

**ESTUDIO TÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL TRAZADO VIAL
SIBATÉ–FUSAGASUGÁ CONTEMPLANDO LOS COMPONENTES DE
TRANSITO, PAVIMENTO, DISEÑO GEOMÉTRICO Y PRESUPUESTO**

**ANA MARIA CHISCO ROJAS CÓDIGO: 506199
DIANA CAROLINA RESTREPO RINCON CÓDIGO: 506168**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD PROYECTO SOCIAL
BOGOTÁ
2019**

**ESTUDIO TÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL TRAZADO VIAL
SIBATÉ–FUSAGASUGÁ CONTEMPLANDO LOS COMPONENTES DE
TRANSITO, PAVIMENTO, DISEÑO GEOMÉTRICO Y PRESUPUESTO**

**ANA MARIA CHISCO ROJAS CÓDIGO: 506199
DIANA CAROLINA RESTREPO RINCON CÓDIGO: 506168**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Director
YELINCA NALENA SALDEÑO MADERO
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD PROYECTO SOCIAL
BOGOTÁ
2019**



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

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

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



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



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, D.C., diciembre 01 de 2019

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	13
RESUMEN	17
1. INTRODUCCIÓN	18
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	20
2.1. ANTECEDENTES	20
2.2. JUSTIFICACIÓN	22
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROYECTO	24
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	24
3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	25
4. MARCO DE REFERENCIA	27
4.1 ESTADO DEL ARTE	27
4.2 MARCO TEÓRICO.....	30
4.2.2 Diseño de pavimento.....	34
4.2.3 Diseño Geométrico de una Vía.....	49
4.2.4 Análisis de Precios Unitarios (APU).....	64
4.3 MARCO CONCEPTUAL.....	64
5. OBJETIVOS.....	69
5.1 GENERAL.....	69
5.2 ESPECÍFICOS	69
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	70
6.1 ALCANCES.....	70
6.1.1 Espacio.....	70
6.1.2 Tiempo.....	73
6.2 LIMITACIONES.....	74
7. METODOLOGÍA	75
7.1 BENEFICIO PARA LA COMUNIDAD	75
7.2 ENFOQUE	76
7.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	76
7.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	77

7.5	FASES CORRESPONDIENTES AL TRABAJO DE GRADO	77
7.5.1	1 FASE: Planeación del proyecto.	77
7.5.2	2 FASE: Desarrollo del proyecto.....	78
7.5.3	3 FASE: Propuesta técnica del proyecto	81
8.	EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS	82
8.1	ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	82
8.2	ESTUDIO DE SUELOS	84
8.3	DISEÑO GEOMÉTRICO	120
8.4	COSTOS DE VOLÚMENES	151
	CONCLUSIONES.....	153
	RECOMENDACIONES	154
	BIBLIOGRAFÍA	156
	ANEXOS	162

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Histórico de lesionados en Cundinamarca por accidente de tránsito	25
Tabla 2.Histórico de muertes en Cundinamarca por accidente de tránsito	25
Tabla 3.Trabajos relacionados	27
Tabla 4. Número de carriles	31
Tabla 5. Clasificación de vehículos.	36
Tabla 6.Número de ejes según autobuses	37
Tabla 7.Número de ejes según camión	37
Tabla 8. Número de ejes según camión-remolque	37
Tabla 9.Número de ejes según tractor	38
Tabla 10. Número de ejes según tractor camión	38
Tabla 11.Configuración y número de llantas por eje	39
Tabla 12. Periodo de diseño en función de los tipos de carreteras	42
Tabla 13. Factor de distribución por carril	43
Tabla 14.Valores comunes de tasas de crecimiento	44
Tabla 15.Niveles sugeridos de confiabilidad	44
Tabla 16.Valores de desviación estándar normal.....	45
Tabla 17.Error estándar (So).....	45
Tabla 18. Índice de servicio dependiendo de la serviciabilidad	46
Tabla 19.Resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad (Ec)	47
Tabla 20.Valores recomendados para S'c para diseño de pavimento	47
Tabla 21.Relación entre (mr) y el (cbr)	48
Tabla 22.Valor promedio del módulo k dependiendo del tipo de suelo	49
Tabla 23.Tipos de carreteras según el tipo de terreno	51
Tabla 24.Tipos de carreteras según su competencia.....	53
Tabla 25.Coeficiente de tracción valores	55
Tabla 26.Valores de velocidad de diseño para tramos homogéneos, según el tipo.....	55
Tabla 27.Coeficiente de fricción transversales máximos.....	61
Tabla 28.Radios mínimos para un peralte máximo de 8%	62
Tabla 29.Recomendación de valores para el bombeo en %	64
Tabla 30.Clasificación de los vehículos en Colombia.....	79
Tabla 31.Ensayos para realizar en el laboratorio	80
Tabla 32. Tráfico promedio diario semanal	83
Tabla 33.Cálculo de ejes equivalentes	84
Tabla 34. Perfil estratigráfico muestra 1	87

Tabla 35.Perfil estratigráfico muestra 2	87
Tabla 36.Perfil estratigráfico muestra 3.....	88
Tabla 37.Perfil estratigráfico muestra 4.....	88
Tabla 38.Resultados análisis granulométrico de suelo tipo 1.....	89
Tabla 39.Resultados análisis granulométrico de suelo tipo 2.....	90
Tabla 40. Resultados análisis granulométrico de suelo tipo 3.....	91
Tabla 41.Resultado análisis granulométrico de suelo tipo 4	92
Tabla 42.Resultados coeficiente de curvatura y coeficiente de curvatura de las muestras en estudio.....	93
Tabla 43.Límites de Atterberg	94
Tabla 44.Datos de los moldes para el ensayo.....	96
Tabla 45.Datos de la muestra del suelo tipo 1	96
Tabla 46.Resultados del ensayo Proctor modificado para el suelo tipo 1	96
Tabla 47.Datos de la muestra del suelo tipo 2	97
Tabla 48.Resultados del ensayo Proctor modificado para el suelo tipo 2	98
Tabla 49.Datos de la muestra del suelo tipo 3	99
Tabla 50.Resultados del ensayo Proctor modificado para el suelo tipo 3	100
Tabla 51. Datos de la muestra del suelo tipo 4	101
Tabla 52.Resultados del ensayo Proctor modificado para el suelo tipo 4	101
Tabla 53.Resultados % CBR de muestra del suelo tipo 1.....	103
Tabla 54.Resultados % CBR de muestra de suelo tipo 2.....	104
Tabla 55.Resultados % CBR de muestra de suelo tipo 3.....	105
Tabla 56.Resultados % CBR de muestra de suelo tipo 4.....	107
Tabla 57.Precipitación.....	111
Tabla 58.Temperatura.....	112
Tabla 59.Diseño del pavimento.....	113
Tabla 60.Categoría del tránsito	114
Tabla 61.Valores de módulo resiliente para cada una de las muestras de suelo.....	115
Tabla 62.Valores de módulo resiliente en Mpa, para lo suelos analizados	115
Tabla 63.Categoría de la subrasante	116
Tabla 64.Carta 4 utilizada para el diseño del pavimento muestra 1 y 2	118
Tabla 65.Carta 4 para el diseño del pavimento de los suelos tipo 3 y 4.....	119
Tabla 66.Tipos de terreno en carreteras	125
Tabla 67.Velocidad de diseño para el corredor vial.....	125
Tabla 68.Pendientes máximas de las carreteras por su clasificación	126
Tabla 69.Pendiente máxima del corredor vial	127
Tabla 70.Longitud mínima de la tangente	128
Tabla 71.Datos.....	128
Tabla 72.Velocidad específica para el diseño de la vía.....	129

Tabla 73. Diseño horizontal de la vía	129
Tabla 74. Radios mínimos y fricción transversal	130
Tabla 75. Peralte de la vía.....	131
Tabla 76. Diseño geométrico vertical de la vía.....	132
Tabla 77. Valores mínimos de kv	133
Tabla 78. Datos	134
Tabla 79. Valores recomendados para el bombeo.....	135
Tabla 80. Datos de volúmenes.....	151
Tabla 81. Costo de volúmenes de la vía	151
Tabla 82. Costos por unidad departamento de Cundinamarca	152

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Pavimento flexible (estructura)	34
Figure 2. Pavimento rígido (estructura)	35
Figura 3. Tipos de terrenos en carreteras	52
Figura 4. Elementos geométricos de una curva circular simple	57
Figura 5. Elementos geométricos de una curva circular compuesta de 2 radios.....	59
Figura 6. Transición del peralte	63
Figura 7. Sección transversal típica mixta, pavimentada en recta.....	63
Figura 8. Mapa de carreteras del país.....	71
Figura 9. Vía Sibaté- Fusagasugá.....	71
Figura 10. Vía Sibaté- Fusagasugá y sus veredas.....	72
Figura 11. Desarrollo de fases	81
Figura 12. Zona de estudio Sibaté -Fusagasugá.....	82
Figura 13. Zona de estudio Sibaté- Fusagasugá.....	83
Figura 14. Toma de apiques, muestra 1	85
Figura 15. Toma de apiques, muestra 3.....	85
Figura 16. Muestras de suelo en el laboratorio	86
Figura 17. Curva granulométrica 1	90
Figura 18. Curva granulométrica 2	91
Figura 19. Curva granulométrica 3.	92
Figura 20. Curva granulométrica 4	93
Figura 21. Curva de compactación suelo tipo 1	97
Figura 22. Curva de compactación suelo tipo 2	99
Figure 23. Curva de compactación suelo tipo 3	100
Figura 24. Curva de compactación suelo tipo 4	102
Figura 25. Curva de deformación muestra 1	104
Figura 26. Curva de deformación muestra 2	105
Figura 27. Curva de deformación 3	106
Figura 28. Curva de deformación 4	107
Figura 29. Evaluación de la modalidad	111
Figura 30. Diseño de pavimento para suelos tipo 1 y 2.....	118
Figura 31. Diseño de pavimento para suelos tipo 3 y 4.....	120
Figura 32. Vía de estudio	121
Figura 33. Trazado de ruta existente.....	121
Figura 34. Curvas de nivel 2D	122

Figura 35. Curvas de nivel	123
Figura 36. Alineamiento	123
Figura 37. Terreno montañoso	124
Figura 38. Elementos que componen una calzada	134
Figura 39. Sección típica	135
Figura 40. Secciones transversales típicas	135
Figura 41. Vista de secciones en el corredor de la vía	136
Figura 42. Vista sección transversal	137
Figura 43. Creación de alineación a partir de objetos	139
Figura 44. Ajuste de normas de diseño	139

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Desarrollo de la práctica de laboratorio por tamizado	168
Anexo 2. Desarrollo de la práctica de laboratorio por límites	169
Anexo 3. Desarrollo de la práctica de laboratorio por proctor modificado	170
Anexo 4. Datos de temperatura	172
Anexo 5. Formato de laboratorios solicitados	174
Anexo 6. Formatos de laboratorios solicitados	175
Anexo 7. Cronograma de ensayos en el laboratorio	176
Anexo 8. Carta de compromiso	177

GLOSARIO

AASHTO: Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y transporte.¹

BERMA: Franjas comprendidas entre los bordes de las calzadas y las cunetas. Controlan las humedades y posibles erosiones que tenga la calzada.²

BOMBEO: Es la pendiente transversal entre las tangentes horizontales de la vía, que facilita el escurrimiento superficial del agua.³

CALZADA: Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos, está generalmente está pavimentada o acondicionada con algún afirmado.⁴

CAPACIDAD: Es el número máximo de vehículos que pueden circular por una vía, bajos las condiciones del tránsito.⁵

¹ (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Glosario. [En línea]. Bogotá: SEC [citado el: 17 de octubre de 2019]. <https://www.invias.gov.co/index.php/servicios-al-ciudadano/glosario/130-glosario-manual-diseño-geometrico-carreteras>)

² (Glosario INVIAS, op. cit. P.5)

³ (Diseño geométrico de carreteras, 2013)

⁴ (Glosario INVIAS, op. cit. P.6)

⁵ (Glosario INVIAS, op. cit. P.7)

CARRETERA: Infraestructura del transporte cuya finalidad es brindar la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, cumpliendo los niveles de seguridad y comodidad establecidos. Esta puede estar constituida por uno o varios sentidos, una o más calzadas.⁶

CARRIL: Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.⁷

CBR: (California Bearing ratio: ensayo de relación de soporte de California), es el valor relativo de soporte que puede tener un suelo.⁸

CUNETAS: Son zanjas revestidas, construidas paralelamente a las bermas, estas facilitan el drenaje superficial longitudinal de la carretera.⁹

CURVA HORIZONTAL: Es la trayectoria que une dos tangentes que se encuentran consecutivas, puede tener un empalme básico o de combinación con dos o más.¹⁰

CURVA VERTICAL: Son curvas utilizadas para empalmar dos tramos de pendientes constantes, esto con el fin de suavizar la transición de una pendiente a otra en el

⁶ (Glosario INVIAS, op. cit. P.6)

⁷ (Glosario INVIAS, op. cit. P.8)

⁸ (AASHTO,1993)

⁹ (Glosario INVIAS, op. cit. P.9)

¹⁰ (Glosario INVIAS, op. cit. P.11)

movimiento vertical que pueden tener los vehículos, estas brindan la seguridad y comodidad de la vía. ¹¹

DISEÑO EN PLANTA: Es la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Está constituido por varios tramos rectos llamados tangentes, enlazados por medio de curvas. ¹²

DISEÑO EN PERFIL: Proyección del eje real o espacial de la vía sobre una superficie vertical paralela.¹³

NIVEL DE SERVICIO: Refleja las condiciones operativas del tránsito vehicular con variables como la velocidad y tiempos de recorrido, comodidad y seguridad vial.¹⁴

PAVIMENTO: Es el conjunto de capas superpuestas, horizontalmente, las cuales se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y compactados. Estas estructuras están apoyadas sobre la subrasante de una vía, donde deben resistir esfuerzos de las cargas repetidas del tránsito ejercen durante el periodo el cual fue diseñado.¹⁵

¹¹ (Glosario INVIAS, op. cit. P.13)

¹² (Glosario INVIAS, op. cit. P.14)

¹³ (Glosario INVIAS, op. cit. P.15)

¹⁴ (Glosario INVIAS, op. cit. P.16)

¹⁵ (Glosario INVIAS, op. cit. P.17)

PAVIMENTO FLEXIBLE: Es un tipo de pavimento constituido por una capa de rodadura bituminosa apoyado sobre diferentes capas de material no ligado. ¹⁶

PERALTE: Es la inclinación dada al perfil transversal de una carretera en los tramos en los tramos de una curva horizontal para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento. ¹⁷

SUBRASANTE: Esta superficie es acondicionada sobre la cual se apoya la estructura del pavimento. ¹⁸

TRAMO HOMOGÉNEO: Longitud del trazado de la carretera al que por las características topográficas se le asigna una determinada velocidad de diseño (VTR). ¹⁹

VELOCIDAD DE DISEÑO: Es la velocidad de referencia de un tramo homogéneo de carretera, la cual define las características geométricas mínimas de los elementos del trazado. ²⁰

¹⁶ (Glosario INVIAS, op. cit. P.20)

¹⁷ (Glosario INVIAS, op. cit. P.21)

¹⁸ (Glosario INVIAS, op. cit. P.22)

¹⁹ (Glosario INVIAS, op. cit. P.23)

²⁰ (Glosario INVIAS, op. cit. P.24)

RESUMEN

El trabajo de grado que se presenta a continuación, es un estudio de prefactibilidad que tiene como objetivo general el mejoramiento del corredor vial Sibaté – Fusagasugá, con el fin de brindar comodidad, seguridad y transitabilidad de la población afectada. En el desarrollo del proyecto social siempre se manejó contacto con la comunidad, logrando un trabajo en equipo para la obtención de datos y un excelente alcance de objetivos.

Para llevar a cabo este proyecto se tomaron en cuenta las variables climáticas como lo son la temperatura y precipitación de la zona de estudio, se realizó un estudio de tránsito por medio de aforos vehiculares, para realizar las respectivas proyecciones, también se llevó a cabo un análisis de suelo utilizando la metodología de los apiques y realizando ensayos de laboratorio a las diferentes muestras obtenidas en campo, con el fin de diseñar un pavimento , para este diseño se tomó como referencia el manual para medios y bajos volúmenes de tránsito que ofrece el INVIAS. Esta entidad también regula los parámetros requeridos para el diseño del mejoramiento vial.

1. INTRODUCCIÓN

La economía de un país se ve afectada o beneficiada de acuerdo a su red de infraestructura, además que es un alto factor de financiamiento para la construcción, sin tener en cuenta que al pasar los años se requiere de mantenimientos o rehabilitaciones por el mal estado de las vías, es por esta razón que la disponibilidad vial es esencial para garantizar el desarrollo social, económico y cultural de un país, de ahí la vitalidad por mantener en buenas condiciones de funcionalidad toda su malla vial, así como también debe ofrecer seguridad, comodidad, estética, y que sea compatible con el medio ambiente.

Este trabajo se centra en el mejoramiento de una vía (secundaria), estas vías unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera primaria. Según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS)²¹, Para la cual se le realizará un nuevo diseño geométrico y el respectivo diseño del pavimento, con el fin de mejorar el corredor vial Sibaté-Fusagasugá, para ello es necesario conocer el tipo de suelo donde se mejorará su estructura con el objeto de obtener un diseño apropiado de acuerdo a las necesidades del sector, también es necesario tener en cuenta varios elementos, como lo son la capacidad de soporte del suelo, el tránsito vehicular que circulará sobre la estructura durante todo su periodo de diseño, las condiciones climáticas y los materiales, entre otros .(INVIAS).

Al identificar un corredor vial que no cumple con las expectativas, es importante reconocer los elementos que conforman su trazado geométrico original y las razones por las cuales este se ve afectado, en el caso del corredor vial Sibaté-Fusagasugá es el

²¹ (Instituto Nacional de Vías, 2016)

mal estado en que se encuentra, sufre grandes deterioros en la estructura del pavimento, precaria señalización, lo cual produce altos índices de accidentalidad. Esta vía a parte de cumplir la función de comunicar las cabeceras municipales ya mencionadas, también brinda la conexión con veredas aledañas como lo son la vereda San Miguel, las Fronteras y el Peñón. Estas poblaciones abastecen sus necesidades por medio de estos municipios por tanto la importancia del mejoramiento vial de esta zona. Sin embargo, esta vía también es utilizada para disminuir el nivel de flujo vehicular en la doble calzada Bogotá-Girardot la cual se ve altamente saturada en temporadas vacacionales y fines de semana festivos.

Para la realización de esta propuesta de mejoramiento vial se tomó como base la información geográfica obtenida por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), posteriormente para la proyección y el estudio de tránsito se recolectó información en campo y se analizó con los datos correspondientes de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), para así obtener las condiciones de capacidad vial y sus niveles de servicio, también se llevaron a cabo ensayos de laboratorio para determinar el estado del suelo y así proponer el diseño de pavimento apropiado según las condiciones estudiadas.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

2.1. ANTECEDENTES

La infraestructura vial es fundamental económica y socialmente para el desarrollo de un país, la historia de los pavimentos en Colombia se remonta a la dictadura de Rafael Reyes, quien crea el ministerio de obras públicas MOP el 7 de enero de 1905 para direccionar las vías nacionales y las líneas férreas. Desde esa época se clasifican las vías en nacionales, departamentales y municipales.

A partir del siglo XX la movilización era muy compleja ya que no se contaba con vías pavimentadas, durante esta época el desarrollo era muy lento además de la gran dispersión de carreteras en varias ciudades, a comienzos de los cincuenta se empieza a reflejar el desarrollo con sus construcciones en redes de transporte, un factor que influyó en el desarrollo de la infraestructura vial en Colombia fue el periodo de posguerra. Para ello era de gran importancia realizar el debido mantenimiento a las vías.

En el año 1950 y 1958 se dio inicio a nuevos proyectos viales donde se construyeron y rehabilitaron 4600 km de vías. En el año sesenta se evidencia que se implementa la interconexión regional que permite acceder a los mercados en diferentes zonas del país. Seguido de esto se genera un alto impacto de desarrollo en redes secundaria y terciaria, como consiguiente durante el año 1975 y 1994 la red vial nacional se duplicó aumentando a 5600 km al mismo tiempo las carreteras vecinales y departamentales

aumentaron su longitud en 55000 km, estas obras fueron financiadas por el Fondo Nacional de Caminos Vecinales (FNCV) y el Fondo Nacional Vial (FNV).²²

El desarrollo de las concesiones viales en Colombia se origina a principios de 1997, como respuesta a la carencia de recursos estatales para la inversión en la Red Vial Nacional, se trata de una estrategia que pretende la atención de las emergencias que se presentan en el mantenimiento y construcción de carreteras, viabilizando el mejoramiento de la infraestructura vial del país con participación de capital privado.²³

De acuerdo al informe “La inversión en infraestructura en Colombia 2012 – 2020, eventos fiscales y requerimientos financieros”, de la Asociación Nacional de Instituciones Financieras (ANIF), las cifras del DNP²⁴ indican que los recursos proyectados para inversión hasta el 2020 llegarán a los COP²⁵ 112 billones. Este valor estaría dividido en cinco sectores: vivienda, ciudad y desarrollo territorial le corresponden COP16,6 billones, 15% del total. Le siguieron tecnologías de información y comunicación (TIC), con COP9,9 billones (9%); transporte urbano, con COP 8,4 billones (8%); minas y energía, con COP13,7 billones (12%), y transporte, con COP 63,7 billones (57%).

²² El Fondo Nacional de Caminos vecinales y el Fondo Nacional Vial son instituciones que no existen, sus funciones fueron asignadas al Instituto Nacional de Vías (INVIAS)

²³ (TECNURA 10)

²⁴ DNP, Departamento Nacional de Planeación.

²⁵ COP, Peso colombiano o moneda de Colombia

Así mismo, el informe expresa que este último sector contará con la alta inversión, casi el 0,8% del PIB²⁶, debido a que se distribuirá en las siguientes tareas: mantenimiento vial (COP9, 8 billones), grandes proyectos (COP32 billones), conectividad regional (COP13 billones) y transporte férreo, fluvial, aéreo y portuario (COP8, 7 billones).

