Capa de material	**Deformación al millón de repeticiones Ɛz (10°C, 25Hz) X10⁴**	**Pendiente d ela Ley de la fatiga - 1/b**	**SN**	**Coeficiente de dispersión del espesor Sh**	**Coeficiente de ajuste**
BBSG	100	5	0,25	[3]	1,1
Grava asfáltica GB 1	70	5	0,4	[3]	1,3
Grava asfáltica GB 2	80	5	0,3	[3]	1,3
Grava asfáltica GB 3	90	5	0,3	[3]	1,3
Mezcla asfáltica de alto módulo EME 1	100	5	0,3	[3]	1,0
Mezcla asfáltica de alto módulo EME 2	130	5	0,25	[3]	1,0

[3] Sh depende del espesor puesto en obra
Sh = 0,01 m si h ≤ 0,10m
Sh = 0,025 m si h ≥ 0,15m
Sh = 0,01* 0,3(h-0,1) si 0,1 ≤h ≤0,15m

Fuente: Lizcano, 2003.

En la tabla anterior indica las características que deben tener los materiales como lo son la deformación al millón de repeticiones, pendiente de la ley de fatiga, coeficiente de dispersión del espesor y coeficiente de ajuste según la capa del material que vamos a utilizar en el diseño.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 44. Características de los materiales bituminosos.

Caracteristicas de los materiales bituminosos								
Módulo de elasticidad E (θ °C, 10 Hz) (Mpa)							E (15°C) (Mpa)	Relación de Poisson γ
θ [°C] Capa de material	-10	0	10	20	30	40		
BBSG	14.800	12.000	7.200	3.600	1.300	1.000	5.400	0.35
Grava asfáltica GB 1	18.000	14.000	9.000	5.000	2.000	800	7.000	0.35
Grava asfáltica GB 2	23.000	18.800	12.300	6.300	2.700	1.000	9.300	0.35
Grava asfáltica GB 3	23.000	18.800	12.300	6.300	2.700	1.000	9.300	0.35
Mezcla asfáltica de alto módulo EME 1	30.000	24.000	17.000	11.000	6.000	3.000	14.000	0.35
Mezcla asfáltica de alto módulo EME 2	30.000	24.000	17.000	11.000	6.000	3.000	14.000	0.35

Fuente: Lizcano, 2003.

En la anterior tabla nos muestra las características de los materiales bituminosos como es el módulo de elasticidad teniendo en cuenta la temperatura y el material.

Tabla 45.Tipos de plataformas.

Tipos de plataformas soporte	
Clase de plataforma	Módulo de elasticidad (Mpa)
PF1	20 a 50
PF2	50 a 120
PF3	120 a 200

Fuente: Lizcano, 2003.

En la tabla anterior nos indica los tipos de plataformas de soporte según el tipo de capa al que se vaya a emplear, para determinar el módulo de elasticidad en Mpa.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 46. Determinación de los coeficientes.

Determinación de los valores de los coeficientes		
Coeficiente	**Fenómeno**	**Valores**
Kc	Calibración	Ver tablas B.4, B.5 y B.6
kd	Discontinuidades (bordes y fisuras) y gradiente térmico (placas y concreto)	1/1,70 para BC 1/1,47 para BAC y BCg 0,80 para GCV 1 para los demás casos
kr	Riesgo y dispersiones	$kr = 10^{-ub\delta}$ donde, u = variable aleatoria (ley normal) $\delta = \sqrt{SN^2 + (c * \frac{Sh}{b})^2}$ SN: desviación estándar c: coeficiente que relaciona la parte aleatoria del espesor, c = 0,02 cm^{-2} Sh: dispersión del espesor (Ver tablas B.4, B.5 y B.6) b: Pendiente de la ley de fatiga
ks	Defectos en la capacidad portante del suelo soporte (PF)	1 para PF3 1/1.1 para PF2 1/1.2 para PF1
A	Deformación permanente	tránsito alto (≥T3) Suelo 12.000 Estructura inversa 14.400 tránsito bajo (<T3) Suelo y GRH 16.000

Fuente: Lizcano, 2003.

En la anterior tabla se determina los coeficientes de los defectos de la capacidad portante del suelo teniendo en cuenta la clase de plataforma a utilizar en el diseño y de la deformación permanente del suelo.

Para el coeficiente de riesgo (Kr) se debe tener en cuenta las siguientes formulas:

$$kr = 10^{-ub\delta}$$

Dónde:

u= variable aleatoria de la ley normal, ver

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla **47**

b= pendiente de la ley de fatiga, ver

Tabla **43**

Tabla 47. Determinación de riesgo.

Determinación del riesgo para cada estructura y tránsito					
Estructuras		**Tránsito**			
		T_5	**T_4**	**T_3**	**T_2**
	En material asfáltico	2%	5%	12%	25%
	Con material tratado con ligantes hidráulicos	2,5%	5%	7,5%	12%
Inversa	Material asfáltico	2%	5%	12%	25%
	Material tratado con ligantes hidráulicos	5%	10%	15%	24%
Mixta	Material asfáltico	2%	5%	12%	25%
	Material tratado con ligantes hidráulicos	3%	10%	20%	35%
Estructuras en	Cd Base	2,8%	5%	7,5%	11,5%
	Subarasante, salvo BAC y BCg	5,6%	10%	15%	23%
	Subarasante con BAC y BCg	50%	50%	50%	50%

Fuente: Lizcano, 2003.

En la anterior tabla se determina el riego para cada estructura y tránsito, como el tránsito de diseño es T1 entonces se toma en menor tránsito y una estructura en material asfaltico.

Tabla 48.Valores de la ley normal.

Determinación del valor de u con respecto al riesgo, basandose en la ley normal					
Riesgo (%)	**u**	**Riesgo (%)**	**u**	**Riesgo (%)**	**u**
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,170	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,8	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-0,842	20	-0,842	50	0

Fuente: Lizcano, 2003.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

En la anterior tabla se tiene en cuenta el porcentaje de riesgo para determinar el valor de la ley normal para el diseño.

$$\delta = \sqrt{\left[SN^2 + \left(c \cdot Sh/b\right)^2\right]}$$

Tabla 49. Datos obtenidos.

u	-0,674
SN	0,25
C	0,02
Sh	1
δ	0,269

Fuente: Los Autores.

Dónde:

SN= Desviación estándar, ver

Tabla **43**

c= coeficiente que relaciona la parte aleatoria del espesor, c= 0,02cm-1, ver Tabla 46

Sh= Dispersión del espesor, ver

Tabla **43**

b= pendiente de la ley de fatiga, ver

Tabla **43**

Para los esfuerzos:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

$$\varepsilon_{Z,ad} = A \times (NE)^{-0.222}$$

Donde

A= deformación permanente, ver Tabla 46

NE= número de ejes equivalentes de la subrasante.

Tabla 50. Datos obtenidos para los esfuerzos.

