



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**PRE-DISEÑO CONSTRUCTIVO DE UNA PLACA HUELLA EN LA VEREDA SAN
ANDRÉS EN LA MESA, CUNDINAMARCA**

**ANDRÉS MOZZO LÓPEZ
2147284**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2019**

**PRE - DISEÑO CONSTRUCTIVO DE UNA PLACA HUELLA EN LA VEREDA
SAN ANDRÉS EN LA MESA CUNDINAMARCA**

**ANDRÉS MOZZO LOPEZ
2147284**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2019**

**PRE - DISEÑO CONSTRUCTIVO DE UNA PLACA HUELLA EN LA VEREDA
SAN ANDRÉS EN LA MESA CUNDINAMARCA**

**ANDRÉS MOZZO LOPEZ
2147284**

TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR:

ING. SEBASTIÁN RIVERA PARDO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2019**

TABLA DE CONTENIDO

1. TÍTULO	10
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
3. DESCRIPCION DETALLADA DEL PROYECTO	12
3.1 Localización del proyecto	12
4. JUSTIFICACION.....	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1 Objetivo general	15
5.2 Objetivos específicos.....	15
6. MARCO REFERENCIAL.....	16
6.1 Marco teórico.....	16
6.1.1 Estudio de suelos	17
6.1.2 Pavimento rígido	18
6.1.3 Método de diseño de pavimentos ASSTHO	21
6.1.4 Métodos de diseño de la PCA	22
6.1.5 Penetrómetro Dinámico de Cono	23
6.1.6 Valor de la relación de soporte (CBR)	24
6.1.7 Diseño constructivo de placa huellas	24
6.1.8 Materiales	25
6.2 Marco conceptual	27
6.3 Marco metodológico	28
6.4 Marco histórico	30
6.4.1 Situación actual de placa huella en Colombia	31
6.4.2 Diseños y construcciones de placa huella realizados en la Mesa Cundinamarca	32
6.5 Normatividad aplicable	33
6.6 Flujograma	34
6.7 Cronograma	35
7. CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO	37
7.1 Localización del proyecto	37
7.2 Diagnóstico de la situación existente	38

7.3	Topografía de la zona.....	39
7.3.1	Geomorfología de la zona	40
7.3.2	Litología de la zona	40
7.4	Reconocimiento en campo y diagnóstico de la vía actual.	41
8.	ESTUDIO DE SUELOS.....	46
8.1	Muestreo y ensayos	46
8.2	Profundidad de sondeos.....	46
8.3	Ensayos de laboratorio.....	46
8.4	Cálculos del suelo	46
8.4.1	Cálculo de CBR de diseño	46
8.4.2	Subrasante.....	48
8.4.3	Estratigrafía del suelo.....	48
9.	ESTUDIO DE TRÁNSITO	54
9.1	Parámetros para estimación de tránsito	55
9.1.1	Tránsito promedio diario (TPD)	55
9.1.2	Periodo de diseño y vida útil.....	55
9.1.3	Tasa de crecimiento seleccionada	55
9.1.4	Distribución direccional	56
9.1.5	Capacidad de soporte de diseño	57
9.1.6	Factores de distribución	58
9.1.7	Factor de equivalencia	58
9.1.8	Factor camión	60
9.2	Cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton.....	60
9.2.1	Cálculo de factor de equivalencia por tipo de vehículo proyectado.	60
9.2.2	Cálculo de numero de ejes equivalentes en el carril de diseño	61
10.	ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO	64
10.1	Área de drenaje.....	64
10.2	Precipitación total	65
10.3	Método racional.....	69
10.3.1	Parámetros de ajuste	69
10.4	Curvas de intensidad, duración y frecuencia	74
10.5	Obras de drenaje	76

10.6	Caudal de diseño	78
11.	DISEÑO DE ESTRUCTURA.....	82
11.1	Modelación de pavimentos en placa – huella con programa de elementos finitos. 82	
11.2	Diseño de pavimento rígido por la metodología AASTHO-93.....	91
11.2.1	Factores de diseño.....	91
11.3	Diseño estructural de la placa huella.....	99
11.3.1	Afirmado de la superficie	100
11.3.2	Hierro	100
11.3.3	Vigas riostras o de confinamiento.....	101
11.3.4	Cuneta	102
11.3.5	Concretos.....	103
11.3.6	Acero de refuerzo.....	103
12.	PRESUPUESTO.....	104
	Bibliografía	109

Lista de Imágenes

Imagen 1.	Localización del municipio de la Mesa Cundinamarca	12
Imagen 2.	Localización del municipio de la Mesa Cundinamarca	37
Imagen 3.	Perfil topográfico del proyecto.....	39
Imagen 4.	Litología de Cundinamarca	40
Imagen 5.	Modelo placa huella planta	99
Imagen 6.	Modelo placa huella perfil	99
Imagen 7.	Detalle armadura de hierro de placas	100
Imagen 8.	Detalle varillas viga riostra	100
Imagen 9.	Armadura viga riostra corte transversal	101
Imagen 10.	Armadura viga riostra corte longitudinal	101
Imagen 11.	Refuerzo viga riostra.....	102
Imagen 12.	Refuerzo y estribos de viga riostra.....	102
Imagen 13.	Refuerzo de cuneta	103

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Proyección de tránsito.....	20
Ecuación 2. Relación de esfuerzos.....	23
Ecuación 3. Factor de equivalencia	59
Ecuación 7. Caudal máximo	69
Ecuación 8. Tiempo de concentración, método de la FAA.....	71
Ecuación 9. Tiempo de concentración, método de Kerby	71
Ecuación 10. Tiempo de concentración, método de SCS	71
Ecuación 11. Velocidad superficial	72
Ecuación 12. Intensidad de precipitación	73
Ecuación 13. Intensidad de precipitación	75
Ecuación 14. Caudal de diseño	78
Ecuación 4. Calculo para diseño de pavimento rígido método AASHTO	91
Ecuación 5. Módulo de rotura.....	94
Ecuación 6. Módulo de elasticidad del concreto.	95

Lista de tablas

Tabla 1. Franjas granulométricas del material subbase	19
Tabla 2. CBR de diseño	47
Tabla 3. Categorías de cbr y subrasante	47
Tabla 4. Características y uso de los suelos (SUCS)	51
Tabla 5. Clasificación de vehículos.....	54
Tabla 6. Tasas de crecimiento de la red vial nacional.....	56
Tabla 7. Factor direccional	57
Tabla 8. Diseño de resistencia	57
Tabla 9. Factores de distribución por carril (Fca.).....	58
Tabla 10. Expresiones de factor de equivalencia.....	59
Tabla 11. Cargas patrón y exponenciales para el cálculo de factor de equivalencia	60
Tabla 12. Cargas de equivalencia por eje.....	61
Tabla 13. Cálculo de factor de equivalencia y factor camión.	61
Tabla 14. Parámetros para cálculo de numero de ejes equivalentes	62
Tabla 15. Numero de ejes equivalentes.	63
Tabla 16. Áreas aferentes obtenidas de Google Earth	65
Tabla 17. Precipitación máxima en 24 horas	67
Tabla 18. Precipitación anual máxima en 24 horas	68
Tabla 19. Coeficientes de escorrentía	70
Tabla 20. Periodo de retorno	70

Tabla 21. Coeficiente de retardo (m)	71
Tabla 22. Parámetro (a)	72
Tabla 23. Parámetros de la microcuenca de la zona en estudio	72
Tabla 24. Valores de tiempo de concentración	73
Tabla 25. Parámetros de ajuste de regresión, valores de a, b, c y d para cálculo de curvas IDF.....	74
Tabla 26. Valores calculados curvas IDF.....	75
Tabla 27. Esfuerzo máximo de tensión para diferentes posiciones de carga (MPa)	89
Tabla 28. Niveles de confiabilidad	92
Tabla 29. Índice de serviciabilidad final.	93
Tabla 30. Valores para la desviación estandar	94
Tabla 31. Coeficientes de transmisión de carga.	95
Tabla 32. Coeficiente de drenaje	96
Tabla 33. Relación entre los valores de K y otras propiedades del suelo.	97
Tabla 34. Parámetros de diseño para pavimento rígido método AASHTO	97
Tabla 35. Presupuesto final	105
Tabla 36. Estratigrafía sondeo No. 1	112
Tabla 37. Estratigrafía sondeo No. 2	113
Tabla 38. Estratigrafía sondeo No.3	114
Tabla 39. Resultados de curvas de penetración de CBR sondeo No.1.....	115
Tabla 40. Resultados de curvas de penetración de CBR sondeo No.2.....	117
Tabla 41. Resultados de curvas e penetración de CBR sondeo No.3.....	118

Lista de figuras

Figura 1. Perfil de cuneta	77
Figura 2. Sección de cuneta triangular	79

Lista de fotografías

Fotografía 1. Estado actual de la vía	41
Fotografía 2. Estado actual.....	42
Fotografía 3. Estado actual de la vía	43
Fotografía 4. Alcantarilla.....	44
Fotografía 5. Estado actual de la vía	45

Lista de gráficos

Gráfico 1. Detalle de clasificación en la zona de $LL < 60$ y el $IP < 30$	49
Gráfico 2. Curvas IDF	76
Gráfico 3. Esfuerzos máximos de tensión en función espesor de placa	90
Gráfico 4. Curvas de penetración de CBR sondeo No.1	115
Gráfico 5. Curvas de penetración de CBR sondeo No.2	116
Gráfico 6. Curvas de penetración de CBR sondeo No.3	117

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Información de estación Las Mercedes suministrada por el IDEAM .	65
Ilustración 2. Localización de estación	66

Lista de anexos

Anexo 1	112
Anexo 2	113
Anexo 3	114
Anexo 4	115
Anexo 5	115
Anexo 6	116
Anexo 7	117
Anexo 8	117
Anexo 9	118

1. TÍTULO

PRE - DISEÑO ESTRUCTURAL DE PLACA HUELLA EN LA VEREDA SAN
ANDRÉS EN LA MESA CUNDINAMARCA.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los factores más principales para el pre diseño de placa huella que se implican en una vía terciaria como la de la vereda San Andrés en la Mesa Cundinamarca para la realización de una placa huella?

La vereda San andes es un lugar turístico debido a sus zonas de paisajismo y cultivo, sobre todo cultivos tan importantes como el mango y los cítricos ya que desde el 2009 aumentó su crecimiento de hectáreas de cultivo a unas 1400 hectáreas aproximadamente, el PIB per cápita de Cundinamarca se estima en unos (\$14.534.726) participando en un 5.1%, uno de los mayores crecimientos en Colombia.¹ Pero esta vía terciaria que conecta la vereda y la autopista principal presenta dificultad en la intercomunicación terrestre debido a la gran cantidad de vehículos que pasan por esta zona y en algunos casos en las épocas de invierno, generando problemas de movilización vehicular y transporte de productos alimenticios que produce la vereda generando una vía terciaria deficiente para esta población. Se ha requerido intervención del municipio, pero estas solicitudes no han sido atendidas de forma seria y rápida, haciendo que los vecinos de la vereda se queden quietos y la problemática se prolongue por más tiempo.

Mediante este proyecto, se implementará un diseño de una placa huella tipo para esta problemática y mejorar la calidad de vida de las personas y la calidad de servicio de la vía dándole mejor transitabilidad y estabilidad para que el beneficiario haga uso de esta vía de forma más segura.

¹ Gobierno de cundinamarca. (2013). Estadísticas de cundinamarca.

3. DESCRIPCION DETALLADA DEL PROYECTO

3.1 Localización del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de La Mesa Cundinamarca, el cual está situado en la Provincia del Tequendama a 54 km al suroeste de Bogotá, la capital colombiana, entre las coordenadas 4° 37' 49" N y 74° 27' 45" O. La Mesa es la capital de la Provincia del Tequendama, una de las 15 en que se encuentra dividido el Departamento de Cundinamarca. A La Mesa se puede llegar por la carretera que lleva a la población de Girardot a través de una ruta que pasa por Fontibón, Mosquera, La Mesa, Anapoima, Apulo y Tocaima. Tiene alrededor de 14.000 habitantes en su casco urbano.

El proyecto está localizado en la vereda San Andrés, vía las palmas a 4.8 km de la mesa, donde se realizará un tramo de 200 metros de placa huella.

Imagen 1. Localización del municipio de la Mesa Cundinamarca



Fuente: (Accolombia, 2016)

4. JUSTIFICACION

La mala intercomunicación de la infraestructura terrestre en las vías terciarias de los municipios genera efectos negativos en la productividad de una región. De esta manera se presenta congestión en las vías, aumento de los tiempos de viaje y un efecto negativo en el incremento de los costos de operación que genera la región.²

Pese a esta problemática, no solo la congestión es un problema, las vías terciarias son vías que comunican las cabeceras municipales con las veredas y también unen veredas entre sí, haciendo que el flujo vehicular diariamente sea significativo para la vía, deteriorándola cada día más.

Estas deficiencias también pueden afectar el traslado de pacientes hacia los hospitales o centro de salud, inasistencia de estudiantes a escuelas y colegios y pérdida o sobre costos de los productos que se comercializan en la región.

Por eso es necesario que la comunidad cuente con vías habilitadas para desplazarse en las diferentes zonas de sus municipios, con lo cual se genera ahorros en transporte, poder comercializar sus productos y acceder a servicios como salud, educación y trabajo.

La infraestructura vial es una gran importancia para la intercomunicación de diferentes comunidades y para el desarrollo económico del país en donde el hombre ha logrado abrir vías que logran comunicar un sitio de otro, de igual forma ha ido mejorando el estado de las mismas, esto ha beneficiado así la economía, el transporte y el turismo de pueblos y ciudades.³

²Romero, A. C. (30 de 01 de 2016). Proceso constructivo y presupuesto para un kilómetro de plaza huella en la vía acolsure. Obtenido de <http://repositorio.ufps.edu.co:8080/dspaceufps/bitstream/123456789/1006/1/28567.pdf>

³ Romero, A. C. (30 de 01 de 2016). Proceso constructivo y presupuesto para un kilómetro de plaza huella en la vía acolsure. Obtenido de <http://repositorio.ufps.edu.co:8080/dspaceufps/bitstream/123456789/1006/1/28567.pdf>

En vías terciarias, las placa huellas son muy comunes, además, la construcción de pavimentos en placa-huella se ha incrementado en Colombia en los últimos años, este tipo de pavimento se utiliza para vías rurales con bajo tránsito.

Aplicando las especificaciones y las normas técnicas como las del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), la construcción de la placa huella en la vereda San Andrés en la Mesa Cundinamarca, mejorara la viabilidad y el tránsito vehicular que diariamente se presencia en esta vía.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Realizar el pre-diseño estructural de una placa huella en la vereda San Andrés en la Mesa Cundinamarca en una longitud aproximada de doscientos metros (200m), con el fin de realizar un mejoramiento y mantenimiento de la vía.

5.2 Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda detallada de los antecedentes de una Placa Huella tipo para su respectiva elaboración de diseño.
- Recopilación bibliográfica de los estudios de la zona para elaborar el diseño de la placa huella.
- Elaborar los diseños estructurales de la Placa Huella tipo.
- Realizar el presupuesto de obra de la Placa Huella con sus respectivos precios unitarios y costo total final.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 Marco teórico

Una placa huella es un elemento estructural utilizado en las vías terciarias, con el fin de mejorar la superficie de tránsito vehicular en terrenos que presentan mal estado de tránsito y requiere un mejoramiento a mediano plazo. Una placa huella se refiere a la elaboración, transporte, colocación y vibrado de una mezcla de concreto hidráulico reforzado, dispuesto en dos placas separadas por piedra pegada (concreto ciclópeo), de acuerdo con los lineamientos, cotas, secciones y espesores indicados los diseños.⁴

Las placas huella son una buena opción para caminos y vías terciarias donde se deben realizar intervenciones, ya que son vías de buena calidad y que se pueden ejecutar a un bajo costo gracias a que el tiempo de construcción es corto y no es necesario maquinaria pesada ni implementos caros, además de que se pueden generar soluciones de acceso en las cuales la comunidad puede ayudar a ejecutar la construcción. Las vías terciarias son caminos transitables durante cualquier época del año y no necesita altos costos de mantenimiento.⁵

Según el INVIAS, las carreteras en Colombia se clasifican así (Instituto nacional de vías, 2016):

⁴ Departamento nacional de planeación. (08 de 2016). Proyectos tipo. Obtenido de Proyectos tipo: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/placahuella/ptplacahuella.pdf>

⁵ Asocreto. (4 de 12 de 2015). 360° en concreto. Obtenido de 360° en concreto: <http://blog.360gradosenconcreto.com/caminos-en-concreto-como-opcion-para-vias-terciarias/>

- **Primarias**

Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países.

Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto.

Las carreteras consideradas como Primarias deben funcionar pavimentadas.

- **Secundarias**

Son aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria.

Las carreteras consideradas como Secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.

- **Terciarias**

Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias.

6.1.1 Estudio de suelos

En este proyecto es necesario identificar la calidad de los materiales que van a servir como base y sub-base en la obra, se debe verificar la capacidad portante del material que se va a usar.

Según el manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito (INVIAS, 2007), resultados menores al 3% en el ensayo de Relación suelo soporte (Norma INVIAS I.N.V E-148), caracterizan suelos blandos de baja calidad para comportamiento como sub-rasante. En el caso que se presente esta condición es necesario considerar procedimientos de mejoramientos o estabilización para el suelo o relleno analizado.⁶

6.1.2 Pavimento rígido

Sus funciones son análogas a las de una subbase en un pavimento flexible y sirve también para proporcionar una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa y facilite su colado, protege también a la losa de cambios volumétricos en la subrasante, que de otra manera inducirán esfuerzos adicionales a esta.⁷

Subrasante

La subrasante es el perfil de las terracerías terminadas del camino y la rasante es el perfil de la superficie de rodamiento que por lo general es paralela a la subrasante.

La función de esta subrasante es soportar las cargas que el pavimento transmite y darle estabilidad para que tenga mejor calidad esta capa de pavimento.

Subbase granular

Es la capa granular localizada entre la subrasante y la base granular en los pavimentos asfálticos que da soporte a los pavimentos de concreto hidráulicos.⁸

⁶ Departamento nacional de planeación. (2015). Rehabilitación vías terciarias mediante uso de placa huella. Bogotá, Colombia.

⁷ Juarez, B., & Rico, R. (2004). *teoria y aplicaciones de la mecanica de suelos*. Mexico: Limusa.

⁸ Artículo 320-07. *Subbase granular*. Bogota, Colombia.

La superficie en el que apoya el material granular de la Placa Huella debe estar nivelada y compactada un 95% teniendo en cuenta el ensayo de compactación Proctor modificado (I.N.V.E 142).

Si los materiales utilizados no cumplen con la granulometría, se podrá corregir la granulometría mediante la ayuda del cálculo de fracción que pasa el tamiz No. 40, este debe representar un límite líquido menor o igual al 40% y un índice de plasticidad menor o igual al 6%.⁹

Tabla 1. Franjas granulométricas del material subbase

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA	
NORMAL	ALTERNO	SBG-1	SBG-2
50.0 mm	2"	100	
37.5 mm	1 ½ "	70-95	100
25.0 mm	1"	60-90	75-95
12.5 mm	½"	45-75	55-85
9.5 mm	3/8"	40-70	45-75
4.75 mm	No.4	25-55	30-60
2.0 mm	No.10	15-40	20-45
425 µm	No.40	6-25	8-30
75 µm	No.200	2-15	2-15

Fuente (INVIAS, Artículo 320-07)

Losas de concreto

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.¹⁰

⁹ Artículo 320-07. *Subbase granular*. Bogotá, Colombia.

¹⁰ Hernandez, J. C. (2015). Placa huella para red terciaria un acercamiento para el diseño y construcción. Bogotá.

Losas de concreto simple

Las losas de concreto simple, son las losas que no tienen ningún refuerzo estructural. Según el diseño de estas losas, se pueden unir mediante dovelas o barras de transferencia colocadas en las juntas transversales dándole una transferencia de carga entre ellas.

Losas de concreto reforzado

Las losas de concreto reforzado se usan cuando las placas de concreto son entre 7 y 15 metros de longitud, en este sistema se usa juntas de contracción y acero de refuerzo en malla para el control de fisuras.

Periodo de diseño

El periodo de diseño para un pavimento es considerado de maso menos 20 años según su uso para los análisis estructurales, el cual bajo afirmaciones pasadas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento, en el caso que exista una buena certidumbre en el análisis de las variables de diseño y su respectiva proyección.¹¹

Para poder determinar la proyección de tránsito se presenta con la siguiente formula:

Ecuación 1. Proyección de tránsito

¹¹ Instituto Colombiano de Productores de Cemento. (2008). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Medellín, Colombia.

$$Fp = \frac{(1 + r)^n - 1}{\ln(1 + r)} \quad (1)$$

En donde: r: Tasa de crecimiento anual (%)

n: Periodo de diseño en años

6.1.3 Método de diseño de pavimentos ASSTHO

Factores de diseño

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.¹²

Variables de tránsito

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) o ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal

¹² American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos 1993*.

manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple. La información de tráfico requerida por la ecuación de diseño utilizado en este método es: cargas por eje, configuración de ejes y número de aplicaciones.¹³

6.1.4 Métodos de diseño de la PCA

El método de la Portland Cement Association, está desarrollado para pavimentos de concreto hidráulico y determinar los espesores de las losas para soportar las cargas de tráfico y fue publicado y reglamentado por “Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements” editado en 1984.

Análisis por erosión

El análisis de la erosión controla el diseño de los pavimentos espesos para tránsito medio y pesado cuando la transferencia de carga es por trabazón de agregados y controla el diseño para tránsito pesado cuando la transferencia es por aceros.

Los factores que influyen al bombeo y erosión incluyen presencia de agua, en donde el agua es expulsada bajo la losa y la magnitud de número de cargas repetidas.¹⁴

¹³ Hernandez, J. C. (2015). Placa huella para red terciaria un acercamiento para el diseño y construcción. Bogotá.

¹⁴ Figueroa, J. (diciembre de 2005). Guía para el uso del método de diseño de estructuras de pavimento nuevos según método ASSTHO 2002. San Salvador, El Salvador.

Análisis por fatiga

La cantidad admisible de repeticiones de carga está en función de la relación: entre el esfuerzo a flexión que está actuando en la losa de concreto y la resiste de esta a la flexión, y se expresa por esta fórmula¹⁵:

Ecuación 2. Relación de esfuerzos

$$\text{Relación de esfuerzos} = \frac{\text{Esfuerzo equivalente}}{\text{Módulo de rotura (Sc)}} \quad (2)$$

Este análisis se basa en el cálculo de esfuerzos por cargas al borde de las losas y entre las juntas. Para reducir los esfuerzos críticos se deben anclar las bermas al pavimento.