Este proyecto social realizó la respectiva evaluación, análisis y ejecución de las condiciones actuales de la infraestructura vial en mal estado para llevar a cabo su respectivo diseño geométrico, acorde con las normas y criterios establecidos en El Manual de Diseño Geométrico del INVIAS, mejorando así la situación social y económica de los habitantes de los municipios Sibaté-Fusagasugá que presenta una necesidad real del país. Para el alcance exitoso del proyecto se requirió seguir las técnicas, métodos constructivos como el uso de materiales alternativos, dentro del presupuesto y en el tiempo establecido.

2.2. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se realizó comenzando como idea un estudio de prefactibilidad , con el objetivo de dar acceso a los habitantes de los municipios y veredas aledañas a este corredor vial entre Sibaté y Fusagasugá, se entrega una propuesta de vía mejorada, con un diseño auténtico y a la vez “funcional, seguro, cómodo, estético, económico y compatible con el medio ambiente”, el cual contiene un pavimento resistente y con una importante vida útil, donde se podrán movilizar cómodamente mejorando las

²⁶ PIB, Producto Interno Bruto es una medida del valor de la actividad económica de un país, calcula cuál fue la producción de bienes y servicios que se hizo en un periodo de tiempo específico generalmente en un trimestre o en un año. El Departamento Nacional de Estadística (DANE) es el encargado de calcular el PIB en Colombia trimestralmente.

condiciones de tránsito, ya que los habitantes principalmente de las veredas no cuentan con otra alternativa de movilidad que no sea la carretera existente, con esta solución se buscó el aprovechamiento del tránsito, la reducción en los costos de transporte, un incremento para el desarrollo económico de la comunidad ya que facilita el traslado del comercio.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROYECTO

3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente el 75.5% de los municipios de Colombia son rurales, abarcando una población del 31.6%, según el informe de desarrollo rural PNUD, el desarrollo de esta población en su mayoría es agrícola, fundamentando su economía en la venta de estos productos en diferentes mercados que tiene el país. Para esto se requiere de una infraestructura que cumpla con las condiciones óptimas para el traslado desde las zonas de cultivo hasta aquellos puntos de comercialización.

El corredor vial que comprende Sibaté- Fusagasugá es netamente rural, en donde se encuentran principalmente cultivos de papa, fresa y arveja, las zonas intermedias entre estas cabeceras abastecen estos municipios hasta en un 32%, según el informe de la Alcaldía Municipal de Sibaté²⁷, en la actualidad este porcentaje ha disminuido un 21% según el censo realizado por la Alcaldía de Fusagasugá, esto se debe al deterioro que presenta la malla vial de esta zona, las dificultades medioambientales como los derrumbes en la vía y los grandes índices de accidentalidad como se puede observar en las tablas a continuación de la secretaría de transportes donde nos brindan información sobre los índices de accidentabilidad. También se debe a la falta de señalización y malas condiciones en el pavimento y obstrucción del carril contrario por las estrechas dimensiones que presenta el corredor vial.

²⁷ (ALCALDÍA MUNICIPAL DE SIBATE. Economía [En línea] 2017. Sibaté: [Citado el: 08 de marzo 2019]. <http://www.sibate-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>)

Tabla 1.Histórico de lesionados en Cundinamarca por accidente de tránsito

Histórico De Lesionados En Cundinamarca Por Accidente De Tránsito : HERIDOS POR MUNICIPIO													
DIVIPO	MUNICIPIOS	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total General
25740	Sibaté	68	21	29	19	10	10	13	9	32	16	6	233
25290	Fusagasugá	167	126	291	351	517	431	210	148	89	159	84	2573

Fuente. (secretaria de transporte)

Tabla 2.Histórico de muertes en Cundinamarca por accidente de tránsito

HISTORICO DE MUERTES EN CUNDINAMARCA POR ACCIDENTE DE TRANSITO														
VIPO	MUNICIPIO	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total general
25290	Fusagasugá	25	32	17	26	29	21	27	19	20	27	30	38	311
25740	Sibaté	2	6	2	4	3	3	2	2	3	1	1	7	36

Fuente. (secretaria de transporte)

3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El abandono por parte de las entidades estatales por falta de recursos para el debido mantenimiento de las diferentes vías del país, especialmente las de segundo y tercer orden, originan daños irreversibles en su estructura. Esta problemática se ve reflejada en la vía Sibaté- Fusagasugá donde se evidencia el gran deterioro en su estructura vial afectando notablemente la movilidad de la zona, dificultando el transporte de mercancías, elevación en los tiempos de viaje, un incremento bastante alto en los costos de reparación de la infraestructura y un retroceso en el desarrollo de la región.

Por esta situación se hizo necesario realizar un aforo vehicular, para realizar un mejoramiento del diseño geométrico como alternativa vial, también se llevó a cabo el diseño de pavimento realizando pruebas de laboratorio sobre los materiales encontrados en terreno, como complemento se llevó acabo el presupuesto de

volúmenes y el análisis de precios unitarios para un futuro, con esto obtener diseños económicos, eficientes y duraderos que puedan ser aplicados como alternativa.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ESTADO DEL ARTE

Se tomaron en cuenta algunos trabajos e investigaciones como referencia.

Tabla 3.Trabajos relacionados

AUTORES DE INVESTIGACIÓN	TÍTULO DEL TRABAJO	RESUMEN	FECHA DE PUBLICACIÓN, INSTITUCIÓN Y CIUDAD
PROMESA DE SOCIEDAD FUTURA APP ACCESOS NORTE DE BOGOTÁ S.A.	“APP ACCESOS NORTE DE BOGOTÁ” ESTUDIO DE TRAZADO Y DISEÑO GEOMÉTRICO	metodología para el Diseño Geométrico para la ampliación a Doble Calzada de la carrera Séptima y ampliación de calzadas de la Autopista Norte de entre la Calle 245 y La Caro, así como la proyección de la doble calzada Hato Grande. .	2016, Agencia Nacional de Infraestructura, Bogotá D.C
American Association of State Highway and Transportation Officials	AASHTO Guide for Design of Pavement Structures	Esta guía proporciona los procedimientos que se utilizan para el diseño y la rehabilitación de pavimentos tanto rígidos como flexibles y agregado para carreteras de bajo volumen.	1993, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington

Continuación tabla 3

<p>Norbert Delatte</p>	<p>Concrete Pavement Design, Construction, and Performance</p>	<p>Libro creado para explicar el diseño, construcción y rendimiento de pavimentos, las décadas de servicios que proporcionan los pavimentos de concreto con poco mantenimiento.</p>	<p>2008, Taylor & Franci, New York. USA</p>
<p>KTH Royal Institute of Technology</p>	<p>A Case of Road Design in Mountainous Terrain with an Evaluation of Heavy Vehicles Performance</p>	<p>Esta metodología proporciona información para escoger la ruta adecuada en terrenos montañosos cumpliendo con los parámetros mínimos de aceptación y seguridad para que la carretera sea óptima para su uso.</p>	<p>June 2017, KTH, Stockholm</p>
<p>Javier Hernando Arguello Nelson Libardo León</p>	<p>Diseño geométrico de una doble calzada para la vía Suba-Cota</p>	<p>Metodología para implementar el diseño geométrico en la ampliación de la vía Suba-Cota, recopilando información de tránsito y topografía</p>	<p>2015, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C</p>
<p>Ministerio de transporte e infraestructura</p>	<p>Manual para la revisión de estudios de tránsito</p>	<p>Este manual brinda una guía para la revisión de los estudios de tránsito y así brindar volúmenes de tránsito futuros con valores confiables para los diseños viales.</p>	<p>Octubre 2008, Ministerio de transporte e infraestructura, Nicaragua.</p>

Continuación tabla 3

Ministerio de transporte e infraestructura	Manual para la revisión de estudios de tránsito	Este manual brinda una guía para la revisión de los estudios de tránsito y así brindar volúmenes de tránsito futuros con valores confiables para los diseños viales.	Octubre 2008, Ministerio de transporte e infraestructura, Nicaragua.
Instituto Nacional de Vías (INVIAS)	Manual de Diseño geométrico de Carreteras	Este manual establece los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar una carretera a nivel nacional.	2008, Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Bogotá D.C
James Cárdenas Grisales	Diseño Geométrico de Carreteras	Este libro proporciona una guía para el diseño de carreteras tanto en planta como en perfil basada en la normativa INVIAS 2008.	2013, Ecoe Ediciones, Bogotá D.C

Fuente. Autores.

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Estudio del tránsito.

Consiste en estimar la cantidad de vehículos o la cantidad de ejes equivalentes de 8.2 Toneladas, que harán uso de la estructura durante el lapso que pide como periodo de diseño, el cual en caso como pavimentos flexibles oscila entre 10 y 20 años y para el caso de pavimentos rígidos los periodos de diseño oscilan entre 30 y 40 años.

El cálculo del tránsito probable, exige ante todo la determinación del número de vehículos que vayan a hacer uso del pavimento, durante el año en que este se ponga en servicio y su proyección a futuro, aplicando una adecuada tasa de crecimiento²⁸.

Esta labor es relativamente sencilla cuando lo que se desea, es pavimentar una vía ya existente, principalmente si son vías nacionales. (INVIAS) porque en ellas se han efectuado desde hace varios años conteos que permiten determinar la evaluación del tránsito en el tiempo.

✓ Tránsito existente.

Para saber el tránsito existente se debe seguir los siguientes procedimientos de la ingeniería de tránsito:

²⁸ (Manual de Diseño de pavimentos Asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 2015)

- El tránsito promedio diario semanal (TPDS).
- Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

Para el TPD se hace un aforo vehicular durante una semana en el lugar de estudio “El INVIAS efectúa los conteos de tránsito preferencialmente en época de verano. El tránsito registrado se divide en 7 días, se debe tener presente los vehículos livianos y comerciales para el diseño de pavimento.

- ✓ Tránsito inicial.

El tránsito inicial de vehículos comerciales es la suma del existente, el atraído y el tránsito inducido. Para efectos de dimensionamiento de un pavimento interesa solo el tránsito que pasa por un carril. Se le denomina carril de diseño, para su determinación se utilizan los siguientes valores.

Tabla 4. Número de carriles

NUMERO DE CARRILES	PORCENTAJE DE VEHICULOS PESADOS EN EL CARRIL DE DISEÑO
2	50
4	45
6+	40

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

En Colombia las proyecciones del tránsito se obtienen utilizando el modelo exponencial:

$$T_n = T_{ix} (1 + r)^n$$

Donde:

Tn: Tránsito en cualquier año

Ti: Tránsito en el año cero (inicial)

r: Tasa de crecimiento anual del tránsito

Para obtener el tránsito acumulado durante (n) años del periodo de diseño se usa la siguiente ecuación:

$$T_{acumulado} = T_i \times \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)}$$

✓ Cargas equivalentes para el diseño de pavimentos.

Para evaluar efectos en el pavimento, según la AASHTO los resultados obtenidos en el camino de prueba del AASHTO ROAD TEST, han permitido determinar la equivalencia entre cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes. Se expresa como:

$$Factor\ de\ equivalencia\ de\ carga = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^4$$

Po: carga estándar

P1: carga cuya equivalencia con la estándar se desea calcular

✓ Factor camión.

El factor camión es el número a través del cual se establece la equivalencia entre el efecto, que sobre el pavimento tienen los vehículos comerciales y el que tendrían los ejes simples de 8.2 Ton²⁹.

En Colombia se utilizan las siguientes metodologías para obtener el valor del factor camión:

- Método del conteo y pesaje de los vehículos comerciales
- Método MOPT-INGEO RUTE-U. del Cauca
- Método de la Universidad del Cauca

Para calcular el número de ejes equivalentes de 8.2 Ton en el carril de diseño durante el periodo de diseño, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$N = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times \left[\frac{(1+r)^n - 1}{\ln(1+r)} \right] \times FC$$

Donde:

TPD: Tránsito promedio diario inicial

A: Porcentaje de buses y camiones (vehículos comerciales)

B: Porcentaje de Vehículos pesados que emplean el carril de diseño

r: Ruta anual de crecimiento del tránsito

n: Periodo de diseño

FC: Factor camión

²⁹ Ton: Toneladas

4.2.2 Diseño de pavimento.

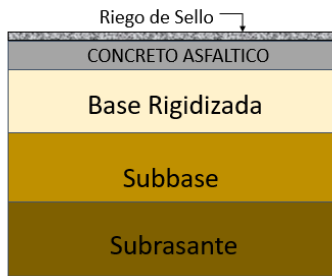
El pavimento es una superficie de rodamiento compuesta por 4 capas, que se usa para soportar grandes cargas de tránsito, existen dos tipos de pavimentos usados: el concreto bituminoso más conocido como (flexible) y el concreto de cemento portland (rígido). La selección entre pavimento rígido o flexible depende de las condiciones de cimentación, de la disponibilidad local del material, de los costos relativos, del tráfico proyectado, del mantenimiento de tráfico durante la construcción y de los métodos de construcción de la localidad.

✓ Pavimentos flexibles.

Una estructura de pavimento flexible consta de dos o más capas, las capas comenzando en la subrasante y siguiendo en orden hacia arriba, se designan como revestimiento o capa de subbase, revestimiento o capa de base y capa superficial. El procedimiento de diseño incluye la determinación del espesor total de la estructura de pavimento, así como del espesor de los componentes individuales, las capas superficiales, de base y de subbase³⁰.

Figura 1. Pavimento flexible (estructura)

³⁰Gutiérrez Graf, F, 2004. Rediseño geométrico del distribuidor vial de la UDLA-P en la ruta Quetzalcóatl.

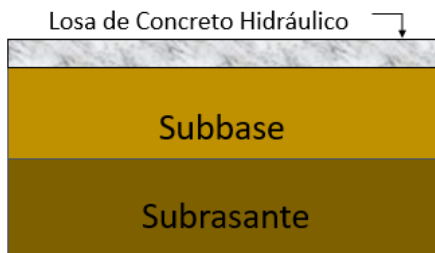


Fuente. (Gutiérrez Graf, F.2004)

✓ Pavimentos rígidos.

Una estructura de pavimento rígido generalmente consta de dos capas diseñadas como la losa de pavimento y la capa de subbase. Cuando los suelos de la subrasante son de naturaleza granular, con frecuencia la capa de subbase se omite.

Figure 2. Pavimento rígido (estructura)



Fuente. (Gutiérrez Graf, F.2004)

✓ Factores a considerar en el diseño de un pavimento.

El Tránsito: El tránsito comprende el conjunto de vehículos que se espera hagan uso del pavimento durante su periodo de diseño y los cuáles serán los causantes de la mayor parte de los esfuerzos a que se encontrará sometida la estructura del pavimento. Se deben considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de Vehículos.
- Configuración y número de llantas de eje.
- Número de repeticiones de carga por cada punto en la superficie de rodamiento.

- Tipo de vehículos: Se puede clasificar de tres formas:

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA): Número de vehículos que pasan por un lugar durante un año, es decir:

$$TDPA = \frac{NUMERO\ DE\ VEHICULOS}{365}$$

- Clasificación de vehículos.

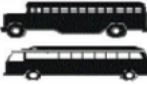


Tabla 5. Clasificación de vehículos.

CLASIFICACION	
CLASE	NOMENCLATURA
Automovil	A
Autobus	B
Camion	C
Tractor	T
Semiremolque	S
Remolque	R

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)



- Número de ejes.

Tabla 6. Número de ejes según autobuses

AUTOBUS (B)		
NOMBENCLATURA	NUMERO DE EJES	VEHICULO
B2	2	
B3	3	
B4	4	





Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Tabla 7. Número de ejes según camión

CAMION ©		
NOMBENCLATURA	NUMERO DE EJES	VEHICULO
C2	2	
C3	3	





Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Tabla 8. Número de ejes según camión-remolque

CAMION-REMOLQUE (C-R)		
NOMBENCLATURA	NUMERO DE EJES	VEHICULO
C2-R2	4	
C3-R2	5	
C2-R3	5	
C3-R3	6	







Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Tabla 9. Número de ejes según tractor

TRACTOR SEMIREMOLQUE (T-S) O TRACTOCAMION ARTICULADO		
NOMBENCLATURA	NUMERO DE EJES	VEHICULO
T2-S1	3	
T2-S2	4	
T3-S2	5	
T3-S3	6	

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)



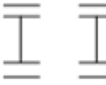
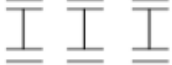
Tabla 10. Número de ejes según tractor camión

TRACTOCAMION DOBLEMENTE ARTICULADO (T-S-R)		
NOMBENCLATURA	NUMERO DE EJES	VEHICULO
T2-S1-R2	5	
T3-S1-R2	6	
T3-S2-R2	7	
T3-S2-R3	8	
T3-S2-R4	9	
T3-S3-R2	8	

Fuentes. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

- Configuración y número de llantas por eje.

Tabla 11. Configuración y número de llantas por eje

CONFIGURACION Y NUMERO DE LLANTAS POR EJE	
EJE SENCILLO CON LLANTAS SENCILLAS	
EJE SENCILLO CON LLANTAS DOBLES	
EJE DOBLE CON LLANTAS DOBLES	
EJE TRIPLE CON 12 LLANTAS	

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

- Número de repeticiones de carga por cada punto en la superficie de rodamiento.

Para el pavimento es necesario saber el número de vehículos que pasan por un sitio dado, por esta razón se deben realizar estudios de volumen de tránsito, los cuales pueden variar según los lugares como puentes, túneles o intersecciones de carreteras los aforos se realizan con el objeto de:

- Determinar la composición y volumen de tránsito.
 - Evaluar índices de accidentes.
 - Datos útiles para planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
 - Elaborar sistemas de mantenimiento.
 - Establecer prioridades y técnicas de construcción.
 - Determinar el tránsito futuro.
- ✓ La influencia de la plasticidad, resistencia, deformación de los materiales y los efectos con medio ambiente.

Los cambios de temperatura y las lluvias afectan la estructura del pavimento, las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático, influye en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan esfuerzos muy elevados, pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas. En los pavimentos flexibles, el aumento o disminución de temperatura puede ocasionar modificaciones en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando deformaciones o agrietamientos.

- ✓ Diseño estructural del pavimento - Método AASHTO 93.

Es un método de regresión basado en resultados empíricos de la carretera de prueba construida en los años 50, el diseño se realiza suponiendo un número estructural del pavimento haciendo tanteos analíticamente hasta efectuar la expresión de diseño. La ecuación básica para el diseño de pavimento es la siguiente:

$$\begin{aligned} \log_{10}(W18) = & Z_r \times S_o + 9.36 \times \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \\ & + 2.32 \times \log(Mr) - 8.07 \end{aligned}$$

Donde:

W18: Tráfico (número de ESAL'S)

Zr: Desviación estándar normal

So: Error estándar combinado de la predicción del tráfico

ΔPSI: Diferencia de servicialidad (Po-Pt)

Po: Servicialidad inicial

Pt: Servicialidad final

Mr: Módulo resiliente de la subrasante (psi)

SN: Número estructural indicativo espesor total del pavimento

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes de capa representativa de las capas superficial, de base, y subbase, respectivamente

D_1, D_2, D_3 : Espesor real, en pulgadas de las capas superficial, de base, y de subbase, respectivamente

m_2, m_3 : Coeficiente de drenaje de la capa granular

✓ Parámetros de Diseño.

Periodo de diseño: Tiempo elegido al iniciar el diseño, para el cual se determinan las características del pavimento. Generalmente el periodo de diseño será mayor al de la vida útil del pavimento, porque incluye en el análisis al menos una rehabilitación o recrecimiento, por lo tanto, será superior a 20 años.

Tabla 12. Periodo de diseño en función de los tipos de carreteras

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)
Urbana de transito elevado	30-50
Interurbana de transito elevado	20-50
Pavimentada de baja intensidad de transito	15-25
De baja intensidad de transito, pavimentacion con grava	10-20.

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Tráfico (W18): El diseño considera el número de ejes equivalentes ESAL'S para el periodo de análisis (W18) en el carril de diseño. El diseñador debe efectuar el ESAL'S en ambas direcciones por factores direccionales y de carril. Aplicando la siguiente ecuación:

$$W18 = D_D \times D_L \times \omega_{18}$$

Donde:

W18: Tránsito acumulado en el primer año, en ejes equivalentes sencillos de 8.2 toneladas, en el carril de diseño

D_D : Factor de distribución direccional; se recomienda 50% para la mayoría de las carreteras, pudiendo variar de 0.3 a 0.7, dependiendo de en qué dirección va el tránsito con mayor porcentaje de vehículos pesados

ω_{18} : Ejes equivalentes acumulados en ambas direcciones

D_L : Factor de distribución por carril, cuando se tengan dos o más carriles por sentido. Se recomienda los siguientes valores:

Tabla 13. Factor de distribución por carril

NUMERO DE CARRILES EN CADA SENTIDO	PORCENTAJE DE TRANSITO EN EL CARRIL DE DISEÑO
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Tráfico ESAL'S: Número estimado de ejes equivalentes de 8.2 toneladas

$$ESAL'S = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times \left[\frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \right] \times FC$$

Factor de crecimiento del tráfico (r): Es un parámetro que considera en el diseño de pavimentos, los años de periodo de diseño. Se estima con base a las proyecciones de crecimiento poblacional y económico en el área de influencia en el tramo de carretera que se refleja el incremento del tráfico.

Tabla 14. Valores comunes de tasas de crecimiento

CASO	TASA DE CRECIMIENTO
Crecimiento normal	1% a 3%
Vias completamente saturadas	0% a 1%
Con trafico inducido	4% a 5%
Alto crecimiento	mayor al 5%

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Confiabilidad: Se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la selección estructural que se obtengan, duren como mínimo el periodo de diseño.