A	0,012
NE	33637,4
z,ad	1,19, E-03

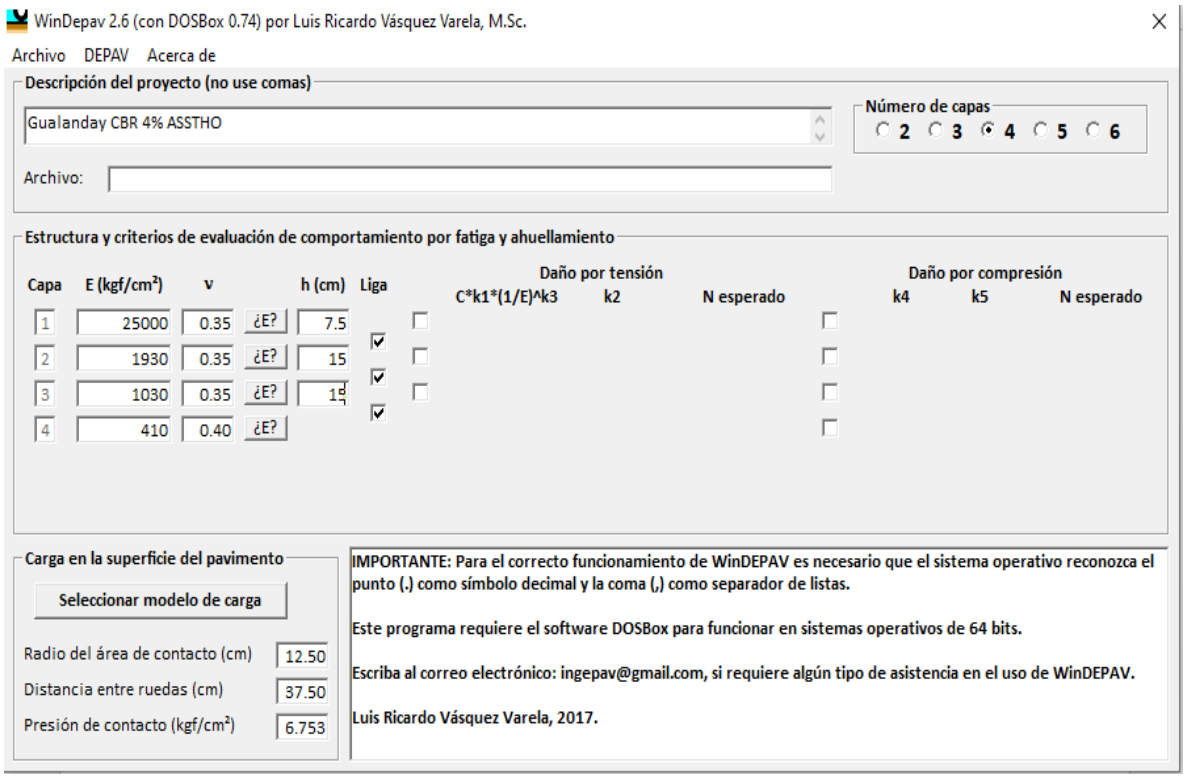
Fuente: Los Autores.

Ya determinando los esfuerzos y las deformaciones admisibles procedemos a modular por el programa WinDepav para mirar si estas deformaciones y esfuerzos admisibles cumplen con las deformaciones y esfuerzos totales de la estructura diseñada en los diferentes métodos.

Por el programa de WinDepav se realizó el siguiente procedimiento, en donde determinamos que los esfuerzos admisibles no cumplen con la estructura planteada en el método AASHTO y se debe a que la estructura no es la más indicada para soportar estos esfuerzos durante el periodo de diseño recomendado, en este caso se puede observar que la estructura supera los esfuerzos totales

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 30. Modulación WinDepav Estructura No.1



Fuente: Los Autores.

En la anterior figura, se modula la estructura en el programa de WinDepav, se tiene en cuenta el número de capas de la estructura, los módulos resiliente en Kgrf/cm², los espesores en cm y la carga que va a tener en la superficie del pavimento

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 31. Resultados WinDepav Estructura No.1

Resultados del análisis

Archivo

Descripción del proyecto Gualanday CBR 4% ASSTHO

Sistema de carga

Radio de las ruedas (cm)	12.50
Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	37.50
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²)	6.753

Posición del valor máximo para una carga

A Bajo una rueda simple
B Bajo una de las ruedas de la carga
C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

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

Número de capas: 4

No.	E (kgf/cm²)	ν	Z (cm)	Sigma T (kgf/cm²)		Sigma Z (kgf/cm²)		Épsilon T (microstrain)		N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)		N admisible	Factor de daño
1	2.500E+04	0.35	0.00	2.580E+01	B	6.751E+00	A	624.0	B			-408.0	B		
	Continua		7.50	-1.621E+01	B	3.233E+00	B	-503.0	B			565.0	A		
2	1.930E+03	0.35	7.50	3.538E-01	A	3.233E+00	B	-503.0	B			1510.0	B		
	Continua		22.50	-1.173E+00	C	1.152E+00	B	-695.0	C			951.0	B		
3	1.030E+03	0.35	22.50	-3.538E-01	C	1.152E+00	B	-695.0	C			1280.0	B		
	Continua		37.50	-7.220E-01	C	6.241E-01	C	-728.0	C			1040.0	C		
4	4.099E+02	0.40	37.50	-3.579E-02	C	6.241E-01	C	-728.0	C			1530.0	C		

Tracción (fatiga)

Compresión

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm)	140.39
Radio de curvatura (m)	66.93
Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100)	9396.3

Salir y descartar los resultados

Fuente: Los Autores.

En la figura nos indica los resultados que se obtuvo con la estructura indicada anteriormente, nos enseña la estructura de las interfaces y la evaluación del comportamiento por fatiga (tracción) y ahullamiento (compresión) teniendo en cuenta el sistema de carga, los módulos resilientes y espesores de cada capa.

Observando que la estructura realizada por el método AASHTO no cumple con los esfuerzos analizados por el método Racional, se procedió a realizar cambios a la estructura para lograr que los esfuerzos totales cumplan teniendo en cuenta los aspectos a considerar para el diseño de una vía, primordialmente que cumpla estos esfuerzos para así mismo dar una vida útil a este pavimento y que se lleve a cabalidad en el periodo de diseño recomendado para la estructura.

Se modificaron los espesores de la capa de rodadura y la subbase, haciendo diferentes estructuras con espesor variables para lograr el objetivo que es no

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

sobrepasar el valor de los esfuerzos totales como lo muestra la Tabla 51, a continuación la siguiente modulación por el programa de WinDepav es la que cumple cabalmente con los esfuerzos totales.

Tabla 51. Diferentes modulaciones por WinDepav.