6.1.5 Penetrómetro Dinámico de Cono

Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia in-situ o en el sitio de los suelos que no se han alterado o que se encuentren compactados, así, se halla una rata de penetración y con este se estima los espesores de las capas que tiene el suelo, la resistencia al corte y otro tipo de características del material.

Este instrumento es empleado para evaluar propiedades de los materiales a una profundidad de hasta de 1.000 milímetros bajo el suelo. La profundidad de penetración puede ser incrementada utilizando extensiones en la varilla inferior. El dispositivo no se puede emplear en materiales altamente estabilizados o en

¹⁵ Higuera, C. (2010). *Nociones sobre metodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Teoria y ejemplos de aplicacion. Volumen II*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

materiales granulares que contengan un alto porcentaje de agregados pétreos cuyas partículas sean superiores a 50 milímetros.¹⁶

6.1.6 Valor de la relación de soporte (CBR)

Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, con relación a la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón.¹⁷

Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante que ejerce el suelo bajo las condiciones de humedad y densidad. Este ensayo se emplea para evaluar la resistencia de los materiales que se encuentran en la subrasante, subbase y base que se emplean en pavimentos para diferentes tipos de vías.

6.1.7 Diseño constructivo de placa huellas

De acuerdo con el Ministerio de transporte, La placa-huella es una losa de concreto reforzado fundida sobre la sub-base en la que su acero de refuerzo se entrecruza con el acero de refuerzo de la riostra y con el acero de refuerzo de la placa-huella, donde sus dimensiones son las siguientes:

- La longitud máxima de la placa-huella es de dos metros con ochenta centímetros (2,80 m). Como el ancho de la riostra siempre es de veinte

¹⁶ Norma INVIAS. (15 de Agosto de 2007). *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Obtenido de <ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20JVGCPLP%20001-2016-M-1/Normas%20de%20Ensayo%20de%20materiales%20para%20carreteras/SECCI%C3%93N%20100.pdf>

¹⁷ Norma INVIAS. (s.f.). Relación de soporte de suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio).

centímetros (0,20 m) la longitud máxima de un módulo es de tres metros (3,0 m) y corresponde a la longitud del módulo en tangente.

- El ancho de la placa-huella en tangente de noventa centímetros (0,90 m).
- El espesor de la placa-huella es de quince centímetros (0,15 m).
- Entre las cintas de concreto se debe construir una placa de concreto clase G o ciclópeo con piedra pegada, también en un ancho de 0.90 metros, todas las cintas serán arriostradas por unas viguetas reforzadas de 0.15 metros de ancho por 0.25 metros de altura localizadas cada de 3.0 metros, las vigas inicial y final deben ser de 0.20 metros de ancho por 0.30 metros de altura e irán en todo el ancho hasta la cuneta.

6.1.8 Materiales

- **Concreto:** Para las cintas o huellas, viguetas intermedias, placas de acceso y vigas inicial y final, el concreto será clase D con una resistencia a la compresión de 3.000 Libra por Pulgada Cuadrada (PSI); para las cunetas, el concreto será clase E con una resistencia de 2.500 Libra por Pulgada Cuadrada (PSI) ò “Cuneta de concreto fundida en sitio” y para las placas o franjas centrales y sobre anchos será una placa en concreto ciclópea clase G.¹⁸
- **Hierro:** La cinta llevará una armadura en hierro de 3/8 de pulgada cada 0.20 metros en ambos sentidos; cuando la pendiente es alta, se reemplazarán 3 de los hierros longitudinales de 3/8 de pulgada, por 3 de ½ pulgada. Las placas de acceso llevarán igualmente hierro de 3/8 de pulgada en ambos sentidos.¹⁹

¹⁸ Hernández, J. C. (2015). Placa huella para red terciaria un acercamiento para el diseño y construcción. Bogotá.

¹⁹ Hernández, J. C. (2015). Placa huella para red terciaria un acercamiento para el diseño y construcción. Bogotá.

- **Material de relleno para el acondicionamiento de la superficie:** Todos los materiales de relleno requeridos para el acondicionamiento de las placas huellas, serán afirmados, según el Artículo 300 de las normas y especificaciones 2012 INVIAS.

6.2 Marco conceptual

Placa huella: Las placa huellas son placas en concreto reforzado dispuestas en el suelo y con una separación en piedra fija en concreto. Una placa huella es una construcción resistente al paso vehicular ligero y pesado medio. La placa huellas requieren de especificaciones precisas de grosor y calidad del material para asegurar su correcta función, estabilidad y durabilidad.

Vías terciarias: Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí.

Las carreteras consideradas como Terciarias deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías Secundarias.

Concreto ciclópeo: Es el concreto simple en cuya masa se ha colocado conjuntamente con piedras desplazadoras, y que no contienen armaduras. Es aquel que está complementado con piedras de tamaño máximo de 10" cubriendo hasta el 30% como máximo del volumen total.

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.

Hierro o acero de refuerzo: El acero de refuerzo es el que se coloca para absorber y resistir esfuerzos provocados por cargas y cambios volumétricos por temperatura y que queda dentro de la masa del concreto.

Concreto hidráulico: Es una mezcla de agregados, naturales, procesados o artificiales, cemento y agua, a la que además se le puede agregar algunos aditivos; esta mezcla debe ser dosificada en masa o en volumen. Como su nombre lo dice,

básicamente son pavimentos contruidos en concreto, especialmente diseñados para soportar esfuerzos a flexión.

Ensayo CBR (California Bearing Ratio): Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante que ejerce el suelo bajo las condiciones de humedad y densidad. Este ensayo se emplea para evaluar la resistencia de los materiales que se encuentran en la subrasante, subbase y base que se emplean en pavimentos para diferentes tipos de vías

Ensayo PDC (Penetrómetro Dinámico de Cono): Este ensayo se utiliza para determinar la resistencia in-situ o en el sitio de los suelos que no se han alterado o que se encuentren compactados, así, se halla una rata de penetración y con este se estima los espesores de las capas que tiene el suelo, la resistencia al corte y otro tipo de características del material.

6.3 Marco metodológico

Dentro del desarrollo de esta investigación en el proyecto, se realizará mediante las siguientes fases:

- **Formulación del problema:** Inicialmente, se buscó una problemática importante en el ámbito de la ingeniería civil para una comunidad ubicada en la mesa Cundinamarca, de esta manera, se busca la solución y así mejorar la calidad de vida de las personas.
- **Recopilación y análisis de datos:** Después de tener formulado el problema, se dirige a buscar en diferentes bases de datos la información necesaria para la solución del problema. Los datos necesarios para realizar este proyecto se sacarán de diferentes bibliografías tales como manuales, libros y diferentes medios como la norma INVIAS y en el DPN (Departamento Nacional de Planeación), que se usarán para el desarrollo de

este trabajo. También, se recopilarán datos en campo y con el municipio, que nos suministrara datos e información importante.

Al tener la información de las bases de datos, se realiza un análisis detallado de la información para después elaborar una metodología del diseño de una placa huella con sus respectivas normativas y parámetros.

- **Desarrollo del proyecto en campo:** Realizar los estudios de suelos, topográficos y de tránsito correspondientes para poder llevar a cabo el proyecto, para eso es necesario:
 1. Identificación de la vía existente y recopilación de información mediante visitas y fotos.
 2. Aforos vehiculares necesarios para el estudio de tránsito y así determinar un tráfico promedio.
 3. Recopilar la información de estudios existentes en la zona.
- **Elaboración de diseño estructural y presupuesto:** Después de realizar todo lo propuesto en la metodología, se realizará el diseño estructural según especificaciones y análisis de datos y el presupuesto final de la Placa Huella.

Recomendaciones constructivas: Se puede desarrollar una placa huella viable y no tan costosa debido a sus características que tiene la zona, de esta manera quedaría un diseño sostenible ambientalmente y constructivamente para la vereda, además de una placa huella duradera.

6.4 Marco histórico

A medida que pasan los años, con el tiempo ha evolucionado para el mantenimiento y la mejora de las vías en Colombia para las vías terciarias, la placa huella, ha sido muy común en el país ya que es un diseño fácil y rápido de realizar, mejorando notablemente el flujo vehicular en estas zonas.

Por este motivo es que las vías terciarias son muy importantes y necesarias para lograr presencia institucional en el país y así implementar programas sociales en salud, vivienda y educación para desarrollar proyectos productivos y contribuir a una convivencia pacífica.²⁰

La placa huella solo se ha evidenciado en Colombia, y aquí se encuentran una de las obras más importantes:

- En el municipio de Cajica se ejecutó una placa huella en la vía de la cumbre ubicada en la vereda Chuntame, dicho proyecto fue para el mantenimiento y mejoramiento de la vía por medio de una placa huella de alrededor de los 2.8 km, el cual el tiempo de ejecución duro doce (12) meses y tuvo un valor aproximado de tres mil trescientos unos millones ochocientos diecisiete mil setecientos ochenta y unos pesos 3"301.817.781 pesos.²¹
- En el corregimiento de Buenavista en Ocaña Santander, realizaron el proceso constructivo de una placa huella de una longitud de 1 km con el fin de mejorar el flujo vehicular en este municipio.
- En el municipio de Dagua Valle del Cauca, los soldados multimison del batallón de alta montaña número tres, en coordinación con la alcaldía municipal y autoridades civiles de la vereda puerto Kozón del corregimiento Palmar, realizaron el pasado mes de febrero de 2018, una construcción de

²⁰ Cardona, G. (2017). Vías terciarias para la paz. Revista de ingeniería (45), 8.

²¹ Sánchez, H. D. (2015). Seguimiento de la construcción de las placas huella de la vía de la cumbre en el municipio de Cajica. Cajica.

15 kilómetros de placa huella beneficiando a más de 180 personas. Esta obra fue considerada de gran importancia para la región ya que conduce a la parte montañosa de Puerto Kozón, en donde los habitantes cultivan productos agrícolas y estos puedan ser transportados con mayor facilidad a los consumidores mejorando las condiciones de calidad a los habitantes. Este tipo de construcción benefician a la población de Dagua más necesitada que son los campesinos, con estas obras contribuyen a la mejora de la economía de diferentes productos que se cultivan allí.²²

6.4.1 Situación actual de placa huella en Colombia

*“Los pavimentos en placa-huella que se construyen actualmente en Colombia son en concreto reforzado, en su mayoría regulados por la especificación particular 500 - 1P [1], que al parecer no es una especificación oficial del INVIAS, pero se ha venido utilizando debido a la ausencia de una mejor especificación”.*²³

En el manual de diseño del INVIAS, dice muy claro cómo se define la geometría de la placa huella, pero en muchos otros proyectos se ha evidenciado que han realizado placa huellas de espesores mayores a los 15 cm que se requieren en el manual del INVIAS, pero conservan el refuerzo exigido por la especificación. Esto nos hace pensar que no todo tiene que ser como lo dice la norma siempre y cuando quede bien hecha, pero al realizar esto de manera diferente, hay que tener en cuenta diferentes comportamientos al pavimento como lo es el tránsito, el suelo y el clima.

²² El Tiempo. (23 de 02 de 2018). Construidos 15 kilómetros de placa huella en el municipio de Dagua. pág. 1.

²³ Orobio, A., & Orobio, J. C. (2016). Pavimentos con placa huella de concreto simple: análisis con elementos finitos 3D. Cali.

6.4.2 Diseños y construcciones de placa huella realizados en la Mesa Cundinamarca

- **Placa huella en vereda La laguna**

“El mandatario local, Rodrigo Marín Lesmes, puso en funcionamiento importante tramo vial para facilitar la circulación por vías de penetración necesarias para movilizar producción agrícola. Anuncia más recursos para continuar con los trabajos en esa zona del municipio.”²⁴

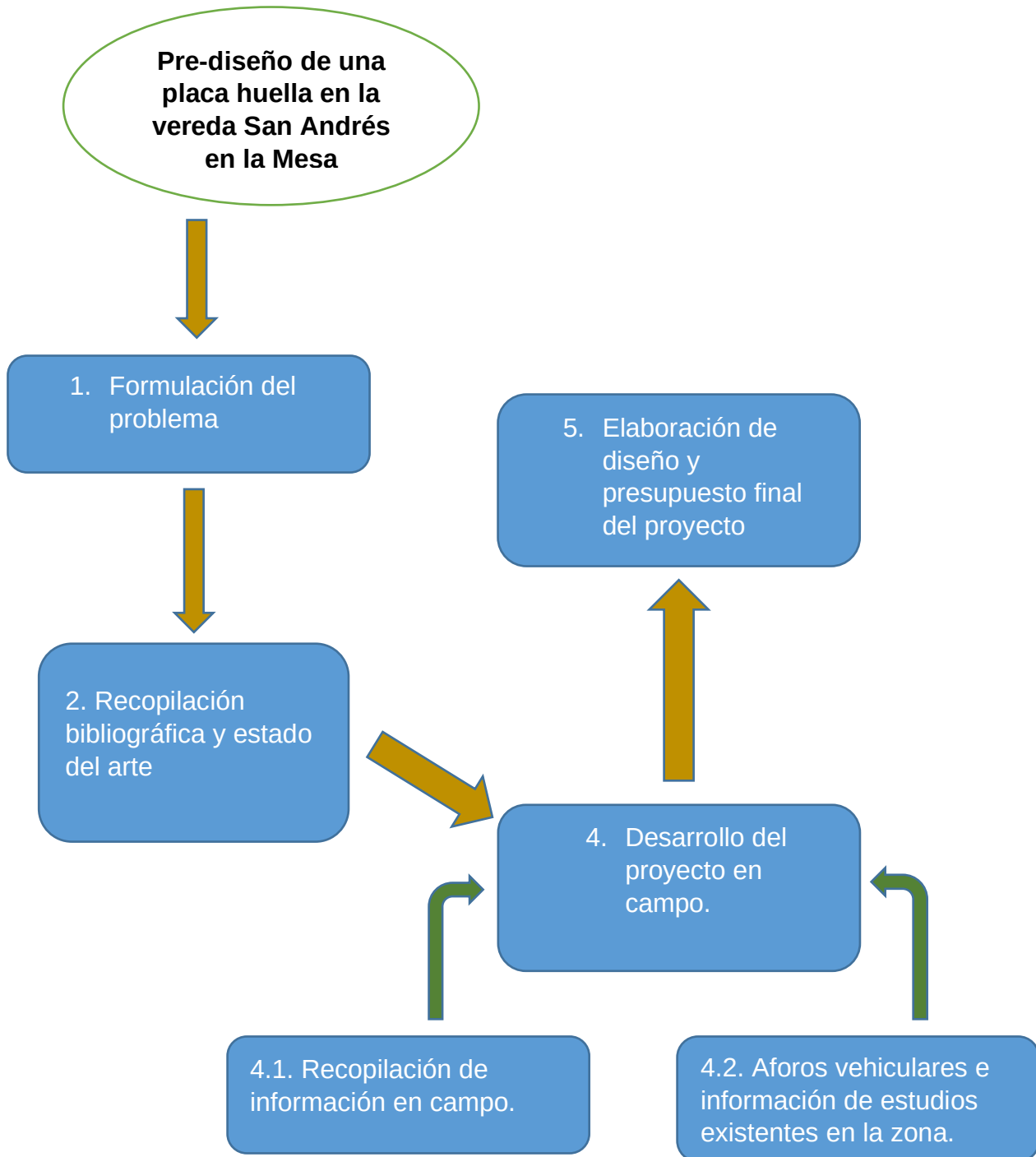
En este proyecto se realizaron 83 metros de placa huella que habían requerido los habitantes del lugar. Este trabajo hace parte del programa de recuperación de la malla vial terciaria con lo cual se da solución a los problemas en zonas veredales, donde el objetivo principal era el bienestar de los campesinos y personas aledañas para transportarse y transportar carga sin ningún inconveniente, todo esto dicho por el ejecutivo municipal cuyo trabajo fue entregar la placa huella e inaugurarla.

²⁴ Noticias día a día. (2012). Alcaldía de la mesa entrega placa huella en vereda La Laguna. La mesa.

6.5 Normatividad aplicable

1. La normatividad aplicable para este trabajo y la más importante es la del INVIAS (Instituto Nacional de Vías) la cual es "*Guía de diseño de pavimentos con placa-huella.*", con el cual se sacará información detallada de la metodología, construcción y parámetros de diseño de una placa huella.
2. Artículo 5 de la ley 1682 de 2013. Esta ley determina las acciones de planificación, ejecución, mantenimiento y mejoramiento de las obras de infraestructura del transporte.
3. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.
4. Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos.

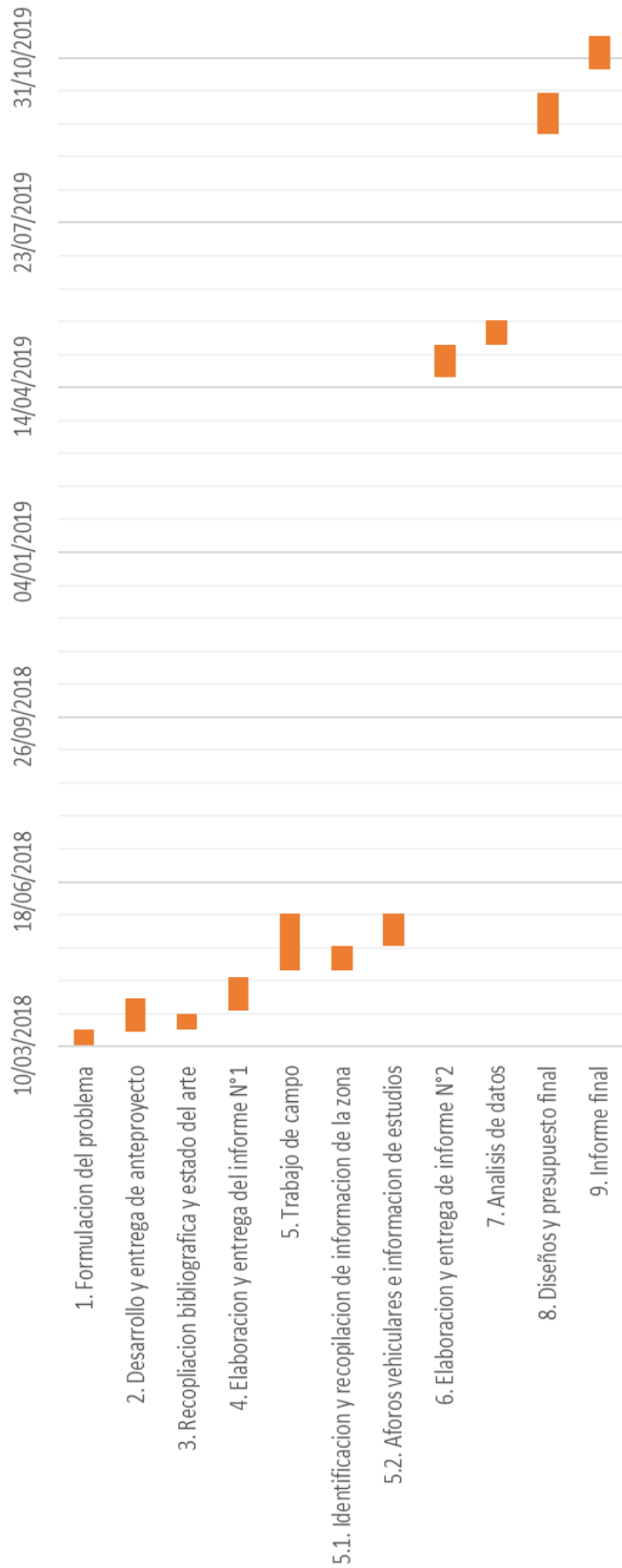
6.6 Flujograma



6.7 Cronograma

Actividad	Fecha inicio	Duración (Días)	Fecha terminación
1. Formulación del problema	10/03/2018	10	20/03/2018
2. Desarrollo y entrega de anteproyecto	19/03/2018	20	08/04/2018
3. Recopilación bibliográfica y estado del arte	20/03/2018	10	30/03/2018
4. Elaboración y entrega del informe N°1	01/04/2018	20	21/04/2018
5. Trabajo de campo	25/04/2018	35	30/05/2018
5.1. Identificación y recopilación de información de la zona	25/04/2018	15	10/05/2018
5.2. Aforos vehiculares e información de estudios	10/05/2018	20	30/05/2018
6. Elaboración y entrega de informe N°2	20/04/2019	20	10/05/2019
7. Análisis de datos	10/05/2019	15	25/05/2019
8. Diseños y presupuesto final	15/09/2019	25	10/10/2019
9. Informe final	24/10/2019	20	13/11/2019

Cronograma del proyecto



	9. Informe final	8. Diseños y presupuesto final	7. Analisis de datos	6. Elaboracion y entrega de informe N°2	5.2. Afors vehiculares e informacion de estudios	5.1. Identificacion y recopilacion de informacion de la zona	5. Trabajo de campo	4. Elaboracion y entrega del informe N°1	3. Recopilacion bibliografica y estado del arte	2. Desarrollo y entrega de anteproyecto	1. Formulación del problema
Fecha de inicio	24/10/2019	15/09/2019	10/05/2019	20/04/2019	10/05/2018	25/04/2018	25/04/2018	01/04/2018	20/03/2018	19/03/2018	10/03/2018
Duracion en días	20	25	15	20	20	15	35	20	10	20	10

7. CARACTERIZACIÓN DEL PROYECTO

7.1 Localización del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en el municipio de La Mesa Cundinamarca, el cual está situado en la Provincia del Tequendama a 54 km al suroeste de Bogotá, la capital colombiana, entre las coordenadas 4° 37' 49"N y 74° 27' 45"O. La Mesa es la capital de la Provincia del Tequendama, una de las 15 en que se encuentra dividido el Departamento de Cundinamarca. A La Mesa se puede llegar por la carretera que lleva a la población de Girardot a través de una ruta que pasa por Fontibón, Mosquera, La Mesa, Anapoima, Apulo y Tocaima. Tiene alrededor de 14.000 habitantes en su casco urbano.

Imagen 2. Localización del municipio de la Mesa Cundinamarca



Fuente: (Accolombia, 2016)

7.2 Diagnóstico de la situación existente

El municipio de la Mesa posee una superficie de 148 km.2, distribuidos en 2,75 km.2 para el casco urbano y el resto 145,25 km.2 para el área rural. Se localiza al suroeste de la ciudad de Bogotá, a una distancia de 69 kilómetros, comunicado por una vía en excelente estado. Asimismo, se comunica por vías en buen estado, con los municipios de Tena, Cachipay, Anapoima, El Colegio, Apulo, Tocaima, Viotá, Girardot y Quipile. Es cabecera y capital de la Provincia del Tequendama, y se ubica a 1.220 metros sobre el nivel del mar, con una latitud Norte de 4° 38' 06" y una longitud Oeste de 74° 27' 58" del meridiano de Greenwich. Limita por el Norte con los municipios de Cachipay y Zipacón, por el Sur con los municipios del Colegio y Anapoima, por el Occidente con los municipios de Anapoima y Quipile y por el Oriente con los municipios de Tena y Bojacá.