Tabla 15. Niveles sugeridos de confiabilidad

TIPO DE PAVIMENTO	CONFIABILIDAD (R)
Autopistas	90%
Carreteras	75%
Rurales	65%
Zonas industriales	60%
Urbanas principales	55%
Urbanas secundarias	50%

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Desviación estándar (Z_r): La desviación estándar normal está en función de los niveles sugeridos de confiabilidad.

Tabla 16. Valores de desviación estándar normal

CONFIABILIDAD R (%)	DESVIACION ESTANDAR NORMAL
50	0
70	-0.54
75	-0.674
80	-0.841
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Error estándar por efecto del tráfico y comportamiento (S_o): La AASHTO propuso unos valores para seleccionar la variabilidad o error estándar

Tabla 17. Error estándar (S_o)

PAVIMENTO RIGIDO	PAVIMENTO FLEXIBLE
0.40 -0.50	0.35 -0.45

Fuentes. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Serviciabilidad (Δ PSI): Habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico que circulan en la vía. El procedimiento de diseño AASHTO preside el porcentaje de pérdida de serviciabilidad para varios niveles de tráfico y cargas de ejes, se expresa con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P$$

Donde:

ΔPSI : Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o terminal deseado

P_o : Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígidos y 4.2 para flexibles)

P_t : Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendando 2.5 y 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

Tabla 18. Índice de servicio dependiendo de la serviciabilidad

INDICE DE SERVICIO	CALIFICACION
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

✓ Según los materiales.

Propiedades del concreto:

- Resistencia a la tensión por flexión ($S'c$) o Módulo de ruptura (Mr).
- Módulo de elasticidad del concreto (Ec).

Módulo de ruptura: Se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicando cargas a los tercios de su claro de apoyo (ASTM 78), ya que los pavimentos de concreto trabajan

a flexión su diseño considera la resistencia, se le conoce como resistencia a flexión por tensión ($S'c$) o módulo de ruptura especificada a los 28 días.

Valores recomendados para el módulo de ruptura varía desde 41 kg/cm^2 (583 Psi) hasta los 50 kg/cm^2 (711 Psi), los siguientes valores son los recomendados según la AASHTO:

Tabla 19. Resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad (E_c)

TIPO DE AGREGADO Y ORIGEN	MODULO DE ELASTICIDAD E_c Mpa	MODULO DE ELASTICIDAD E_c kg/cm^2
Grueso-igneo	$E_c = 5.500x(F_c)^{1/2}$	$E_c = 17.000x(F_c)^{1/2}$
Grueso- Metamorfico	$E_c = 4.700x(F_c)^{1/2}$	$E_c = 15.000x(F_c)^{1/2}$
Grueso-Sedimentario	$E_c = 3.600x(F_c)^{1/2}$	$E_c = 11.500x(F_c)^{1/2}$
Sin informacion	$E_c = 3.900x(F_c)^{1/2}$	$E_c = 12.500x(F_c)^{1/2}$

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

F_c : Resistencia a compresión del concreto a los 28 días.

Tabla 20. Valores recomendados para $S'c$ para diseño de pavimento

$F'c$ en Psi (kg/cm^2)	$S'c$ en Psi (kg/cm^2)	E_c (Psi)
3000 (210)	490 (34)	3100000
3500 (245)	530 (37)	3400000
4000 (280)	570 (40)	3600000
4500 (310)	600 (42)	3900000
5000 (350)	640 (45)	4000000

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Módulo resiliente de la subrasante: La AASHTO propone el uso de la correlación con el CBR. Se conoce como módulo resiliente la medida de las propiedades elásticas del suelo, reconociendo ciertas características no lineales

Tabla 21. Relación entre (mr) y el (cbr)

$Mr \text{ (psi)} = 1500 \times CBR$; Para CBR < 7.20%
$Mr \text{ (psi)} = 3000 \times CBR^{0.65}$; Para 7.20% < CBR 20%
$Mr \text{ (psi)} = 4326 \times \ln(CBR) + 241$; Para CBR > 20.0%

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Módulo de reacción de la subrasante (k): Se obtiene mediante la prueba de placa ASTM D1195 y D1196. El módulo de reacción del suelo corresponde a la capacidad portante del terreno natural donde se soportará la estructura del pavimento.

El método AASHTO recomienda usar el valor promedio de los módulos (k) para el diseño estructural de pavimentos.

Tabla 22. Valor promedio del módulo k dependiendo del tipo de suelo

TIPO DE SUELO	SUCS	DENSIDAD SECA lb/ft^3	CBR (%)	K' psi
SUELOS GRANULARES				
Grava	GW,GP	125 a 140	60 a 80	300 a 450
		120 a 130	35 a 60	300 a 400
Arena Gruesa	SW	110 a 130	20 a 40	200 a 400
Arena Fina	SP	105 120	15 a 25	150 a 300
SUELOS DE MATERIAL GRANULAR CON ALTO CONTENIDO DE FINOS				
Grava - Limosa , Grava -Areno- Limosa	GM	130 a 145	40 a 80	300 a 500
Arena- Limosa , Areno-Limo -Gravosa	SM	120 a 135	20 a 40	300 a 400
Grava- Arcillosa , Grava -Areno-Arcillosa	GC	120 a 140	20 a 40	200 a 450
Arena - Arcillosa	SC	105 a 130	10 a 20	150 a 350
SUELOS DE MATERIAL FINO				
Limo		90 a 105	4 a 8	25 a 165
Limo - Arenoso , Limo-Gravoso	ML-OL	100 a 125	5 a 15	40 a 220
Limo Mal Graduado	MH	80 a 100	4 a 8	25 a 190
Arcilla Plastica	CL	100 a 125	5 a 15	25 a 255
Arcilla Medianamente Plastica	CL, OL	95 a 125	4 a 15	25 a 125
Arcilla Altamente Plastica	CH, OH	80 a 110	3 a 5	40 a 220

Fuente. (AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993)

Los rangos de k aplican para estratos homogéneos de suelo de por lo menos 3 metros de espesor. El valor de k de los suelos finos depende en gran medida del grado de saturación, por lo que se recomienda relacionar una corrección por este efecto.

4.2.3 Diseño Geométrico de una Vía.

El diseño geométrico de una vía es la ordenación de sus elementos básicos como alineamientos en planta, perfil y sección transversal, así como la relación existente entre los elementos físicos del terreno, el volumen de tráfico, el vehículo de diseño, la velocidad de diseño y la reglamentación vigente definida por las entidades que regulan el transporte y tránsito en el país.³¹

³¹ (James Cárdenas Grisales,2013)

En el proyecto de una vía o carretera, el diseño geométrico es la parte más importante en la que se establece su configuración geométrica con el fin de que la vía cumpla con las condiciones de: Funcionalidad, seguridad, estética y compatibilidad con el medio ambiente.

✓ Factores para el diseño de una carretera.

Factores Externos: Estos factores tienen que ver directamente con la topografía del terreno, su conformación geológica y geotécnica, así como también el volumen de tránsito actual y futuro, sus condiciones ambientales, climatológicas e hidrológicas de la zona en estudio.

Factores Internos: Estos factores contemplan las velocidades que se deben tener en cuenta para la realización del diseño y los efectos de operación en la geometría, principalmente todo lo vinculado con la seguridad y la estética requerida.

✓ Clasificación de las Carreteras: Las carreteras se clasifican según su funcionalidad y tipo de terreno.

Según su funcionalidad: Determinada según la necesidad operacional de la carretera o de los intereses de la nación en sus diferentes niveles³²:

- Primarias: Son aquellas troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales

³² (James Cárdenas Grisales,2013)

zonas de producción y consumo del país y de éste con los demás países³³. Este tipo de carreteras funcionan 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 Primaria³⁴. Estas vías pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.
- Terciarias: Estas vías dan acceso a las veredas con las cabeceras municipales. Normalmente funcionan en afirmado. En caso de pavimentarse debe cumplir con las condiciones geométricas para las vías secundarias³⁵.

Según el tipo de terreno: Estas vías están determinadas por el terreno (topografía) predominante a lo largo del proyecto, pueden presentarse tramos homogéneos en diferentes tipos de terreno³⁶.

Tabla 23. Tipos de carreteras según el tipo de terreno

Terreno	Pendiente máxima media (%)	Inclinaciones Transversales del eje
Plano	0,5-5	0-6
Ondulado	5-25	6-13
Montañoso	25-75	13-40
Escarpado	mayores a 75	mayores a 40

³³ (INVIAS,2008)

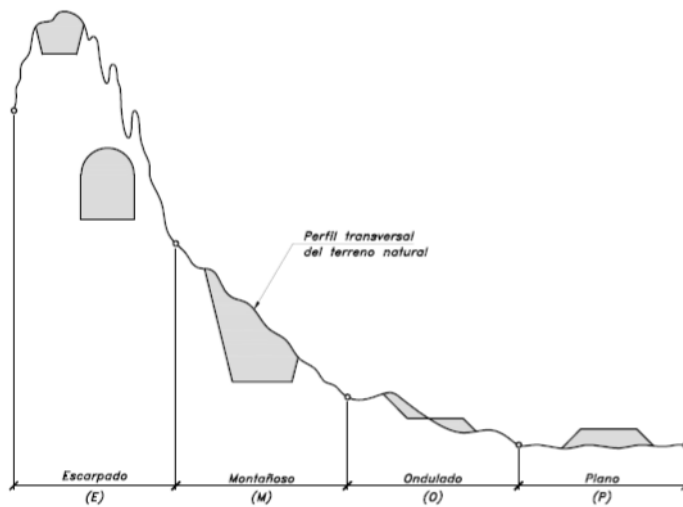
³⁴ (INVIAS,2008)

³⁵ (James Cárdenas Grisales,2013)

³⁶ (INVIAS,2008)

Fuente. (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, INVIAS, 2008)

Figura 3. Tipos de terrenos en carreteras



Fuente. (INVIAS, 2008)

Según su Competencia: Su clasificación se da según la entidad administrativa que se encuentre a cargo.

Tabla 24. Tipos de carreteras según su competencia

Nacionales	Se encuentran bajo la administración del INVIAS o concesionadas bajo la ANI.	Red Primaria de Carreteras.
Departamentales	Estas vías son Propiedad de los departamentos.	Red Secundaria de Carreteras.
Veredas o Caminos Vecinales	Estas Vías se encuentran a cargo del INVIAS y de los municipios.	Red Terciaria de Carreteras
Distritales o Municipales	Vías urbanas, Suburbanas y rurales a cargo del distrito o	—

	Municipio.	
--	------------	--

Fuente. (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, INVIAS, 2008)

Selección de rutas: Se entiende por ruta aquella franja de terreno, de ancho variable, comprendida entre dos puntos obligados extremos y que pasa a lo largo de puntos obligados intermedios, dentro de la cual es factible realizar la localización del trazado de una carretera. Los puntos obligados son aquellos sitios extremos o intermedios por los que necesariamente deberá pasar la vía, ya sea por razones técnicas, económicas, sociales o políticas; como, por ejemplo: poblaciones, áreas productivas, puertos, puntos geográficos como valles y depresiones³⁷.

Evaluación del trazado de rutas: La mejor ruta entre varias alternas, que permita enlazar dos puntos extremos o terminales, será aquella que de acuerdo a las condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas y de drenaje, ofrezca el menor costo con el mayor índice de utilidad económica, social y estética.

Para la evaluación de las rutas existen varios métodos, uno de estos el Método de Bruce, en el cual se aplica el concepto de longitud virtual. Compara, para cada ruta o trazado alternativo, sus longitudes, sus desniveles y sus pendientes, tomando en cuenta únicamente el aumento de longitud correspondiente al esfuerzo de tracción en las pendientes. Se expresa así

$$X_0 = x + k * \Sigma y$$

³⁷ CARDENAS, James. Diseño geométrico de carreteras. 2 ed. Bogotá: Ecoe ediciones, 2013. 544 pag

Donde:

X_0 = Longitud resistente (m)

x = Longitud total del trazado (m)

Σy = Desnivel o suma de desniveles (m)

k = Inverso del coeficiente de tracción

Tabla 25. Coeficiente de tracción valores

TIPO DE SUPERFICIE	VALOR MEDIO DE k
Carretera en tierra	21
Macadam	32
Pavimento asfáltico	35
Pavimento rígido	44

Fuente. (James Cárdenas Grisales, 2013)

Velocidad de diseño: La asignación de velocidad para el diseño debe ser otorgada por la prioridad de seguridad de los usuarios. Por ello la velocidad de diseño a lo largo del trazado debe ser tal que los conductores no sean sorprendidos por cambios bruscos y/o muy frecuentes en la velocidad a la que pueden realizar con seguridad el recorrido.

Velocidad de diseño de tramos homogéneos (VTR): Esta velocidad (VTR) está definida en función de la categoría y el tipo de terreno que tenga la carretera a diseñar. (Ver tabla 26).

Tabla 26. Valores de velocidad de diseño para tramos homogéneos, según el tipo

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)												
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110			
Primaria de dos calzadas	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Primaria de una calzada	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Secundaria	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													
Terciaria	Plano													
	Ondulado													
	Montañoso													
	Escarpado													

Fuente. (Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, INVIAS, 2008)

Velocidad específica de los elementos que integran el trazado en planta y perfil: Para asegurar la mayor homogeneidad posible en la velocidad específica de curvas y entre tangencias, lo que necesariamente se traduce en mayor seguridad para los usuarios, se obliga a que las Velocidades Específicas de los elementos que integran un tramo homogéneo sean como mínimo iguales a la velocidad de diseño del tramo (V_{TR}) y no superen esta velocidad en más de veinte kilómetros por hora ($V_{TR} + 20 \text{ km/h}$)³⁸.

- ✓ Diseño en planta.

Curvas circulares simples: Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la

³⁸ CARDENAS, James. Diseño geométrico de carreteras. 2 ed. Bogotá: Ecoe ediciones, 2013.

proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares.

Elementos geométricos de una curva circular simple:

PI = Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.

PC = Principio de curva: punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.

PT = Principio de tangente: punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.

O = Centro de la curva circular.

D = Ángulo de deflexión de las tangentes: ángulo de deflexión principal. Es igual al ángulo central subtendido por el arco PCPT.

R = Radio de la curva circular simple.

T = Tangente o subtangente: distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.

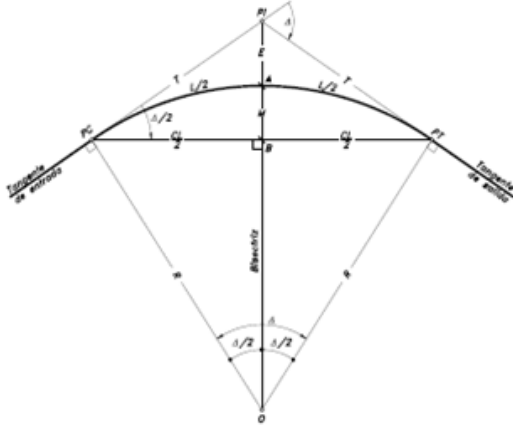
L = Longitud de curva circular: distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.

CL = Cuerda larga: distancia en línea recta desde el PC al PT.

E = Externa: distancia desde el PI al punto medio de la curva A.

M = Ordenada media: distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda larga B

Figura 4. Elementos geométricos de una curva circular simple



Fuente. (Diseño geométrico de carreteras- James Cárdenas)

Tangente: $T = R \tan \theta$

Externa: $E = R (1 / (\cos \theta) - 1)$

Longitud de Cuerda: $L_c = C / \sin \theta$

Cuerda Larga: $CL = 2R \sin \theta$

Ordenada media: $M = R (1 - \cos \theta)$

Radio: $R = C / (2 \sin \theta)$

Curvas circulares compuestas: Son aquellas que están formadas por dos o más Curvas Circulares Simples. Se pueden emplear en terrenos Montañosos cuando se quiere que la carretera quede lo más ajustada posible a la topografía del terreno lo cual reduce el movimiento de tierras. También se puede utilizar cuando existen limitaciones en la libertad de diseño como por ejemplo en los accesos a puentes, retornos, pasos a desnivel en intersecciones.

Elementos geométricos de curvas circulares compuestas de dos radios

PI = Punto de intersección de las tangentes.

PC = Principio de la curva compuesta.

PT = Fin de la curva compuesta o principio de tangente.

PCC = Punto común de curvas o punto de curvatura compuesta. Punto donde termina la primera curva circular simple y empieza la segunda.

R1 = Radio de la curva de menor curvatura o mayor radio.

R2 = Radio de la curva de mayor curvatura o menor radio.

O1 = Centro de la curva de mayor radio.

O2 = Centro de la curva de menor radio.

Δ = Ángulo de deflexión principal.

Δ_1 = Ángulo de deflexión principal de la curva de mayor radio.

Δ_2 = Ángulo de deflexión principal de la curva de menor radio.

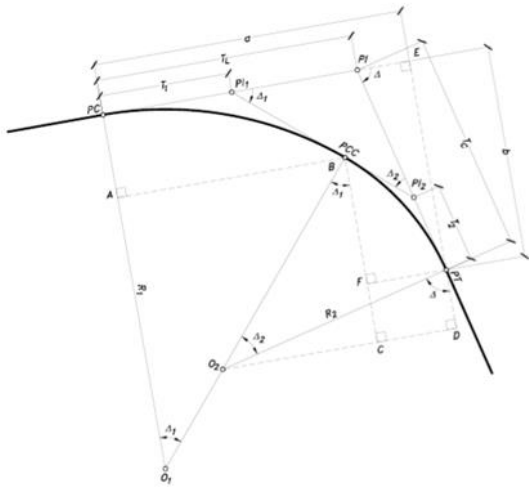
T1 = Tangente de la curva de mayor radio.

T2 = Tangente de la curva de menor radio.

TL = Tangente larga de la curva circular compuesta.

TC = Tangente corta de la curva circular compuesta.

Figura 5. Elementos geométricos de una curva circular compuesta de 2 radios



Fuente. (Diseño geométrico de carreteras- James Cárdenas)

Para el cálculo de estas curvas se utilizan las mismas ecuaciones que para la Curva Circular Simple, solo que en este tipo de curvas se obtienen dos tangentes una corta y otra larga, las cuales se obtienen por medio de las siguientes ecuaciones:

Tangente Corta.		Tangente	Larga.
$T_c = \frac{R_1 - (R_2 \cos \Delta) - (R_1 - R_2) \cos \Delta_1}{\text{sen} \Delta}$	$T_L =$	$\frac{R_2 - (R_1 \cos \Delta) - (R_1 - R_2) \cos \Delta_2}{\text{sen} \Delta}$	

Radio mínimo y peralte: El radio mínimo $R_{mín}$, es el límite para una velocidad específica VCH dada del vehículo, calculado a partir del peralte máximo $e_{máx}$ y del coeficiente de fricción transversal máximo $f_{Tmáx}$, En Colombia para carreteras primarias y secundarias se establece como peralte máximo $e_{máx}$ el 8%, el cual permite no incomodar a aquellos vehículos que viajan a velocidades menores, especialmente a los vehículos con centro de gravedad muy alto y a los vehículos articulados (tracto-

camión con remolque) los cuales pueden tener un potencial de volcamiento de su carga al circular por curvas con peraltes muy altos.

$$R_{\min} = \frac{V_{ch}^2}{127(e_{\max} + f_{T\max})}$$

Tabla 27. Coeficiente de fricción transversales máximos

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CH} (Km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
COEFICIENTE DE FRICCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMO $f_{T\max}$	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.09	0.08

Fuente. (Diseño geométrico de carreteras- James Cárdenas)

En la Tabla 28 se presentan los radios mínimos absolutos R_{\min} , calculados con la ecuación del Radio Mínimo, para las velocidades específicas indicadas V_{CH} , los peraltes máximos recomendados e_{\max} y los coeficientes de fricción transversal máximos $f_{T\max}$.

Tabla 28. Radios mínimos para un peralte máximo de 8%

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CH} (Km/h)	PERALTE RECOMENDADO $e_{máx}$ (%)	FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{r_{máx}}$	RADIO MÍNIMO $R_{mín}$ (m)	
			CALCULADO	REDONDEADO
40	8.0	0.23	40.6	41
50	8.0	0.19	72.9	73
60	8.0	0.17	113.4	113
70	8.0	0.15	167.8	168
80	8.0	0.14	229.1	229
90	8.0	0.13	303.7	304
100	8.0	0.12	393.7	394
110	8.0	0.11	501.5	502
120	8.0	0.09	667.0	667
130	8.0	0.08	831.7	832

Fuente. (Diseño geométrico de carreteras- James Cárdenas)

Transición del peralte: La sección transversal de la calzada sobre un alineamiento recto tiene una inclinación comúnmente llamada bombeo, el cual cumple la función de facilitar el drenaje de aguas lluvias hacia las cunetas de la vía. El valor del bombeo dependerá del tipo de superficie y de la intensidad de las lluvias en la zona del proyecto, variando del 1% al 4%.