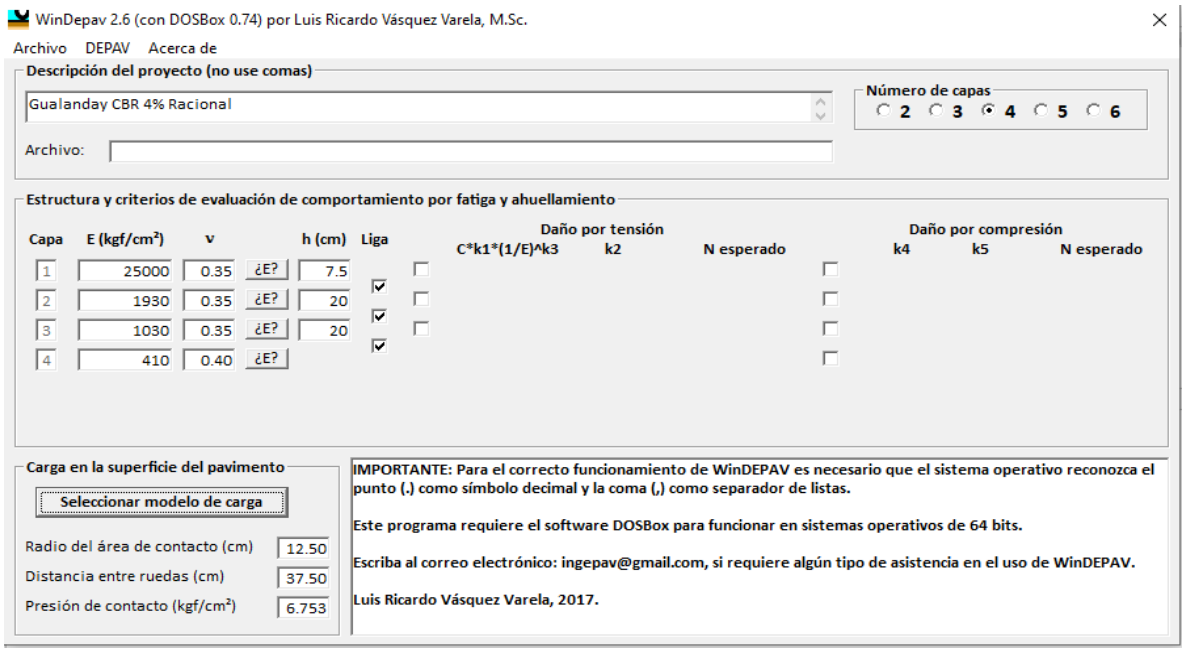
	espesores					
	MDC	**BASE**	**SUBASE**	**traccion (490)**	**compresion (1190)**	
	cm	cm	cm	microstrain	microstrain	CUMPLE
CBR 4%	7,5	15	15	503	1530	NO
	7,5	15	20	495	1340	NO
	7,5	20	20	472	1150	SI
	7,5	20	25	468	1020	SI
	7,5	25	25	456	888	SI
	10	15	15	451	1290	NO
	10	15	20	443	1150	SI
	10	20	20	423	1000	SI
	10	20	25	419	892	SI
	10	25	25	407	786	SI
	10	15	25	437	1020	SI
	15	15	15	340	933	SI

Fuente: Los Autores.

En la tabla nos indica las diferentes combinaciones que se realizó para obtener la estructura que cumple cabalmente con los esfuerzos totales según el método Racional, se tomó la estructura que se acercaba a los esfuerzos hallados en el método mencionado anteriormente.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 32. Modulación WinDepav Estructura modificada.



Fuente: Los Autores.

En la figura se da a conocer la nueva estructura que cumple con los esfuerzos totales del método Racional, en las capas de base y sub-base sus espesores fueron aumentados para lograr el valor de los esfuerzos.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 33. Resultados WinDepav Estructura modificada.

Resultados del análisis

Archivo

Descripción del proyecto Gualanday CBR 4% Racional

Sistema de carga

Radio de las ruedas (cm)	12.50
Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	37.50
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²)	6.753

Posición del valor máximo para una carga

A Bajo una rueda simple
B Bajo una de las ruedas de la carga
C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

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

Número de capas: 4

No.	E (kgf/cm²)	ν	Z (cm)	Sigma T (kgf/cm²)		Sigma Z (kgf/cm²)		Épsilon T (microstrain)		N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)		N admisible	Factor de daño
								Tracción (fatiga)				Compresión			
1	2.500E+04	0.35	0.00	2.437E+01	B	6.751E+00	A	582.0	B			-374.0	B		
	Continua		7.50	-1.509E+01	B	3.324E+00	B	-472.0	B			546.0	A		
2	1.930E+03	0.35	7.50	4.864E-01	B	3.324E+00	B	-472.0	B			1520.0	A		
	Continua		27.50	-9.606E-01	C	9.667E-01	C	-570.0	C			778.0	C		
3	1.030E+03	0.35	27.50	-2.702E-01	C	9.667E-01	C	-570.0	C			1050.0	C		
	Continua		47.50	-5.455E-01	C	4.619E-01	C	-534.0	C			786.0	C		
4	4.099E+02	0.40	47.50	-3.212E-02	C	4.619E-01	C	-534.0	C			1150.0	C		

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm)	126.75
Radio de curvatura (m)	72.49
Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100)	9188.3

Salir y descartar los resultados

Fuente: Los Autores.

En la figura nos indica los resultados estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga (tracción) y ahullamiento (compresión) de la estructura que cumplió con los esfuerzos según el método Racional.

Por consiguiente, la estructura final es la siguiente:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 34. Estructura Final del Diseño.

MDC-19	MR (Psi)	362595	a1	0,4
	MR (MPA)	2500		
	h1 (cm)	7,5		
BASE GRANULAR (Clase C BG-38)	MR (Psi)	28000	a2	0,13
	MR (MPA)	193,05		
	h2 (cm)	20		
SUBBASE GRANULAR (Clase C SBG-38)	MR (Psi)	15000	a3	0,11
	MR (MPA)	103,42		
	h3 (cm)	20		
SUBRASANTE	MR (Psi)	6000		
	MR (MPA)	41,37		
	CBR%	4		

Fuente: Los Autores.

En la estructura anterior, cada capa se especificó de acuerdo con la Norma INVIAS, en la Mezcla Densa en Caliente (MDC) se tomó la del agregado de tamaño máximo 19mm, ya que es la que se está produciendo y comercializando en las plantas cercanas a la zona que son Martínez Y Asfaltemos. De igual manera la Base Granular (BG) y la Sub-base Granular (SBG) es de tipo C por el nivel de transito que se establece en el diseño, con una gradación de 38 según la franja granulométrica del material ya que estas son las que están en el mercado y comúnmente se van a producir en dichas plantas.

6.4.2.1 Presupuesto

Para este diseño se realizó un presupuesto para la vía de la Carrera 2°A del Corregimiento de Gualanday del Municipio de Coello-Tolima, como lo indica la siguiente tabla:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Tabla 52. Presupuesto de la Obra Vial.