Actividad Agrícola

Según cifras de la Secretaría de Agricultura de Cundinamarca 2009, en el municipio la producción se centra especialmente en cultivos permanentes. La vocación agrícola más importante del municipio se encuentra en el cultivo de mango, en el que la producción regional durante el 2009 ascendió a 9.785 y en el que el área cosechada fue de 1341 hectáreas. En café se alcanzó una producción de 883 toneladas en un área sembrada de 1377 hectáreas. La producción de cítricos fue de 8.602 toneladas en un área de 1720 hectáreas.

Actividad Pecuaria

La explotación pecuaria del municipio a nivel departamental, y existe evidencia de un buen potencial en el desarrollo de actividades bovinas, porcinas y avícolas.

En producción bovina, del municipio, pese a no ser una de las más importantes en Cundinamarca, ha logrado posicionar esta actividad como fuente de sustento económico para un número significativo de familias de la región. Cuenta con más de 7.120 cabezas de ganado destinadas esencialmente a la producción con doble

propósito, actividad de la cual generan su sustento bastantes familias campesinas. Se encuentran además un total de 60 granjas destinadas a la producción avícola, altamente tecnificadas, dedicadas a la producción avícola y que surten e mercado local generando altos excedentes comercializados en su gran mayoría en la ciudad de Bogotá. En materia de actividad porcicola se cuenta con un total de 7.425 unidades lo cual hace al municipio uno de los principales productores de la región.

El proyecto está localizado en la vereda San Andrés, vía las palmas a 4.8 km de la mesa, donde se realizará un tramo de 200 metros de placa huella.

7.3 Topografía de la zona

La siguiente imagen se tomó desde el software Google Earth y muestra el perfil topográfico de los puntos en donde será desarrollado el proyecto.

Imagen 3. Perfil topográfico del proyecto



Fuente: Google Earth

La zona a intervenir cuenta con buena topografía, no tiene terrenos tan inclinados, pero de igual manera, se debe tener en cuenta que hay zonas donde el afirmado existente no se encuentra en condiciones viables para transporte de vehículos.

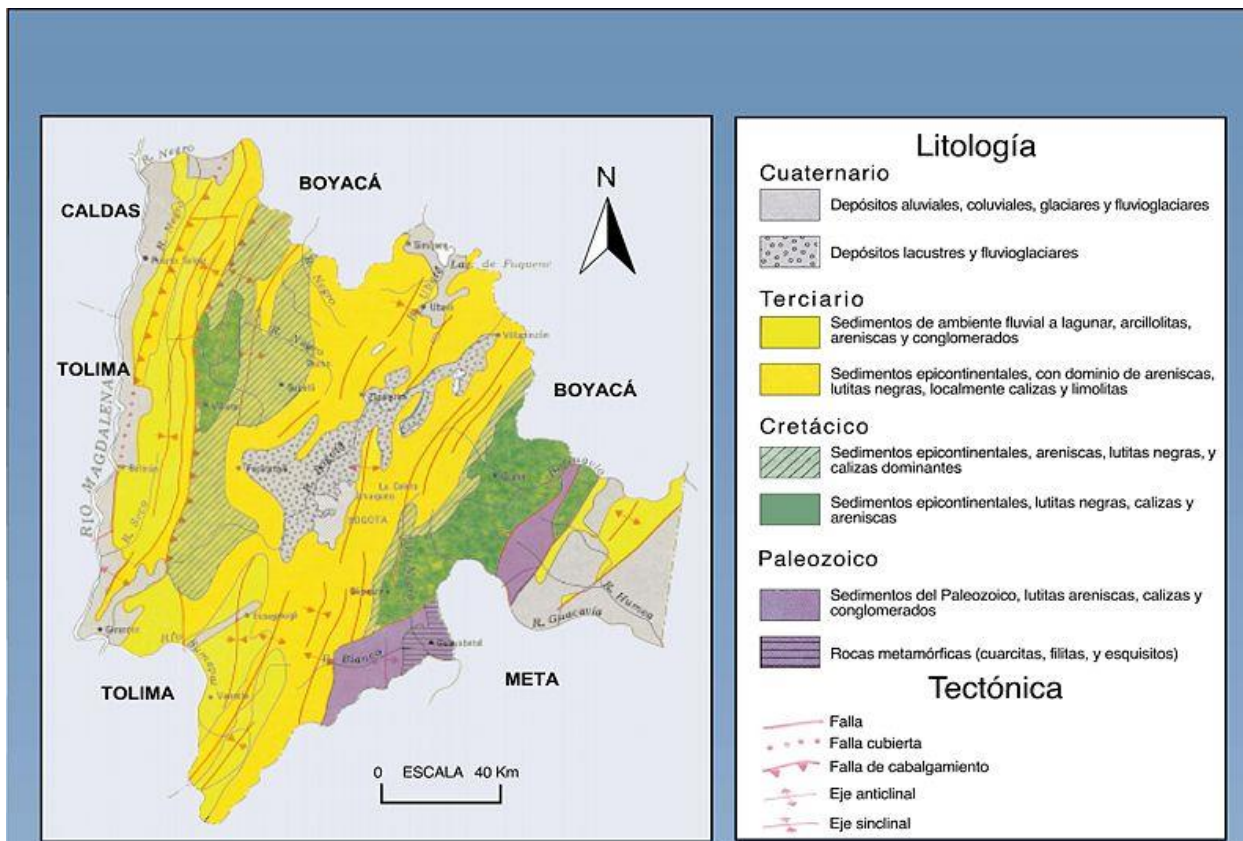
7.3.1 Geomorfología de la zona

En el sector de la vereda San Andrés, los conglomerados están formados de cuarzo y fragmentos de chert y esquistos. Interestificadas con esta secuencia se presenta delegadas intercalaciones de arcillolitas arenosas, rojizas y verdosas de 0.20 a 1 metro de espesor.

7.3.2 Litología de la zona

Este está constituido por sedimentos finos y en los dos metros superiores son suelos constituidos por cenizas volcánicas, en general son arcillositas color café con locales intercalaciones de arenas finas y niveles delgados de arenas y limos.

Imagen 4. Litología de Cundinamarca



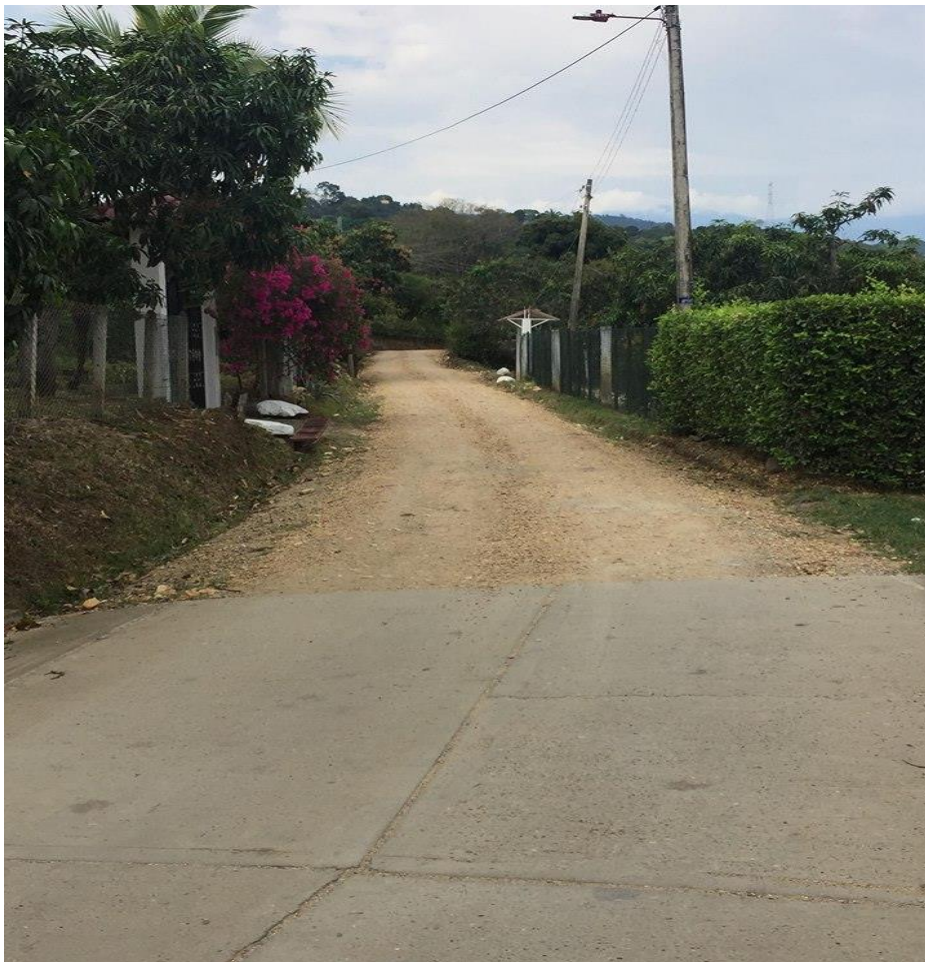
Fuente: Mapa geológico INGEOMINAS, 1988

7.4 Reconocimiento en campo y diagnóstico de la vía actual.

Se realizó un reconocimiento de campo que consistió en una serie de recorridos al sitio del proyecto en desarrollo, con el fin de identificar que diagnóstico presentaba la vía actualmente y otros procesos como erosión, agrietamientos, deslizamientos o cualquier otro fenómeno que pudiera afectar la vía, pero no se encontraron fallas graves u otros fenómenos importantes.

En las fotografías que se mostraran a continuación, se podrá observar el estado de la vía del proyecto en conjunto con la losa de concreto que se une a ella, en donde el presente proyecto será unir la losa de concreto con la Placa Huella.

Fotografía 1. Estado actual de la vía



Fuente: Propia

- En esta fotografía se puede evidenciar el estado de la vía a desarrollarse, se encuentran las losas de concreto en buen estado y a continuación la vía terciaria a intervenir.

Fotografía 2. Estado actual



Fuente: Propia

- Acá se puede observar la misma sección de la vía que la fotografía anterior pero tomada desde el otro lado mostrando el empalme de la vía terciaria con la losa de concreto.

Fotografía 3. Estado actual de la vía



Fuente: Propia

- En esta fotografía se puede percibir la vía terciaria en un buen estado y una leve cuneta a los lados de la vía. No presenta fallos graves.

Fotografía 4. Alcantarilla



Fuente: Propia

- En esta fotografía se observa la única alcantarilla de aproximadamente 90 cm de diámetro en todo el tramo a intervenir del proyecto, las lluvias no son constantes en la zona por lo cual no se necesitan muchas de estas obras de arte. Esta alcantarilla presenta una leve capa vegetal y deterioro, pero de igual manera con un buen mantenimiento queda totalmente funcional.

Fotografía 5. Estado actual de la vía



Fuente: Propia

- Aquí se aprecia que la vía terciaria a intervenir no presenta daños graves en su estructura facilitando la construcción de la placa huella, también es favorable la topografía del terreno ya que no presenta pendientes grandes y el ancho de la vía es apta para su movilidad.

8. ESTUDIO DE SUELOS

8.1 Muestreo y ensayos

Para determinar la estratificación y las características generales de resistencia de la subrasante, en esta primera parte del estudio, se realizaron 3 Apiques a 1.50 metros de profundidad. Las perforaciones se realizaron manualmente empleando un Barreno manual, SPT y CBR en el cual se obtuvieron unas muestras alteradas para los ensayos de laboratorio requeridos, así como también las dimensiones y el reconocimiento de los diferentes estratos del subsuelo.

8.2 Profundidad de sondeos

Los apiques se realizaron a una profundidad de 1.5 metros que abarcan la profundidad exigida. (NSR H.3.2.4)

8.3 Ensayos de laboratorio

Se efectuaron las pruebas apropiadas a fin de establecer las propiedades físicas y mecánicas de los suelos encontrados.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Herméticas, para contenido de humedad.
- Ensayo de CBR para granulometría y clasificación de muestra.

8.4 Cálculos del suelo

8.4.1 Cálculo de CBR de diseño

Para calcular el CBR de diseño se utilizaron los resultados de los ensayos CBR sobre muestras inalteradas con su humedad natural y luego de haber sido saturadas durante 96 horas.

Los ensayos CBR realizados sobre suelo natural en las zonas, muestran el mismo comportamiento, es decir, se reduce la resistencia de manera apreciable al sumergir las muestras, ya que se logra una humedad de saturación cercana al límite líquido.

En los valores del CBR inalterado con su humedad natural varían entre 5.5 y 4.5%. Después de sumergir las muestras durante 96 horas, la capacidad de soporte disminuye entre 1.8 y 2.0 %. Para un percentil del 87.5% correspondiente al tránsito pesado, los valores de CBR obtenidos son los siguientes:

Tabla 2. CBR de diseño

CBR diseño	
Humedad natural	Sumergido
5,50%	3,50%

Fuente: Propia

Tabla 3. Categorías de cbr y subrasante

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	muy pobre	subrasante	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3 - 7	pobre a regular	subrasante	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7 - 20	Regular	sub-base	OL,CL,ML,SC SM,SP	A2,A4,A6,A7
20 - 50	Bueno	base, subbase	GM,GC,W,SM SP,GP	A1b,A2-5,A3 A2-6
> 50	excelente	base	GW,GM	A1-a,A2-4,A3

Fuente: AASHTO, 1993

Se presentan unas recomendaciones de drenaje para tratar de garantizar que la subrasante no se encuentre sumergida y a pesar de que las vías contarán con pendientes adecuadas y estructuras de drenaje, se escogió para el diseño un valor CBR de 3.5%. Esta baja capacidad de soporte obliga a la construcción de una

estructura de subrasante mejorada. De todas formas, así se trabajará con un CBR más alto, en el supuesto de no tener una subrasante saturada, se requiere de la subrasante mejorada por facilidad constructiva de la estructura del pavimento.

8.4.2 Subrasante

El material de la subrasante de la vía a intervenir, es un material con fragmentos rocosos color café oscuro, con peso unitario entre 1.700T/m³ y 1.725 T/m³ y resistencias de CBR de la subrasante entre 4.2 - 4.6, es decir 6Kips.

Los ensayos de clasificación para el material de subrasante dieron los siguientes resultados:

- Límite Líquido: (36.8-40.2) %
- Límite Plástico: (22.3-30.2) %
- Clasificación USC: ML, GM

Los valores de C.B. R., obtenidos de los ensayos adelantados con el cono dinámico y los resultados encontrados sobre muestras inalteradas obtenidas del material subrasante dieron valores, 4.5%.

8.4.3 Estratigrafía del suelo

Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS

Un suelo es denominado fino cuando más del 50% del material pasa el tamiz numero 200 (T200), si no ocurre esto, el material es granular y será grava o arena.

Los suelos granulares se definen con los siguientes símbolos:

G	Grava	El 50% o más es retenido en el T ₄ . Es el caso de la curva A de la figura 3.9
S	Arena	Sí más del 50% pasa el T ₄ . Es el caso de la curva B de la figura 3.9

W	bien gradado	P	mal gradado	Depende del C _u y C _c . Ver 3.4 en granulometría
M	Limoso	C	Arcilloso	Depende de WL y el IP. Ver línea A en la Carta de

Fuente: Clasificación de suelos – Universidad Nacional de Colombia

Los suelos finos se definen con estos símbolos:

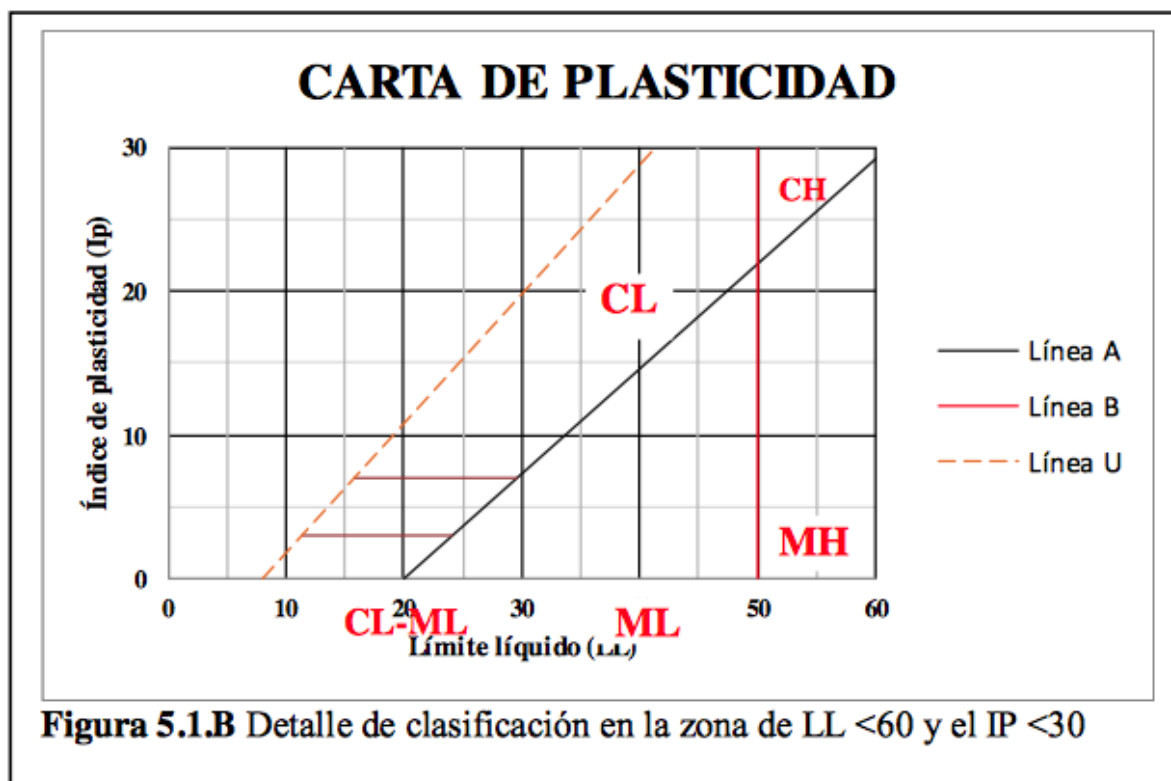
M	Limo	L	Baja plasticidad ($W_L < 50\%$)	En la Carta de Plasticidad L y H están separados por la línea B.
C	Arcilla	H	Alta plasticidad ($W_L > 50\%$)	
O	Orgánico	Se debe reportar este suelo		Suelos por debajo de la línea A

Fuente: Clasificación de suelos – Universidad Nacional de Colombia

Esta clasificación de suelos se basa en los límites de Atterberg y se obtiene a partir de la carta de plasticidad:

Sobre la línea A se encuentran arcillas inorgánicas, y por debajo de la línea A se encuentra limos y arcillas orgánicas.

Gráfico 1. Detalle de clasificación en la zona de $LL < 60$ y el $IP < 30$



Fuente: Clasificación de suelos – Universidad Nacional de Colombia

Donde:

CL: Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media.

CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.

MH: Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos.

ML: Limos orgánicos y arenas muy finas, limo arcilloso, arenas finas limosas y arcillosas.

Como se puede observar en las tres estratigrafías propuestos en los anexos de sondeos, se evidencia que el suelo es un limo arcilloso (ML) con material granular (GP), en donde la valoración de atributos de estos suelos sobre todo el del limo arcilloso (ML) no es muy buena. En la siguiente tabla se observa las características y uso de los suelos según el grupo del SUCS:

Tabla 4. Características y uso de los suelos (SUCS)

Grupo	VALORACIÓN ATRIBUTOS				APTITUDES SEGÚN USOS	
GW	+++	++	+++	+++	Mantos de presas, terraplenes, erosión de canales.	
GP	++	+++	++	+++	Mantos de presas y erosión de canales.	
GM	++	-	++	+++	Cimentaciones con flujo de agua.	
GC	++	--	+	++	Núcleos de presas, revestimientos de canales.	
SW	+++	++	+++	+++	Terraplenes y cimentación con poco flujo.	
SP	m	++	++	++	Diques y terraplenes de suave talud.	
SM	m	-	++	+	Cimentación con flujo, presas homogéneas.	
SC	++	--	+	+	Revestimiento de canales, capas de pavimento	
ML	m	-	M	m	Inaceptable en pavimentos, licuable.	
CL	+	--	M	m	Revestimiento de canales, pero es erodable.	
OL	m	-	--	m	No recomendable, máximo si hay agua.	
MH	--	-	-	---	Inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable)	
CH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentación (hinchable)	
OH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentaciones o terraplenes.	
CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	Facilidad de tratamiento en obra	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Sobresaliente	+++
					Muy alto	++
					Alto	+
					Moderado	m
					Deficiente	-
					Bajo	--
					Muy bajo	---

Fuente: Clasificación de suelos – Universidad Nacional de Colombia

Comparando nuestro suelo con la tabla, se puede concluir que este suelo no es apto para bases de pavimentos o subbases, también es licuable y con poca permeabilidad, para esto, necesitamos ayudar al suelo a estabilizarlo con otros materiales o mejorando su propiedades para que este pueda soportar la capa de rodadura que se le va a implementar, prevenir fallas y aumentar la capacidad portante de suelo, para esto se realizara diferentes ejemplos del tipo de material base o subbase y se escogerá el más óptimo para el diseño.

Diseño N.º 1.

Ya que nuestro suelo mostro propiedades poco óptimas para una estabilidad buena, necesitamos mejorarlo para ayudar a soportar la placa en concreto, así que para este caso se escogerá una estabilización de suelo. Una estabilización se basa

en aumentar la capacidad del suelo compactándolo mecánicamente, normalmente se estabiliza el suelo cuando:

- Es un suelo subrasante limoso o arcilloso.
- Tienen condiciones de humedad malos.

Para este caso se necesitaría la ayuda de una rana y un canguro para compactar el suelo mecánicamente y de paso compactación manual para asegurar de que el suelo quede en óptimas condiciones.

Diseño N.º 2.

Otra opción viable para el diseño de la estructura es suelo – cemento, ya que tiene propiedades muy buenas que le aporta a la subrasante. Este suelo cemento es parecido a un suelo granular y aporta estas excelentes cualidades.

- Mayor módulo de elasticidad.
- Mayor impermeabilidad.
- Resistente a la erosión del agua.
- Aumenta resistencia con el tiempo.

Este suelo según la Portland Cement Association, se usa principalmente como base en pavimentos, calles, protección contra el bombeo y contra la erosión, dándole mayor densidad y duración. Esta estabilización se hace con la combinación de suelo con cemento portland, en suelos limosos o arcillosos.