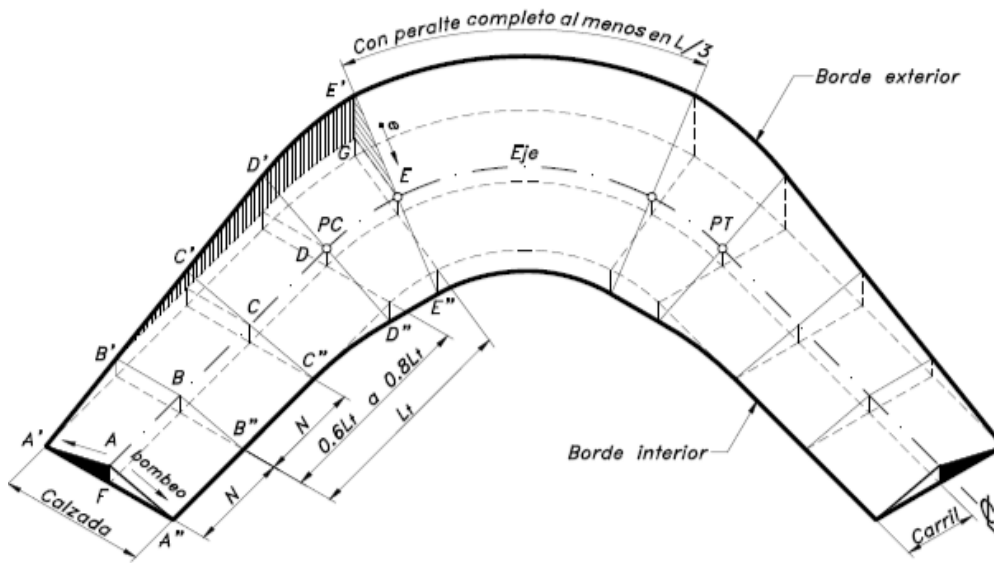
Lt: Longitud de transición

N: Longitud de Aplanamiento

L: Longitud de la curva circular

e: Peralte necesario de la curva circular

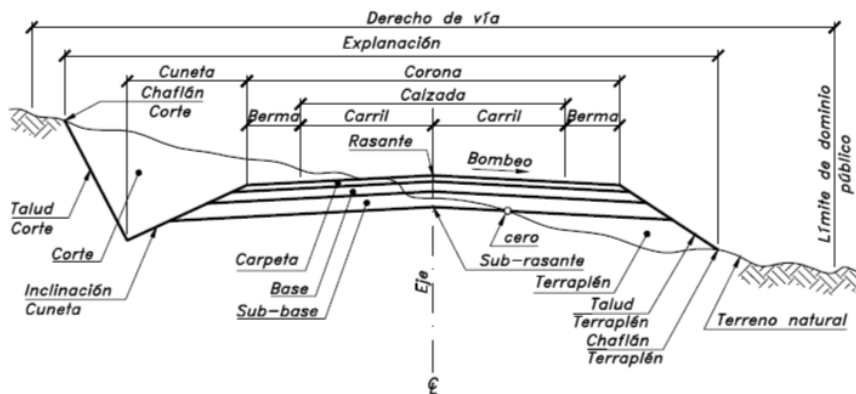
Figura 6. Transición del peralte



Fuente. (Diseño geométrico de carreteras- James Cárdenas)

✓ Sección transversal.

Figura 7. Sección transversal típica mixta, pavimentada en recta



Fuente. (Diseño geométrico de carreteras- James Cárdenas)

Tabla 29.Recomendación de valores para el bombeo en %

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA		BOMBEO (%)
Muy buena	Superficie de concreto hidráulico o asfáltico, colocada con extendedoras mecánicas.	2
Buena	Superficie de mezcla asfáltica, colocada con terminadora. Carpeta de riegos.	2-3
Regular a mala	Superficie de tierra o grava.	2-4

Fuente. (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

4.2.4 Análisis de Precios Unitarios (APU).

Por medio de estos se logra el desglose que debe tener una actividad por precio unitario de un presupuesto (por la unidad de obra), donde se debe descomponer el precio unitario en cuatro partes principales, las cuales son: materiales, mano de obra, transporte, medios auxiliares e imprevistos). Para la realización del presupuesto del proyecto se utilizarán los valores de APU que proporciona el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) para el departamento de Cundinamarca.

4.3 MARCO CONCEPTUAL

Vehículos livianos: Son vehículos de poco peso, menos de 5 toneladas entre ellos se encuentran los automóviles y camionetas.³⁹

Vehículos comerciales: Son vehículos de mayor peso, más de 5 toneladas entre ellos se encuentran los camiones, buses y remolques.⁴⁰

Tránsito existente: Es el que presenta una vía sin ser pavimentada.⁴¹

Capacidad: Es el número máximo de vehículos que circula en un lugar durante un periodo de tiempo sin presentar libertad de movimiento.⁴²

Aforo vehicular: Es la cantidad de volúmenes (vehículos), para un periodo de tiempo que pasan por un punto.

Tránsito atraído: Número de vehículos que pueden ocupar la futura vía pavimentada como ruta alterna, afluyendo a ella a través de otras vías existentes.⁴³

Tránsito inducido: Es la suma del tránsito atraído y el generado.⁴⁴

³⁹ (INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de diseño de pavimentos para medios y altos volúmenes de tránsito. [En línea]. Bogotá: SCRIBD [Citado el: 17 de octubre de 2019]. [https://es.scribd.com/document/370274214/Manual -de-pavimentos-Medios-y-Altos-Volumenes-agosto-2017-pdf](https://es.scribd.com/document/370274214/Manual-de-pavimentos-Medios-y-Altos-Volumenes-agosto-2017-pdf))

⁴⁰ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.12)

⁴¹ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.17)

⁴² (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.20)

⁴³ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.26)

Pavimento: “Es un conjunto de capas de materiales seleccionados y adecuadamente contruidos, cuya finalidad es brindar una superficie de rodamiento uniforme y estable al tránsito que circula sobre la estructura durante su periodo de diseño. Diseñado para distribuir las cargas concentradas del tráfico sobre la subrasante”.⁴⁵

Capa de subbase: “Es la porción de la estructura de pavimento flexible entre la subrasante y la capa de base. La subbase comúnmente consta de una capa compactada de material granular, ya sea tratada o no tratada, o una capa de suelo tratada con una mezcla conveniente, las especificaciones son menos estrictas para resistencia, tipos de agregados y gradación. La capa de subbase se usa en general para aumentar económicamente la resistencia del pavimento arriba de la provista por los suelos de la subrasante. Sin embargo, la subbase puede omitirse, si la estructura requerida de pavimento es relativamente delgada o si los suelos de la subrasante son de alta calidad, sin problemas de humedad.”⁴⁶

Capa de base: “Es la porción de la estructura de pavimento flexible inmediatamente debajo de la capa superficial. Se construye sobre la capa de subbase o, si ésta no se usa, directamente sobre la subrasante. Su principal función es como una porción estructural del pavimento. La base comúnmente consta de agregados como piedra triturada, Escoria triturada o grava triturada o sin triturar y arena, o la combinación de estos materiales. Las especificaciones son más estrictas para resistencia, estabilidad, dureza, tipos de agregados y gradación”.⁴⁷

⁴⁴ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.58)

⁴⁵ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.67)

⁴⁶ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.68)

⁴⁷ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.70)

Capa superficial: “Es la parte estructural del pavimento, se proyecta para resistir las fuerzas abrasivas del tráfico, limitar la cantidad de agua superficial que penetra en el pavimento, proveer una superficie resistente a deslizamiento, y proporcionar una superficie lisa y uniforme para la transportación. La capa superficial también debe ser durable, capaz de resistir fracturas y desmoronamientos, sin llegar a ser inestable en las condiciones del tráfico y del clima. Comúnmente construido sobre una capa de base. Consta de una mezcla de agregados minerales y materiales bituminosos”.⁴⁸

Capa subrasante: Es la capa superior de las explanaciones sobre la cual se construye el pavimento. Su adecuada preparación es indispensable para el buen comportamiento de la estructura y para ello el constructor deberá realizar una o más labores de desmonte, descapote, cortes y rellenos o de terraplenes.⁴⁹

Losas: “Capa superior de la estructura de pavimento, con concreto hidráulico, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. Brinda al tránsito una superficie de rodamiento uniforme, estable y de adecuada textura, además de absorber la mayor parte de esfuerzos producidos por las cargas de tránsito”.⁵⁰

Factor de distribución por carril: “Aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril”.

⁴⁸ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.72)

⁴⁹ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.73)

⁵⁰ (Ingeniería de pavimentos, op. cit. P.75)

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”.

Diseño en planta: Es la proyección que se produce sobre un plano horizontal de su eje real o espacial. Este eje horizontal está constituido por varias tangentes, enlazadas entre sí por trayectorias curvas.

Diseño de la sección transversal. “Definición de la ubicación y dimensiones de los elementos que forman la carretera, y su relación con el terreno natural, en cada punto de ella sobre una sección normal al alineamiento horizontal.

Peralte: Es la inclinación transversal que tiene una calzada en las curvas, esto sirve para contrarrestar fuerza centrífuga.

Tramo homogéneo: Longitud de la carretera al que por las características topográficas se le asigna una determinada Velocidad de Diseño (VTR).

Corona. Está conformada por la calzada y las bermas

5. OBJETIVOS

5.1 GENERAL

Proponer el mejoramiento técnico de la vía, contemplando el diseño geométrico, diseño del pavimento de la mano del estudio del tránsito y presupuesto de volúmenes, con el fin de ser socializado con la comunidad y posteriormente ser presentado ante los entes responsables del sector como un juicio de viabilidad del proyecto.

5.2 ESPECÍFICOS

- ✓ Elaborar una propuesta de mejoramiento del diseño geométrico en planta, perfil y sección transversal, implementando las normas del manual de diseño del instituto nacional de vías.
- ✓ Realizar un estudio de suelos y tránsito en la zona para así identificar las características del terreno y lograr un diseño del pavimento, utilizando el método establecido por el INVIAS.
- ✓ Efectuar el presupuesto de volúmenes corte y relleno, también organizar los APUS del departamento de Cundinamarca (INVIAS) para el mejoramiento y mantenimiento en un futuro.

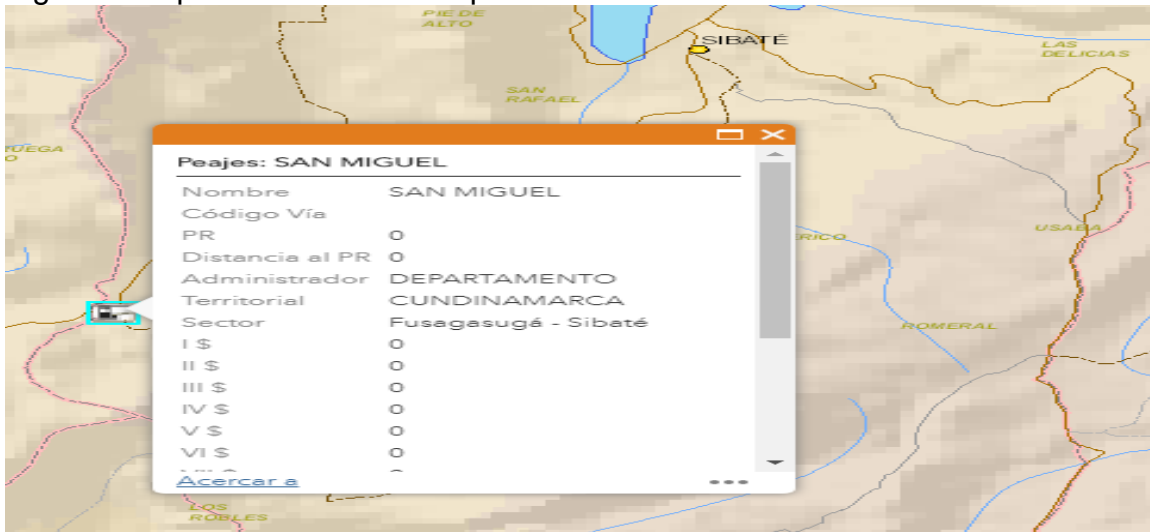
6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1 ALCANCES

6.1.1 Espacio.

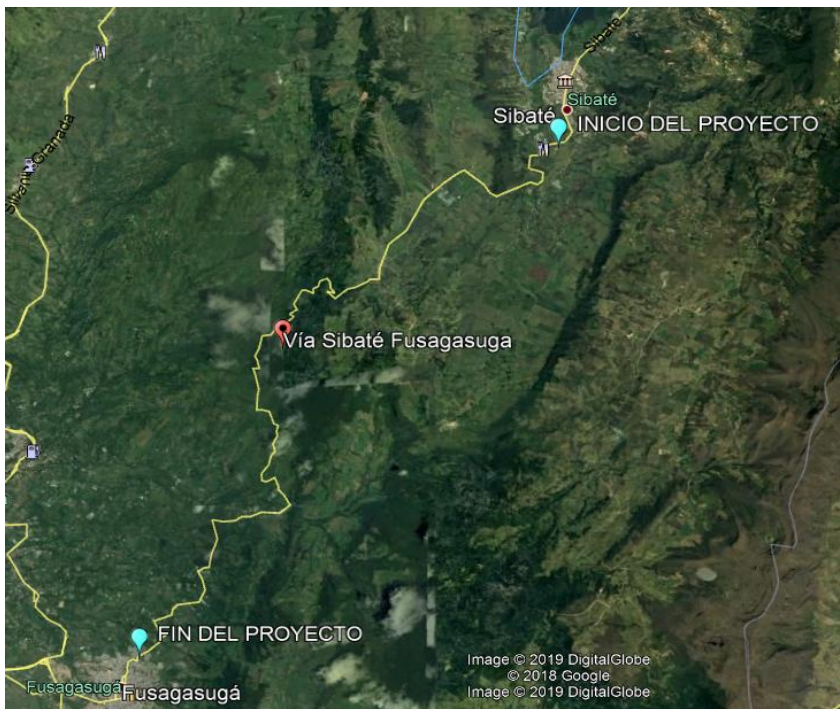
El área donde tendrá influencia el proyecto consta de las cabeceras municipales de Sibaté y Fusagasugá, así como también algunas zonas rurales que se encuentran intermedias entre estos dos municipios, el alineamiento de esta vía se encuentra ubicado en el punto de inicial en el norte– oeste (K0+000), este corredor cuenta con cuatro empalmes los cuales comunican con diferentes veredas las cuales son San Miguel (K4+095) luego toma una dirección proyectada hacia el sur – oeste en la vereda Las Fronteras (en el K8+080) más adelante se encuentra interceptando la vía que conduce hacia la vereda La Aguadita (K14+100), con una última intercepción en la zona rural de Pasadena (K19+018), para terminar el corredor en el punto final del proyecto en el municipio de Fusagasugá (K21+014). Actualmente esta vía es de tipo municipal según el Instituto Nacional de Vías, aunque la administración del único peaje existente en el corredor vial se encuentra administrado por el Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca (ICCU) como se muestra en la figura 8.

Figura 8. Mapa de carreteras del país



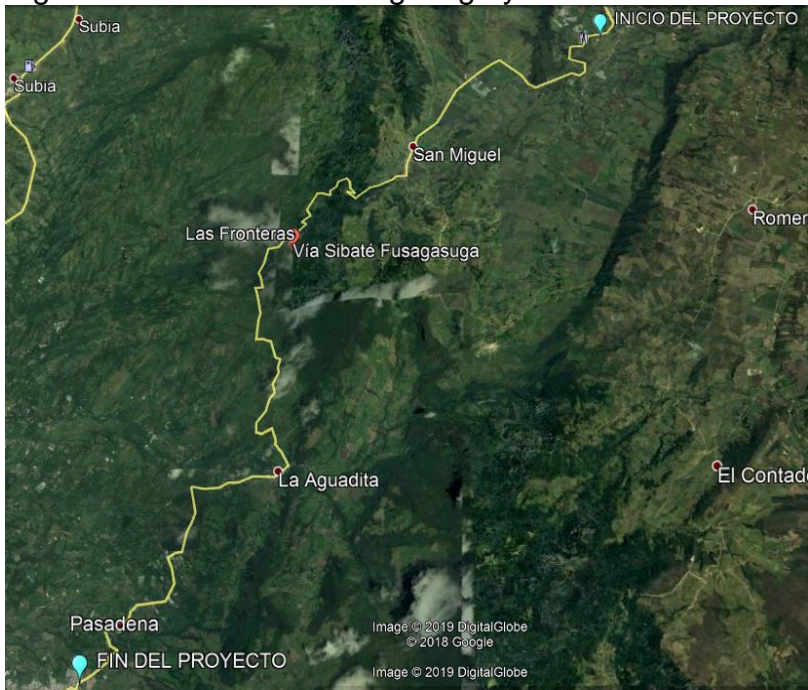
Fuente. INVIAS. Mapa de carreteras

Figura 9. Vía Sibaté- Fusagasugá



Fuente. (Google Earth ,2019

Figura 10. Vía Sibaté- Fusagasugá y sus veredas



Fuente. (Google Earth ,2019)

La localización de los puntos que se encuentran identificados posteriormente en la imagen 3 está comprendida por las siguientes coordenadas geográficas.

Inicio del proyecto: 4°28'55.41"N - 74°15'33.78"O

Empalme vereda San Miguel: 4°27'1.52"N - 74°17'59.95"O

Empalme vereda Las Fronteras: 4°25'57.29"N - 74°19'25.04"O

Empalme Vereda La Aguadita: 4°23'20.44"N - 74°19'30.47"O

Empalme Vereda Pasadéna: 4°21'43.48"N - 74°21'4.02"O

Fin del proyecto: 4°21'6.88"N - 74°21'25.71"O

6.1.2 Tiempo

Para el desarrollo de este proyecto se contó con 22 semanas, las cuales estuvieron divididas en 3 secciones, la primera sección tuvo cinco semanas en las cuales se recolectaron las muestras de suelo, la topografía del terreno y el aforo vehicular, para la segunda sección se tomó toda la información recolectada en las semanas posteriores para realizar las respectivas pruebas de laboratorio y así diseñar el pavimento, también se llevó a cabo el nuevo diseño geométrico de la vía de estudio, esta sección contó con una durabilidad de 11 semanas. para la parte final del proyecto se dispuso de las 6 semanas faltantes donde se redactó el documento con todas las especificaciones requeridas.

Este proyecto se enfocó en la realización de un diseño geométrico en el cual se presentó aforos vehiculares tomados en campo en tres diferentes puntos de control que se ubicaron a lo largo del corredor vial, estos conteos se tomaron durante una semana, se realizó un análisis previo para los aforos de velocidad y volumen de tránsito, con esta información se obtuvieron los parámetros para los diseños tanto geométricos como de pavimento, en el diseño de pavimento se tomaron muestras de suelo a lo largo de la vía de estudio para luego ser analizadas en el laboratorio; también se realizaron los costos de volúmenes.

Para el diseño geométrico se utilizaron los softwares AutoCAD civil 3D, Google Earth y Global Mapper, en la realización del diseño de pavimento se requirieron prácticas de laboratorio para determinar las características del suelo, en el cálculo de volúmenes se requirió el uso de Microsoft Excel.

6.2 LIMITACIONES

Este proyecto es un estudio de prefactibilidad debido al limitante en recursos, teniendo en cuenta que el estudio para el mejoramiento de una carretera es un proyecto de gran envergadura y requiere estudios de campo de mayor complejidad y maquinaria especializada para el mismo.

7. METODOLOGÍA

7.1 BENEFICIO PARA LA COMUNIDAD

Por medio de la reunión realizada con la comunidad el día 24 de marzo de 2019 en la vereda San Rafael, se conocieron los problemas de movilidad con los que cuenta la población, como se evidencia en el anexo (E), una de las mayores problemáticas es el mal estado de la vía (ya que los radios de curvatura no cumplen con las especificaciones actuales de diseño, se presenta baja visibilidad al momento de transitar, los carriles no cumplen los parámetros de ancho de vía, generando invasiones de carril y por último el pavimento presenta grandes deterioros), falta de señalización lo cual ocasiona altos índices de accidentalidad y grandes pérdidas económicas debido a los tiempos de desplazamiento, las pérdidas humanas como de mercancías así como también los mantenimientos a los vehículos.

Es importante resaltar que, por las condiciones climáticas típicas del sector y la calidad de los suelos de la zona, las actividades económicas a las que se dedican son prácticas agrícolas y ganaderas a pequeña escala. Siendo esta la única vía de acceso para el transporte y comercialización de sus productos.

De ser ejecutado el proyecto los beneficios adicionales para la comunidad serían:

- Generación de empleo durante la ejecución de la obra y mantenimiento de la misma.
- Disminución en los costos de transporte de mercancías.

- Reducción de mantenimiento en los vehículos
- Dinamización de la economía del sector por la utilización de bienes y servicios locales.
- Aumento de la población visitante por el tránsito atraído de las vías aledañas.

7.2 ENFOQUE

Este proyecto es de tipo cuantitativo el cual tuvo un enfoque a realizar diversos análisis de estudios como lo fue el aforo vehicular para comparar los datos del tránsito, para el respectivo diseño geométrico, también fue de gran importancia conocer las características del suelo existente para la elaboración del nuevo diseño de pavimento y la ejecución del presupuesto de prefactibilidad de la obra, por esta razón fue esencial llevar a cabo este proyecto ya que fue útil y de beneficio social para generar una adecuada solución a la movilidad de la vía Sibaté- Fusagasugá; En este sentido se manejó un modelo metodológico por fases.

7.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta que la vía Sibaté - Fusagasugá requiere de un mejoramiento, se debió realizar un aforo vehicular para saber el volumen de tránsito, fue necesario realizar ensayos de laboratorio al suelo y un presupuesto para garantizar una “estrategia de diseño óptimo” en la estructura vial y así poder atribuir un excelente funcionamiento. Por esta razón el proyecto fue de tipo analítico y descriptivo.

7.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

A partir de los objetivos planteados anteriormente se tomó como referencia los manuales de diseño del instituto nacional de vías (INVIAS) y la AASHTO 93, se requirieron los softwares como AutoCAD civil 3D, Google Earth, Global Mapper para el diseño geométrico y por último Microsoft Excel para el presupuesto de volúmenes. Se emplearon los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio y los datos del aforo vehicular para garantizar unos diseños que cumplieran con una vía, segura y económica para su construcción.

7.5 FASES CORRESPONDIENTES AL TRABAJO DE GRADO

Para el planteamiento y desarrollo del proyecto se estableció la siguiente metodología en tres fases principales:

7.5.1 1 FASE: Planeación del proyecto.

La primera fase consistió en la planeación del proyecto, obteniendo como resultados el anteproyecto para esta fase fue necesario llevar a cabo los siguientes pasos:

- Temática de estudio
- Información respecto a las características técnicas, socioeconómicas del municipio
- Autorización de la comunidad (Véase el anexo D)

7.5.2 2 FASE: Desarrollo del proyecto

La segunda fase correspondió al análisis del proyecto, los pasos que se llevaron a cabo fueron:

- Localización del proyecto

La vía del proyecto se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca, entre las cabeceras municipales de Sibaté y Fusagasugá.

- Reconocimiento y exploración

Se realizaron visitas de campo para obtener la caracterización geotécnica del suelo, en donde se tomaron muestras de suelo con apliques.