PRESUPUESTO DE OBRA		
"PAVIMENTACIÓN VIAL DE LA CARRERA 2°A DEL CORREGIMIENTO DE GUALANDAY, MUNICIPIO DE COELLO-TOLIMA"		
ITEM	**DESCRIPCION**	**VALOR**
1	PAVIMENTACIÓN VIA	$ 257.513.988,00
2	SARDINEL PREFABRICADO EN CONCRETO	$ 47.558.950,00
3	ANDENES EN CONCRETO 2500 PSI	$ 103.766.723,00
4	SEÑALIZACIÓN	$ 5.514.840,00
	COSTO TOTAL OBRA (DIRECTOS)	$ 414.354.501,00
	VALOR DEL AIU DEL 30%	$ 124.306.350,30
	VALOR TOTAL DEL PROYECTO	$ 538.660.851,30

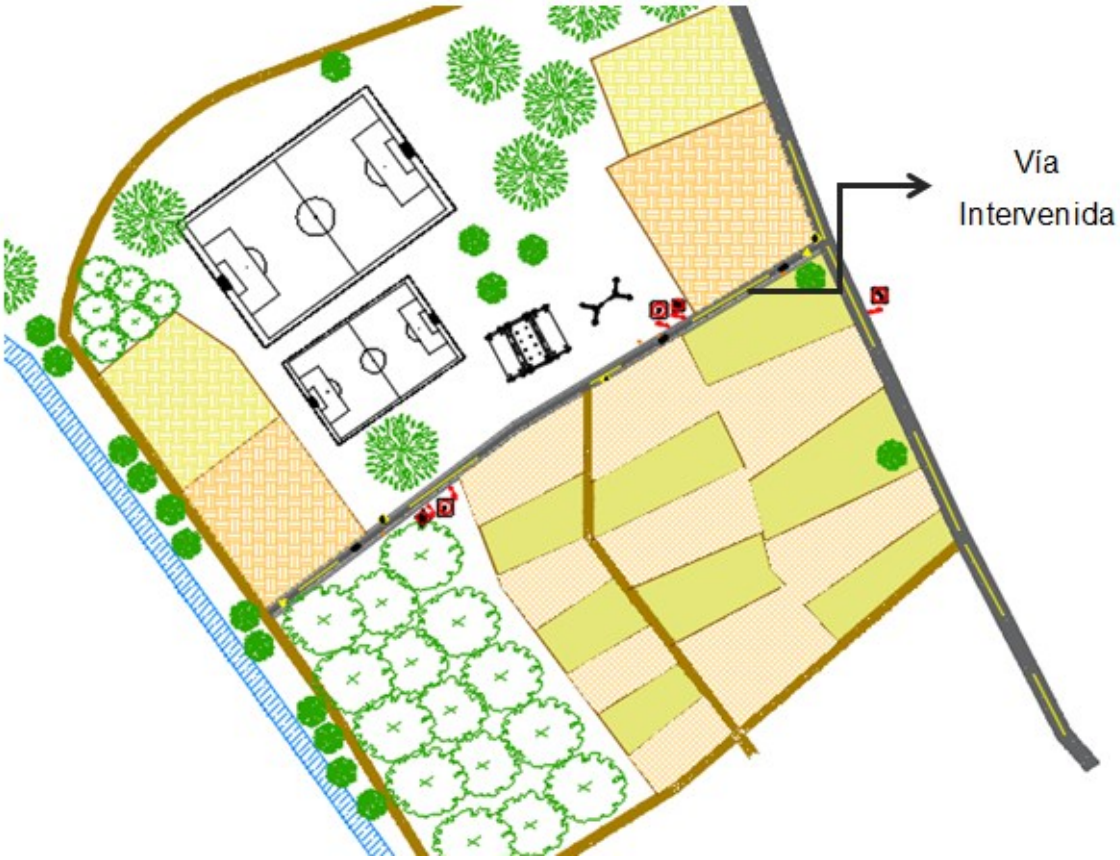
Fuente: Los Autores.

En la tabla anterior se describen los Ítems con su respectivo valor que se tuvieron en cuenta en el presupuesto de la obra vial de la Carrera 2°A del Corregimiento de Gualanday del Municipio de Coello-Tolima. Cada Ítem tiene sus respectivas actividades para la ejecución de del proyecto vial, ver ANEXO I

Para tener una visualización de cómo quedaría la vía intervenida, contemplando los ítems del presupuesto como la señalización de la vía, los andenes y sardineles que se realizaran para que el peatón transite por la vía sin ningún inconveniente se reflejará en la siguiente figura:

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Figura 35. Plano de la Vía Intervenida.



Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

7. CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado a la zona permitió conocer el estado de esta vía terciaria y sus alrededores, con el cual, se logró determinar que dicha vía no es óptima, pues, es una vía de constante uso por parte de habitantes del corregimiento de gualanday en Coello, Tolima. Algunos de los dichos habitantes tienen fincas en las cuales poseen sus cultivos que les permite una forma de ingreso, también se observa que es una vía, la cual, se encuentra sin ninguna obra de ingeniería civil como una estructura de pavimento, drenajes, andenes y demás obras ingenieriles que permitan mejorar la movilidad y la calidad de vida de sus habitantes.

Al realizar ensayos en la subrasante se caracterizó el suelo, el cual, fue una arena bien gradada cuyo comportamiento es permeable y también es susceptible ante variaciones en el contenido de humedad esto determinado con los ensayos de límites y granulometría; con el ensayo de CBR que obtuvo como resultado un 4% en la subrasante, se puede tener en cuenta la norma INVIAS (la cual es la que rige el diseño de vías en Colombia), y esta define que se pude manejar para el diseño un CBR mínimo del 3%, este valor junto con el estudio de transito nos permite diseñar la estructura que cumpla con los requerimientos y que a su vez de adapte al tipo de terreno donde estará nuestra estructura.

El aforo vehicular realizado en la zona nos mostró un flujo de transito bajo debido a esto se manejó un tránsito atraído el cual nos permite manejar de mejor manera el uso que le dan los habitantes de la zona y sus alrededores, este parámetro debe realizarse de manera rigurosa ya que es parte fundamental para iniciar el diseño de nuestro proyecto obteniendo el nivel de tránsito y el número de ejes equivalentes que transitaran en nuestro proyecto par así garantizar los parámetros que harán que cumpla con lo requerido anteriormente.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

En total se propusieron 2 diseños posibles para la estructura, la mejor forma de realizarlo es con las estructuras diseñadas con el método racional en el cual para este diseño se hizo uso del programa WindePav, con este inicialmente se calcularon los esfuerzos y deformaciones admisible; y con esto en el programa, se hayan los espesores que permitirán garantizar que la estructura cumplirá con los requisitos establecidos, y de igual manera, la vida útil de esta en el periodo de diseño determinado; así mismo, este diseño brinda un óptimo funcionamiento. Cabe aclarar que la estructura definida para trabajar se debió realizar un análisis estructural que permitiera garantizar que el diseño será el más apto, tanto factible, económico y funcional; que este inicialmente requiere.