Esta estabilización puede tener ciertas desventajas en el proceso o después la actividad como:

- Aumento de costos por adición del cemento.
- Produce mayores agrietamientos en pavimentos.
- Se necesita personal más especializado.
- Es necesario agilizar y realizar un mayor y mejor control de la construcción en obra que el que se hace utilizando los métodos normales.

Diseño N.º 3

Para este diseño se tendrá un mejoramiento de la subrasante en rajón conformado en materiales pétreos de buena resistencia a la compresión en donde su tamaño máximo será de aproximadamente 30 cm según el IDU. Esto se hace para así mejorar y aumentar el CBR existente. Sin embargo, de acuerdo con la información obtenida durante la fase de experimentación que adelante el Constructor, éste podrá modificar, con el visto bueno del Interventor la distribución de tamaños, adaptándola a las características del material y al proceso que se apruebe para la ejecución de la obra, según tramos experimentales.

En ningún sondeo realizado, se evidencio nivel freático.

9. ESTUDIO DE TRÁNSITO

En los estudios de diseño de estructuras de pavimento rígido es muy importante conocer cada uno de los factores que inciden en el comportamiento de los pavimentos; el tránsito es sin duda alguna, uno de los más importantes, y en combinación con otros factores como el clima y las condiciones de drenaje son los principales causantes de su deterioro.

De igual manera, los volúmenes de tránsito siempre deben ser considerados como dinámicos.

En los métodos de diseño se define tránsito según el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño, así que, para este proyecto, se considera un periodo de diseño de 20 años. Para el análisis del parámetro de tránsito, se realizaron los aforos de diferentes vehículos en la zona a intervenir.

Para este estudio de tránsito en la vereda San Andrés, fue necesario llevar acabo los aforos los días miércoles, jueves y sábado ya que entre semana se observa vehículos de servicios, días de mercado y los fines de semana flujo vehicular de visitantes. Estos aforos se realizaron desde las 10 am hasta las 6 pm. Para este aforo se tomaron en cuenta los siguientes vehículos:

Tabla 5. Clasificación de vehículos

MOTOS	
AUTOS	
C-2P	
C-2G	

Fuente: Propia

Los vehículos livianos (**A**) son aquellos de menos de 5 toneladas de capacidad, tales como automóviles, camperos, pick-ups, camionetas y colectivos. Los vehículos comerciales (**B** y **C**) (Buses y Camiones) son aquellos de más de 5 toneladas de capacidad, tales como buses, camiones, Tracto-camiones, remolques y semirremolques.

9.1 Parámetros para estimación de tránsito

9.1.1 Tránsito promedio diario (TPD)

El Tpd se hace contando, durante un lapso establecido, todos los vehículos que pasan por una sección de la vía, luego se saca un promedio diario que se conoce con el nombre de Tpd. La información del Tpd se refina estableciendo el porcentaje de vehículos de diferente clase. Los conteos pueden ser semanales, mensuales o anuales.

9.1.2 Periodo de diseño y vida útil

Los pavimentos están diseñados para que duren cierto número de años dependiendo sus características y su uso, pero se recomienda que el periodo de diseño para un pavimento en concreto sea igual o superior a 20 años.

9.1.3 Tasa de crecimiento seleccionada

Siguiendo las recomendaciones expresadas en el “Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos en Vías con Medios y Altos volúmenes de Tránsito”, del Instituto Nacional de Vías, en su tabla 3.8., se indica que para un TPD entre 500 y 1000 vehículos, como es el caso de las vías locales y veredales como en este caso, la tasa de crecimiento para vehículos pesados puede variar entre 5.5% y 6.0%, por lo que para el presente estudio se consideró adoptar una tasa de crecimiento del **5.5%**. En la investigación de otras normas propuestas por otros países, se tiene como recomendación en la norma española, el catalogo para de

secciones de firme de la instrucción de carreteras, donde doce que se podrá adoptar como tasa de crecimiento el valor medio de las obtenidas en los cinco últimos años del aforo de control.²⁵

Tabla 6. Tasas de crecimiento de la red vial nacional

TPD'S	TASA DE CRECIMIENTO (%)	
	Total Vehículos	Vehículos Comerciales
< 500	6.0 - 6.5	5.5 - 6.0
500 - 1000	5.7 - 6.3	5.5 - 6.0
1000 - 2500	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
2500 - 5000	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
5000 - 10000	4.5 - 5.5	4.0 - 5.0
>10000	4.0 - 6.0	3.0 - 5.0

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

9.1.4 Distribución direccional

En la vía de la vereda San Andrés, se establece que la circulación se presenta en dos direcciones adoptando una distribución direccional de 1.0 siguiendo los parámetros del “Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

²⁵ Secretaria de estado de infraestructura. (2010). *Secciones de firme*. Obtenido de Instrucción de carreteras Norma 6.1 IC: <http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/RE1122.pdf>

Tabla 7. Factor direccional

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	Fd
Menos de 5 m	Total en los dos sentidos	1.0
Igual o mayor de 5 m y menor de 6 m	3/4 del total en los dos sentidos	0.75
Igual o mayor de 6 m	1/2 del total en los dos sentidos	0.50

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

9.1.5 Capacidad de soporte de diseño

El CBR de diseño de este proyecto se denominó de acuerdo al valor percentil de la resistencia de diseño planteado por el Instituto de Asfalto de año 1981, el cual recomienda tomar un valor total entre el 60%, 75% o 87.5% de los valores individuales, de acuerdo con el tránsito que se espera que circule en la capa de rodadura como se muestra en la siguiente tabla:

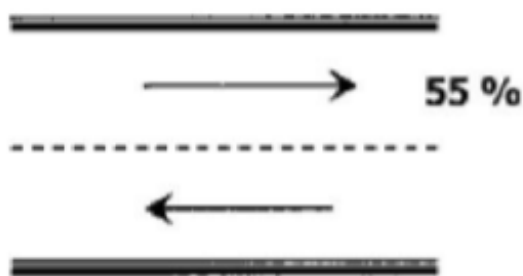
Tabla 8. Diseño de resistencia

Numero de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil a selección para hallar la resistencia
$<10^4$	60
$10^4 - 10^5$	75
$>10^5$	87.5

Fuente: Instituto de Asfalto, 1981.

9.1.6 Factores de distribución

De acuerdo con el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), por ser una vía de una calzada con dos carriles, se adopta un valor para el factor direccional (Fd) de 55%.



Fuente: Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

La vía que se va a proponer en el proyecto presenta dos carriles de aproximadamente 2.50 m de ancho cada uno para una sola calzada, así que, en consecuencia, el factor de distribución por carril (Fca) se aprecia como:

Tabla 9. Factores de distribución por carril (Fca.)

NUMERO DE CARRILES EN CADA DIRECCION	FACTORES DE DISTRIBUCIÓN PARA EL CARRIL DE DISEÑO (Fca)	
	INVIAS	AASHTO 2002
1	1.0	1.0
2	0.90	0.9
3	0.75	0.6

Fuente: Método AASHTO 93

9.1.7 Factor de equivalencia

El factor de equivalencia, corresponde al daño proporcionado al pavimento a partir de la relación que existe entre el peso que ejerce el eje con una carga cualquiera y el eje patrón. Se encontró en este ensayo, que el daño que hacen los ejes en el

pavimento no es linealmente proporcional a la carga, sino que es exponencial, teniendo un comportamiento dado en la siguiente ecuación.²⁶

Ecuación 3. Factor de equivalencia

$$Fe = \left[\frac{Pi}{Pe} \right]^n \quad (3)$$

En donde:

Fe: Factor de equivalencia

Pi: Carga en el eje

Pe: Carga en el eje patrón

n: Exponente

En la siguiente tabla, se encuentra un cálculo más detallado para poder encontrar el factor de equivalencia según su carga por eje.

Tabla 10. Expresiones de factor de equivalencia

Tipo de eje	Detalle del eje	Expresiones para el cálculo del factor de equivalencia
Simple de Rueda Simple		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje (T)}}{6.6(T)} \right]^4$
Simple de Rueda Doble		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje (T)}}{8.2(T)} \right]^4$
Tándem		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje (T)}}{15.0(T)} \right]^4$
Tridem		$FEC = \left[\frac{\text{Carga por eje (T)}}{23.0(T)} \right]^4$

Fuente: Londoño, 2004

²⁶ (Instituto Colombiano de Productores de Cemento, 2008) (INVIAS, 2012)

9.1.8 Factor camión

El factor camión se puede entender como el número de aplicaciones de ejes sencillos con una carga de 8.2 toneladas que es necesario que circulen por un pavimento para hacer el mismo daño que un camión con una carga cualquiera. Dado que los vehículos comerciales comprendidos entre camiones y buses que tienen 2 o más ejes, a la suma de cada uno de sus ejes se le conoce como factor camión. Con la sumatoria de los valores de factor de equivalencia, se obtiene el valor de factor camión o factor de daño.

Tabla 11. Cargas patrón y exponenciales para el cálculo de factor de equivalencia

Eje	Direccional	Sencillo de llanta doble	Tándem	Trídem
Carga patrón (kN)	60.00	81.81	132.14	184.00
Exponencial	4	4.5	4.2	4.3

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto, INVIAS

9.2 Cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton.

Para el cálculo del número de ejes equivalentes para una estructura en pavimento tipo placa – huella, se llevaron a cabo los siguientes parámetros, entre otros también expuestos anteriormente.

9.2.1 Cálculo de factor de equivalencia por tipo de vehículo proyectado.

Según los parámetros y fórmulas que se habían adaptado anteriormente, se realiza el cálculo del factor de equivalencia adoptando los valores del peso del eje de cada vehículo basados en el manual del INVIAS.

Tabla 12. Cargas de equivalencia por eje.

Tipo	Peso bruto (Ton)	Carga (Ton)	
		Eje delantero	Eje trasero
Bus	10	4 (SRS)	6 (SRD)
C2P	8.5	2.5 (SRS)	6 (SRD)
C2G	16	6 (SRS)	10 (SRD)
C3	28	6 (SRS)	22 (Tándem)
C5	48	6 (SRS)	21 (Tándem)

Fuente: Propia

Por medio del método de la cuarta potencia se calcula el factor de equivalencia.

Tabla 13. Cálculo de factor de equivalencia y factor camión.

TIPO	PESO (TON)	CARGA (TON)		FC		
		CARGA EJE DELANTERO	CARGA EJE TRASERO	EJE DELANTERO	EJE TRASERO	TOTAL FC
BUS	10	4	6	0.13	0.29	0.42
C2P	8.5	2.5	6	0.02	0.29	0.31
C2G	16	6	10	0.68	2.21	2.89
					TOTAL, FC	3.62

Fuente: Propia

Para el cálculo de factor camión, se realiza la sumatoria de los factores de equivalencia por cada tipo de vehículo dando un factor camión de 3.62.

9.2.2 Cálculo de numero de ejes equivalentes en el carril de diseño

El número de ejes equivalentes en el carril de diseño es el número de veces que pasa un eje tipo en un pavimento, produciendo el mismo grado de fallas que el que es ocasionado por un conjunto de ejes de tráfico pesado real que circule por el mismo pavimento. Razón que permite dimensionar el espesor de una placa en el diseño de un pavimento rígido.

Para la estimación del número de ejes equivalentes, una vez determinado los parámetros calculados anteriormente, se procede a usar la siguiente expresión:

$$\text{Numero de ejes equivalentes} = \text{TPD} * \text{VC} * \text{DD} * \text{DC} * \text{FC} * 365$$

Donde:

TPD = Tránsito promedio diario.

VC= Proporción del TPD que está constituido por vehículos comerciales.

DD= Distribución direccional del tránsito.

DC= Distribución carril.

Tabla 14. Parámetros para cálculo de numero de ejes equivalentes

CALCULO NESE	
TRÁNSITO DIARIO	532
FACTRO CAMION	3.62
DDIRECCIONAL	0.5
DCARRIL	1
VC %	0.041353383

Fuente: Propia

- **Numero de ejes equivalentes 80 kN** = 68.114.7476
- **Numero de ejes equivalentes para el periodo de diseño** = Numero de ejes equivalentes 80 kN * $\frac{(1+r)^n - 1}{r}$

Donde:

r = Tasa de crecimiento anual adoptada anteriormente de 5.5%

n = Periodo de diseño de la vía del proyecto = 20 años

- **Numero de ejes equivalentes para el periodo de diseño** = 2'375046.682

Tabla 15. Numero de ejes equivalentes.

NESE	68114.74763
NESE periodo diseño	2375046.682

Fuente propia.

10. ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO

Para estos diseños, es importante tener en cuenta que la precipitación es uno de los principales fenómenos naturales que incrementan la escorrentía superficial, aumentando así el riesgo de remoción en masas y el cambio de físico de cualquier superficie, para esto, es sustancial estudiar el modelo lluvia – escorrentía de una zona o tramo a intervenir y así poder identificar la precipitación o lluvia máxima en un periodo de retorno.

10.1 Área de drenaje

El argumento principal para un diseño hidrológico, es el modelo mencionado lluvia – escorrentía, en donde se explica que una lluvia o precipitación máxima estimada en un periodo de retorno, origina un caudal de escorrentía superficial máximo en el mismo periodo de retorno. El área aferente de la cuneta debe incluir la calzada o la mitad de ella, más la proyección horizontal del talud hasta la zanja de coronación.²⁷

Para calcular el área de drenaje, es necesario identificar el área aferente de la zona a intervenir, en donde se tendrá la afluencia de caudal hacia las cunetas ubicada en la placa huella. para esto, se utiliza la herramienta Google Earth y se obtiene el área aferente en metros cuadrados (M2).

En la siguiente tabla, se muestra el área topográfica del tramo de la vía:

²⁷ INVIAS (Instituto Nacional de Vías). (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. (J. H. FloreGalvesz , & A. Bolaños Mora, Edits.) Colombia.

Tabla 16. Áreas aferentes obtenidas de Google Earth

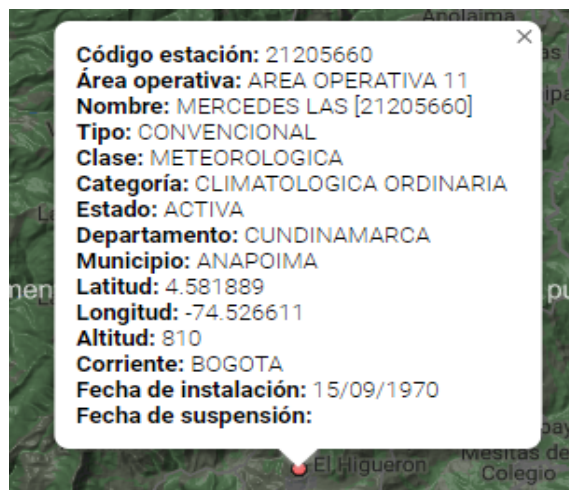
TRAMO	AREA AFERENTE (M2)	AREA AFERENTE (HA)
1	1311,22	0,131122
2	1863,75	0,186375
3	3578,27	0,357827
4	2082,48	0,208248

Fuente: Propia

10.2 Precipitación total

La precipitación total es la cantidad de lluvia durante un periodo de tiempo en una zona en concreto. Para determinar este régimen pluviométrico, con ayuda de el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), se tomaron registros de precipitaciones mensuales totales de la estación Las Mercedes ubicada entre el municipio de La Mesa y Anapoima, la estación se describe en la siguiente imagen:

Ilustración 1. Información de estación Las Mercedes suministrada por el IDEAM



Fuente: IDEAM

La estación se encuentra en el municipio de Anapoima y La Mesa.

Ilustración 2. Localización de estación



Fuente: IDEAM

Para este proyecto, se analizaron los datos de precipitación máxima en 24 horas multianual como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17. Precipitación máxima en 24 horas

ID EA		M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES		SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL			
VALORES MAXIMOS MENSUALES DE EN 24 HORAS		PRECIPITACION (mm)		NACIONAL AMBIENTAL			
FECHA DE PROCES	O : 2019/02	ESTACION :		21205660 MERCEDES LAS			
LATITUD	434 N	TIPO EST	CD	DEPTO	CLINDINAMARCA	FECHA-INSTALACION	1970-SEP
LONGITUD	7431 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	ANAPONIMA	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	810 m. s.n.m.	REGIONAL	11 BOGOTA	CORRIENTE	BOGOTA		
*** *****		*** *****		*** *****		*** *****	
ANO EST ENT	ENERO	* FEBRE *	MARZO * ABRIL * MAYO * JUNO	* JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB *	NOVIE * DICE * VR ANUAL *		
*** *****		*** *****		*** *****		*** *****	
1970 2 01				* 50.1	35.3 16.0 50.13		
1971 2 01	646	39.0	43.0 27.4 36.8 84	6.9 19.6 31.5 39.0	36.0 17.9 646		
1972 2 01	295	33.8	31.4 47.7 23.3 12.5	5.4 44.7 43.9	41.5 20.0 47.73		
1973 2 01	370	3 6.4	47.5 14.9 25.8 63	44.7 9.3 17.8 25.1	29.4 9.8 47.53		
1974 2 01	300	28.5	23.9 50.2 44.2 40.0	3.2 3 2.9 70.5 28.0	32.0 22.0 70.53		
1975 2 01	4.1	31.7	6.0 3 96.0 3 15.0	73.3 38.0 23.1 57.0	32.1 34.7 96.03		
1976 2 01	*	22.1	75.1 28.6 * 76.2	3 3.4 9.4 31.5 33.7	22.7 23.5 76.23		
1977 2 01	1.4	21.0	38.3 34.0 34.0 21.0	6.1 13.0 56.0 24.0	42.2 17.5 56.0		
1978 2 01	5.5	3.8	87.5 3 29.5 7.7	15.0 2.6 56.0	* 18.7 87.53		
1979 2 01	118	40.0	76.4 41.4 28.2 35.5	6.9 24.4 24.0 57.6	36.0 8.8 76.4		
1980 2 01	204	23.0	28.0 23.3 32.0 16.0	6.0 62.3 24.0 29.4	32.2 37.7 62.3		
1981 2 01	8.2	28.83	26.2 3 83.9 75.0 17.8	3 4.1 3 41.8 3 6.1 84.9 3	47.3 3 54.1 84.93		
1982 2 01	231	52.2	20.0 38.4 27.2 26	1 1.7 1.0 35.2 46.8	23.7 41.2 52.2		
1983 2 01	101	47.4	44.4 53.2 76.6 12	4.5 9.8 9.0 48.63	29.0 30.4 76.63		
1984 2 01	232	52.3	52.5 90.3 19.4 26.3	3 14.5 8.5 3 63.9 12.4	44.4 25.5 90.33		
1985 2 01	3.6	3 3	23.9 1 34.5 44.0 28.3	13.4 37.8 42.5 109.0	6.6 30.0 3 109.03		
1986 2 01	500	50.1	20.0 3 19.1 3 30.4	3 4.1 3	9.9 3 50.13		
1987 2 01	342	3	30.0 27.8 1 45.0 3 3.3	1 6.3 1 24.7 1 23.5 1 32.6	83.4 3 1.3 83.43		
1988 2 01	128	3 80.23	30.7 55.0 40.0	25.0 64.0 32.8 1 43.0	65.0 74.0 80.23		
1989 2 01	270	70.0	47.0 15.3 67.0 9.8	22.0 25.7 35.2 1 90.0	50.0 3 19.8 1 90.03		
1990 2 01	170	50.9	38.0 1 8.0 41.6 1 15.3	1 4.2 13.0 14.0 1 37.0	23.0 21.0 50.9		
1991 2 01	205	1 48.0	35.0 30.0 24.0 24.2	1 55.0 12.2 81.0 50.0	46.0 6.9 81.0		
1992 2 01	390	15.0	26.8 11.3 25.0 21.3	8.4 7.8 40.4 3 18.63	45.5 1 41.2 45.53		
1993 2 01	313	1 28.0	17.5 35.8 31.3 1 4.6	15.3 1 13.0 1 29.0 48.71	27.8 1 25.1 48.7		
1994 2 01	885	27.0	25.3 47.0 51.8 1 4.3	10.8 12.4 1 16.6 1 42.5	51.9 1 25.5 88.5		
1995 2 01	313	10.71	40.7 15.6 23.8 84	29.0 62.2 35.8 54.5	117.0 28.6 117.0		
1996 2 01	418	27.5	36.2 19.4 1 41.2 24.2	5.3 15.0 3 18.3 84.0	46.0 15.5 84.03		
1997 2 01	440	13.1	31.3 * 27.5 14.0	2.7 6.7 18.3 21.5	20.8 45.6 45.63		
1998 1 01	600	50.23	37.0 16.8 32.0 11.0	15.0 46.6 29.2 28.1	35.5 60.0 3		
1999 2 01	290	58.5	43.2 80.0 3 110.9 23.0	2.0 23.6	110.93		
2000 2 01			18.9 3 37.4 35.6	11.7 5.4 23.3 24.3	27.2 33.7 37.43		
2001 2 01	5.4	32.4	59.5 33.3 10.2	3.5 16.3 3 62.0	44.8 101.4 101.43		
2002 2 01	136	70.3	24.4 48.8 53.5 17.2	19.5 11.2 40.8 22.6	16.3 38.5 3 70.33		
2003 1 01	9.2	44.8	48.3 45.0 19.5 10.1	3 9.5 9.2 76.8	8.0 76.83		
2004 1 01	130	36.0	16.5 36.5 31.5 3 4.0	35.4 12.9 10.3 18.3	38.0 36.0 38.03		
2005 1 01	480	3 32.8	30.4 19.1 67.3 12.6	13.8 11.0 12.3 44.5	70.6 10.3 70.63		
2006 1 01	105	25.7	61.7 23.4 35.5 15.2	4.1 9.1 8.3 17.2	61.3 32.0 61.7		
2007 1 01	280	30.6	71.2 57.2 3 14.8 3 11.7	8.0	48.3 19.3 71.23		
2008 1 01	376	30.0	44.6 17.7 45.8 12.1	12.7 37.8 3 24.8 51.5	20.6 11.8 51.53		
2009 1 01	268	20.0	68.8 55.9 36.5 16.6	11.7 21.7 74.5 57.0	41.3 29.4 74.5		
2010 1 01	6.5	9.7	62.2 79.3 32.8 12.2	57.9 16.5 60.5 22.6	40.9 27.9 79.3		
2011 1 01	7.4	27.6	38.5 66.5 53.2 5.0	14.3 102.4 32.2 26.4	55.8 26.8 102.4		
2012 1 01	579	37.5	27.4 67.0 12.0 4.7	8.6 6.8 9.3 63.3	29.8 27.6 67.0		
2013 1 01	372	34.5	43.3 25.7 3 25.8 6.0	10.5 9.8 3 14.0 37.0	46.8 38.7 46.83		
2014 1 01	146	39.2	19.2 32.2 58.7 15.2	2.8 7.6 51.4 27.3	63.7 32.7 63.7		

Fuente: IDEAM

Al resumir la anterior tabla a un valor máximo de precipitación en 24 horas queda así:

Tabla 18. Precipitación anual máxima en 24 horas

ESTACION LAS MERCEDES, VALORES MAXIMOS DE PRECIOITACION EN 24 HORAS	
AÑO	PRECIPITACION MAXIMA ANUAL (MM)
1971	64,6
1972	47,73
1973	47,53
1974	70,53
1975	96,03
1976	76,23
1977	56
1978	87,53
1979	76,4
1980	62,3
1981	84,93
1982	52,2
1983	76,63
1984	90,33
1985	109,03
1986	0
1987	83,43
1988	80,23
1989	90,03
1990	50,9
1991	81
1992	45,53
1993	48,7
1994	88,5
1995	117
1996	84,03
1997	45,63
1998	60,03
1999	0
2000	37,43
2001	101,43
2002	70,33
2003	0
2004	38,03

2005	70,63
2006	61,7
2007	71,23
2008	51,53
2009	75,4
2010	79,3
2011	102,4
2012	67
2013	46,83
2014	63,7

Fuente: IDEAM

El promedio multianual de la precipitación máxima en 24 horas es de 65.78, y la precipitación máxima de todos los años en 24 horas es de 109.03.