- Estudio de tránsito

Se realizó un aforo vehicular para determinar el tránsito promedio diario, el cual se hizo durante una semana en intervalos de tiempo diferentes y durante horas pico, en este conteo vehicular también se tuvo en cuenta la clase de vehículo que transitaba según su número de ejes (Véase el Anexo B)

Tabla 30. Clasificación de los vehículos en Colombia

CATEGORÍA I	Automóviles, camperos, camionetas, microbuses con ejes de llanta sencilla
CATEGORÍA II	Buses, busetas, microbuses con eje trasero de doble llanta y camiones de dos ejes
CATEGORÍA III	Vehículos de pasajeros y de carga de tres y cuatro ejes
CATEGORÍA IV	Vehículos de carga de cinco ejes
CATEGORÍA V	Vehículos de carga de seis ejes

Fuente. (Instituto nacional de vías, 2016)

- Estudio de suelo

Para la realización del pavimento se tuvo que tener en cuenta parámetros de diseño estructural como lo son materiales, tránsito, clima, también aspectos constructivos y la vida útil. A partir de esto se realizó un estudio de pavimento el cual comprendió la base, subbase y subrasante, a estos se le practicó ensayos de caracterización como granulometría, límite de consistencia, compactación y resistencia, para la realización de estos laboratorios se debió tener en cuenta la norma INVIAS. En la siguiente tabla se describen los procedimientos que se tuvieron en cuenta para realizar los laboratorios

Tabla 31. Ensayos para realizar en el laboratorio

NOMBRE	NORMA	DESCRIPCIÓN
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO	INVE -123	Específico el método para estimar los porcentajes de suelo que pasan por los diferentes tamices de la serie empleada en el ensayo.
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS	INVE-125	Se precisó el contenido de humedad dado en porcentaje del suelo secado al horno, cuando este entra en estado líquido y estado plástico.
LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLÁSTICIDAD DE SUELOS	INVE-126	En este ensayo se determinó el contenido bajo de agua, en donde el suelo permanece en estado plástico.
RELACIONES DE HUMEDAD, MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACIÓN PROCTOR)	INVE- 141 INVE- 142	Se hizo para resolver la relación entre la humedad y la masa unitaria de los suelos compactados en un molde.
RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO)	INVE-148	Se determinó un índice de resistencia del suelo que se titula relación de soporte de california, conocido como CBR (California Bearing Ratio)

Fuente. Autores

INVE-103-07: Se utilizó esta norma para el manejo y conservación de las muestras extraídas del área de estudio

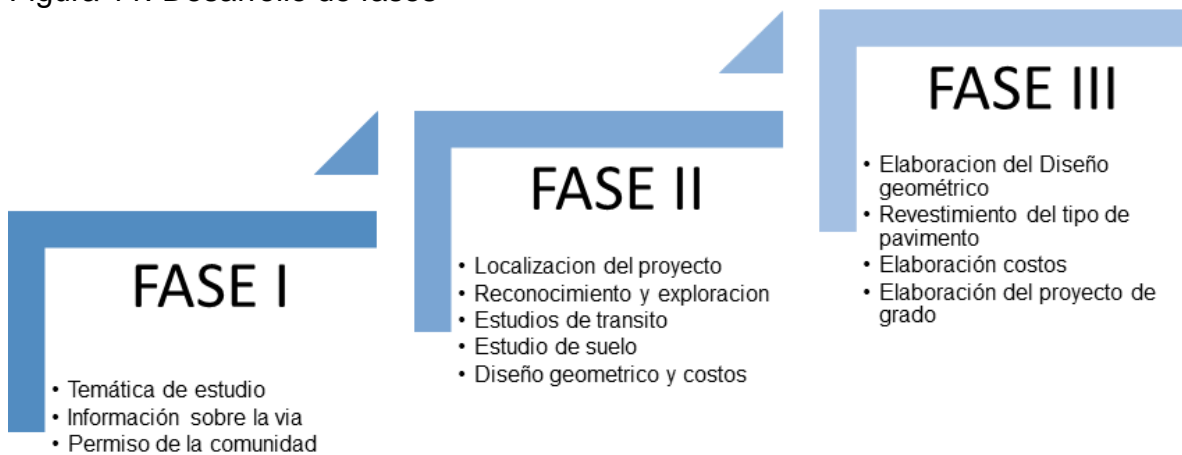
- Diseño geométrico y costos de volúmenes.

7.5.3 3 FASE: Propuesta técnica del proyecto

Esta fase es la realización del proyecto, en donde se ejecutó los siguientes pasos:

- Elaboración del diseño geométrico de la vía de estudio.
- Revestimiento del tipo de pavimento.
- Elaboración de costos de volúmenes.
- Elaboración del proyecto de grado.

Figura 11. Desarrollo de fases



Fuente. Autores

8. EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

8.1 ESTUDIO DE TRÁNSITO

Para la recopilación de la información en campo, se realizó el conteo vehicular con un horario comprendido desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m. durante siete (7) días consecutivos, comenzando el día 26 de mayo de 2019 hasta el día 1 de junio de 2019, registrando el flujo vehicular por sentido y por tipo de vehículo como se puede observar en las imágenes a continuación. De acuerdo con las características establecidas por el INVIAS para este tipo de conteos. La estación se ubicó directamente sobre el corredor vial, específicamente sobre la abscisa K0+350, pasando el peaje San Miguel a la salida de Sibaté hacia Fusagasugá.

Figura 12. Zona de estudio Sibaté -Fusagasugá



Fuente. Autores

Figura 13. Zona de estudio Sibaté- Fusagasugá



Fuente. Autores

✓ Tránsito promedio diario.

Tabla 32. Tráfico promedio diario semanal

TPD	A %	B %	C %
3243	67	8	25
TIPOS DE CAMIONES			TOTAL
C2p		42%	342
C2g		29%	236
C3		32%	260
C5		0%	0

Fuente. Autores

Tabla 33.Cálculo de ejes equivalentes

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES					
Año	Bus	C2p	C2g	C3	C5
2020	94696	124654	86183	95062	0
2021	97348	128145	88597	97724	0
2022	100075	131734	91079	100462	0
2023	102878	135424	93630	103276	0
2024	105759	139217	96253	106168	0
2025	108722	143116	98949	109142	0
2026	111767	147124	101720	112199	0
2027	114897	151245	104569	115342	0
2028	118116	155480	107498	118572	0
2029	121424	159835	110509	121893	0
2030	124825	164311	113605	125307	0
2031	128321	168913	116786	128817	0
2032	131915	173644	120057	132425	0
2033	135609	178507	123420	136133	0
2034	139407	183506	126877	139946	0
2035	143312	188645	130430	143866	0
Total	1879070	2473499	1710163	1886332	0
FD	0,42	0,31	2,89	5,31	0
Factor direccional	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Factor Carril	1	1	1	1	1
Total	394606	383393	2471186	5008214	0
# TOTAL DE EJES EQUIVALENTES					
8257399					
# TOTAL DE EJES EQUIVALENTES PARA EL DISEÑO					
8500000					

Fuente. Autores

8.2 ESTUDIO DE SUELOS

Fueron ingresadas al laboratorio 4 muestras del material obtenidas durante la exploración de campo, las cuales se sometieron a una detallada inspección visual para observar las descripciones realizadas de campo.

Figura 14. Toma de apiques, muestra 1



Fuente. Autores

Figura 15. Toma de apiques, muestra 3



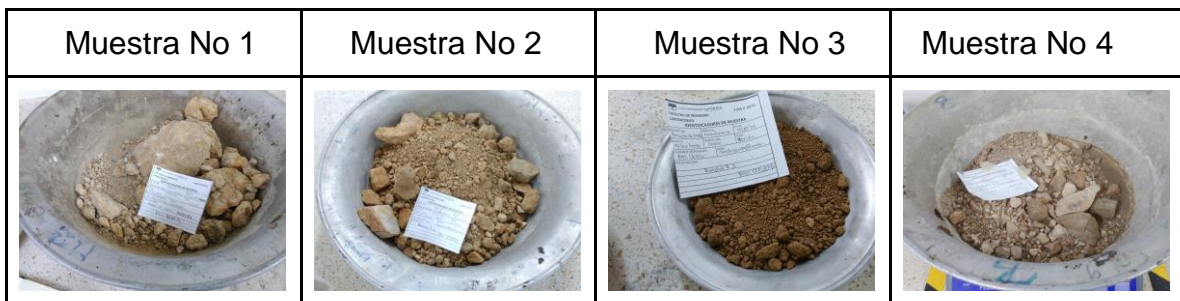
Fuente. Autores

Para la toma de apiques fue necesario realizar una excavación manual aproximadamente de 1,5 metros a 2 metros, tomando como referencia la norma INVIAS

E-101-13, donde especifica que cantidad de muestra se debe tomar para la realización de cada uno de los ensayos de laboratorio.

De cada uno de los apiques fueron realizados a una distancia de 5 km aproximadamente, donde fueron tomadas muestras representativas del material, con el fin de realizar ensayos de caracterización como, análisis granulométrico, determinación de límite plástico y líquido al igual que el cálculo del índice de plasticidad, Proctor y CBR.

Figura 16.Muestras de suelo en el laboratorio



Fuente. Autores

✓ Perfiles estratigráficos de los cuatro apiques.

Para la realización de los perfiles fue necesario tomar muestras de las paredes del apique, así como la medición de la profundidad para conocer la dimensión del estrato, se procedió a llevar las muestras al laboratorio para realizar una clasificación del suelo y posterior a esto identificar qué tipo de material se encontró.

- Perfil muestra 1.

Tabla 34. Perfil estratigráfico muestra 1

ESTRATO		CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL SUELO
1			Terreno de cultivo, con pasto y raíces , color café claro , ligeramente humedo
2		GP	Grava mal graduada con arcilla limosa, muy suelta, con particulas sub redondeadas, color café oscuro, con presencia de bolones en 15% de tamaño maximo 40 cms

Fuente. Autores

- Perfil muestra 2.

Tabla 35. Perfil estratigráfico muestra 2

ESTRATO		CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL SUELO
1			Relleno no controlado, con basura, raíces, pastos, con presencia de boloneria
2		GP	Grava mal graduada con arena, suelta, con particulas redondeadas a sub redondeadas, color gris oscuro

Fuente. Autores

- Perfil muestra 3.

Tabla 36. Perfil estratigráfico muestra 3

ESTRATO		CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL SUELO
1			Suelo limo arcilloso, con raíces, pastos, con presencia de grava medianamente compacta.
2		GP	Grava mal graduada con arena, suelta, con partículas sub redondeadas, color pardo, contiene fragmentos de roca de forma sub redondeadas en 3% con tamaño max. 55cm

Fuente. Autores

- Perfil muestra 4.

Tabla 37. Perfil estratigráfico muestra 4

ESTRATO		CLASIFICACION	DESCRIPCION DEL SUELO
1			Terreno de cultivo, con pasto y raíces, color marron claro.
2		GM	Grava limosa con arena, con partículas redondeadas a sub redondeadas, con presencia de bolones sub redondeados en un 85% con tamaño máximo de 1.5m

Fuente. Autores

✓ Ensayo de granulometría.

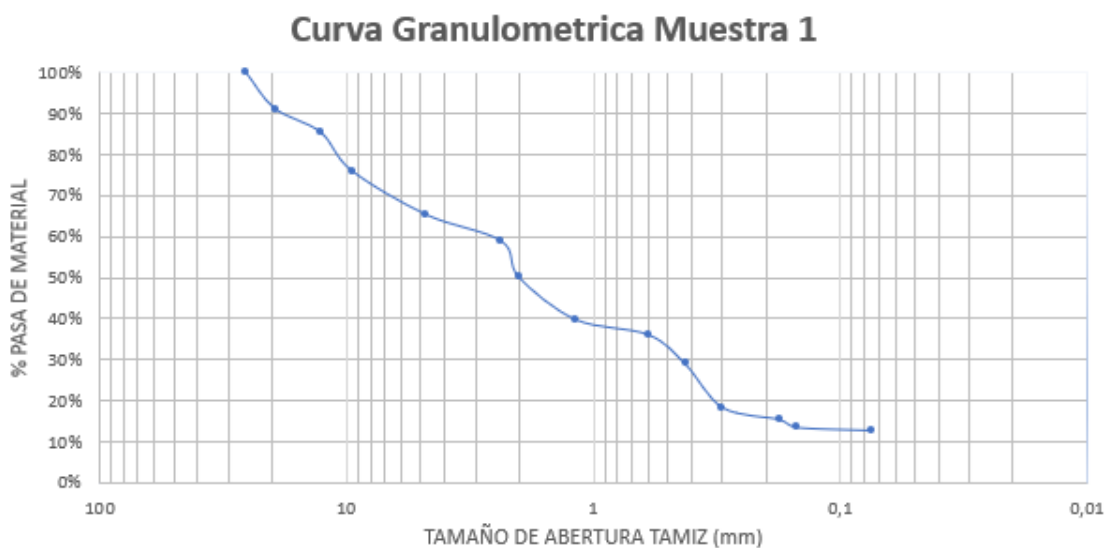
Con base a las muestras de suelo extraídas en campo se tomó una parte de cada una para la realización del ensayo de granulometría, cada una de estas muestras fue previamente lavada y secada en el horno por un periodo de 24 horas, luego de esto se procedió a verter la muestra en el juego de tamices 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4, 8, 10, 30, 50, 100, 200 y el fondo. Se tamizó manualmente por 10 minutos aproximadamente, se procedió a la recuperación del material retenido en cada tamiz y se pesó.

Tabla 38. Resultados análisis granulométrico de suelo tipo 1

MUESTRA 1			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2	0	0	100
1 1/2	372	10,073	89,927
1	246	6,661	83,266
3/4	394	10,669	72,597
1/2	456	12,348	60,249
3/8	272	7,365	52,884
4	375	10,154	42,729
8	435	11,779	30,950
10	156	4,224	26,726
30	304	8,232	18,494
50	448	12,131	6,363
100	122	3,304	3,060
200	82	2,220	0,839
FONDO	31	0,839	0,000
TOTAL	3693	100	

Fuente. Autores

Figura 17. Curva granulométrica 1



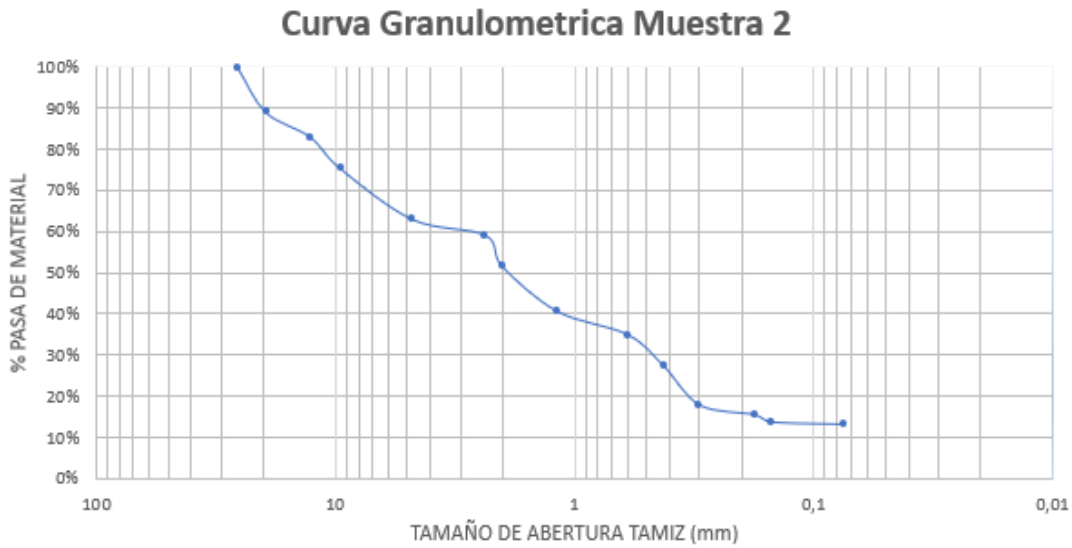
Fuente. Autores

Tabla 39. Resultados análisis granulométrico de suelo tipo 2

MUESTRA 2			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2	11	0,299	100
1 1/2	456	12,381	87,619
1	256	6,951	80,668
3/4	324	8,797	71,871
1/2	526	14,282	57,589
3/8	162	4,399	53,190
4	324	8,797	44,393
8	461	12,517	31,876
10	239	6,489	25,387
30	322	8,743	16,644
50	405	10,996	5,648
100	98	2,661	2,987
200	76	2,064	0,923
FONDO	23	0,624	0,299
TOTAL	3683	99,701	

Fuente. Autores

Figura 18. Curva granulométrica 2



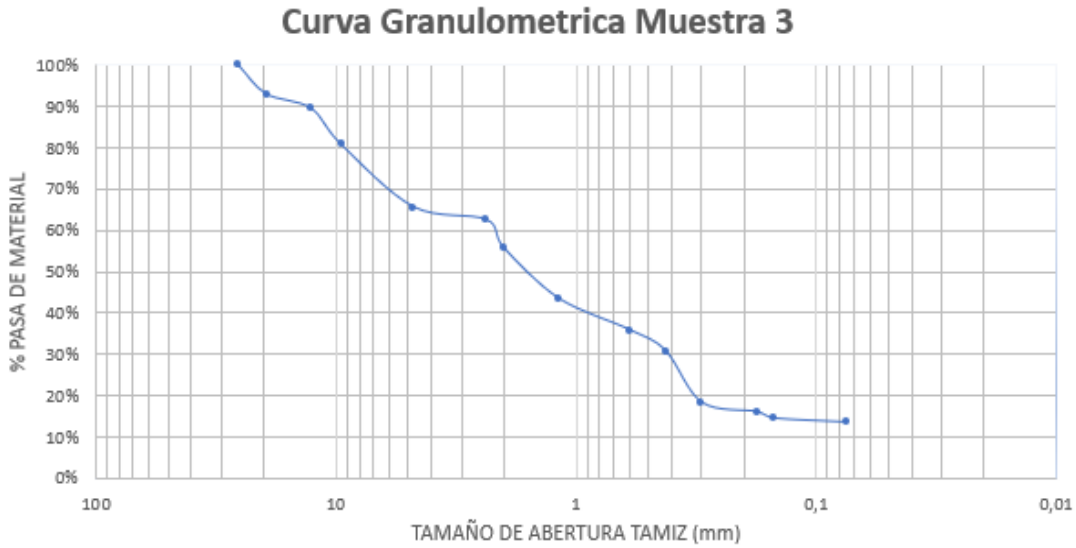
Fuente. Autores

Tabla 40. Resultados análisis granulométrico de suelo tipo 3

MUESTRA 3			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2	0,5	0,014	100
1 1/2	298	8,123	91,877
1	147	4,007	87,870
3/4	369	10,059	77,811
1/2	644	17,555	60,256
3/8	132	3,598	56,658
4	288	7,851	48,807
8	520	14,175	34,633
10	321	8,750	25,883
30	215	5,861	20,022
50	532	14,502	5,520
100	94	2,562	2,958
200	67	1,826	1,131
FONDO	41	1,118	0,014
TOTAL	3668,5	99,9863705	

Fuente. Autores

Figura 19. Curva granulométrica 3.



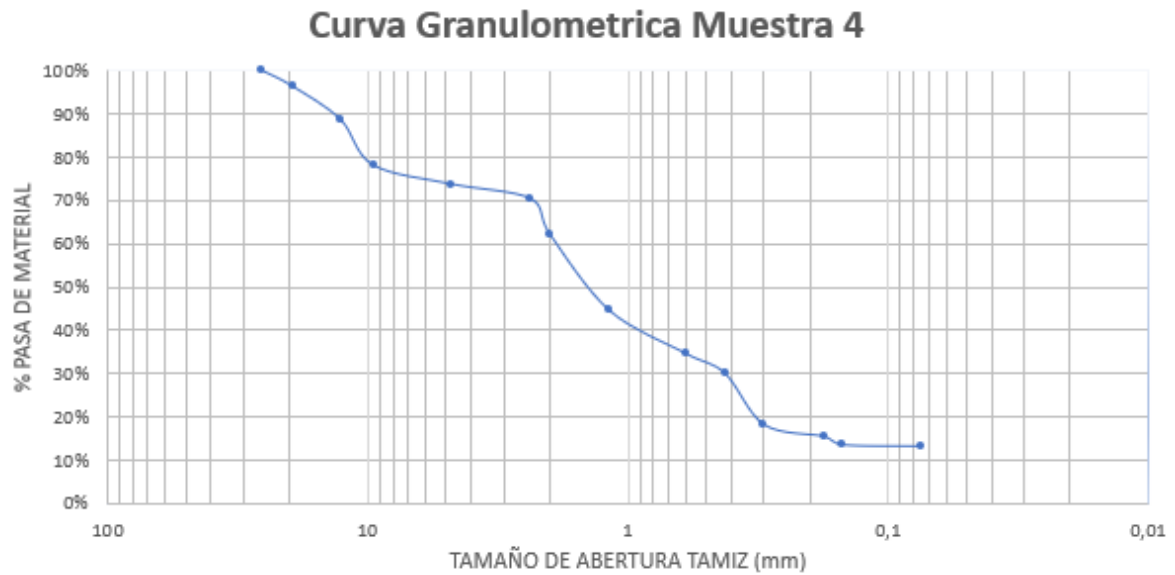
Fuente. Autores

Tabla 41. Resultado análisis granulométrico de suelo tipo 4

MUESTRA 4			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
2	0	0	100
1 1/2	152	4,14	95,86
1	327	8,91	86,95
3/4	445	12,12	74,83
1/2	187	5,09	69,74
3/8	143	3,90	65,84
4	342	9,32	56,52
8	749	20,40	36,12
10	421	11,47	24,65
30	193	5,26	19,40
50	503	13,70	5,69
100	114	3,11	2,59
200	82	2,23	0,35
FONDO	13	0,35	0,00
TOTAL	3671	100	

Fuente. Autores

Figura 20. Curva granulométrica 4



Fuente. Autores

Tabla 42. Resultados coeficiente de curvatura y coeficiente de curvatura de las muestras en estudio

MUESTRA	Cc	Cu
1	0,51	33,91
2	0,48	27,66
3	0,88	46,30
4	1,09	62,83

Fuente. Autores

- ✓ Ensayo límites de Atterberg.
- Límite líquido.