Se deben plantear diferentes opciones que permitan garantizar el diseño de un pavimento y que este cumpla siempre con las normas y requerimientos establecidos, para así, garantizar y dar solución a los problemas presentes, es de esta manera que por medio de la infraestructura vial se puede crear un avance y desarrollo socio-económico.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

8. RECOMENDACIONES

- Las muestras de laboratorio se deben tomar de manera que no se afecten sus propiedades en el transporte de esta, de igual manera, se deben garantizar que estos ensayos sean realizados por entes que cumplan con las normas de calidad, que sean certificados y que garanticen que los resultados sean los reales de nuestro proyecto.
- A la hora del proceso constructivo de la estructura se deben cumplir las especificaciones técnicas, en este caso para Colombia, los parámetros establecidos por el instituto nacional de vías INVIAS, que permita garantizar el funcionamiento y calidad de nuestra obra.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

9. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Coello. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal.* Coello: Alcaldía de Coello.

CEMEX. (s.f.). Obtenido de https://www.cemexcolombia.com/productos/agregados/base-granular

Fundación Laboral de la Construcción. (2006). *Diccionario de la Construcción*. Obtenido de http://www.diccionariodelaconstruccion.com/procesos-productivos-obra-civil/firmes-y-pavimentos/capa-de-rodadura

García, I. A. (19 de Octubre de 2016). *Diseño de Pavimento Flexible Metodo AASHTO 93*. Obtenido de Slideshare: https://es.slideshare.net/ribbrian/0500-diseo-de-pavimentos-flexibles-asshto-93

Instituto Nacional de Vias. (s.f.). *Web niños INVIAS*. Obtenido de https://inviaskids.invias.gov.co/index.php/que-es-invias.html

INVIAS. (2007). *Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volumenes de tránsito.* Bogotá : Ministerio de Transporte.

INVIAS. (2008). *Guía metodoloógica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras.* Bogotá: Ministerio de Transporte.

INVIAS. (2013). Glosario de Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá: Ministerio de Transporte.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Lizcano, F. A. (2003). *Diseño Racional de Pavimentos.* Bogotá: Centro Editorial Javeriano CEJA.

Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras.* Bogotá: Ediciones y Publicaciones.

Quintana, P. J. (2016). Obtenido de https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/529/1/Gallego%20Quintana%2C%20Pedro%20Juli%C3%a1n%20-%202017.pdf

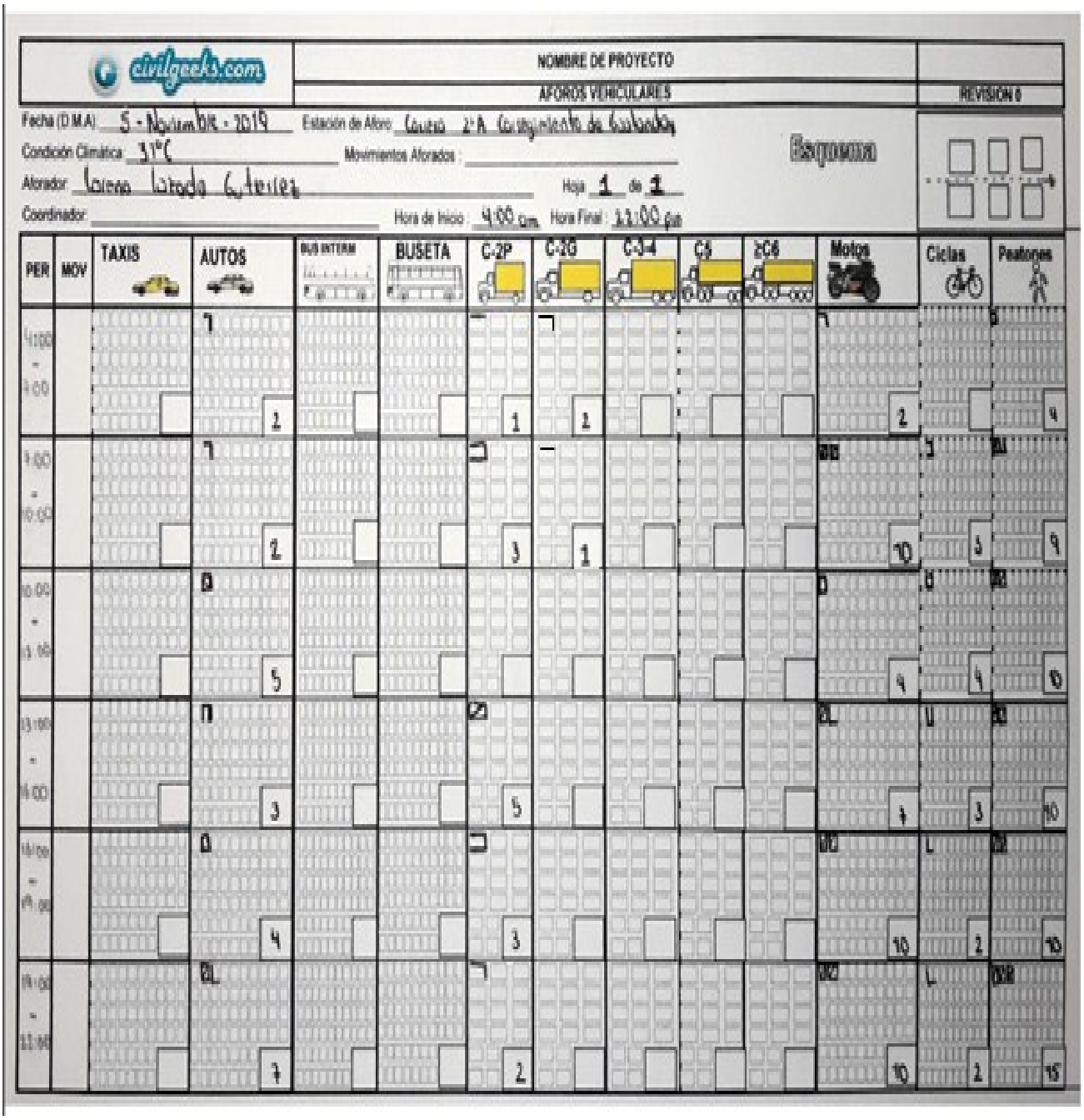
Reyes, F. A. (2018). *Diseño de pavimentos flexibles por metodología racional.* Mexico .

Varela, L. R. (2019). *Ingepav -windepav*. Obtenido de https://sites.google.com/site/windepav

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

10. ANEXOS

ANEXO A. Aforo vehicular del día 05-11-2019



civilgeeks.com

NOMBRE DE PROYECTO

AFOROS VEHICULARES

REVISION 0

Fecha (D.M.A): 5 - Noviembre - 2019 Estación de Aforo: Cruce 2° A (Cartagenita de Gualanday)

Condición Climática: 31°C Movimientos Aforados:

Aforador: Lorena Estrada Gutiérrez Hoja 1 de 1

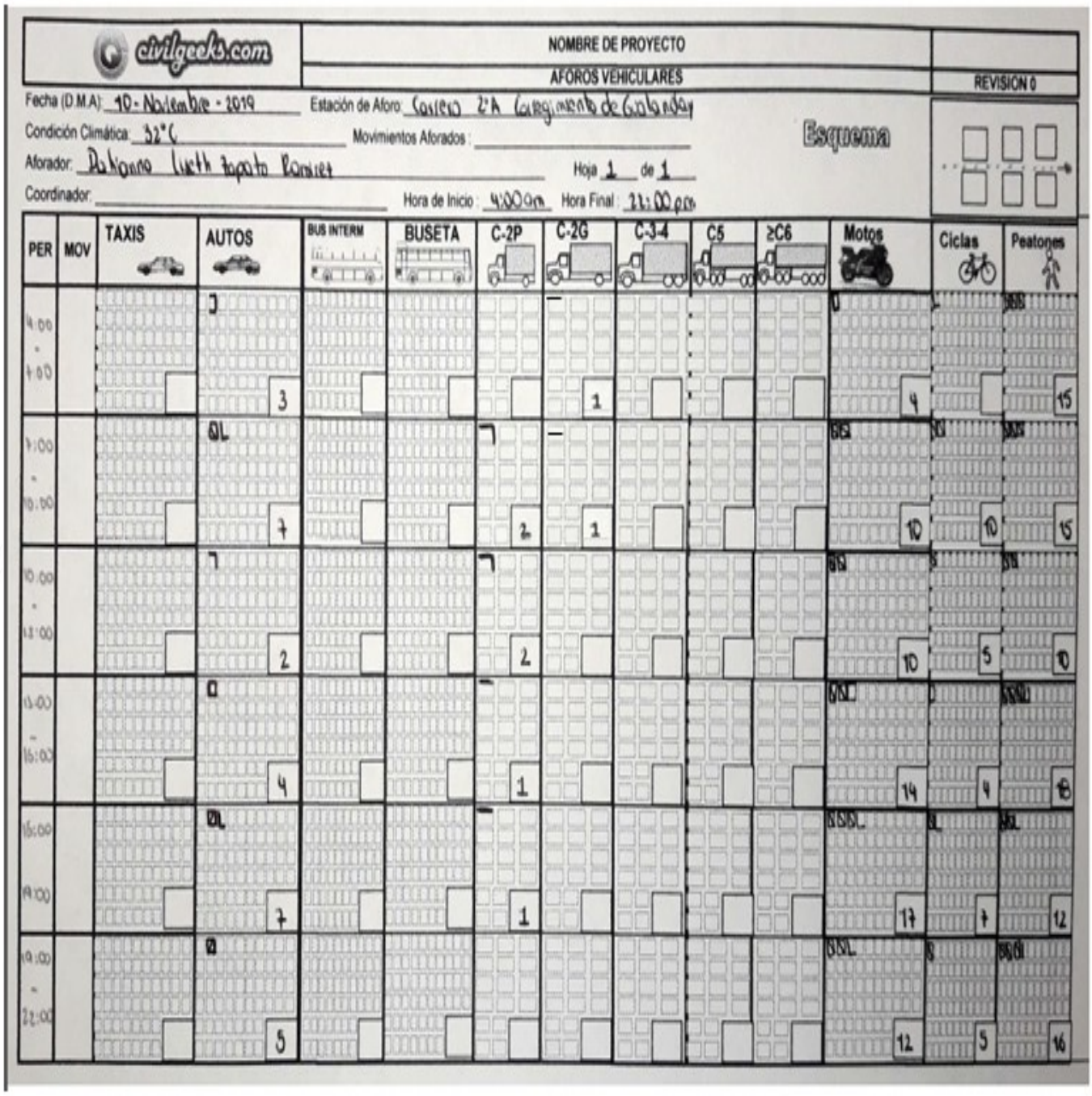
Coordinador: Hora de Inicio: 4:00 pm Hora Final: 12:00 pm

PER	MOV	TAXIS	AUTOS	BUS INTERM	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥C6	Motos	Ciclas	Peatones
4:00 - 4:00			2			1	2				2		4
4:00 - 10:00			2			3	1				10	3	9
10:00 - 13:00			5								4	4	10
13:00 - 16:00			3			5					7	3	10
16:00 - 19:00			4			3					10	2	10
19:00 - 22:00			7			2					10	2	15

Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO B. ***Aforo Vehicular de*** **día 10-11-2019.**



civilgeeks.com

NOMBRE DE PROYECTO

AFOROS VEHICULARES

REVISION 0

Fecha (D.M.A): 10-Noviembre-2019 Estación de Aforo: Cruce 2'A Cartagena de Chaparral

Condición Climática: 32°C Movimientos Aforados:

Aforador: Adriana Lucia Zapata Ramirez Hoja 1 de 1

Coordinador: Hora de Inicio: 4:00 pm Hora Final: 22:00 pm

Esquema

PER	MOV	TAXIS	AUTOS	BUS INTERM	BUSETA	C-2P	C-2G	C-3-4	C5	≥C6	Motos	Ciclas	Peatones
4:00 - 7:00			3				1				4		15
7:00 - 10:00			7			2	1				10	10	15
10:00 - 13:00			2			2					10	5	10
13:00 - 16:00			4			1					14	4	18
16:00 - 19:00			7			1					17	7	12
19:00 - 22:00			5								12	5	16

Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO C. Análisis Granulométrico de la Muestra 1.

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA	REGISTRÓ DE DATOS ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO -LABORATORIO DE GEOTECNIA-	Codigo: Fecha: julio 2012

Codigo de recepcion:
Codigo de muestra: 01
Codigo de ensayo a realizar: M-001
Identidicacion del ensayo:
Norma: INV E-123

Fecha de recepción		
Año	Mes	Dia
2019	11	01

TAMIZ (mm)	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)
75	3"	
50	2"	
37,5	1 1/2"	
25	1"	
19,0	3/4"	
9,5	3/8"	34,0
4,75	Nº 4	23,3
2,36	Nº 8	19,4
2,00	Nº 10	—//—
1.10	Nº 16	23,3
0,850	Nº 20	—//—
0,600	Nº 30	40,0
0,425	Nº 40	32,9
0,300	Nº 50	27,9
0,250	Nº 60	19,2
0,150	Nº 100	61,0
0,106	Nº 140	—//—
0,075	Nº 200	51,2
FONDO		5,3

	Peso (g)
P1	696
P2	650
P3	105
P4	441

P1: Peso de la muestra humeda mas recipiente
P2: Peso de la muestra seca mas recipiente
P3: Peso del recipiente
P4: Peso de la muestra despues de lavada mas recipiente

Observaciones:

Nombre y apellido de quien realiza el ensayo	Firma	Fecha del Ensayo		
		Año	Mes	Dia
Guerra Torada				

Nombre y apellido de quien realiza el ensayo	Firma	Fecha de la aprobación		
		Año	Mes	Dia
Dahianna Zapata				

Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO D. Análisis Granulométrico Muestra 2

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA	REGISTRÓ DE DATOS ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO -LABORATORIO DE GEOTECNIA-	Codigo: Fecha: Julio 2012

Codigo de recepcion:
Codigo de muestra: 02
Codigo de ensayo a realizar: N-002
Identidicacion del ensayo:
Norma: INV E-123