10.3 Método racional

Este método es parte de las metodologías empíricas que se aplican a cuencas pequeñas menores a 2.5 Km², el cual relaciona la intensidad de precipitación máxima con el coeficiente de escorrentía del suelo y el área de drenaje, a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Caudal máximo

$$Q = C * I * A \quad (7)$$

En donde:

Q: Caudal máximo (M³/S)

C: Coeficiente de escorrentía o impermeabilidad

I: Intensidad de precipitación (m/s)

A: Área de drenaje (m²)

10.3.1 Parámetros de ajuste

- **Coefficiente de escorrentía:** El coeficiente de escorrentía es la relación entre el volumen de agua que escurre superficialmente y el volumen precipitado en un área. La escorrentía dependerá de la zona y a los materiales que la constituyen. Para este caso, según los datos mostrados por el RAS 2000, para cierto tipo de superficie se obtiene que:

Tabla 19. Coeficientes de escorrentía

Tipo de Superficie	C
Ladera con Vegetación	0.30

Fuente: RAS 2000

- **Periodo de retorno:** El periodo de retorno es el intervalo de recurrencia entre eventos que igualan o exceden una magnitud específica, para esto, el INVIAS plantea ciertos periodos de retorno según el tipo de obra de arte que se vaya a construir tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 20. Periodo de retorno

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Calda ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: INVIAS

- **Tiempo de concentración:** El tiempo de concentración es el tiempo en el que se tarda en entrar y recorrer a la obra de drenaje, esto se calcula a partir de la ecuación de Kerby, el SCS y la FAA de Estados Unidos.

- ✓ El método de la FAA se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 5. Tiempo de concentración, método de la FAA

$$T_c = \frac{0.707 \cdot (1.1 - C) \cdot L^{1/2}}{S^{1/3}} \quad (8)$$

- ✓ Ecuación de Kerby

Ecuación 6. Tiempo de concentración, método de Kerby

$$T_c = 1.44 \cdot \left(\frac{Lm}{S^{1/2}} \right)^{0.467} \quad (9)$$

Siendo (m) el coeficiente de retardo el cual es un parámetro que depende del tipo de superficie expresada en la siguiente tabla:

Tabla 21. Coeficiente de retardo (m)

Tipo de superficie	m
Impermeable	0,02
Suelo sin cobertura, compacto y liso	0,10
Superficie sin cobertura moderadamente rugosa	0,20
Pastos	0,30
Terrenos arborizados	0,70
Pastos densos	0,80

Fuente: RAS 2000

- ✓ Ecuación de SCS

Ecuación 7. Tiempo de concentración, método de SCS

$$T_c = \frac{L}{(60 \cdot V_s)} \quad (10)$$

En donde la velocidad superficial (V_s) se determina de la siguiente manera:

Ecuación 8. Velocidad superficial

$$V_s = a \cdot S^{1/2} \quad (11)$$

Este parámetro depende del tipo de superficie como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 22. Parámetro (a)

Tipo de superficie	a
Bosque con sotobosque denso	0,70
Pastos y patios	2,00
Áreas cultivadas en surcos	2,70
Suelos desnudos	3,15
Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas	6,50

Fuente: RAS 2000

La siguiente tabla, muestra los resultados del área aferente de drenaje de las micro cuencas con su respectiva longitud y pendiente de tramo calculado por Google Earth:

Tabla 23. Parámetros de la microcuenca de la zona en estudio

Microcuenca	Área (ha)	Longitud	Pendiente máxima
1	0,1311	66	8,2
2	0,1863	77,5	4,3
3	0,3578	80,6	13,3
4	0,2082	48	14,4

Fuente: Propia

Aplicando las ecuaciones se tiene que:

Tabla 24. Valores de tiempo de concentración

TIEMPO DE CONCENTRACION			
Microcuenca	SCS	Tc FAA	Kerby
1	2267,94286	10,4887274	10,41189072
2	1928,48905	14,0642203	13,04869646
3	3527,29764	9,88111332	10,20979976
4	2185,76632	7,42797438	7,867561275

Fuente: propia

Al observar los tiempos de concentración calculados, varían según la formula, pero según la recomendación del INVIAS dice que no debe sobrepasar un valor de tiempo de concentración (Tc) de 15 minutos con el fin de tener en cuenta el tiempo que tarda el agua en llegar a la hoyo y no sobrepasar la intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración.²⁸

- **Intensidad:** La intensidad de precipitación para un periodo de retorno se calcula a partir de las curvas IDF y aplicando la fórmula que se basa en el método simplificado del INVIAS:

Ecuación 9. Intensidad de precipitación

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^3} \quad (12)$$

En donde:

I: Intensidad de precipitación

a, b, c y d: Parámetros de ajuste de regresión

T: Periodo de retorno en años

M: Promedio multianual de la precipitación máxima anual en 24 horas

²⁸ INVIAS (Instituto Nacional de Vías). (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. (J. H. FloreGalvez , & A. Bolaños Mora, Edits.) Colombia.

t: Duración de lluvia en minutos

- Parámetros de ajuste de regresión:

Tabla 25. Parámetros de ajuste de regresión, valores de a, b, c y d para cálculo de curvas IDF.

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Manual de drenaje para carreteras, INVIAS.

La región en la cual se realizará el proyecto es la región andina (R1), de esta forma los valores de los parámetros de ajuste para esta región son los siguientes:

Parámetro	Valor
a	0,94
b	0,18
c	0,66
d	0,83

10.4 Curvas de intensidad, duración y frecuencia

Las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF), son arreglos en los cuales se presentan lluvias contra su duración y el periodo de retorno.²⁹

Estas curvas IDF se calcularon mediante el método que propone el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS, en donde se recopilaron datos de información

²⁹ INVIAS (Instituto Nacional de Vías). (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. (J. H. FloreGalvesz , & A. Bolaños Mora, Edits.) Colombia.

hidrológica y de precipitación en la zona a intervenir y se determina por correlación con los datos de precipitación máxima anual en 24 horas.

Al aplicar la fórmula de las curvas IDF, y cambiar los parámetros para la región R1, se obtiene la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Intensidad de precipitación

$$I = \frac{0.94 * T^{0.18} * 109.03^{0.83}}{\left(\frac{t}{60}\right)^{0.66}} \quad (13)$$

Al reemplazar los valores del tiempo de retorno (T), y la duración (t), se obtiene la siguiente tabla:

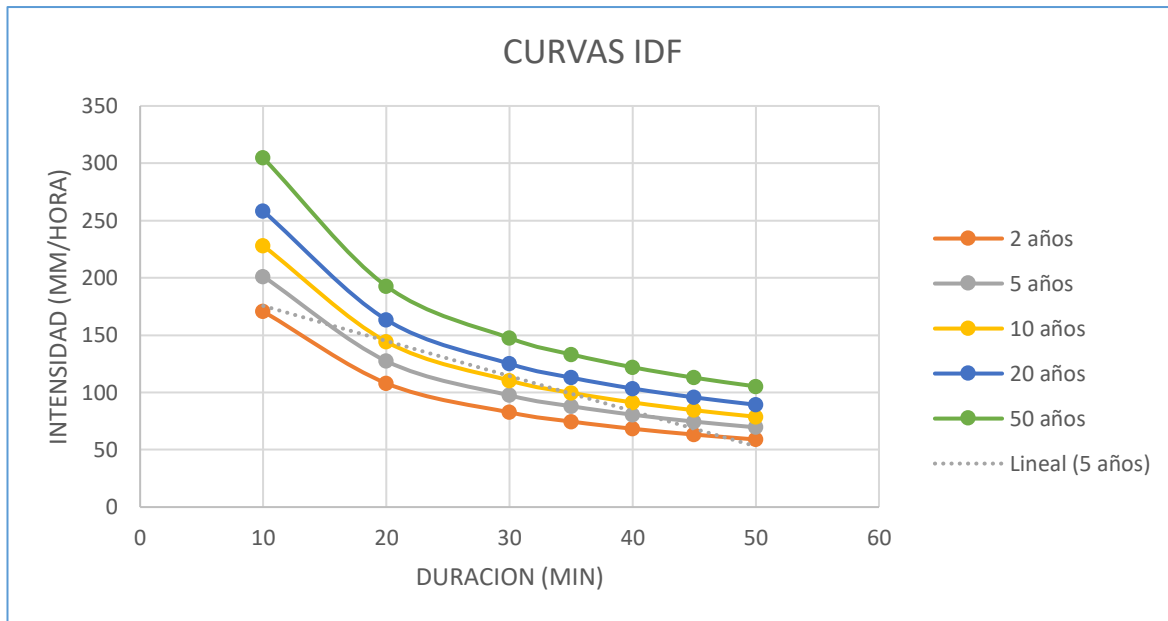
Tabla 26. Valores calculados curvas IDF

ESTACION CLIMATOLOGICA LAS MERCEDES, CURVAS IDF					
TIEMPO (MIN)	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS				
	2	5	10	20	50
10	170,63034	201,22664	227,96641	258,25948	304,56884
20	107,98824	127,35197	144,275	163,44682	192,75501
30	82,633518	97,450807	110,40045	125,07089	147,49777
35	74,639953	88,023891	99,720847	112,97214	133,22955
40	68,343415	80,598299	91,308514	103,44194	121,99046
45	63,231868	74,570183	84,479359	95,705304	112,86654
50	58,98425	69,560912	78,804436	89,276276	105,2847

Fuente: Propia

La aplicación de la ecuación de intensidad para los parámetros de la región R1, el valor M para diferentes periodos de retorno y t para diferentes tiempos de concentración, dio como resultado las siguientes curvas IDF:

Gráfico 2. Curvas IDF



Fuente: Propia

Para un periodo de retorno de 5 años que corresponde al periodo de diseño de cunetas y un tiempo de lluvia recomendada por el INVIAS de 15 minutos, la intensidad que arroja la gráfica de curvas IDF es de aproximadamente 154 mm/h o 4.277 e-5 m/s.

Mediante la ecuación correspondiente al método racional, se calcula el caudal de diseño con el valor de intensidad calculada obtenida de las curvas IDF, el coeficiente de escorrentía (C) es de 0.3 calculado anteriormente, y el área es el área aferente también calculado anteriormente. Para el diseño de las cunetas se utiliza la ecuación de Manning para poder corroborar el caudal y tirante hidráulico.

10.5 Obras de drenaje

Las obras de drenaje que se van a presentar en este proyecto son las alcantarillas y cunetas, estos se dividen en dos tipos de obras hidráulicas:

- Obras transversales: Estas obras son las que conducen el agua bajo la estructura y las conduce hasta llegar a un punto ladera abajo, entre estas obras están las alcantarillas, cajones y box culverts.
- Obras longitudinales: Estas obras conducen el agua que se recogen en las laderas por la escorrentía, y son transportadas paralelamente de la vía hasta llegar a una alcantarilla o una obra transversal.

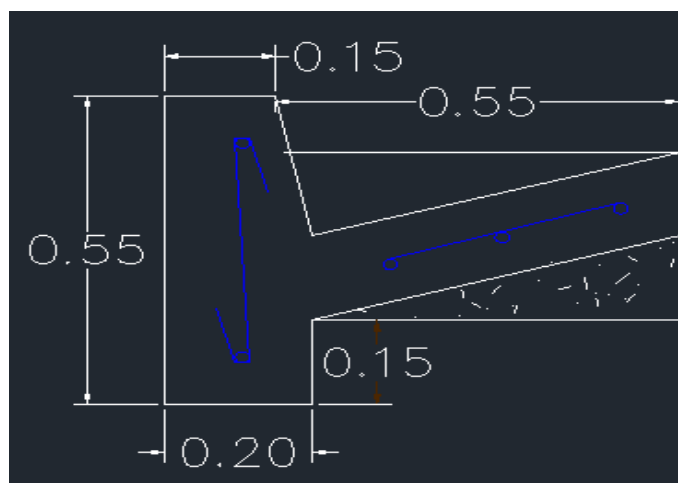
Para este proyecto, solo se va a proponer el diseño de cuneta debido a que en esta zona se encuentra construida una alcantarilla de aproximadamente noventa (90) centímetros de diámetro, así que, para este caso, se realizara el diseño de las cunetas para recoger las aguas que provienen de las laderas y reposen en las obras transversales que en este caso es la alcantarilla existente.

Para el cálculo de este diseño, se recurre a la ecuación de Manning para flujo uniforme y poder comprobar el caudal y el tirante hidráulico.

La cuneta propuesta es de sección triangular con un ancho de 0.55 m que se distribuye a 0.53 m al lado de la calzada y 0.02 m al lado del talud, con una profundidad de .015 m y una pendiente calculada hacia la calzada de 27.2%.

Se propone la cuneta mostrada en la siguiente imagen:

Figura 1. Perfil de cuneta



Fuente: Propia

- Caudal de Manning:

Ecuación 11. Caudal de diseño

$$Q = \frac{1}{n} (A * RH^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}) \quad (14)$$

Donde:

A: Área mojada

RH: Radio hidráulico – Área mojada / Perímetro mojado.

S: pendiente de cuneta

n: Coeficiente de rugosidad del concreto (0.015)

10.6 Caudal de diseño

Este caudal se calcula según el método racional con los parámetros de coeficiente de escorrentía y la intensidad calculada anteriormente con las curvas IDF para un periodo de retorno de 5 años y un tiempo de 15 minutos recomendado por el INVIAS.

El área aferente debe incluir la calzada o media calzada de vía más la proyección horizontal del talud de corte hasta la zanja de coronación.

Este caudal se va a calcular del tramo N° 2 al N° 4 debido que la alcantarilla existente se encuentra junto al tramo de vía N°2.

El coeficiente de escorrentía es de C= 0.3 debido a que son tierras con laderas de vegetación y están en un terreno montañoso.

- Tramo 2. (Longitud de 77.5 metros, un área aferente de 1863.75 m² y un área de calzada de: 77.5m*5m= 387.5m²).

$$Q = C * I * A_{topografica + calzada}$$

$$Q = 0.3 * 4.277e - 5 \frac{m}{s} * 2251.25m^2$$

$$Q = 0.028 \frac{m^3}{s}$$

- Tramo 3. (Longitud de 80.6 metros, un área aferente + calzada de: 3981.27 m²)

$$Q = 0.3 * 4.277e - 5 \frac{m}{s} * 3981.27 m^2$$

$$Q = 0.051 \frac{m^3}{s}$$

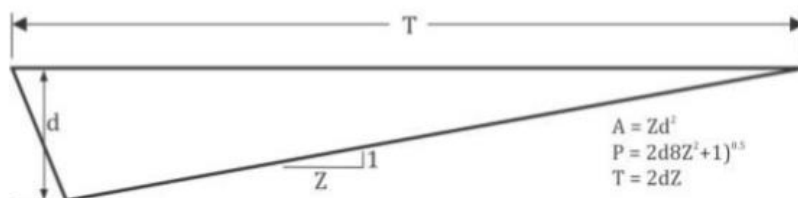
- Tramo 4. (Longitud de 48 metros, un área aferente más calzada de: 2322.48 m²)

$$Q = 0.3 * 4.277e - 5 \frac{m}{s} * 2322.48 m^2$$

$$Q = 0.03 \frac{m^3}{s}$$

Para la realización de los cálculos de la cuneta, se utilizó el esquema propuesto por el Manual de drenaje de carreteras del INVIAS el cual se muestra a continuación:

Figura 2. Sección de cuneta triangular



Fuente: Manual de drenaje para carreteras

Según este esquema, tenemos que los valores de este triángulo según nuestro perfil de cuneta son los siguientes:

- T= 0.53 m
- d= 0.15
- Z= 3.53

Al reemplazar los valores según nuestro perfil de diseño de la cuneta:

- Área ($b \cdot h / 2$) = 0.04125
- Perímetro mojado según formula de la sección de cuneta triangular
($P = 2d (Z^2 + 1)^{0.5} = 1.092$)
- Radio hidráulico ($R = A/P$) = 0.0377

Para el cálculo de caudal con la ecuación de Manning, tomamos los parámetros para el diseño de una cuneta triangular con una pendiente máxima de 12% y un coeficiente de rugosidad para el concreto de 0.015.

$$Q = \frac{1}{n} * (A * R H_3^2 * S^{0.5})$$

$$Q = 0.106 \frac{m^3}{s}$$

Al comprar los valores de caudal según las normas, el caudal de diseño calculado por la ecuación de Manning debe ser mayor al caudal de diseño para que no se origine sedimentación o inestabilidad en la corriente:

$$Q_{\text{Manning}} > Q_{\text{diseño}}$$

- Para tramo 2:

$$0.106 \frac{m^3}{s} > 0.028 \frac{m^3}{s}$$

CUMPLE

- Tramo 3:

$$0.106 \frac{m^3}{s} > 0.051 \frac{m^3}{s}$$

CUMPLE

- Tramo 4:

$$0.106 \frac{m^3}{s} > 0.03 \frac{m^3}{s}$$

CUMPLE

Se realiza la verificación de altura de la lámina de agua de la cuneta igualando la ecuación de Manning con el caudal de diseño.

$$Q = \frac{1}{n} (A * R H^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}})$$

$$0.028 \frac{m^3}{s} = \frac{1}{0.015} * (3.53 * d^2) * \left(\frac{3.53 * d}{2 * \sqrt{3.53^2 + 1}} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.12^{\frac{1}{2}}$$

$$d = 0.08m$$

Al comparar el valor de la lámina de agua con la altura de diseño de la cuneta se obtiene que:

$$0.15m > 0.08m$$

CUMPLE

11. DISEÑO DE ESTRUCTURA

Para el cálculo de la estructura, fue necesario analizar la respuesta estructural de esfuerzos y deformaciones de un sistema de pavimento en concreto, para esto, se utilizó el programa de elementos finitos EverFe 2.24.

Este software es un programa de análisis de elementos finitos en 3D para simular la respuesta de los sistemas de pavimento en concreto a las cargas por eje. Esta herramienta fue desarrollada en la universidad de Maine en el departamento de ingeniería civil y ambiental.

11.1 Modelación de pavimentos en placa – huella con programa de elementos finitos.

En el siguiente modelo, se presentará los diferentes tipos de esfuerzos que se le aplicaron a una configuración de losa cuando se le aplican diferentes cargas cuando pasan diferentes tipos de ejes. En este análisis de esfuerzos se tomará en cuenta la propuesta por el INVIAS en la guía de diseño de placa huellas el cual menciona “En pavimentos de placa huella, cada una de las huellas soportan un lado del eje, por lo que para efectos de modelación se considera una distribución de 50% del peso total del eje en cada huella”.³⁰

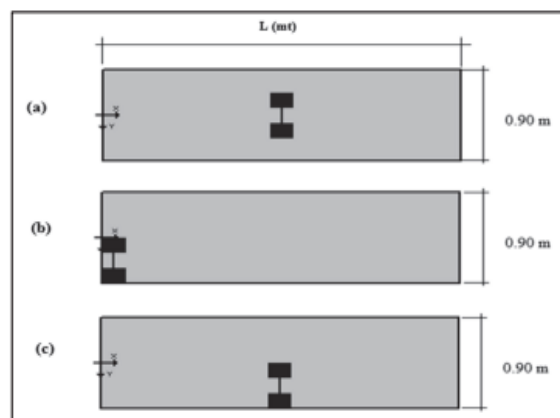
Los esfuerzos en los modelos dados a continuación, se realizaron en los ejes más críticos que puede llegar a soportar la losa de concreto, también recomendados por el INVIAS en la guía de diseño de Placa Huella.

³⁰ Instituto nacional de vias. (29 de Agosto de 2016). *INVIAS*. Recuperado el 13 de Marzo de 2018, de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras>

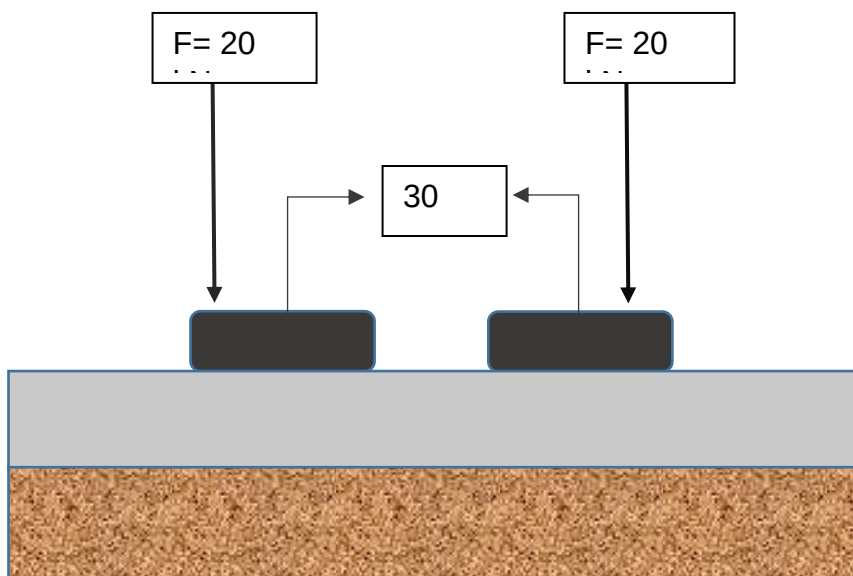
- **Modelo 1**

Este modelo consistió en una placa huella de concreto de 0.9 m de ancho, con una longitud variable de 1.5 m y 3.0 m, y un espesor variable entre 0.15 m y 0.20 m, la placa huella esta soportada sobre una capa granular de 0.15 m con un módulo de 200 MPa, apoyado sobre una subrasante con modulo resiliente de 20.68 MPa. La carga utilizada para este modelo fue un semi eje de rueda doble de 40 kN, con una separación de ruedas de 0.30 m el cual se ubicó en diferentes posiciones;

- Centro-Centro
- Centro – Borde
- Centro - esquina.