Para la realización de este ensayo fue necesario macerar cada una de las muestras, se tamizo por la malla #40 (0,42mm), el material ya tamizado se pasó a un recipiente de porcelana y se mezcló con un poco de agua, se tomó un poco de la muestra para ensayar en la cuchara de Casagrande, de tal manera que quedó contra la superficie de la cuchara y se realizó una ranura en la parte central, se procedió a hacer golpes en los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25, esto se hizo para encontrar la humedad óptima. Luego se pesó las cápsulas de aluminio y así ensayando la muestra cápsula por cápsula.

- Límite plástico.

Se extrajo una submuestra de la muestra principal y se procedió con la mano a formar un rollito, esto hasta que se notaran fisuras, luego se pesó las cápsulas con los rollitos de las muestras y se llevaron al horno para su secado durante 24 horas. Luego se tomó el peso de cada cápsula con sus respectivas muestras.

Tabla 43.Límites de Atterberg

Límites de Atterberg			
Muestra	LL %	LP %	IP %
1	24,34	22,81	1,53
2	27,24	22,27	4,97
3	54,77	17,05	37,72
4	52,49	15,4	37,09

Fuente. Autores

El estudio de suelos fue necesario para determinar las características físicas del mismo, con el fin de medir la resistencia del suelo para verificar que fuera óptimo respecto a los diferentes métodos de pavimentación, por esta razón se realizó el ensayo de laboratorio de Proctor modificado y CBR.

✓ Ensayo Proctor modificado.

Con la realización de este ensayo se determinó la humedad óptima de compactación de un suelo, al llevar a cabo este proceso se aumentó el peso por unidad de volumen generando incrementos en su resistencia al esfuerzo cortante y se disminuyó la permeabilidad.

El INVIAS en la norma E-141 describe los cuatro métodos del A al D, teniendo en cuenta el tipo de suelo que se obtuvo en lo apiques, se utilizó el método C, debido a que al realizar el ensayo de granulometría se evidenció que el material pasó por el tamiz $\frac{3}{4}$.

Las muestras extraídas en campo se encontraron en estado húmedo, por esto fue necesario dejar los especímenes de suelo en el horno con una temperatura no mayor a 60°C por un periodo de 24 horas, luego de este tiempo se procedió a tamizar el material por el tamiz $\frac{3}{4}$ y con esta muestra se realizó el proceso de compactación. Para la realización de este ensayo se tomaron 4 muestras por cada tipo de suelo, a las que se les debió agregar la cantidad de agua adecuada para obtener un porcentaje de humedad para cada muestra los cuales dichos porcentajes debieron ser 4%, 6%, 8% y 10% respectivamente, se procedió con la compactación con 5 capas cada molde y cada una de estas con 56 golpes.

Luego de finalizar el proceso de compactación se engraso cada uno de los moldes y se tomó su peso, una pequeña parte de la muestra fue extraída y llevada al horno por 24 horas para luego tomar su peso y poder realizar los respectivos cálculos y obtener la humedad óptima.

Tabla 44. Datos de los moldes para el ensayo

Molde	M1	M2	M3
Peso molde+ base (g)	5740	6000	6221
Altura (h) mm	118	116,1	117,4
Diametro interno (mm)	153	152,8	152,7

Fuente. Autores

Tabla 45. Datos de la muestra del suelo tipo 1

Muestra	M1	M2	M3	M4
Molde	1	2	3	4
%Humedad	4%	6%	8%	10%
Peso material (g)	5000	5000	5000	5000
Peso molde+base+material compactado	8994	9221	9762	9608
Peso tara (g)	37,6	44	61	41
Peso Muestra (g)	375,5	322,9	345,7	349,9
Peso Muestra seca (g)	341	285,5	335,2	321,8

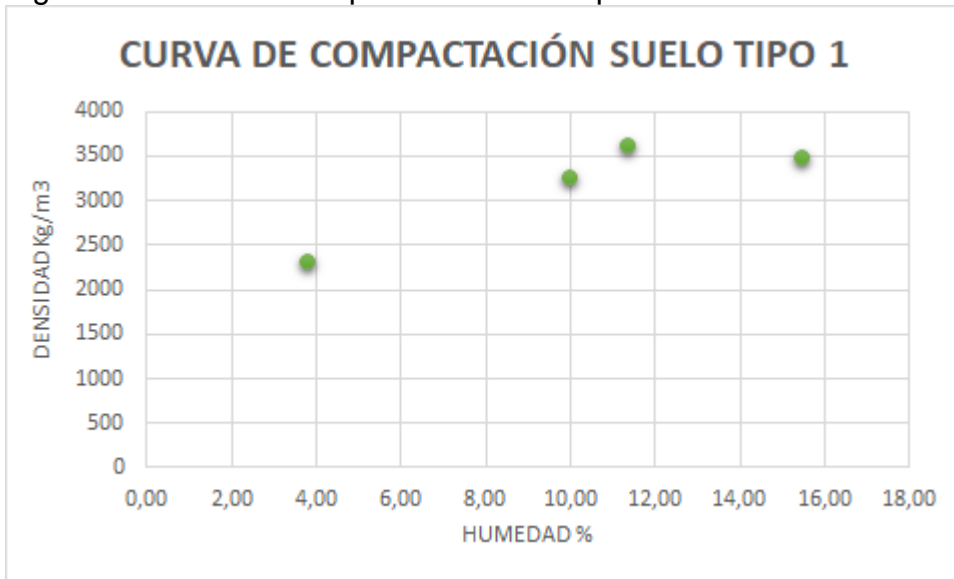
Fuente. Autores

Tabla 46. Resultados del ensayo Proctor modificado para el suelo tipo 1

Peso Muestra (g)	Peso Muestra (Kg)	Peso Muestra seca (g)	Peso Muestra seca (Kg)	Peso tara (g)	Peso tara (kg)	W % de humedad	Densidad Kg/m ³
375,5	0,38	341	0,34	37,6	0,038	11,37	3611,9
322,9	0,32	285,5	0,29	44	0,044	15,49	3472,4
345,7	0,35	335,2	0,34	61	0,061	3,83	2296,7
349,9	0,35	321,8	0,32	41	0,041	10,01	3248,7

Fuente. Autores

Figura 21. Curva de compactación suelo tipo 1



Fuente. Autores

El valor de humedad óptima para el suelo tipo 1 basándose en la curva de compactación fue del 11%, este fue el porcentaje de humedad que se utilizó para la realización del CBR.

Tabla 47. Datos de la muestra del suelo tipo 2

Muestra	M1	M2	M3	M4
Molde	1	2	3	4
%Humedad	4%	6%	8%	10%
Peso material (g)	5000	5000	5000	5000
Peso molde+base+material compactado	9725	9763	9881	9948
Peso tara (g)	56	41	39,2	46
Peso Muestra (g)	385,44	352,1	368,9	385,2
Peso Muestra seca (g)	341	285,5	335,2	321,8

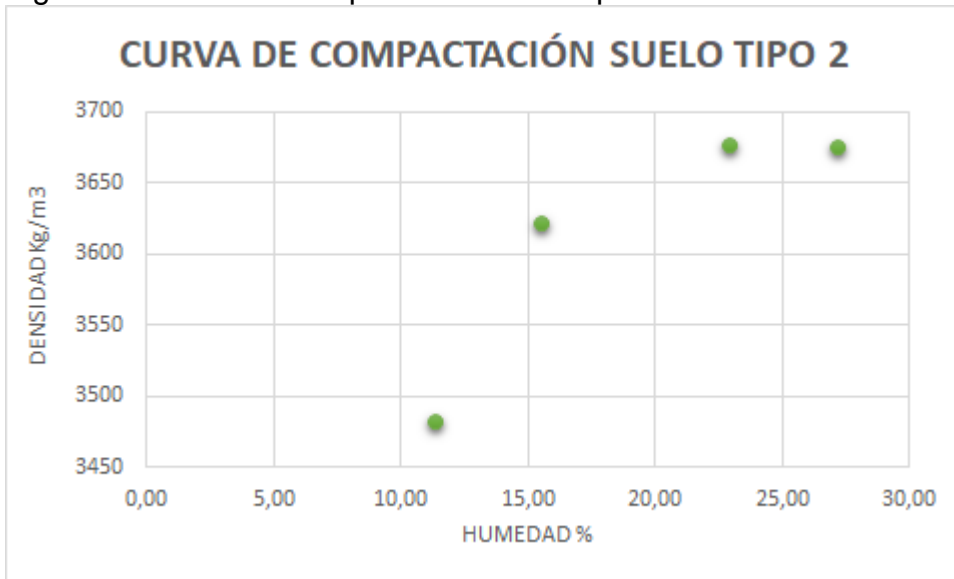
Fuente. Autores

Tabla 48. Resultados del ensayo Proctor modificado para el suelo tipo 2

Peso Muestra (g)	Peso Muestra (Kg)	Peso Muestra seca (g)	Peso Muestra seca (Kg)	Peso tara (g)	Peso tara (kg)	W % de humedad	Densidad Kg/m ³
385,44	0,39	341	0,34	56	0,056	15,59	3621,3
352,1	0,35	285,5	0,29	41	0,041	27,24	3674,5
368,9	0,37	335,2	0,34	39,2	0,039	11,39	3482,03
385,2	0,39	321,8	0,32	46	0,046	22,99	3675,9

Fuente. Autores

Figura 22. Curva de compactación suelo tipo 2



Fuente. Autores

El valor de humedad óptima para el suelo tipo 1 basándose en la curva de compactación fue del 23%, este fue el porcentaje de humedad que se utilizó para la realización del CBR.

Tabla 49. Datos de la muestra del suelo tipo 3

Muestra	M1	M2	M3	M4
Molde	1	2	3	4
%Humedad	4%	6%	8%	10%
Peso material (g)	5000	5000	5000	5000
Peso molde+base+material compactado	7425	7639	8003	8159
Peso tara (g)	39	38	55	36,7
Peso Muestra (g)	268,6	273,4	288	342,1
Peso Muestra seca (g)	248	259,2	279,6	315,2

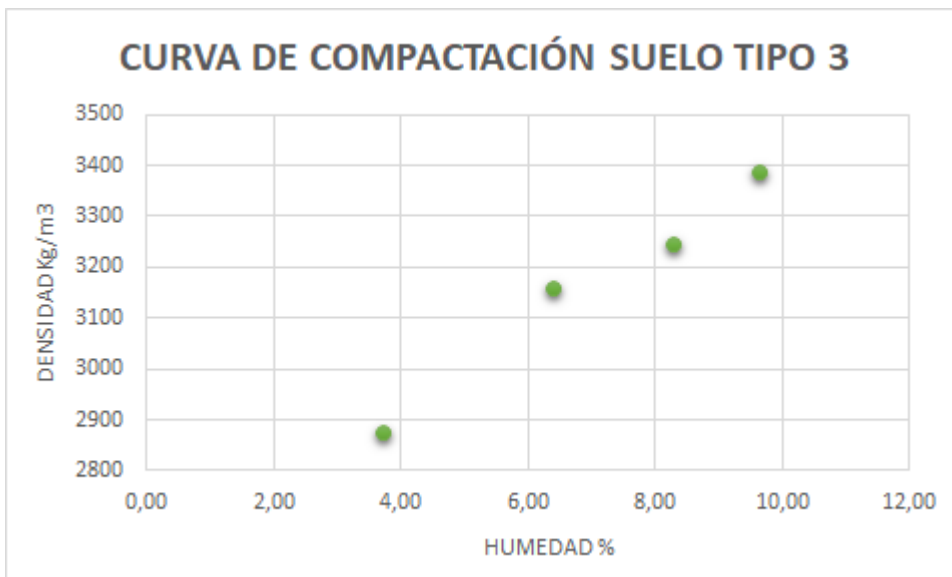
Fuente. Autores

Tabla 50.Resultados del ensayo Proctor modificado para el suelo tipo 3

Peso Muestra (g)	Peso Muestra (Kg)	Peso Muestra seca (g)	Peso Muestra seca (Kg)	Peso tara (g)	Peso tara (kg)	W % de humedad	Densidad Kg/m3
268,6	0,27	248	0,25	39	0,039	9,86	3499,2
273,4	0,27	259,2	0,26	38	0,038	6,42	3155
288	0,29	279,6	0,28	55	0,055	3,74	2873,4
342,1	0,34	315,2	0,32	36,7	0,037	9,66	3386,4

Fuente. Autores

Figure 23.Curva de compactación suelo tipo 3



Fuente. Autores

El valor de humedad óptima para el suelo tipo 1 basándose en la curva de compactación fue del 10%, este fue el porcentaje de humedad que se utilizó para la realización del CBR.

Tabla 51. Datos de la muestra del suelo tipo 4

Muestra	M1	M2	M3	M4
Molde	1	2	3	4
%Humedad	4%	6%	8%	10%
Peso material (g)	5000	5000	5000	5000
Peso molde+base+material compactado	8412	8670	8843	9006
Peso tara (g)	35	42	40,3	49,1
Peso Muestra (g)	346,8	358,7	363,1	387,04
Peso Muestra seca (g)	286,1	305,6	328,3	346,2

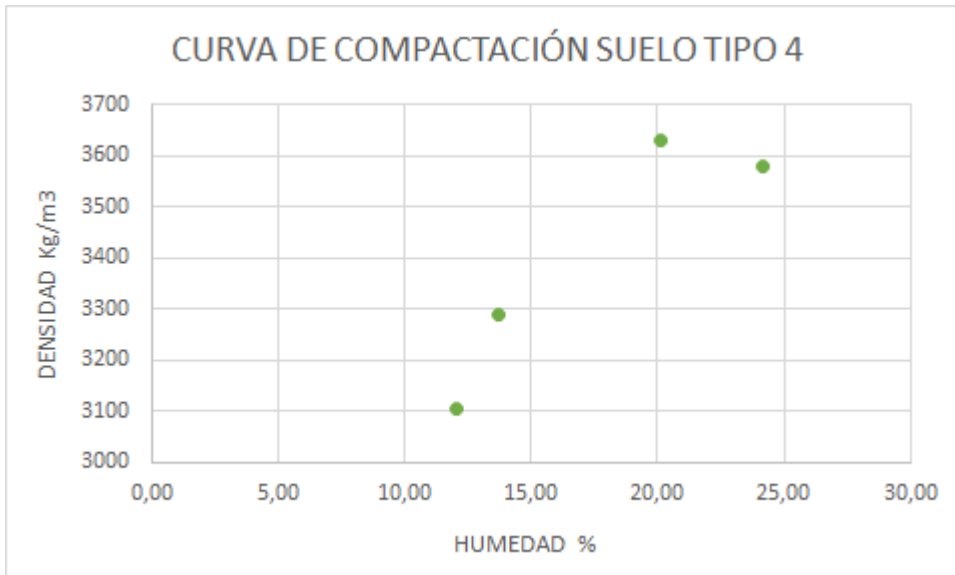
Fuente. Autores

Tabla 52. Resultados del ensayo Proctor modificado para el suelo tipo 4

Peso Muestra (g)	Peso Muestra (Kg)	Peso Muestra seca (g)	Peso Muestra seca (Kg)	Peso tara (g)	Peso tara (kg)	W % de humedad	Densidad Kg/m ³
346,8	0,35	286,1	0,29	35	0,035	24,17	3581
358,7	0,36	305,6	0,31	42	0,042	20,14	3629
363,1	0,36	328,3	0,33	40,3	0,040	12,08	3104,3
387,04	0,39	346,2	0,35	49,1	0,049	13,75	3288,6

Fuente. Autores

Figura 24. Curva de compactación suelo tipo 4



Fuente. Autores

El valor de humedad óptima para el suelo tipo 1 basándose en la curva de compactación fue del 20%, este fue el porcentaje de humedad que se utilizó para la realización del CBR.

✓ Ensayo de CBR.

El ensayo de CBR se llevó a cabo en base a la humedad óptima la cual se obtuvo del laboratorio del Proctor modificado descrito anteriormente, para la ejecución de la práctica se tomó 3 especímenes de cada muestra de suelo, se tomó 2000 kg de cada una y se llevó al horno por 24 horas, posterior a esto se agregó la cantidad de agua

correspondiente al 11%, 23% y 10% de humedad óptima correspondiente a cada tipo de suelo y se realizó el proceso de compactación de cada uno de los especímenes así:

Molde 1: 5 capas de material con 10 golpes cada una
 Molde 2: 5 capas de material con 25 golpes cada una
 Molde 3: 5 capas de material con 56 golpes cada una

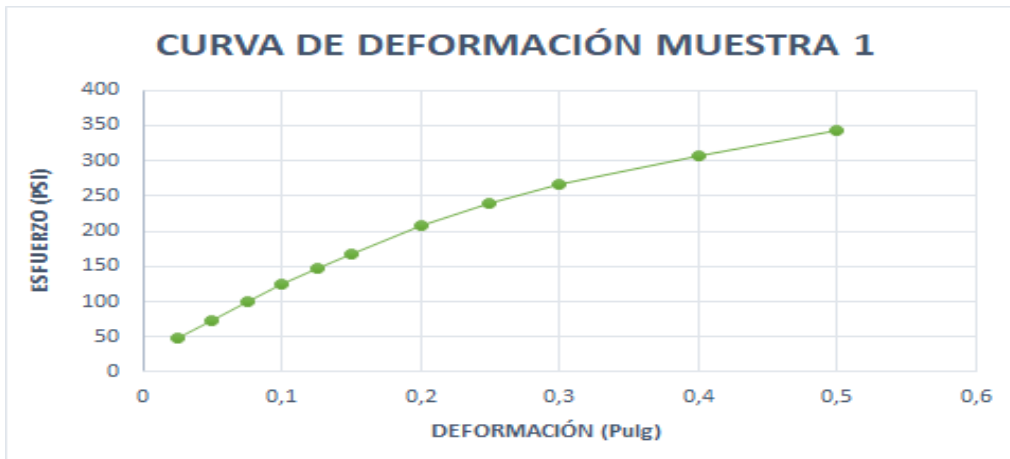
Cada uno de los moldes fue enrasado y pesado para ser sometidos a inmersión en agua durante un lapso de tiempo de cuatro días en los cuales se tomó las extensiones correspondientes a los moldes para cada uno de los días.

Tabla 53. Resultados % CBR de muestra del suelo tipo 1

MUESTRA 1			
Deformación (pulg)	Lectura de la carga (KN)	Esfuerzo (PSI)	CBR (%)
0,025	0,33	47,99	4
0,05	0,93	71,92	5
0,075	1,33	99,67	7
0,1	1,68	124,39	8
0,125	1,97	147,62	10
0,15	2,25	168,61	11
0,2	2,77	207,57	14
0,25	3,2	239,8	16
0,3	3,55	266,02	18
0,4	4,11	307,99	21
0,5	4,58	343,21	23

Fuente. Autores

Figura 25. Curva de deformación muestra 1



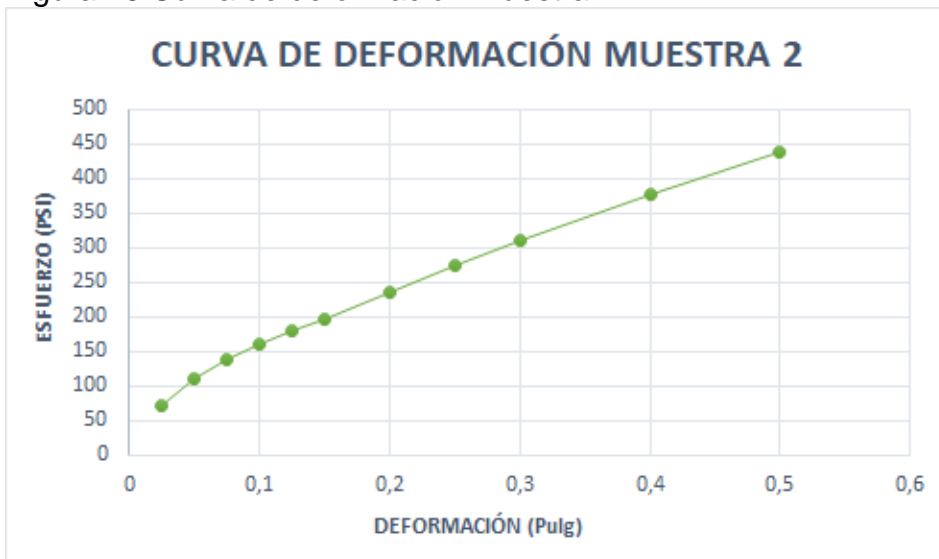
Fuente. Autores

Tabla 54. Resultados % CBR de muestra de suelo tipo 2

MUESTRA 2			
Deformación (pulg)	Lectura de la carga (KN)	Esfuerzo (PSI)	CBR (%)
0,025	0,95	71,19	5
0,05	1,46	109,41	7
0,075	1,83	137,13	9
0,1	2,14	160,36	11
0,125	2,4	179,85	12
0,15	2,64	197,83	13
0,2	3,15	236,05	16
0,25	3,67	275,02	18
0,3	4,14	310,24	21
0,4	5,03	376,93	25
0,5	5,86	439,13	29