Fecha de recepción		
Año	Mes	Dia
2019	11	01

TAMIZ (mm)	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)
75	3"	
50	2"	
37,5	1 1/2"	
25	1"	
19,0	3/4" ½"	
9,5	3/8"	3,2
4,75	Nº 4	3,8
2,36	Nº 8	15,6
2,00	Nº 10	-//-
1,10	Nº 16	32,4
0,850	Nº 20	-//-
0,600	Nº 30	46,6
0,425	Nº 40	37,0
0,300	Nº 50	30,8
0,250	Nº 60	23,4
0,150	Nº 100	83,8
0,106	Nº 140	-//-
0,075	Nº 200	68,4
FONDO		14,8

	Peso (g)
P_1	843
P_2	733
P_3	93
P_4	454,4

P_1: Peso de la muestra humeda mas recipiente
P_2: Peso de la muestra seca mas recipiente
P_3: Peso del recipiente
P_4: Peso de la muestra despues de lavada mas recipiente

Observaciones:

Nombre y apellido de quien realiza el ensayo	Firma	Fecha del Ensayo		
		Año	Mes	Dia
Lorena Lozada				

Nombre y apellido de quien realiza el ensayo	Firma	Fecha de la aprobación		
		Año	Mes	Dia
Dahiana Zapata				

Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO E. Limite Líquido y Limite Plástico de la Muestra 01.

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA	REGISTRO DE DATOS LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS -LABORATORIO DE GEOTECNIA-	Código: FAM2-196 Versión: 1 Fecha: Octubre 2012

Código de recepción:

Código de ensayo a realizar: M-001

Identificación del ensayo:

Código de muestra: 01

Normas: INV E 125 - 126

Fecha de recepción		
Año	Mes	Día
2019	11	01

LÍMITE LÍQUIDO				
	1	2	3	4
N°. de Golpes	15	28	46	
Recipiente N°:	11	30	43	
Peso del suelo húmedo + recipiente	40,48 gr	28,12 gr	36,04 gr	
Peso del suelo seco + recipiente	35,24 gr	25,04 gr	32,50 gr	
Peso del recipiente	14,86 gr	11,96 gr	16,90 gr	

LÍMITE PLÁSTICO				
	1	2	3	4
Recipiente N°:	9A	13A	34	
Peso del suelo húmedo + recipiente	6,73 gr	6,69 gr	10,76 gr	
Peso del suelo seco + recipiente	6,50 gr	6,55 gr	10,54 gr	
Peso del recipiente	5,63 gr	5,61 gr	9,30 gr	

Observaciones:

Nombre y apellido de quien realiza el ensayo	Firma	Fecha del ensayo		
Lorena Lorado Gutierrez	Lorena Lorado Gutierrez	Año	Mes	Día
		2019	11	01

Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO F. Limite Líquido y Limite Plástico de la Muestra 02.

UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA	REGISTRO DE DATOS LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS -LABORATORIO DE GEOTECNIA-	Código: FAMQ-196 Versión: 1 Fecha: Octubre 2012

Código de recepción:

Código de ensayo a realizar: M-002

Identificación del ensayo:

Código de muestra: 02

Normas: INVE 125 - 126

Fecha de recepción		
Año	Mes	Día
2019	11	01

LÍMITE LÍQUIDO				
	1	2	3	4
N°. de Golpes	45	28	17	
Recipiente N°:	4	6	13	
Peso del suelo húmedo + recipiente	36,64 gr	32,72 gr	27,54 gr	
Peso del suelo seco + recipiente	32,72 gr	29,43 gr	24,52 gr	
Peso del recipiente	14,51 gr	14,58 gr	11,71 gr	

LÍMITE PLÁSTICO				
	1	2	3	4
Recipiente N°:	21	28	13	
Peso del suelo húmedo + recipiente	9,80 gr	10,08 gr	11,90 gr	
Peso del suelo seco + recipiente	9,61 gr	9,96 gr	11,77 gr	
Peso del recipiente	8,99 gr	9,23 gr	11,03 gr	

Observaciones:

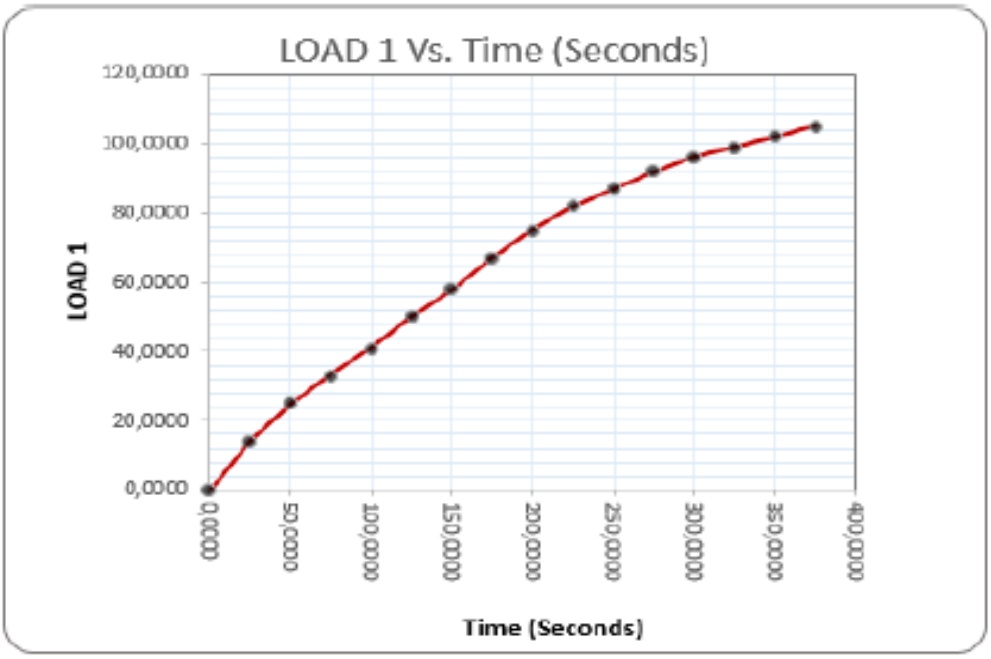
Nombre y apellido de quien realiza el ensayo	Firma	Fecha del ensayo		
		Año	Mes	Día
Dahiana Lisetth Zapata Ramirez	Dahiana Zapata.	2019	11	01

Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO G. Lecturas registradas de la Muestra 01.