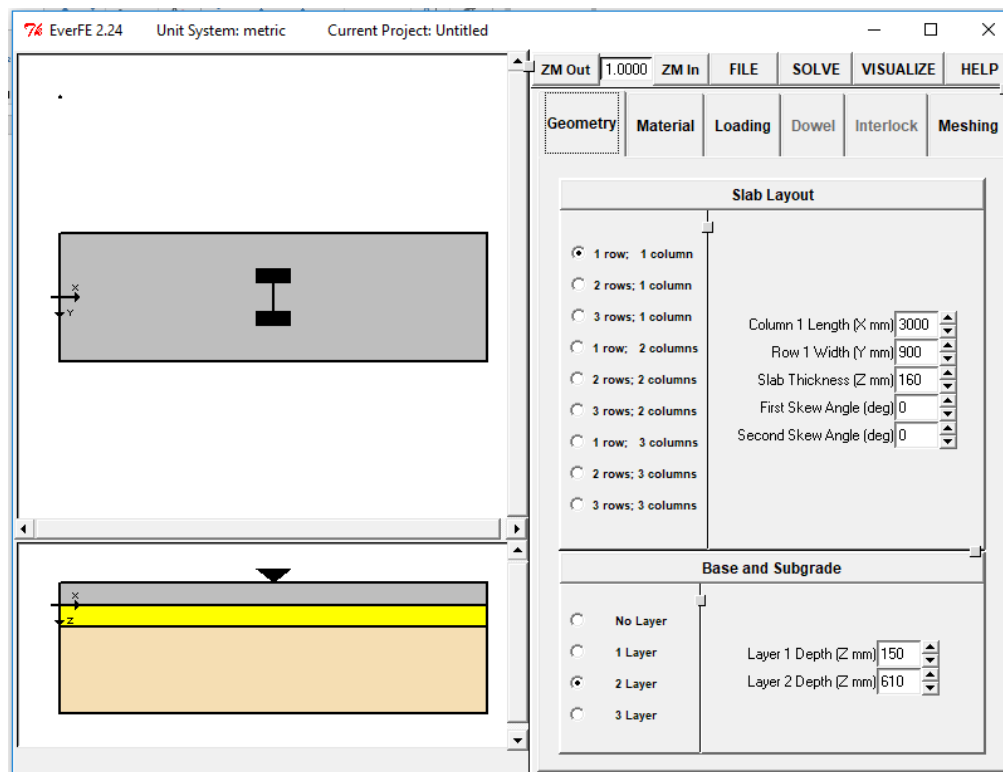
Fuente: Guía de diseño de Placa Huella (INVIAS)



El software EverFE 2.24 cuenta con diferentes datos de entrada para poder diseñar, los cuales son:

- Geometría

El modelo consiste en una placa de 0.9 metros de ancho, una longitud de 3.0 metros, un espesor de placa variable de 0.17 metros y una capa granular de 0.15 metros.



- Materiales

En el segundo ítem tenemos las propiedades del material de las losas, la base y subbase a intervenir, el software trata las losas como sólidos linealmente elásticos y por ende se debe especificar el módulo de elasticidad (E), la relación de Poisson (ν), el coeficiente de expansión térmica α y la densidad de la losa en concreto. Para esto, se utilizaron los siguientes parámetros de la **losa** para su modelación:

- Módulo de elasticidad del concreto (E): 27000 MPa.
- Coeficiente de Poisson (ν): Se adapta un valor de 2.0.
- Coeficiente de expansión térmica (α): 1.1×10^{-5} .
- Densidad de losa: Concreto con armadura 2400 kg/m³

Para el cálculo de la **base** se utilizaron los siguientes parámetros:

- Módulo de elasticidad (E): 200 MPa.
- Coeficiente de Poisson (ν): Valor típico de base y subbase granular un valor de 0.35.

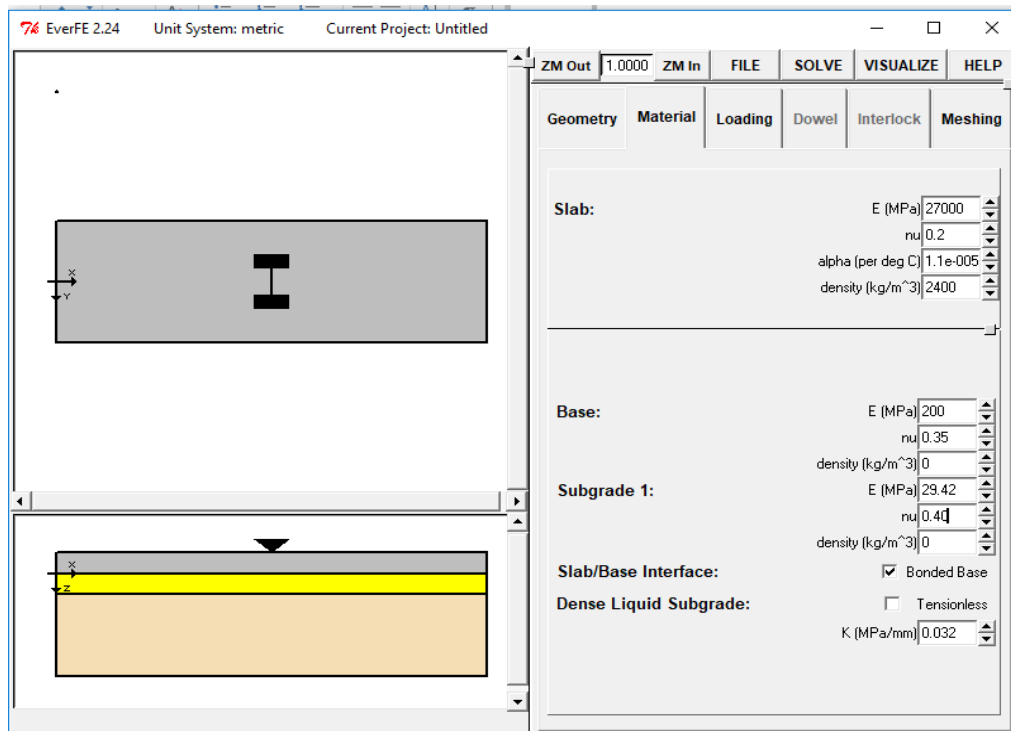
El programa supone por defecto que la expansión/contracción térmica es cero ya que no tiene efecto en el resultado, por defecto se supone que la densidad de la capa es cero.

Para el cálculo de la **subrasante** se utilizaron los siguientes parámetros:

- Módulo de elasticidad suelo fino (E): 29.42 MPa.
- Coeficiente de Poisson (ν): Valor típico de suelo de subrasante un valor de 0.40.

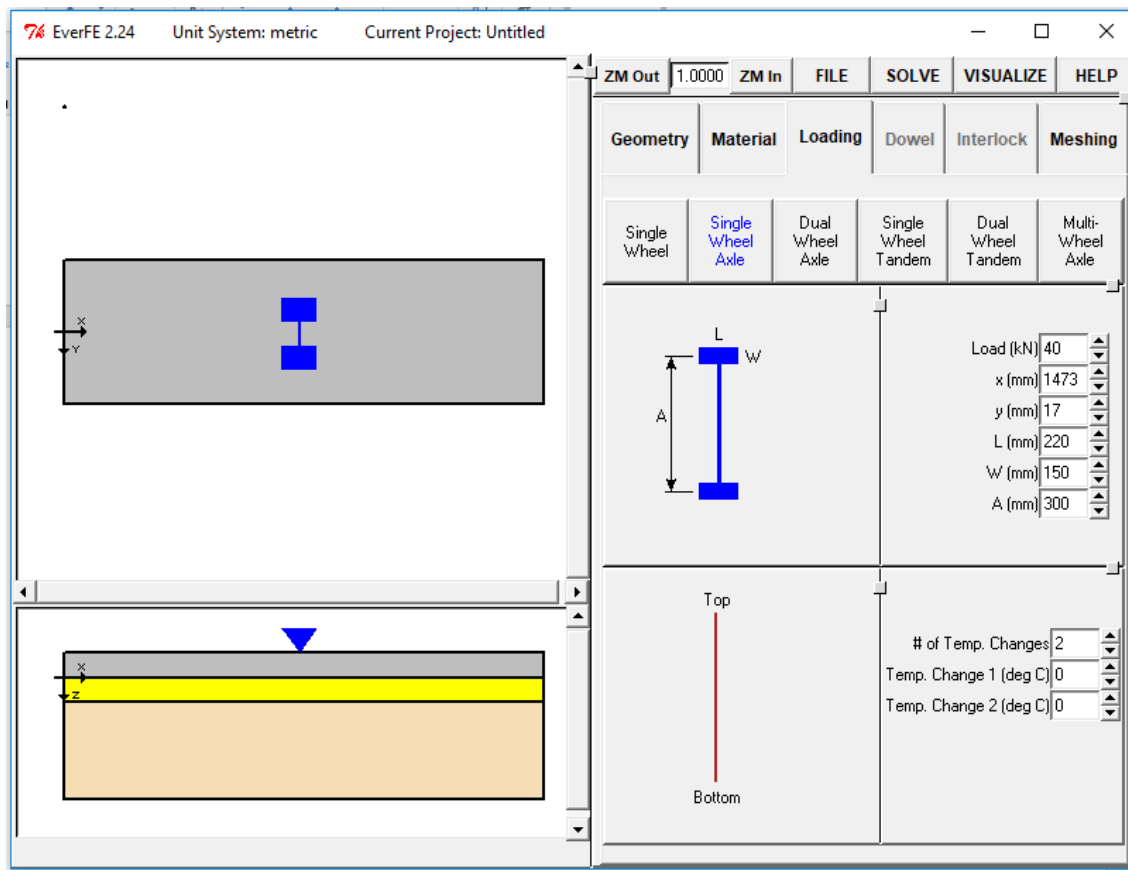
Para la densidad líquida de la subrasante (k), se utiliza el del diseño de pavimento rígido con el método AASHTO convirtiéndolo a valores de MPa/mm el cual da 0.32 MPa/mm.

Al obtener todos los valores, se introducen al programa:



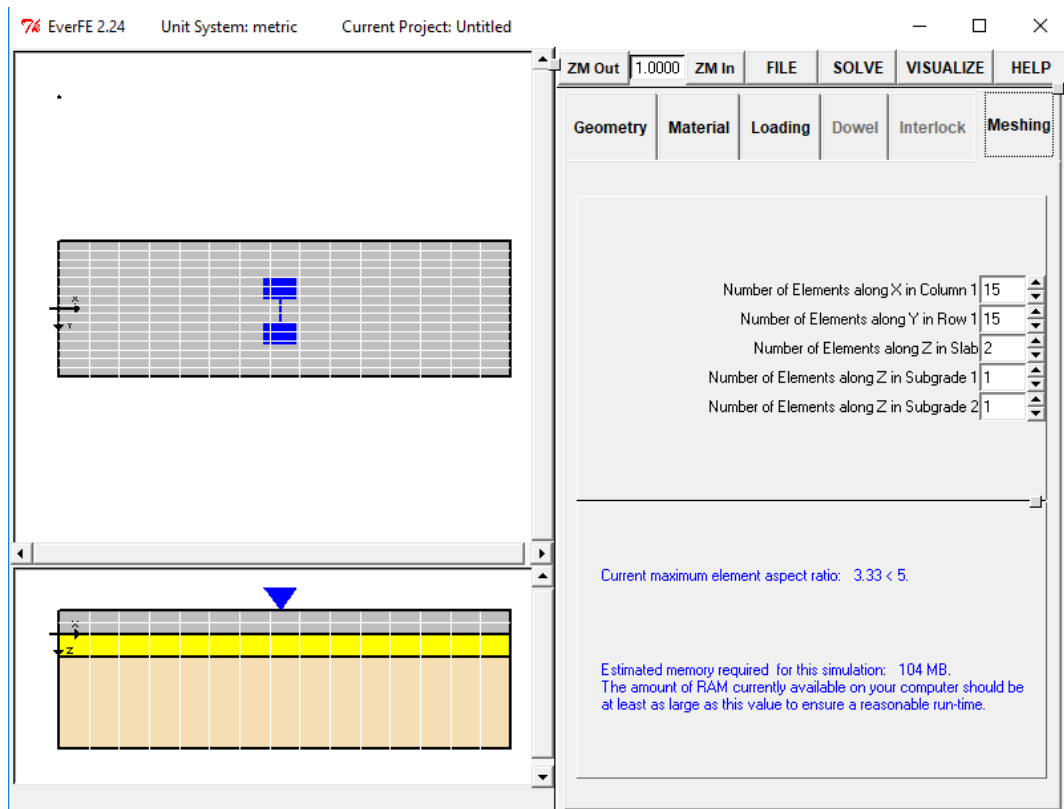
- Cargas por eje

En el tercer ítem, se tienen el tipo de cargas al cual se va a exponer la losa, en donde se introducen los valores de la geometría de la rueda y las coordenadas en donde se va a posicionar en la losa.



- Malla

Para este proyecto, se empleará un mallado con divisiones en fila y columna de 15.



Resultados de la evaluación

Este modelo se evaluó para placas con longitudes y espesores diferentes con tres posiciones de carga diferentes; (Centro-Centro, Centro-Borde, Centro-Esquina), el software arroja los resultados de los máximos esfuerzos de tensión obtenidos para las diferentes longitudes y espesores de placa, para este modelo, el esfuerzo máximo de tensión se presenta cuando la carga está ubicada en el Centro-Borde. A continuación, se presenta la tabla que muestra los resultados de esfuerzo máximo a tensión en diferentes espesores y longitudes de placa.

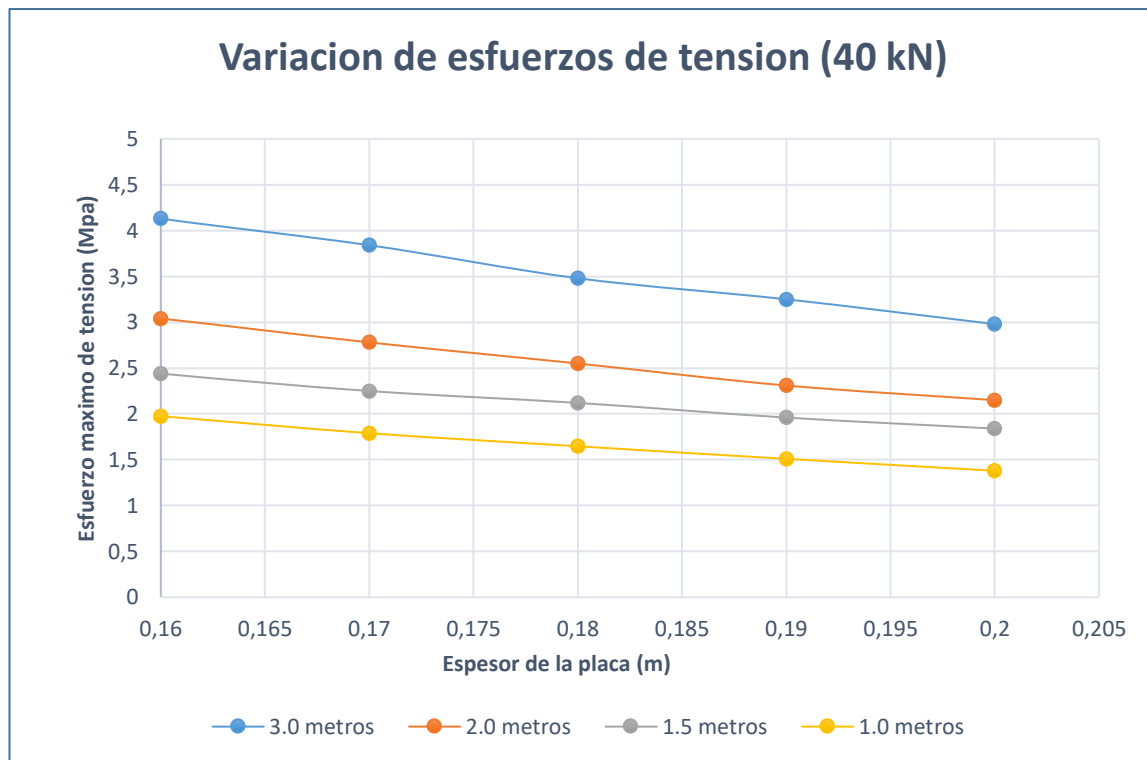
Tabla 27. Esfuerzo máximo de tensión para diferentes posiciones de carga (MPa)

Longitud (m)	Espesor (m)	Centro-Centro	Esquina	Centro-Borde
3.0	0.15	3.55	2.86	4.46
	0.16	3.22	2.65	4.13
	0.17	3.05	2.54	3.84
	0.18	2.75	2.32	3.48
	0.19	2.5	2.15	3.25
	0.2	2.42	1.98	2.98
2.0	0.15	2.53	2.25	3.27
	0.16	2.35	2.06	3.04
	0.17	2.13	1.87	2.78
	0.18	1.92	1.66	2.55
	0.19	1.79	1.51	2.31
	0.2	1.64	1.18	2.15
1.5	0.15	2.51	1.32	2.67
	0.16	2.22	1.16	2.44
	0.17	2.01	1.03	2.25
	0.18	1.80	0.98	2.12
	0.19	1.63	0.91	1.96
	0.2	1.48	0.84	1.84
1.0	0.15	1.53	1.22	2.15
	0.16	1.36	1.09	1.975
	0.17	1.22	0.976	1.79
	0.18	1.09	0.862	1.647
	0.19	0.975	0.782	1.51
	0.2	0.896	0.693	1.38

Fuente: Propia

También se puede observar que, en las diferentes longitudes de placa evaluada, el esfuerzo disminuye con el aumento de espesor de placa, a menor longitud de placa, menor el esfuerzo máximo a tensión.

Gráfico 3. Esfuerzos máximos de tensión en función espesor de placa



Fuente: Propia

En esta grafica se puede concluir que a mayor espesor de placa menor es el esfuerzo máximo, y menor longitud de placa, menor es el esfuerzo máximo.

Según la Portland Cement Association (PCA), los pavimentos de concreto se diseñan para un MR entre 3.8 MPa y 4.5 MPa, para el caso de pavimentos en placa huella, que son para vías rurales y se construyen con concreto realizado en obra, es conveniente requerir un valor bajo de MR para así reducir el máximo esfuerzo admisible antes de que el pavimento se fisure por carga ultima.³¹

³¹ Orobio, Armando, & Orobio, Juan Carlos (2016). Pavimentos con placa-huella de concreto simple: Análisis con elementos finitos 3D. <i>Dyna, 83</i>(199), undefined-undefined. [fecha de Consulta 16 de octubre de 2019]. ISSN: 0012-7353.

11.2 Diseño de pavimento rígido por la metodología AASTHO-93

El presente diseño es basado en la metodología de la AASHTO 93 para cálculo de espesor de placa y desarrollado con la ayuda del programa empírico PavimR. Con la ayuda de este software podemos calcular y dar una idea de cuánto puede ser el espesor de la losa en concreto, para esto es necesario tener los siguientes parámetros o factores de diseño.

11.2.1 Factores de diseño

Para el diseño de pavimento rígido se deben tener en cuenta diferentes factores como el tráfico, drenaje, características del suelo y del concreto, nivel de serviciabilidad y grado de confiabilidad acorde con el grado de importancia de la vía. Todos estos factores son de gran importancia para poder pronosticar un comportamiento bueno y confiable de la estructura y evitar que el pavimento alcance el nivel de rotura durante su vida útil.

La ecuación de la AASHTO para el diseño de pavimento rígido se define con la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Calculo para diseño de pavimento rígido método AASHTO

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^{-7}}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k} \right]^{0.25}} \right]} \right] \quad (4)$$

Donde:

W18: Numero de cargas de 80 KN

Zr: Valor de Z correspondiente a la circa estandarizada.

S0: Desvío estándar de las variables

Sc: Serviabilidad final

J: Coeficiente de transferencia de carga

Cd: Coeficiente de drenaje

Ec: Modulo de elasticidad de concreto

K: Modulo de reacción de la subrasante en pci. (psi/pulg)

11.2.1.1 Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o periodo de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de este periodo.

En la siguiente tabla se expresan los niveles de confiabilidad según el tipo de carretera expresado por la AASHTO – 93.

Tabla 28. Niveles de confiabilidad

Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: (AASHTO, 1993)

En el manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito del INVIAS, consideran una confiabilidad del 70% debido a que las vías de este manual son de bajo tránsito.

Para este proyecto, escogemos la carretera tipo colectoras de zona rural, escogiendo un nivel de confiabilidad promedio de 80% para que no se tengan problemas de diseño a futuro y tenga una buena vida útil.

11.2.1.2 Serviciabilidad

La serviciabilidad es una medida de comportamiento del pavimento que se relaciona con seguridad y comodidad que se le brinda al usuario cuando circula por la vía. También se puede relacionar con las características físicas que presenta el pavimento como fallas, grietas, etc., que pueden llegar a afectar la capacidad de soporte de la estructura.

Para el diseño de pavimento rígido sugerido por la AASHTO – 93, solicita dos parámetros de serviciabilidad: Índice de serviciabilidad inicial e Índice de serviciabilidad final.

Para el cálculo de la serviciabilidad inicial, la AASHTO recomienda un valor inicial deseable de 4.5, y para el cálculo de la serviciabilidad final se consideran los valores indicados en la siguiente tabla:

Tabla 29. Índice de serviciabilidad final.

Pt	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

Fuente: (AASHTO, 1993)

Para una clasificación de vía tipo colector, se adopta un valor de serviciabilidad final de 2.5.

11.2.1.3 Desviación estándar

Para estos parámetros de diseño, es necesario la variable de desviación estándar (S_o), con el fin de asegurar que la estructura de pavimento se comporte apropiadamente durante su periodo de diseño.

Este parámetro es la desviación de la población de valores obtenidos por la AASHTO que incluye la variabilidad a los materiales y el proceso constructivo de la

estructura. En la siguiente tabla dado por la AASHTO, se muestran los siguientes valores para la desviación estándar.

Tabla 30. Valores para la desviación estándar

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S_0)	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39	0.49

Fuente: Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

Para un pavimento rígido, con la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito, se adopta un valor de 0.34.