Fuente. Autores

Figura 26. Curva de deformación muestra 2



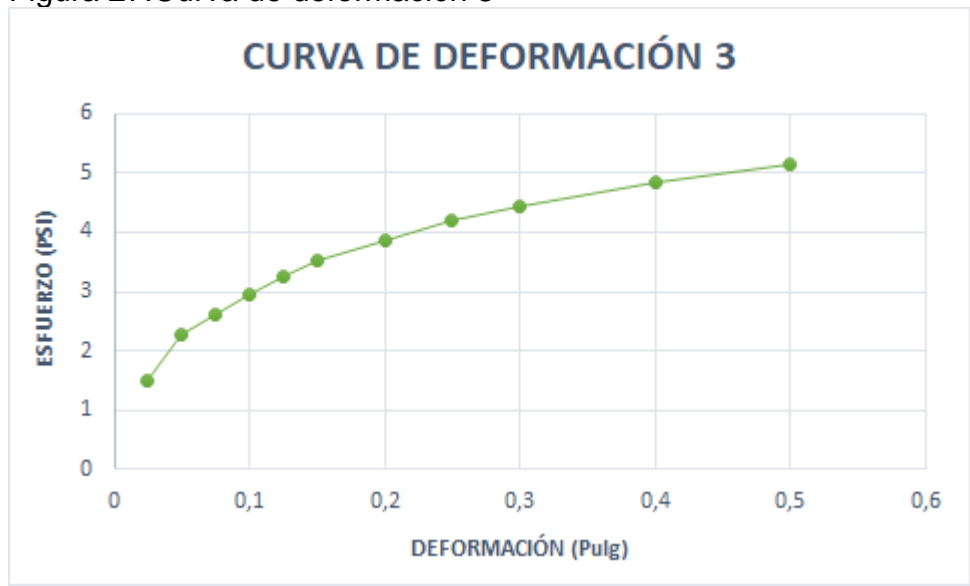
Fuente. Autores

Tabla 55. Resultados % CBR de muestra de suelo tipo 3

MUESTRA 3			
Deformación (pulg)	Lectura de la carga (KN)	Esfuerzo (PSI)	CBR (%)
0,025	1,51	113,15	8
0,05	2,29	171,6	11
0,075	2,61	195,58	13
0,1	2,95	221,06	15
0,125	3,24	242,79	16
0,15	3,52	263,78	18
0,2	3,86	289,25	19
0,25	4,2	314,73	21
0,3	4,43	331,97	22
0,4	4,84	362,69	24
0,5	5,15	385,92	26

Fuente. Autores

Figura 27. Curva de deformación 3



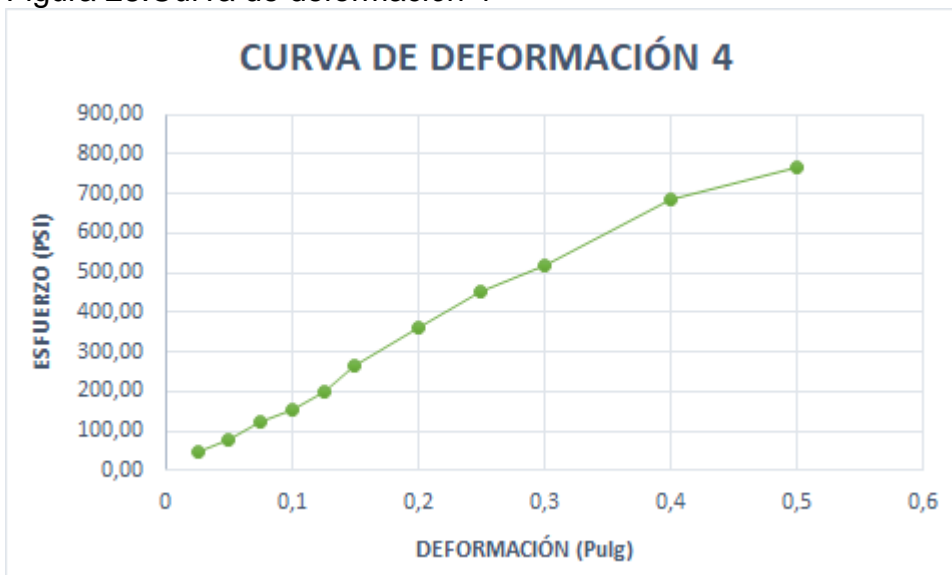
Fuente. Autores

Tabla 56. Resultados % CBR de muestra de suelo tipo 4

MUESTRA 4			
Deformación (pulg)	Lectura de la carga (KN)	Esfuerzo (PSI)	CBR (%)
0,025	0	48,57	5
0,05	2,63	78,30	8
0,075	4,24	125,39	13
0,1	6,79	155,49	16
0,125	8,42	198,33	20
0,15	10,74	210,60	21
0,2	14,22	363,97	24
0,25	17,76	453,36	30
0,3	24,55	520,03	35
0,4	28,16	687,33	46
0,5	37,22	766,37	51

Fuente. Autores

Figura 28. Curva de deformación 4



Fuente. Autores

✓ Análisis de resultados.

En el laboratorio de granulometría la información obtenida se presentó en forma de curvas granulométricas donde se utilizó el porcentaje que pasó el tamiz en función del tamaño de la partícula, a partir del proceso granulométrico los elementos se clasificaron, basándose en cuatro grandes grupos de gravas, arena, limo y arcillas.

Al observar este proceso se pudo identificar que hubo una mayor presencia de arenas en el suelo 2 y 3, a diferencia del suelo 1 y 4 los cuales presentaron mayores valores de arcillas, estos valores permitieron brindar una idea sobre el tipo de material con el cual se trabajo, esta información pudo ser complementada con un análisis de límites para determinar la clasificación del suelo, en cuanto al porcentaje retenido tanto gravas como arenas eran variadas. Se pudo observar que en el retenido acumulado tuvo un porcentaje acercándose al 100% con un peso de muestra de 4000gr con el que se logró obtener estos resultados.

Los suelos poseen cohesión y adhesión de las partículas que lo conforman, lo cual depende de la naturaleza y la cantidad de agua que presente este comportamiento y puede clasificar los estados del suelo como sólido, semisólido, plástico y líquido, es decir que a un muy bajo contenido de agua la superficie se comporta como un sólido mientras si el contenido es muy alto este será como un líquido.

Los límites de Atterberg determinan la consistencia y plasticidad de un suelo cuando es sometido a una cierta cantidad de humedad y cuando existirá una transición de estado, estos son usados comúnmente para la clasificación del suelo, problemas de consolidación, cambios de volumen, compactación, entre otros, muy importantes a la hora de implementar una construcción sobre ellos.

El límite líquido (LL) puede ser relacionado también con la resistencia del corte de un suelo, ya que Casagrande determinó que a cada golpe corresponde a una resistencia de 1g/cm², en este orden de ideas el límite da el contenido de agua para que la resistencia cortante del suelo sea de 25 g/cm². Además de esta característica el límite puede dar el comportamiento del suelo cuando es sometido a cargas sobre él, conocida como capacidad portante, si presenta un alto LL tendrá baja capacidad portante y si tiene bajo LL tendrá alta capacidad, de igual forma puede determinar el contenido de arcillas, si se tiene un alto nivel LL se obtiene un alto contenido de arcillas mientras que un bajo nivel se tendrá un contenido mínimo de arcillas.

Para las muestras analizadas los contenidos de arcilla son bastante altos, ya que el % del límite líquido es alto, esto también implica un aumento en la capacidad portante de los suelos en estudio.

A lo largo de la ejecución de los apiques se evidenció que la mayor parte de las muestras contuvo altos niveles de materia vegetal, al avanzar en la profundidad se encontró rellenos de material y presencia de arcillas.

Con la realización de los laboratorios de Proctor y CBR se identificó el porcentaje de humedad óptima del suelo y su resistencia, para las muestras analizadas se identificó que ninguna subrasante requirió de estabilización debido a que todos los tipos de suelos que fueron llevados al laboratorio presentaron un % de CBR por encima del 3%, esto demuestra que los especímenes analizados tuvieron una buena resistencia al esfuerzo cortante.

- ✓ Estudio climatológico de la zona.

Para llevar a cabo el estudio climatológico de la zona, fue necesario la solicitud de datos de variables climatológicas tales como: precipitación y temperatura registradas en las estaciones del IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología, y estudios ambientales) cercanas a la periferia de estudio.

De acuerdo a la ubicación geográfica se determinó de manera visual las estaciones más cercanas a este corredor vial, así como el tipo de estación (pluviométrica, climatológica ordinaria, meteorológica) teniendo en cuenta los periodos de registro de las mismas, es decir para el estudio a realizar se requiere como mínimo 15 años.

Esta solicitud de información se realizó vía web, a través de la página del IDEAM. Como complemento de la información del IDEAM se consultó la base de datos de la CAR (Corporación autónoma regional de Cundinamarca) para adquirir los datos faltantes en algunas de las estaciones.

En el anexo (4) se evidencia la información proporcionada por el IDEAM y la CAR tanto de precipitación como de temperatura de las estaciones: alto de San Miguel, La Unión y El Pinar.

Por medio de correlaciones entre las estaciones se logró completar algunos datos faltantes ocasionados por factores tales, como: la ausencia del observador, fallas técnicas en los aparatos de medición o inestabilidad del suelo. Para la subsanación de esta información se planteó una tendencia entre los valores de dos estaciones diferentes y próximas que midan las mismas variables realizando una eliminación para obtener una ecuación que pueda dar con el dato ausente en las estaciones al año con respecto al mes.

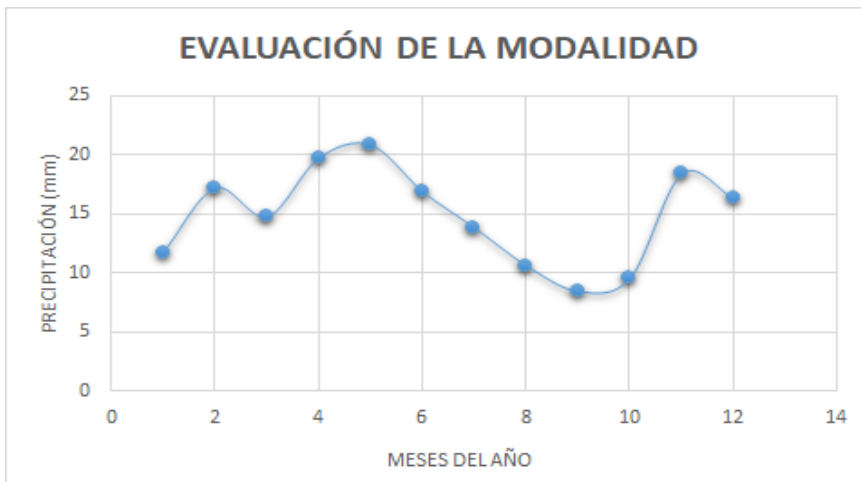
- ✓ Estudio de precipitación de la zona.

Tabla 57. Precipitación

PRECIPITACIÓN (mm)													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL
1994	3	23	28	18,5	23,72	12	6	10	4,8	16,5	1,6	55	16,84
1995	1,2	3,8	22	42,9	41	55,4	13	5	13	10	20	10	19,78
1996	19,2	38	10	20	8,5	20	25,2	10	10	12,3	41	15	19,10
1997	23,2	60,4	3,2	30	12,6	13,3	19,1	9,5	1,9	12,1	20	21,1	18,87
1998	0,9	5,8	19,3	40	13,4	22,4	14,2	10,2	1,8	11,1	10,3	11,1	13,38
1999	9,3	61,8	8,4	7,8	4,9	5,3	10,2	9,9	10,8	6	3,4	18,3	13,01
2000	11,9	43,7	42,6	18,3	26,9	15,2	6,3	11,2	3,8	8,2	22	6,4	18,04
2001	4,9	1,1	3,2	9,5	5,66	9,8	6,1	4	4,1	22,7	11	9,4	7,62
2002	9,4	3,2	9,3	6,4	5,73	12,1	3,4	0,9	1,3	3,2	9,7	8,4	6,09
2003	9,4	0,2	8,4	10,2	1,1	1,3	4,2	10,3	4,3	7,4	7,6	7,1	5,96
2004	1,9	3,2	9,2	7,4	7	2,3	1,6	3,2	3,6	2,2	4,1	14,2	4,99
2005	2,1	4,8	2,1	3,3	4,3	4,2	22,7	7,2	4,2	7,43	5,6	10,7	6,55
2006	4,1	5,2	13,2	32,2	53,6	21,3	23,4	4,2	2,7	6,7	11,4	22,7	16,73
2007	5,1	0	0,2	9,1	12,7	15,6	20	3,6	0,7	5,4	47,1	4,5	10,33
2008	14,3	23,1	54,8	20	4,25	39,6	16,4	33	26,5	5,7	18,5	20,5	23,05
2009	25,5	11,9	10,4	31,4	6,3	14,5	24,6	6,4	8,2	12,8	25,5	22,4	16,66
2010	6,4	1,3	11,5	5,6	51,6	22,9	15,8	38,4	16,4	16,6	27,9	28,5	20,24
2011	16,5	4,4	39,5	50,5	60,5	31,4	8,6	15,4	23,7	13,8	44,6	40,7	29,13
2012	15,7	40,7	12,7	34,4	36,4	13,3	26,2	10,5	19,2	9,4	15,4	19,5	21,12
2013	54,9	31,8	15,8	16,6	61	18,5	16,2	20,1	12,8	18,4	23,3	36,6	27,17
Promedio mensual	11,795	17,22	14,79	19,78	20,872	16,92	13,86	10,65	8,45	9,5715	18,42	16,355	

Fuente. Autores

Figura 29. Evaluación de la modalidad



Fuente. Autores

En la zona se presentó un régimen de precipitación bimodal, lo cual indica que, entre los meses de abril y mayo, nuevamente noviembre y diciembre se presentó una alta

concentración de lluvias. La serie que predominó este régimen es la que se encontró más cerca de la cuenca, para esta zona de estudio se hace uso de las estaciones de San Miguel, La Unión y el Pinar.

✓ Estudio de temperatura de la zona.

Tabla 58. Temperatura

TEMPERATURA (°C)													
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL
1994	15	15	15,2	15,3	15,4	15,4	15	15,5	15,4	15,2	15,3	15,2	15,2
1995	15,9	16,1	16,2	15,9	16,2	16	15,7	15,5	15,8	15,4	15,7	14,9	15,8
1996	14,5	14,6	15,2	15,1	15	14,8	14,3	14,7	14,2	14,6	14,5	14,9	14,7
1997	14,6	14,9	15,4	15,4	15,4	14,7	14,4	14,3	15,3	15,1	14,9	15,2	15
1998	15,2	14,7	14,8	15,5	15,4	15,5	15,6	15,7	15,7	15,2	15,8	16	15,4
1999	16,3	16,6	16,5	16,4	16,4	16,6	16,4	16	16,5	16,1	16,2	16,3	16,4
2000	16,3	16,5	16,6	16,3	16,5	15,5	15,2	15,5	15,8	15,9	15,5	15,6	15,9
2001	15,7	15,3	15,3	16	15,6	15,7	15,4	15,8	15,6	15,7	15,9	16,1	15,7
2002	15,9	15,7	16,1	15,8	16,1	16,4	15,9	16,2	16,4	15,8	16,2	16	16
2003	16,5	16,1	16,3	16,3	16,3	16,4	16	16,2	16,5	16,3	15,9	16,2	16,3
2004	16,6	16,7	17,2	16,8	16,7	16,7	16	16,6	16,7	16,7	16,5	16,5	16,6
2005	16,2	16,3	16,1	16,5	16,5	16,6	16,5	16,6	16,7	14,9	15,1	15,8	16,2
2006	14,8	14,9	15,4	14,9	15,5	15,5	15,1	14,4	15,4	15,9	15,4	15,4	15,2
2007	15,2	14,2	15,1	16	15,5	15,7	14,3	14,2	16,1	14,8	15	14,5	15,1
2008	14,1	14,5	14,4	14,3	14,6	14,8	14,2	14,1	14,2	14,7	14,3	13,6	14,3
2009	13,8	13,6	13,9	13,8	14,3	14,3	14	16,4	16,5	16,7	15,6	16,4	14,9
2010	16,3	16,5	16,4	16,2	16,2	16,7	16,2	16	16,4	16,4	16,3	16,3	16,3
2011	16	15,5	15,9	16	16,2	15,9	16,1	16	15,8	16	15,9	16,5	16
2012	15,8	16	16,3	16,2	16,1	16,4	16,4	16,5	16,2	16,3	16,3	16,3	16,2
2013	16,6	16,4	16,4	16,5	16,4	16,2	16,2	16,2	15,9	16,1	16	16,1	16,3
2014	16,5	16,9	16,7	16,4	16,2	15,8	16,1	16,1	16,4	16,3	16,3	16,6	16,4
2015	17,3	16,7	16,1	16,5	16,6	16	16,2	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,4
2016	16,3	16,4	16,6	16	15,8	16	16,3	16,6	16,4	16,3	16,4	16,6	16,3
2017	15,7	16,1	16,5	16,7	16,4	16,5	16,5	16	16,5	15,5	15,9	15,9	16,2
PROM MENSUAL	15,71	15,68	15,86	15,87	15,89	15,84	15,58	15,73	15,95	15,76	15,72	15,80	
MINIMO	13,8	13,6	13,9	13,8	14,3	14,3	14	14,1	14,2	14,6	14,3	13,6	
MAXIMO	17,3	16,9	17,2	16,8	16,7	16,7	16,5	16,6	16,7	16,7	16,5	16,6	

Fuente. Autores

La temperatura media ponderada del aire fue tomada por medio de los datos proporcionados por el IDEAM y correlacionados en la tabla en la zona de E62, realizando el mismo procedimiento que con la precipitación de la zona descrito anteriormente. El estudio arrojó como resultado una TMPA⁵¹ de 17,6 °C, este valor fue utilizado para el posterior diseño del pavimento.

✓ Diseño del pavimento.

Tabla 59. Diseño del pavimento

⁵¹ “Temperatura media ponderada del aire”

Vías de dos carriles y dos sentidos		Vías de dos calzadas					
		Dos carriles por sentido		Tres carriles por sentido		Más de tres carriles por sentido	
TPD < 5000	TPD > 5000	TPD < 7000	TPD > 7000	TPD < 15000	TPD > 15000	TPD < 25000	TPD > 25000
10	15	10	15	15	20	15	20

Fuente (Manual de pavimentos asfálticos, 2017)

Con base al estudio de tránsito realizado anteriormente, se determinó el TPD para escoger así el periodo de diseño, en este caso se tuvo un TPD de 3242 por tanto el periodo de diseño fue de 10 años.

Tabla 60. Categoría del tránsito

Designación de rangos de tránsito	Rangos de tránsito en ejes equivalentes
T1	500,000 < N ≤ 1,000,000
T2	1,000,000 < N ≤ 2,000,000
T3	2,000,000 < N ≤ 4,000,000
T4	4,000,000 < N ≤ 6,000,000
T5	6,000,000 < N ≤ 10,000,000
T6	10,000,000 < N ≤ 15,000,000
T7	15,000,000 < N ≤ 20,000,000
T8	20,000,000 < N ≤ 30,000,000
T9	30,000,000 < N ≤ 40,000,000

Fuente (Manual de pavimentos asfálticos, 2017)

Por medio del número de ejes equivalentes previamente calculados como se evidencia en la tabla 37, para este caso la categoría del tránsito fue de T5.

$$M_r = 17.6 * (CBR)^{0.64}, \quad (M_r \text{ en MPa})$$

Fuente (Manual de pavimentos asfálticos, 2017)

Tomando los valores de %CBR de cada una de las muestras y la ecuación descrita anteriormente se procedió al cálculo del módulo resiliente para cada tipo de suelo.

Tabla 61. Valores de módulo resiliente para cada una de las muestras de suelo

Muestra	Mr (Psi)
1	81,66
2	90,87
3	111,92
4	119,72

Fuente. Autores

Para seleccionar la categoría de la subrasante de cada uno de los suelos en estudio fue necesario tener los valores de Mr (módulo resiliente) en Mpa y con estos entrar a la tabla 63.

Tabla 62. Valores de módulo resiliente en Mpa, para lo suelos analizados

Muestra	Mr (Mpa)
1	56,3
2	62,65
3	77,17
4	82,54

Fuente. Autores

Tabla 63. Categoría de la subrasante

Categoría de subrasante	Intervalo Módulo resiliente de diseño, M_{rd} (MPa)
S1	$35 \leq M_{rd} < 40$
S2	$40 \leq M_{rd} < 45$
S3	$45 \leq M_{rd} < 55$
S4	$55 \leq M_{rd} < 70$
S5	$70 \leq M_{rd} < 85$
S6	$85 \leq M_{rd} < 100$
S7	$100 \leq M_{rd} < 125$
S8	$M_{rd} \geq 125$

Fuente (Manual de pavimentos asfálticos, 2017)

De acuerdo a la información de las tablas 66 y 67 se identificó que para el suelo tipo 1 y tipo 2 la categoría de la subrasante fue S4, para el suelo tipo 3 y tipo 4 se obtuvo una subrasante de categoría S5.

✓ Pérdida de serviciabilidad.

La AASHTO⁵²-93 define que para pavimentos asfálticos la pérdida de serviciabilidad es de 2,2.

✓ Coeficiente de drenaje.

⁵² (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes)

Con base al manual de la AASHTO- 93 el coeficiente de drenaje para este tipo de pavimentos es de 1, teniendo en cuenta que la precipitación de la zona es menor de 2000 mm/año

✓ Cartas de diseño.

- Suelo tipo 1 y tipo 2.

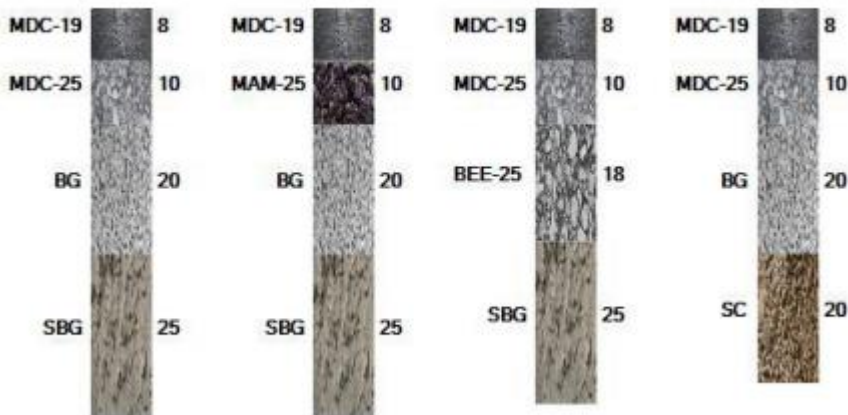
El diseño del pavimento se realizó con base en las cartas que establece el INVIAS, se debió tener la temperatura media ponderada del aire (TMAP), el módulo resiliente de la subrasante junto con su categoría la cual para este caso fue S4 en ambos tipos de suelos, por último, fue importante conocer la categoría en la que se encontraba el tránsito. En la imagen 27 se evidencia la carta de diseño propuesta en el manual de diseño.