CBR/LBR Test



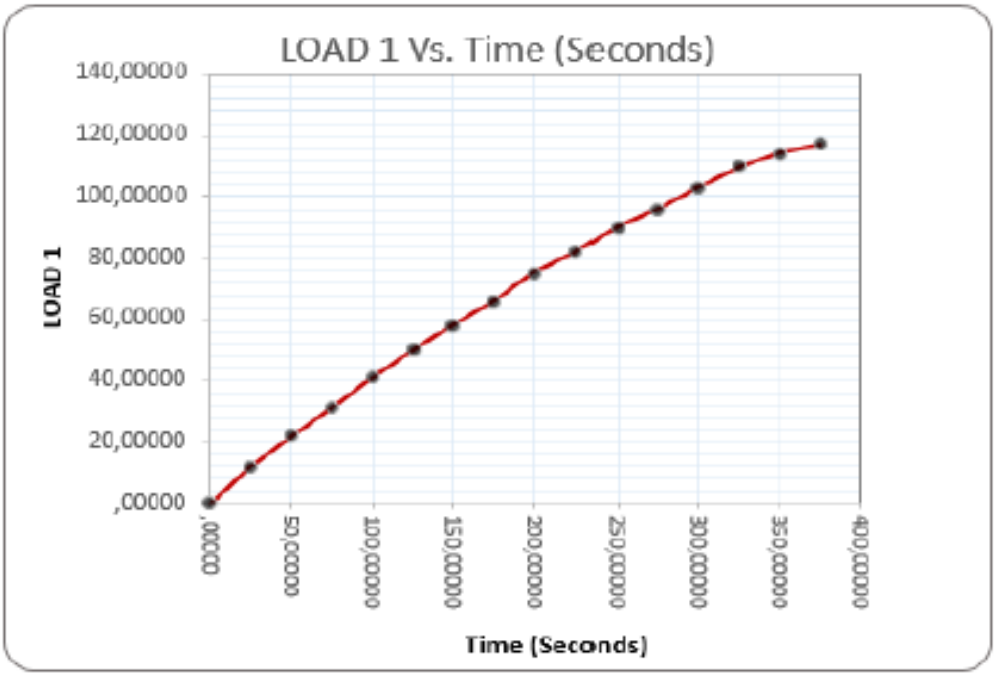
Read #	Time	LOAD 1	DISP 1
1	00:00:00.0	0,0000	0,0000
2	00:00:30:0	14,0000	25,0000
3	00:01:01:0	25,0000	50,0000
4	00:01:32:0	33,0000	75,0000
5	00:02:13:0	41,0000	100,0000
6	00:02:42:0	50,0000	125,0000
7	00:03:11:0	58,0000	150,0000
8	00:03:41:0	67,0000	175,0000
9	00:04:12:0	75,0000	200,0000
10	00:04:43:0	82,0000	225,0000
11	00:05:13:0	87,0000	250,0000
12	00:05:44:0	92,0000	275,0000
13	00:06:14:0	96,0000	300,0000
14	00:06:43:0	99,0000	325,0000
15	00:07:13:0	102,0000	350,0000
16	00:07:42:0	105,0000	375,0000

Fuente: INVIAS,2018.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO H. Lecturas registradas de la Muestra 02.

CBR/LBR Test



Read #	Time	LOAD 1	DISP 1
1	00:00:00.0	0,0000	0,0000
2	00:00:31:0	12,0000	25,0000
3	00:01:00:0	22,0000	50,0000
4	00:01:30:0	31,0000	75,0000
5	00:02:01:0	41,0000	100,0000
6	00:02:33:0	50,0000	125,0000
7	00:03:03:0	58,0000	150,0000
8	00:03:33:0	66,0000	175,0000
9	00:04:02:0	75,0000	200,0000
10	00:04:32:0	82,0000	225,0000
11	00:05:01:0	90,0000	250,0000
12	00:05:32:0	96,0000	275,0000
13	00:06:03:0	103,0000	300,0000
14	00:06:35:0	110,0000	325,0000
15	00:07:05:0	114,0000	350,0000
16	00:07:35:0	117,0000	375,0000

Fuente: INVIAS, 2018.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

ANEXO I. Presupuesto Vial del Diseño.

PRESUPUESTO DE OBRA "PAVIMENTACIÓN VIAL DE LA CARRERA 2°A DEL CORREGIMIENTO DE GUALANDAY, MUNICIPIO DE COELLO-TOLIMA"						
ITEM		DESCRIPCION	UND	CANT	VALOR UNITARIO+ AIU	VALOR PARCIAL
1		PAVIMENTACIÓN VÍA				
1,1		EXCAVACION EN MATERIAL COMUN DE LA EXPLANACION	M3	2.016,00	20.045,50	$ 40.411.728,00
1,2		NIVELACION Y COMPACTACION SUBRASANTE	M2	1.680,00	1.567,11	$ 2.632.745,00
1,3		GEOTEXTIL NO TEJIDO NT-2500	M2	1.680,00	6.992,89	$ 11.748.055,00
1,4		CARGUE, SUMINISTRO , EXTENDIDA Y COMPACTACION DE BASE GRANULAR	M3	336,00	150.332,68	$ 50.511.780,00
1,5		CARGUE, SUMINISTRO , EXTENDIDA Y COMPACTACION DE SUB BASE GRANULAR	M3	336,00	140.648,08	$ 47.257.755,00
1,6		Imprimacion emulsion asfaltica rompimiento lento	M2	1.680,00	2.594,92	$ 4.359.466,00
1,7		SUMINISTRO Y COLOCACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO MDC-25 (RODADURA) INCLUYE TRANSPORTE, EXTENDIDA Y COMPACTADA	M3	126,00	798.352,85	$ 100.592.459,00
2		SARDINEL PREFABRICADO EN CONCRETO TIPO A10				
2,1		EXCAVACIONES VARIAS	M3	105,00	33.365,35	$ 3.503.362,00
2,2		SUMINISTRO,EXTENDIDA Y COMPACTACION DE RECEBO	M3	42,00	110.716,50	$ 4.650.093,00
2,3		SUMINISTRO E INSTALACION DE SARDINEL PREFABRICADO EN CONCRETO TIPO A10	MI	700,00	54.057,42	$ 37.840.194,00
2,4		CARGUE Y RETIRO DE SOBRANTES HASTA 8 KM	M3	105,00	14.907,63	$ 1.565.301,00
3		ANDENES EN CONCRETO 2500 PSI E: 0,10 CMS ANCHO 1,00 MTS				
3,1		EXCAVACIONES VARIAS	M3	168,00	33.365,35	$ 5.605.379,00
3,2		SUMINISTRO,EXTENDIDA Y COMPACTACION DE RECEBO	M3	168,00	118.906,50	$ 19.976.292,00
3,3		CONCRETO CLASE E (175 kg/cm2 ó 2500 PSI) e=0.10m	M2	840,00	68.171,00	$ 57.263.640,00
3,4		CARGUE Y RETIRO DE SOBRANTES HASTA 8 KM	M3	168,00	14.907,63	$ 2.504.482,00
3,5		LINEA GUIA DISCAPACITADOS VISUALES	M	700,00	26.309,90	$ 18.416.930,00
4		SEÑALIZACION				
4,1		LINEA DE DEMARCACION CON PINTURA EN FRIO	M	1.050,00	1.988,20	$ 2.087.610,00
4,2		SEÑALIZACION VERTICAL	UND	9,00	380.803,31	$ 3.427.230,00
					COSTO TOTAL OBRA (DIRECTOS)	$ 414.354.501,00
					VALOR DEL AIU DEL 30%	$ 124.306.350,30
					VALOR TOTAL DEL PROYECTO	$ 538.660.851,30

Fuente: Los Autores.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.