11.2.1.4 Módulo de rotura

El módulo de rotura es un parámetro muy importante para el diseño de pavimentos rígidos, debido a que este va a controlar el agrietamiento por fatiga que se origina por las cargas repetitivas de los vehículos que transcurren por la vía.

El módulo de rotura se puede determinar a través de la siguiente correlación adoptado por la AASHTO:

Ecuación 13. Módulo de rotura

$$S'_c = k (f'_c)^{0.5} \quad (5)$$

En donde f'_c es la resistencia a compresión del concreto en psi y k un valor adoptado de 9.5.

11.2.1.5 Módulo de elasticidad del concreto

El módulo de elasticidad es un parámetro que indica la capacidad y la rigidez de distribuir las cargas de una losa de pavimento en donde se relaciona la tensión y la deformación del concreto. Para el concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano definió la siguiente ecuación:

Ecuación 14. Módulo de elasticidad del concreto.

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5} \quad (6)$$

En donde E_c y f'_c están dados en psi.

11.2.1.6 Transferencia de carga

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de manera eficiente de una losa a otra evitando las deflexiones de las juntas y posteriormente el bombeo o rotura de la losa de concreto

La capacidad de una estructura de pavimento rígido para distribuir cargas a través de juntas, es teniendo en cuenta el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga. Los módulos de transferencia de carga y las bermas tienen efecto sobre este valor.

En la siguiente tabla se establecen los rangos de los valores de transferencia de carga para diferentes condiciones de esfuerzo.

Tabla 31. Coeficientes de transmisión de carga.

Berma :	De Asfalto		De Concreto	
Dispositivos de transmisión de cargas :	Si	No	Si	No
Pavimento No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Reforzado continuo	2.9 - 3.2	-	2.3 - 2.9	-

Fuente: (AASHTO, 1993)

Para una berma en concreto, con pavimento no reforzado o reforzado con juntas, se adopta un valor de 2.5.

11.2.1.7 Coeficiente de drenaje de las capas granulares no tratadas (Subbases y bases).

Para tener en cuenta el grado de saturación que pueden tener las capas granulares no tratadas por los efectos de lluvia, la AASHTO 93 adopto en función del clima por humedad, los coeficientes de drenaje expresados en la siguiente tabla:

Tabla 32. Coeficiente de drenaje

Clasificación climática por humedad	m_i
Árido	1.15
Semi-árido	1.05
Sub-húmedo	1.00
Húmedo	0.95
Muy húmedo	0.85

Fuente: (AASHTO, 1993)

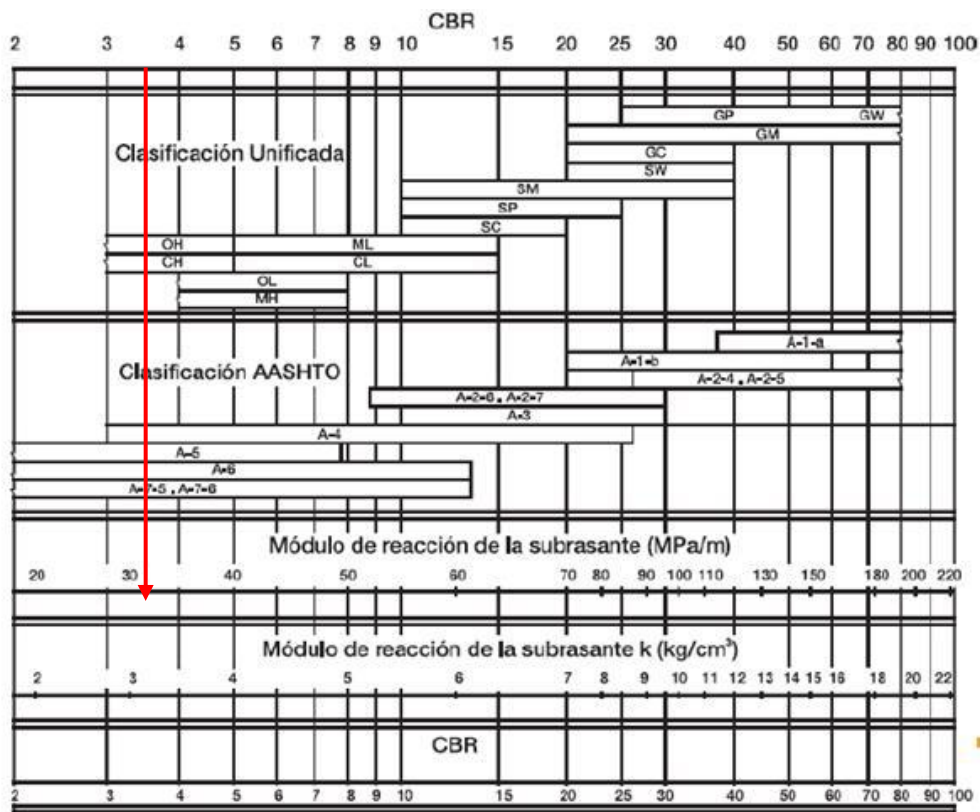
Para este proyecto, se adopta una clasificación sub – húmedo debido a estudios hidrológicos previos, dándole un valor de coeficiente de drenaje de 1.00.

Para realizar el cálculo de pavimento rígido con el método AASHTO, se obtuvieron los siguientes valores:

11.2.1.8 Módulo de reacción de la subrasante (K)

Este parámetro, nos muestra cuanto se asienta la subrasante cuando se le emplea un esfuerzo a compresión. Este valor, generalmente es estimado con ensayos como el CBR, según la AASHTO, el resultado es válido por qué no se requiere la determinación exacta del valor de K; las variaciones normales para un valor estimado no afectaran los requerimientos de espesores del pavimento.

Tabla 33. Relación entre los valores de K y otras propiedades del suelo.



Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Colombia, 2008, INVIAS.

Tomando el valor obtenido del CBR de 3.5%, nuestro módulo de reacción de la subrasante nos da aproximadamente 32 MPa/m. Pasando este valor a unidades de PCI nos da un valor de 116.8 PCI.

Tabla 34. Parámetros de diseño para pavimento rígido método AASHTO

CONFIABILIDAD	80%
SERVICIABILIDAD INICIAL	4,5
SERVICIABILIDAD FINAL	2,5
MODULO DE ROTURA (PSI)	594,49
MODULO DE ELASTICIDAD (PSI)	3566952,34
TRANSFERENCIA DE CARGA (J)	2,5
COEFICIENTE DE DRENAJE	1
RESISTENCIA A LA COMPRESION F'c (PSI)	3916,02
DESVIACION ESTANDAR	0,34
MODULO DE REACCION (PCI)	116,8

Fuente: Propia

Definido estos parámetros, se realizará el diseño de la estructura por el método AASHTO 93, por medio del programa empírico PavimR, con el fin de obtener el espesor de la losa de concreto.

Ya teniendo los valores que solicita el programa, se procede a introducir los valores para obtener el espesor de la estructura:

pavimR (Para diseñar Pavimentos) - [Diseño de Pavimento Rígido]

Archivo Pavimento Ayuda

Ecuación AASHTO 93

Serviciabilidad Inicial y Final

PSI Inicial: 4.5

PSI Final: 2.5

Confiabilidad [Zr] y Desviación Estandar [So]

Zr: -0.841

So: 0.29

Información Adicional

Módulo de Elasticidad del Concreto Ec [psi]: 3566952.34

Coefficiente de Transmisión de Carga [J]: 2.5

Módulo de Rotura de Concreto Sc [psi]: 594.49

Coefficiente de Drenaje [Cd]: 1

Seleccionar dato que tiene

☐ Espesor D ☒ Eje W18

W18: 68114.74

Módulo de Reacción de la Subrasante

K: 116.8 pci

Resultado

D: 3.31628 plg

pci = Libras /pulgadas^3 [lb/plg^3]
psi = Libras /pulgadas^2 [lb/plg^2]
plg = Pulgadas

Calcular Insertar Limpiar

Al introducir los valores al programa, se obtiene como resultado un espesor de placa de 3.1628 pulgadas o 8.42 cm, debido a que el cálculo arroja un bajo espesor de losa y según el diseño estructural con el programa de elementos finitos EverFe 2.24 que concluyendo que a mayor espesor de losa menor los esfuerzos máximos pero mayor serían los costos de construcción, para esto, se adopta un espesor de losa de 18 cm.

11.3 Diseño estructural de la placa huella

En este capítulo, se presenta un modelo de placa huella según los estudios presentados en el proyecto. Para este modelo se tienen las siguientes dimensiones: dos placas de concreto de noventa (90) centímetros de ancho, un espesor de losa en concreto clase D, $f'c = 3000$ PSI de dieciocho (18) centímetros, dos franjas de concreto ciclópeo de 2500 PSI de noventa (90) centímetros y una longitud de placa de dos (2) metros, las placas de concreto están arriostradas por unas viguetas de quince (15) centímetros de ancho por veinticinco (25) centímetros de alto.

Imagen 5. Modelo placa huella planta

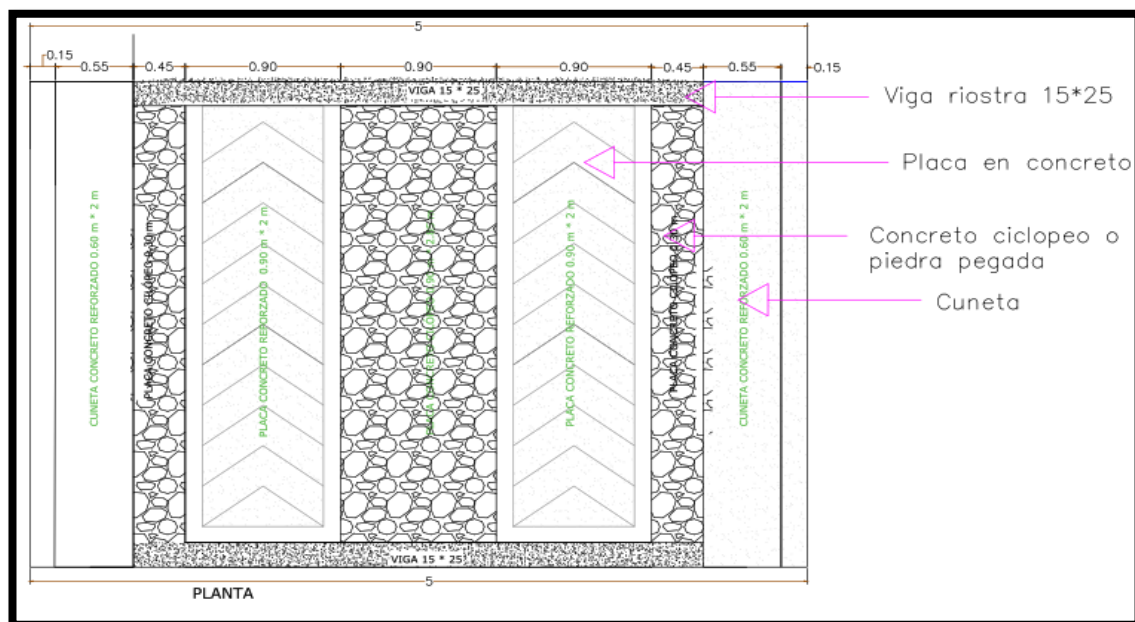
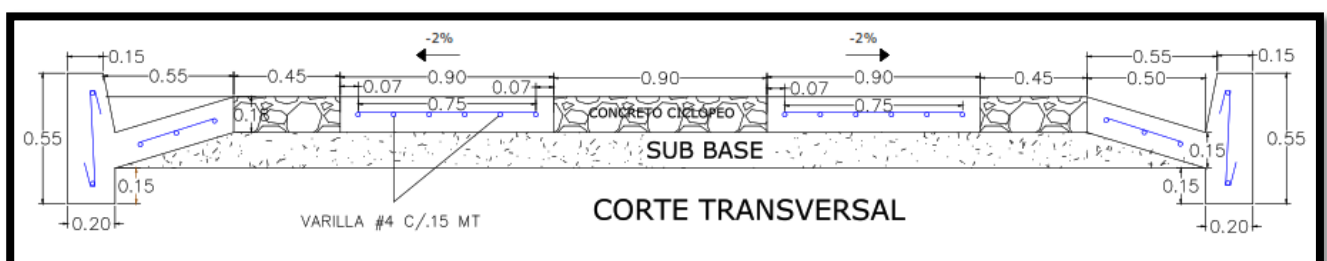


Imagen 6. Modelo placa huella perfil



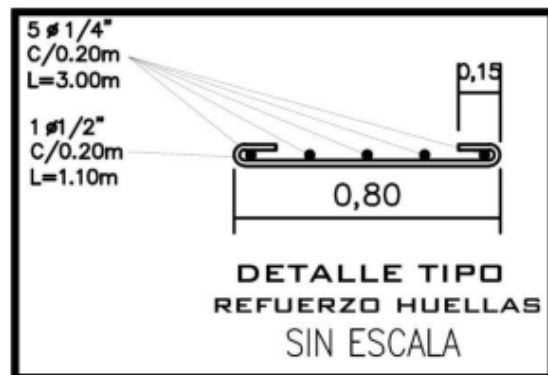
11.3.1 Afirmado de la superficie

Se contará con una sub-base granular de un espesor de quince (15) centímetros, la renivelación de la superficie se hará con el material proveniente de las excavaciones.

11.3.2 Hierro

Se colocará en las placas una armadura de hierro No 4 (1/2") cada veinte (20) centímetros en los dos sentidos, dos varillas No. 3 (3/8") para las vigas riostras con un acero de refuerzo en forma de "S" en barra No.3 cada quince (15) centímetros.

Imagen 7. Detalle armadura de hierro de placas



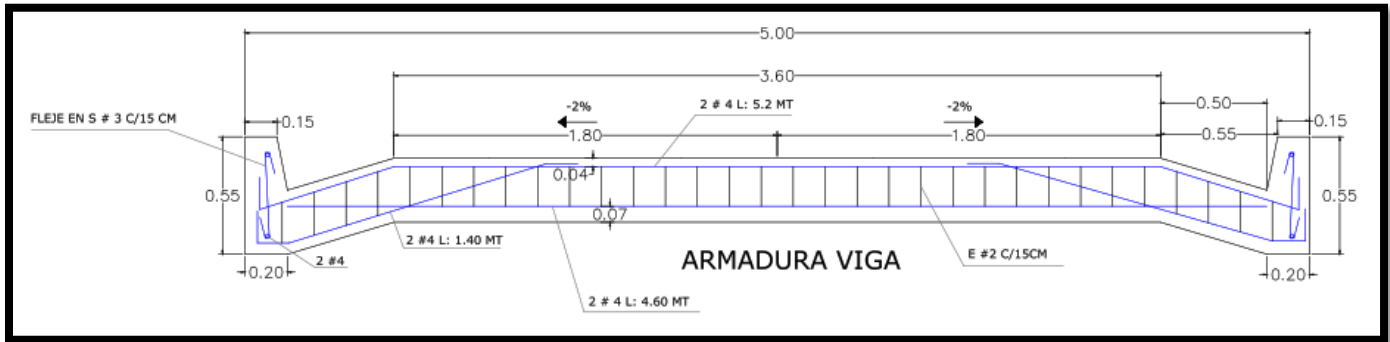
Fuente: Propia

Imagen 8. Detalle varillas viga riostra



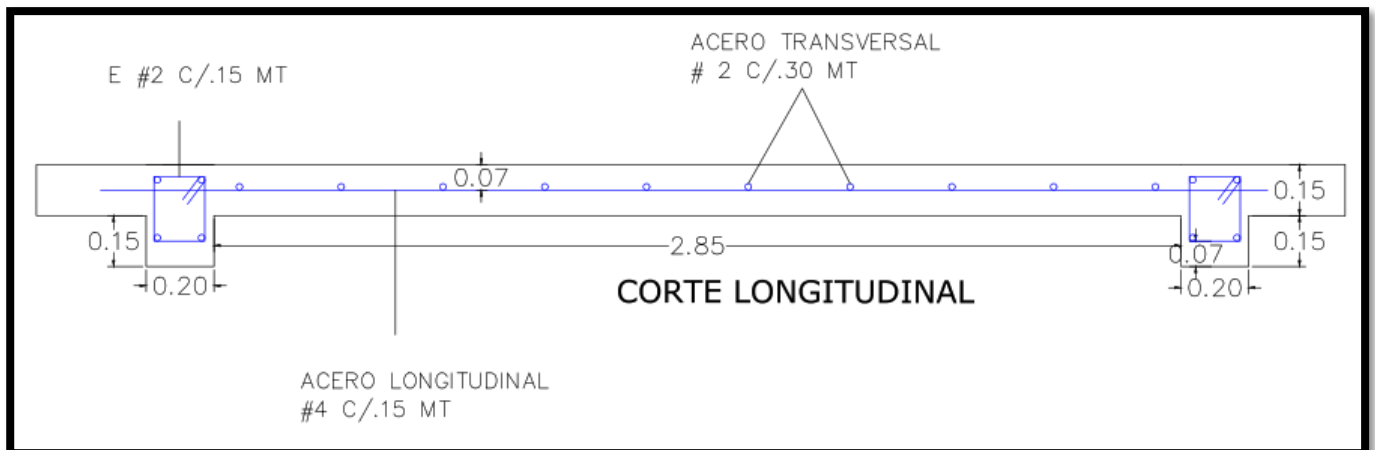
Fuente: Propia

Imagen 9. Armadura viga riostra corte transversal



Fuente: Propia

Imagen 10. Armadura viga riostra corte longitudinal

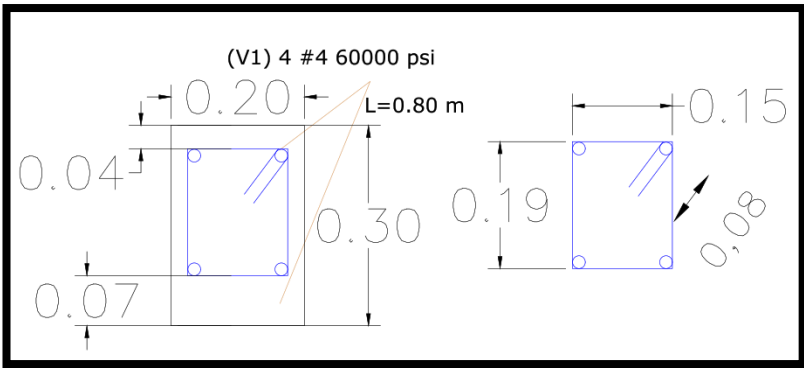


Fuente: Propia

11.3.3 Vigas riostras o de confinamiento

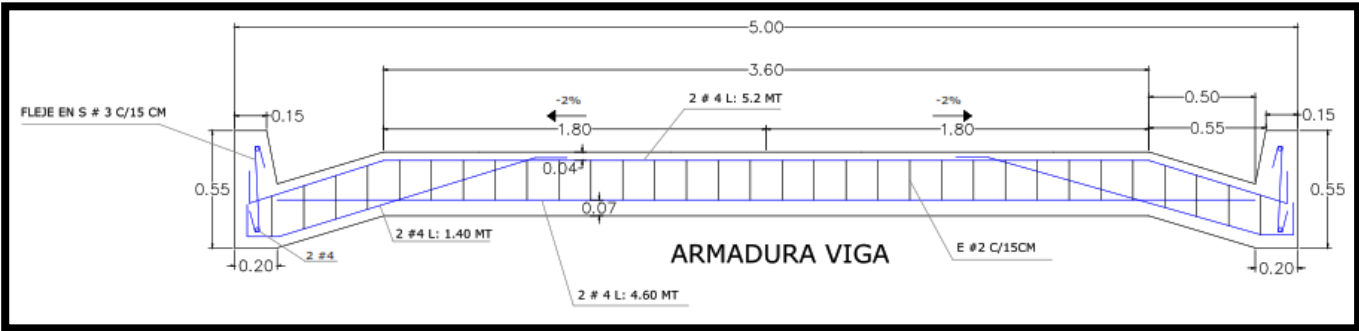
Estas vigas serán en concreto clase D, $f'_c = 3000$ PSI, con una longitud de 2.85 metros y una sección de quince (15) centímetros de ancho por veinticinco (25) centímetros de alto, tendrán cuatro (4) varillas No. 4 (1/2") longitudinalmente y tendrá flejes No. 2 cada quince (15) centímetros.

Imagen 11. Refuerzo viga riostra



Fuente: Propia

Imagen 12. Refuerzo y estribos de viga riostra

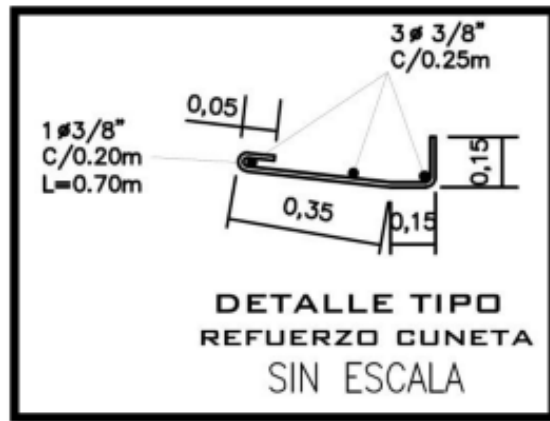


Fuente: Propia

11.3.4 Cuneta

Se hará una cuneta de quince (15) centímetros de alto cumpliendo las especificaciones hidráulicas según los estudios realizados anteriormente y se colocará una armadura de hierro No. 3 (3/8”).

Imagen 13. Refuerzo de cuneta



Fuente: Propia

11.3.5 Concretos

El concreto será clase D de resistencia a la compresión $f'_c = 3000$ PSI para las losas, concreto ciclópeo de resistencia a la compresión $f'_c = 2000$ PSI para centros y sobre anchos y concreta clase E para cunetas de resistencia a la compresión $f'_c = 2500$ PSI, cuyos se elaboran dando cumplimiento con lo manifestado en la Especificación Artículo 630 - 13 del INVIAS "Concreto Estructural".

11.3.6 Acero de refuerzo

El hierro de refuerzo corrugado debe ser acero de baja aleación y deben cumplir con las normas NTC – 2289, el modulo del acero debe ser de 200.000 MPa.

12. PRESUPUESTO

Los precios unitarios de este proyecto, se realizaron con base a los precios expuestos por el ICCU (Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca), emitidos en el periodo 2019-1, también, se utilizó la ayuda de bases como las del INVIAS y otros proveedores.

En el presupuesto, se tiene en cuenta de carácter teórico, los porcentajes del AIU (Administración, Imprevistos, Utilidad), esto para dar una idea a la entidad territorial de la cantidad estimada de los recursos a intervenir.

En la siguiente tabla, se muestra el presupuesto final para la construcción de una placa huella con una longitud de 200 metros y un ancho de 5 metros.

Tabla 35. Presupuesto final

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS						
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL						
	PROYECTO	PRE-DISEÑO ESTRUCTURAL DE PLACA HUELLA EN LA VEREDA SAN ANDRES EN LA MESA CUNDINAMARCA				
	NOMBRE:	ANDRES MOZZO LOPEZ				
	FACULTAD	INGENIERIA CIVIL				
	CODIGO	2147284				
PRESUPUESTO OFICIAL						
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1. PRELIMINARES						
1.1	Localizacion y replanteo	ml	1000.00	\$ 3,976.34	\$ 3,976,336.00	
1.2	Conformacion de la calzada existente	m2	1000.00	\$ 843.18	\$ 843,180.47	
2. EXCAVACIONES Y RELLENOS						
2.1	Excavaciones varias a maquina sin clasificar (incluye retiro de sobrantes a una distancia menor de 5 km)	m3	150.00	\$ 20,975.85	\$ 3,146,376.75	
2.2	Sub-base granular	m3	150.00	\$ 83,418.42	\$ 12,512,762.40	
2.3	Excavaciones varias en material comun seco a mano (incluye retiro de sobrantes a una distancia menor de 5 km)	m3	20.60	\$ 35,735.10	\$ 736,143.15	
2.4	Mejoramiento de la subrasante con rajon	m3	300	\$ 73,247.65	\$ 21,974,295.00	
3. PROCESO CONSTRUCTIVO PLACA HUELLA						
3.1	Concreto Clase D, f'c=3000 psi (para huellas)	m3	15.08	\$ 605,347.41	\$ 9,128,638.94	
3.2	Concreto Ciclopeo, 2500 psi 40% Rajon para bases	m³	118.02	\$ 374,508.82	\$ 44,199,530.94	
3.3	Acero Figurado 60000 psi	kg	7154.44	\$ 4,203.72	\$ 30,075,278.26	
3.4	Cuneta de Concreto Clase E, 2500 psi, Fundida en el Lugar	m³	72.00	\$ 523,769.16	\$ 37,711,379.63	
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 164,303,921.53	
				ADMINISTRACION	22.00%	\$ 36,146,862.74
				UTILIDAD	3.00%	\$ 4,929,117.65
				IMPREVISTO	5.00%	\$ 8,215,196.08
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					\$ 49,291,176.46	
VALOR PROYECTO					\$ 213,595,097.98	

Fuente. Propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Respecto al análisis y estudios realizados en este proyecto, el tipo de suelo encontrado en la zona según la recopilación de datos brindados por el municipio, es un suelo limo arcilloso (ML) que se encuentra sobre un material granular (GP), en donde la valoración de atributos de estos suelos sobre todo el del limo arcilloso (ML) no es muy buena, esto quiere decir que el suelo en el cual vamos a realizar el proyecto no es muy adecuado, el CBR de la subrasante es de 3.5% por lo cual es necesario realizar un mejoramiento a la capa de apoyo. Se propone como mejor alternativa el mejoramiento con rajón, ya que su procedimiento constructivo es muy fácil y no es tan costoso.

Debido a su crecimiento de hectáreas de cultivo, es recomendable tener en cuenta el PIB per cápita de Cundinamarca, para este caso, según las estadísticas del gobierno de Cundinamarca, en los últimos años se obtuvo un crecimiento del 5.1% y se considera que siga subiendo, de esta manera se realizara un diseño apto según el crecimiento poblacional para que la vida útil del pavimento sea optima cumpliendo estos requerimientos.

En la modelación de el espesor de placa, se consideró el método AASTHO con la intención de justificar los espesores bajo un modelo matemático. Con este método se obtuvo un espesor de losa de aproximadamente 9 centímetros, esto debido a que el tránsito que transcurre ahí no es tan abundante como una vía principal y no tiene tantos vehículos pesados. Por este motivo, se diseñó estructuralmente la losa determinando esfuerzos máximos en diferentes posiciones con carga en la losa, en donde se determinó un espesor óptimo de 18 centímetros y una longitud de losa de 2.0 metros, esto también tomando en cuenta el tiempo de proceso constructivo, costos del proyecto y vida útil, el espesor de esta losa es óptimo para que alcance y supere su vida útil y un costo adecuado para ejecutar el proyecto como también una proyección de vehículos a futuro.

Al momento de realizar el análisis de la vía, se pudieron observar algunas deficiencias en el sistema de drenaje, debido a que, al no realizar un digno mantenimiento de la vía, en los laterales o cunetas naturales se produce sedimentación de diferentes tipos de rocas y también vegetación, evitando que el agua fluya a la alcantarilla existente. En sistema hidráulico de drenaje se consideró el método de diseño propuesto por el INVIAS en donde se asegura que la capacidad hidráulica cumpliera, de este modo el diseño de la cuneta nos dio un valor de 15 centímetros de altura y una lámina de agua de 8 centímetros, con lo cual, cumple satisfactoriamente.

El uso de programas utilizados en este proyecto establece una herramienta rápida y eficaz para el desarrollo del diseño de la losa de concreto, pero para esto es fundamental definir muy bien los parámetros necesarios para un buen calculo.

La placa huella es una obra civil completamente empírica que no se encuentra en otros países, pero tomando en cuenta un pavimento rígido de otro país como en Europa y comparándolo en Colombia, nos damos cuenta que primero ellos diseñan una vía para más de 30 años, queriendo mostrar su excelencia en el diseño y ejecución de una vía. También es importante recalcar que la norma INVIAS acepta suelos de baja calidad en comparación a otros países, dando la posibilidad que se evidencie mala calidad en las vías colombianas.

Este trabajo se realiza con la ayuda del manual del INVIAS para seguir algunos parámetros importantes en la realización de diseño de una placa huella, pero también es importante efectuar un diseño con criterio propio, ideas y argumentos que hagan que la ingeniería sea única y poder llegar a otros resultados y conclusiones diferentes que nos muestran en las cartillas.

Al ser una obra que beneficia a la comunidad, es fundamental dar diferentes charlas o reuniones explicando la importancia de cuidar y realizar un buen mantenimiento a la vía, ellos deben mantener la vía limpia y en buenas condiciones para que en un futuro no se presenten accidentes. También es importante realizar la limpieza en las estructuras de drenaje para que no afecte el flujo del agua y no se colmaten las alcantarillas.

Cabe recalcar que el municipio como contratista también es responsable de realizar estas medidas de mantenimiento, las actividades a considerar para el mantenimiento de las obras de placa huella, se pueden ordenar en tres grupos específicos: mantenimiento preventivo, Periódico y Correctivo (atención de emergencias).

El Contratista es el responsable del control de la calidad del proyecto. Por lo tanto, deberá realizar y controlar todas las actividades que se requieran para ejecutar cada parte de la obra de acuerdo con las especificaciones y demás requerimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Accolombia. (08 de 03 de 2016). *Accolombia*. Obtenido de <https://acolombia.com/eliptica-magnetica-la-mesa-cundinamarca-envio-incluido/>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimentos 1993*.
- Asocreto. (4 de 12 de 2015). *360° en concreto*. Obtenido de 360° en concreto: <http://blog.360gradosenconcreto.com/caminos-en-concreto-como-opcion-para-vias-terciarias/>
- Cardona, G. (2017). Vias terciarias para la paz. *Revista de ingeniería*(45), 8.
- Departamento nacional de planeación. (2015). *Rehabilitación vías terciarias mediante uso de placa huella*. Bogotá, Colombia.
- Departamento nacional de planeación. (08 de 2016). *Proyectos tipo*. Obtenido de Proyectos tipo: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/placahuella/ptplacahuella.pdf>
- Figueroa, J. (diciembre de 2005). *Guía para el uso del método de diseño de estructuras de pavimento nuevos según método AASHTO 2002*. San Salvador, El Salvador.
- Gobierno de Cundinamarca. (2013). *Estadísticas de Cundinamarca*.
- Hernández, J. C. (2015). *Placa huella para red terciaria un acercamiento para el diseño y construcción*. Bogotá.
- Higuera, C. (2010). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Teoría y ejemplos de aplicación. Volumen II*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Instituto Colombiano de Productores de Cemento. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. Medellín, Colombia.
- Instituto Nacional de Vías. (29 de Agosto de 2016). *INVIAS*. Recuperado el 13 de Marzo de 2018, de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras>
- INVIAS (Instituto Nacional de Vías). (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. (J. H. FloreGalvez, & A. Bolaños Mora, Eds.) Colombia.
- INVIAS. (2012). Artículo 320-07. *Subbase granular*. Bogotá, Colombia.

- Juarez, B., & Rico, R. (2004). *teoria y aplicaciones de la mecanica de suelos*. Mexico: Limusa.
- Norma INVIAS. (15 de Agosto de 2007). *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Obtenido de <ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Normas%20de%20Ensayo%20de%20materiales%20para%20carreteras/S ECCI%C3%93N%20100.pdf>
- Norma INVIAS. (s.f.). *Relacion de soporte de suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)*.
- Noticias dia a dia. (2012). *Alcaldia de la mesa entrega placa huella en vereda La aguna. La mesa*.
- Orobio, A., & Orobio, J. C. (2016). *Pavimentos con placa huella de concreto simple: analisis con elementos finitos 3D*. Cali.
- Romero, A. C. (30 de 01 de 2016). *Proceso constructivo y presupeusto para un kilometro de plaza huella en la via acolsure*. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1006/1/28567.pdf>
- Sánchez, H. D. (2015). *Seguimiento de la construccion de las placa huella de la via de la cumbre en el municipio de Cajica. Cajica*.
- Secretaria de estado de infraestructura. (2010). *Secciones de firme*. Obtenido de Instruccion de carreteras Norma 6.1 IC: <http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/RE1122.pdf>

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 36. Estratigrafía sondeo No. 1

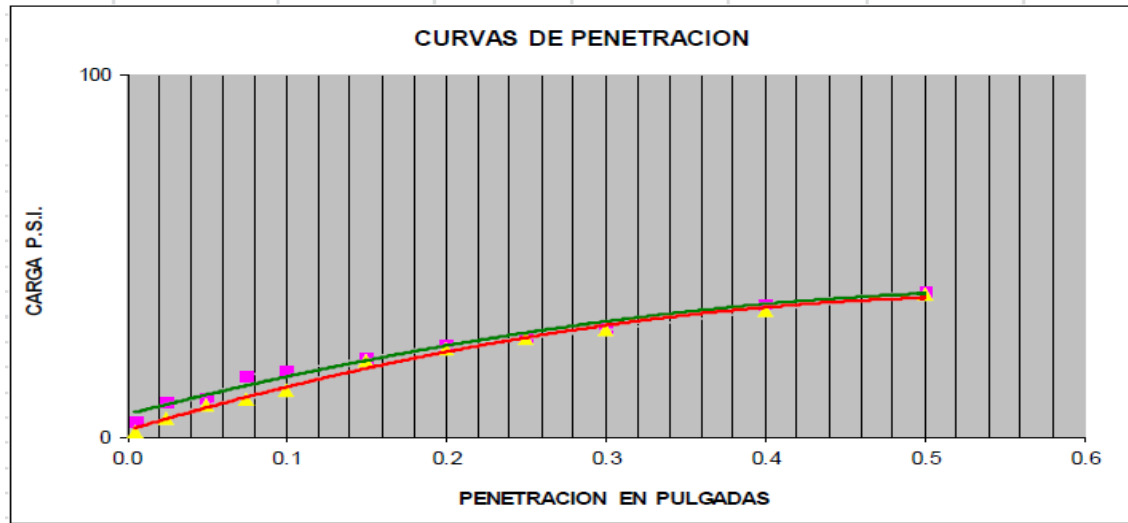
MEMORIA SONDEO No. 1																
PROYECTO: SECTOR LAS BRISAS LA MESA CUNDINAMARCA			UBICACIÓN: K0+100													
EQUIPO: APIQUE			LA MESA CUNDINAMARCA													
PROFUNDIDA 1.50 MTS			ORDEN DE SERVICIO No 1163													
PROF.		DESCRIPCION DE LOS ESTRATOS	MUESTRAS													
			No.	CLASIFICACION		LL	LP	IP	%PASA No200	MUESTREO		Cu	Qu	Obs		
				SUCS	A.A.S.H.T.O.					DE	A					
0.00		LOSA DE CONCRETO									0.00	0.10				
0.10		LIMO ARCILLOSO ROJIZO CON DESECHOS DE CONSTRUCCION	1	ML	A-7-6	40.20	27.80	12.40	27.82	0.10	0.70	BL-V				
0.70																
0.70		LIMO ARCILLOSO ROJIZO CON DESECHOS DE CONSTRUCCION	2	ML	A-7-6	43.10	25.70	17.40	26.46	0.70	1.50	BL-V				
1.50																
V=MUESTRAS DE LAVADO			Bx N1 NO ROTACION CON RECUPERACION DEL NUCLEO											BL=BOLSA		
SPT= ENSAYO DE PENETRACION ESTÁNDAR			q= PENETROMETRO (kg/cm2)													
SHL= TUBO SHELBY			cs= TORNOMETRO DE MANO (KG/CM2)													
OBSERVACIONES:																

Tabla 38. Estratigrafía sondeo No.3

MEMORIA SONDEO No. 3																			
PROYECTO: SECTOR LAS BRISAS LA MESA CUNDINAMARCA										UBICACIÓN: KO+300									
EQUIPO: APIQUE										LA MESA CUNDINAMARCA									
PROFUNDIDA 1.50 MTS										ORDEN DE SERVICIO No 1163									
MUESTRAS																			
PROF.	DESCRIPCION DE LOS ESTRATOS	No.	CLASIFICACION		LL	LP	IP	%PASA		MUESTREO	Qu	Qu	Ots						
			SUCS	A.A.S.H.T.O.				No200	DE A					TPO					
0.00	LOSA DE CONCRETO									0.00	0.10								
0.10																			
0.50	MATERIAL GRANULAR CON DESECHOS DE CONSTRUCCION	1	GP		31.20	21.50	9.70	22.33	0.10	0.50	BL-V								
0.50	LIMO ARCILLOSO ROJOZO CON DESECHOS DE CONSTRUCCION	2	ML	A-7-6	44.10	22.90	21.20	26.54	0.50	1.50	BL-V								
1.50																			
V=MUESTRAS DE LAVADO										Bx=1 NO ROTACION CON RECUPERACION DEL NUCLEO					BL=BOLSA				
SPT= ENSAYO DE PENETRACION ESTÁNDAR										q=PENETROMETRO (kg/cm2)									
SHL= TUBO SHELBY										c= TORNOMETRO DE MANO (KG/CM2)									
OBSERVACIONES:																			

Anexo 4

Gráfico 4. Curvas de penetración de CBR sondeo No.1



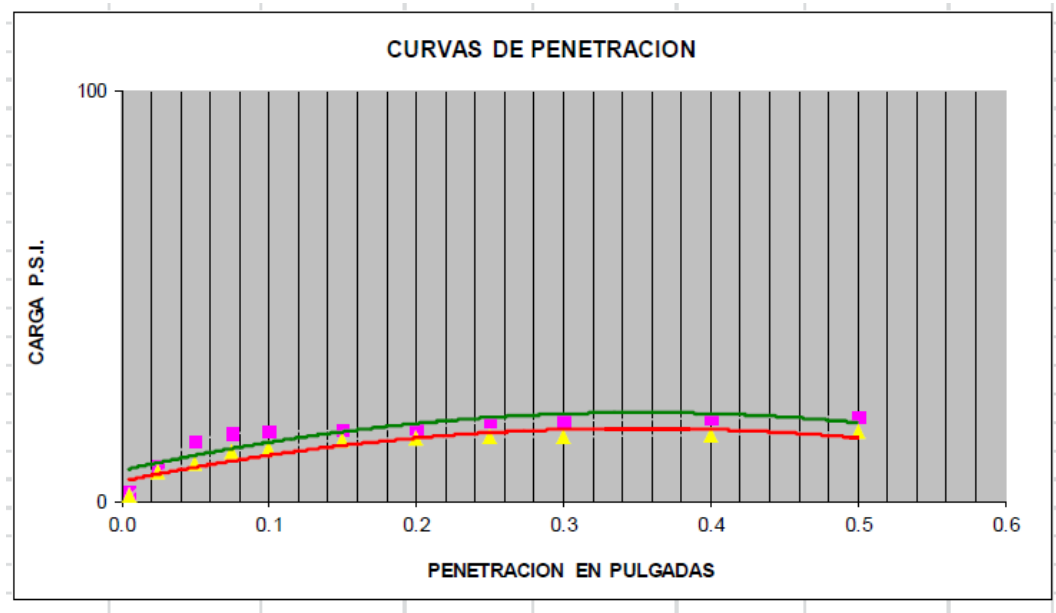
Anexo 5

Tabla 39. Resultados de curvas de penetración de CBR sondeo No.1

ENSAYO No	1		2		3	
Número de golpes	SECO		SUMERGIDO			
Días de inmersión	0		0		0	
Lectura expansión Inicial						
Lectura expansión 1er día						
Lectura expansión 2do día						
Lectura expansión 3er día						
Lectura expansión 4to día						
EXPANSION TOTAL %	0		0		0	
Penetración en pulgadas	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I
0.005	12.5	4.2	4.4	1.5		
0.025	28.4	9.5	15.8	5.3		
0.050	32.5	10.8	26.5	8.8		
0.075	50.4	16.8	31.2	10.4		
0.100	54.2	18.1	39.0	13.0		
0.150	65.5	21.8	63.2	21.1		
0.200	76.5	25.5	73.2	24.4		
0.250	82.3	27.4	81.5	27.2		
0.300	90.4	30.1	88.2	29.4		
0.400	110.2	36.7	104.2	34.7		
0.500	120.8	40.3	117.9	39.3		
Hum. Penetración, %	42.3		80.2			
C.B.R. Corregido a 0.1"	5.4		3.9			
C.B.R. Corregido a 0.2"	5.1		4.9			

Anexo 6

Gráfico 5. Curvas de penetración de CBR sondeo No.2



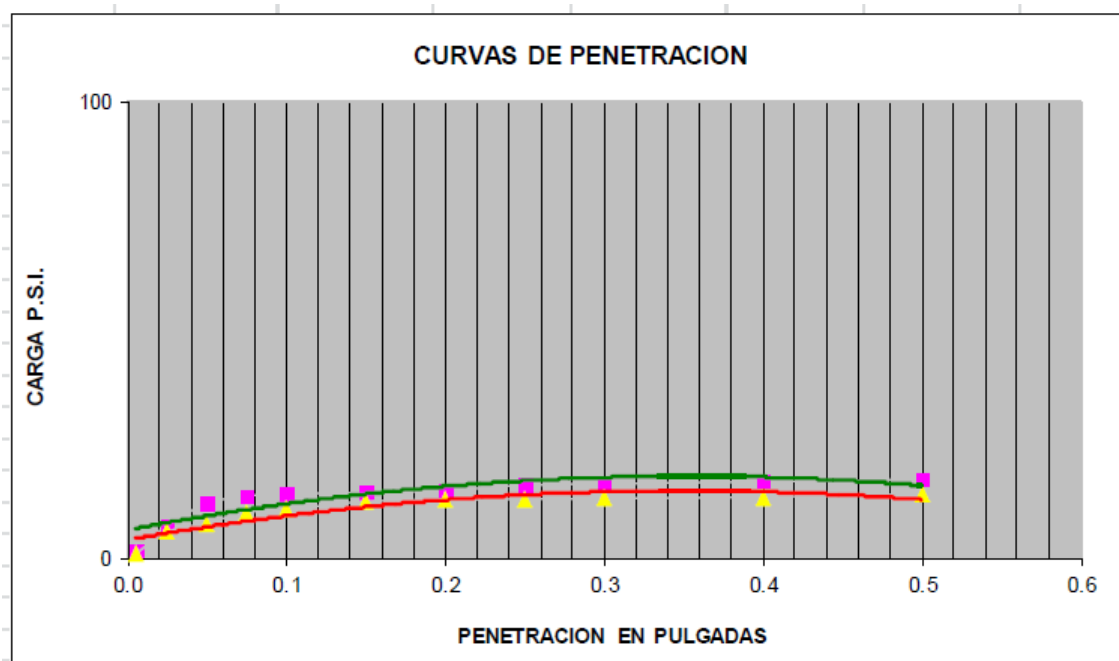
Anexo 7

Tabla 40. Resultados de curvas de penetración de CBR sondeo No.2

ENSAYO No	1		2		3	
Número de golpes	SECO		SUMERGIDO			
Días de inmersión	0		0		0	
Lectura expansión Inicial						
Lectura expansión 1er día						
Lectura expansión 2do día						
Lectura expansión 3er día						
Lectura expansión 4to día						
EXPANSION TOTAL %	0		0		0	
Penetración en pulgadas	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I.	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I.	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I.
0.005	7.2	2.4	3.8	1.3		
0.025	26.1	8.7	20.9	7.0		
0.050	43.2	14.4	27.8	9.3		
0.075	49.1	16.4	36.4	12.1		
0.100	50.7	16.9	38.3	12.8		
0.150	51.8	17.3	45.0	15.0		
0.200	53.5	17.8	46.0	15.3		
0.250	57.6	19.2	46.8	15.6		
0.300	58.7	19.6	47.2	15.7		
0.400	60.5	20.2	48.4	16.1		
0.500	62.1	20.7	50.8	16.9		
Hum. Penetración, %	42.3		80.2			
C.B.R. Corregido a 0.1"	5.1		3.8			
C.B.R. Corregido a 0.2"	3.6		3.1			

Anexo 8

Gráfico 6. Curvas de penetración de CBR sondeo No.3



Anexo 9

Tabla 41. Resultados de curvas e penetración de CBR sondeo No.3

ENSAYO No	1		2		3	
Número de golpes	SECO		SUMERGIDO			
Días de inmersión	0		0		0	
Lectura expansión Inicial						
Lectura expansión 1er día						
Lectura expansión 2do día						
Lectura expansión 3er día						
Lectura expansión 4to día						
EXPANSION TOTAL %	0		0		0	
Penetración en pulgadas	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I.	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I.	CARGA TOTAL	CARGA P.S.I.
0.005	6.0	2.0	3.1	1.0		
0.025	21.7	7.2	17.4	5.8		
0.050	36.0	12.0	23.2	7.7		
0.075	40.9	13.6	30.3	10.1		
0.100	42.2	14.1	31.9	10.6		
0.150	43.2	14.4	37.5	12.5		
0.200	44.6	14.9	38.3	12.8		
0.250	48.0	16.0	39.0	13.0		
0.300	48.9	16.3	39.3	13.1		
0.400	50.4	16.8	40.3	13.4		
0.500	51.8	17.3	42.3	14.1		
Hum. Penetración, %	47.2		90.32			
C.B.R. Corregido a 0.1"	4.2		3.2			
C.B.R. Corregido a 0.2"	3.0		2.6			