Tabla 64. Carta 4 utilizada para el diseño del pavimento muestra 1 y 2

Carta 4			
Temperatura media anual promedio del aire (TMAP) – TMAP 4: 18 A 22 [°C]			
Módulo Resiliente Subrasante de Diseño, M_{rD} [MPa]			
N_{ANSS} Millones	S3: $45 \leq Mr < 55$	S4: $55 \leq Mr < 70$	S5: $70 \leq Mr < 85$
T4: $4 < N \leq 6$			
T5: $6 < N \leq 10$			
T6: $10 < N \leq 15$			

Fuente (Manual de pavimentos asfálticos, 2017)

Figura 30. Diseño de pavimento para suelos tipo 1 y 2

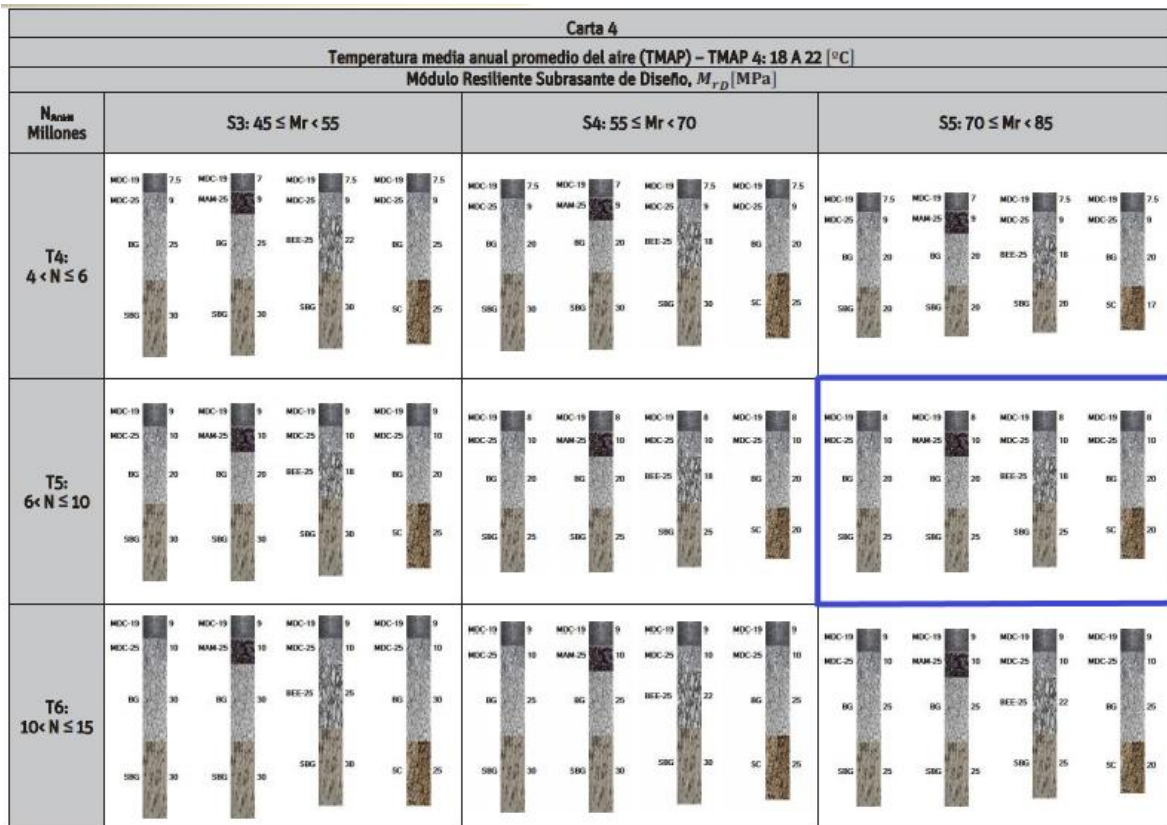


Fuente (Manual de pavimentos asfálticos, 2017)

- Suelo tipo 3 y tipo 4.

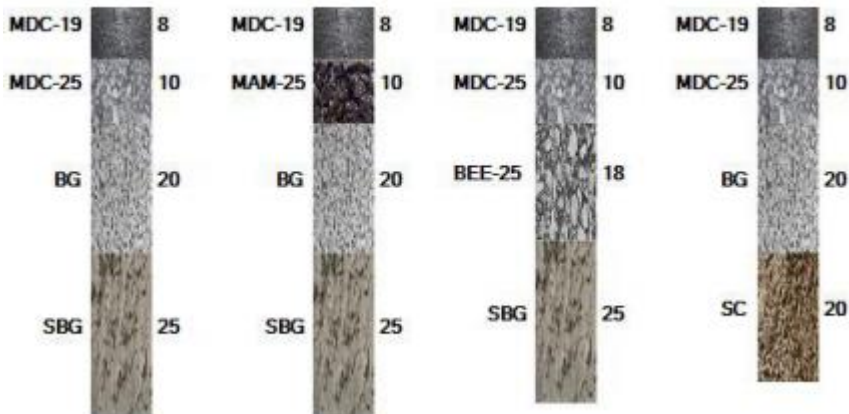
De igual forma que en el diseño del pavimento de los suelos tipo 1 y 2 fue necesario conocer las variables más importantes que intervinieron en el diseño estructural como lo fue la temperatura media ponderada del aire (TMAP), el módulo resiliente de la subrasante junto con su categoría la cual para este caso fue S5 en ambos tipos de suelo, por último, fue importante conocer la categoría en la que se encontraba el tránsito. En la imagen 29 se evidencia la carta de diseño propuesta en el manual de diseño del INVIAS.

Tabla 65. Carta 4 para el diseño del pavimento de los suelos tipo 3 y 4



Fuente (Manual de pavimentos asfálticos, 2017)

Figura 31. Diseño de pavimento para suelos tipo 3 y 4



Fuente (Manual de pavimentos asfálticos, 2017)

8.3 DISEÑO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico se realizó con el fin de presentar una propuesta de mejoramiento de la vía entre el municipio de Sibaté – Fusagasugá en el departamento de Cundinamarca, para empezar este diseño primero se realizó el trazado de la carretera en Google Earth, lo cual fue difícil ya que no se podía obtener la visualización del punto exacto de la entrada a la vía de estudio por lo cual se tuvo que cambiar el sentido del trazado y comenzar desde Fusagasugá a Sibaté, para este mejoramiento se utilizaron curvas simples y en algunos tramos se espiralizó. Ya teniendo el trazado se exportó a global mapper donde se generó unas curvas de nivel en segunda dimensión sobre la vía de estudio, y se procedió a exportarlas al software civil3D y convertirlas a tercera dimensión, finalmente procedió a diseñar con todos los parámetros tomados el instituto nacional de vías (INVIAS).

Figura 32.Vía de estudio



Fuente. Autores

El trazado de la ruta existente se realizó mediante el programa Google Earth pro, donde se seleccionó el tramo de la vía correspondiente al municipio de Fusagasugá-Sibaté, teniendo en cuenta los kilómetros establecidos (K21+000).

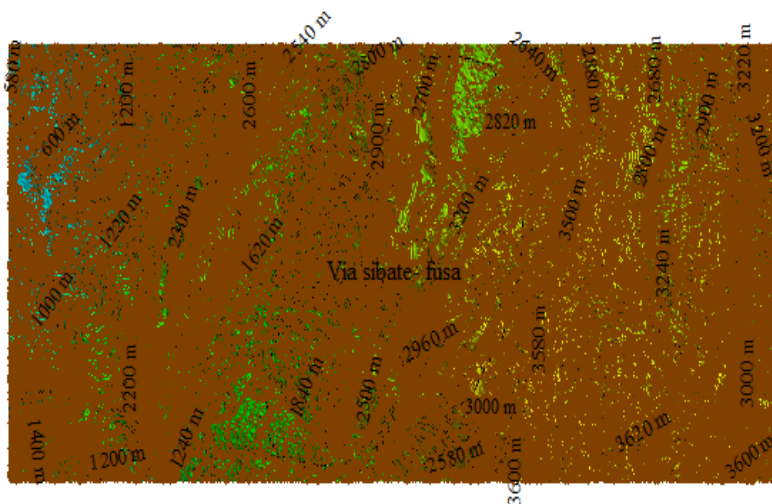
Figura 33.Trazado de ruta existente



Fuente. (Google Earth Pro, 2019)

Luego de tener el trazado existente este se exportó a Global Mapper, donde se identificó las curvas de nivel y diferentes aspectos a estudiar. (Imagen de Global Mapper).

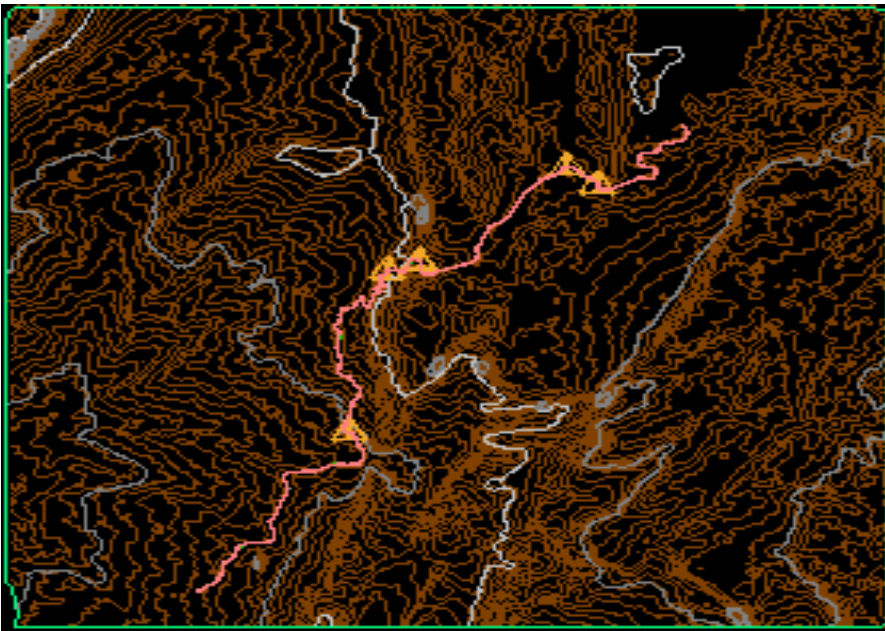
Figura 34. Curvas de nivel 2D



Fuente. Autoras a partir del software Global Mapper

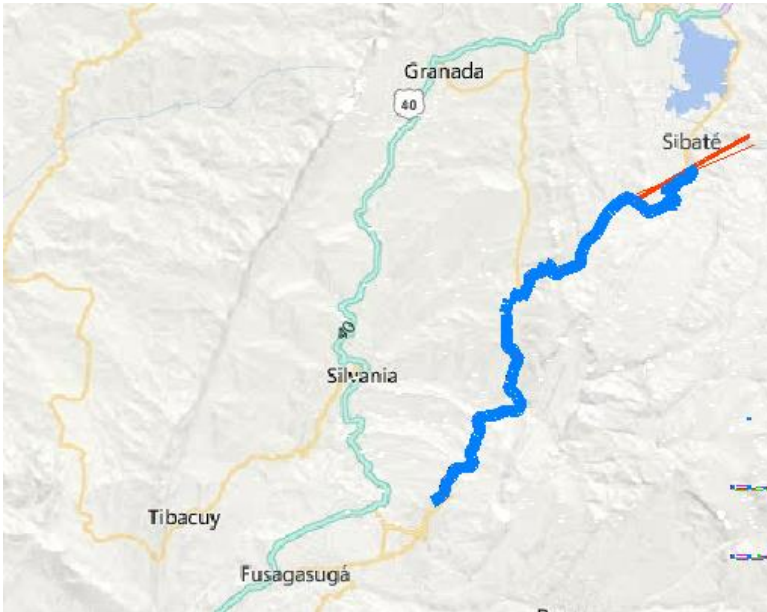
Al tener las curvas de nivel en el programa Global Mapper, desde allí se exportaron al programa AutoCAD Civil, se tomó en cuenta la configuración correspondiente para poder trabajar en el formato adecuado en Civil. Luego de exportarlas se procedió a realizar la superficie para configurarlas a 3D.

Figura 35. Curvas de nivel



Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Figura 36. Alineamiento

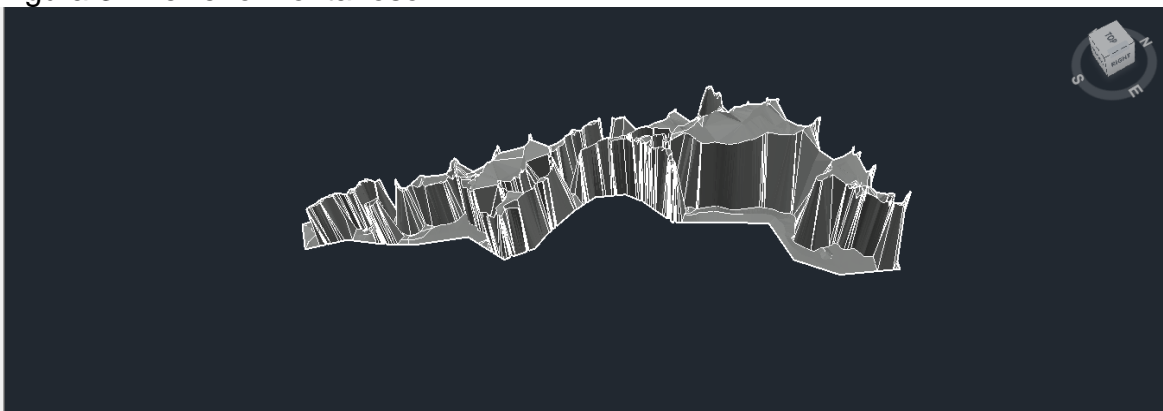


Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

- Tipo de terreno

Una vez teniendo el área de trabajo se procedió a realizar un análisis de elevación para obtener la información de las máximas y mínimas elevaciones, también se pudo visualizar el terreno en tercera dimensión, en este caso se dio “clic derecho” al terreno y se seleccionó “object viewer”. para este caso fue un terreno montañoso.

Figura 37. Terreno montañoso



Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Tabla 66. Tipos de terreno en carreteras

TERRENO	PENDIENTE TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL	MOVIMIENTO DE TIERRAS
Plano	<5°	<3%	Mínimo
Ondulado	6° - 13°	3% - 6%	Moderado
Montañoso	13° - 40°	6% - 8%	Grande
Escarpado	>40°	> 8%	Máximo

Fuente. (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

- Velocidad de diseño.

La vía de la que se propuso un diseño es secundaria y en condiciones de terreno montañoso, se analizó según los parámetros del manual de diseño geométrico de carreteras que se diseñó con una velocidad de 60 km/h, con el fin de que la vía permita una movilidad cómoda y segura.

Tabla 67. Velocidad de diseño para el corredor vial

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (Km/h)										
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	
Primaria de dos calzadas	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Primaria de una calzada	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Secundaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											
Terciaria	Plano											
	Ondulado											
	Montañoso											
	Escarpado											

Fuente. (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

- Pendientes.

La pendiente máxima tuvo que ser del 8 al 9% con el fin de asegurar el drenaje de la vía. El valor indicado para la pendiente vertical a una velocidad de 60km/h indicado en el manual de diseño geométrico de carreteras correspondió a los valores máximos para una tangente vertical.

Tabla 68. Pendientes máximas de las carreteras por su clasificación

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (km/h)											
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5	4	4
Primaria de una calzada	-	-	-	-	8	7	6	6	5	5	5	-
Secundaria	-	-	10	9	8	7	6	6	6	-	-	-
Terciaria	14	12	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-

Fuente. (Instituto Nacional de Vías, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, .2008)

Tabla 69. Pendiente máxima del corredor vial

CATEGORÍA DE LA DE CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (Km/h)									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	-	-	-	-	-	6	6	6	5	5
Primaria de una calzada	-	-	-	-	7	7	6	6	6	-
Secundaria	-	-	7	7	7	7	6	-	-	-
Terciaria	7	7	7	-	-	-	-	-	-	-

Fuente. (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

Se escogió una pendiente de 8% por las condiciones topográficas del terreno.

Sin embargo, la pendiente media de la vía fue de 4,99 por lo tanto no excedió el 8% de pendiente máxima. Según el manual de diseño geométrico de carreteras la pendiente media máxima del corredor de ruta para cierto tramo homogéneo tiene que ser menor a la pendiente máxima permitida para que la tangente vertical sea incluida en el tramo homogéneo, la pendiente media máxima no puede ser superior al siete por ciento (7%).

- Longitud vertical.

Para velocidades mayores a cuarenta kilómetros por hora ($V_{TV} > 40$ Km/h) su longitud no puede ser menor a la distancia recorrida en 10 segundos a cierta velocidad. Esta longitud se mide como proyección horizontal de PIV Y PIV⁵³. Se tomó en cuenta para hacer las parábolas, ninguna longitud se tomó menor a 170 metros.

⁵³ (INVIAS, 2008)

Tabla 70. Longitud mínima de la tangente

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA TANGENTE VERTICAL V_{TV} (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
LONGITUD MÍNIMA DE LA TANGENTE VERTICAL (m)	40	60	80	140	170	195	225	250	280	305	335	360

Fuente. (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

✓ Diseño horizontal.

Para el diseño horizontal se trabajó con el software civil 3D, donde se hizo un mejoramiento para un alineamiento de 21 kilómetros, se tomó en cuenta datos iniciales basados en el manual de diseño geométrico del INVIAS.

Tabla 71. Datos

TIPO DE TERRENO	MONTAÑOSO
TIPO DE VIA	SECUNDARIA
VELOCIDAD (VCH)	60 km /h
RADIO MINIMO	113

Fuente. Autores

Se escogió el caso 5 ya que es una vía secundaria y la pendiente media no supera el 8% también porque todos los tramos superan los 600 metros por temas de facilidad en el diseño y su velocidad específica es de 60 km/h en todos los tramos de la vía.

Tabla 72. Velocidad específica para el diseño de la vía

VELOCIDAD ESPECÍFICA DE LA CURVA HORIZONTAL ANTERIOR V_{CH} (Km/h)	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO $V_{TR} \leq 50$ Km/h LONGITUD DEL SEGMENTO RECTO ANTERIOR (m)					VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO $V_{TR} > 50$ Km/h LONGITUD DEL SEGMENTO RECTO ANTERIOR (m)				
	$L \leq 70$	$70 < L \leq 250$		$250 < L \leq 400$	$L > 400$	$L \leq 150$	$150 < L \leq 400$		$400 < L \leq 600$	$L > 600$
		$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$				$\Delta < 45^\circ$	$\Delta \geq 45^\circ$		
V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	V_{TR}	V_{TR}	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	V_{TR}	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 20$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 10$	$V_{TR} + 20$
CASO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Fuente (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

Siguiendo las especificaciones del Instituto Nacional de Vías, se realiza el diseño horizontal en el programa de Civil 3D lo que facilita la opción de “vista de rejilla de alineación” donde facilita la tabla que se puede observar a continuación. (Véase Anexo F)

Tabla 73. Diseño horizontal de la vía

No.	Number	Type	Tangency	Parameter	Parameter Length	Minimum	Transition	Radius	Minimum	Minimum	Design Spd	A	Direction	Start Stati	End Statio	Delta angl	Chord len	Chord Dir	Pass Thro	Pass Thro	Spiral	
1	1	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	381.629m						60 km/h		N58° 33' 3	0+000.00r	0+381.63m						(571233.5)	(571566.7093m,4
2	2	Curve	Constrained on Both	Radius	17.716m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				0+381.63r	0+399.35r	8.9829 (d)	17.698m	N54° 04' 0			(571566.5050m,481347.52f	
3	3	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	138.806m						60 km/h		N49° 34' 3	0+399.35r	0+538.15m						(571566.7)	(571703.1521m,4
4	4	Curve	Constrained on Both	Radius	61.530m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				0+538.15r	0+599.68r	31.1985 (c)	60.773m	N33° 58' 3			(571699.5685m,481465.87f	
5	5	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	290.232m						60 km/h		N18° 22' 3	0+599.68r	0+889.91m						(571703.1)	(571809.1893m,4
6	6	Curve	Constrained on Both	Radius	28.937m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				0+889.91r	0+918.85r	14.6723 (c)	28.858m	N11° 02' 2			(571808.2739m,481782.81f	
7	7	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	156.741m						60 km/h		N3° 42' 19	0+918.85r	1+075.59m						(571809.1)	(571823.1253m,4
8	8	Curve	Constrained on Both	Radius	84.534m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				1+075.59r	1+160.12r	42.8621 (c)	82.576m	N25° 08' 1			(571830.7238m,481994.26f	
9	9	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	263.129m						60 km/h		N46° 34' 0	1+160.12r	1+423.25m						(571823.1)	(572070.7176m,4
10	10	Curve	Constrained on Both	Radius	65.071m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				1+423.25r	1+488.32r	32.9937 (c)	64.175m	N30° 04' 1			(572066.5192m,482234.66f	
11	11	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	177.327m						60 km/h		N13° 34' 2	1+488.32r	1+665.65m						(572070.7)	(572132.4026m,4
12	12	Curve	Constrained on Both	Radius	97.528m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				1+665.65r	1+763.18r	49.4508 (c)	94.529m	N38° 17' 5			(572141.3532m,482480.65f	
13	13	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	144.869m						60 km/h		N63° 01' 2	1+763.18r	1+908.05m						(572132.4)	(572328.8839m,4
14	14	Curve	Constrained on Both	Radius	46.462m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				1+908.05r	1+954.51r	23.5581 (c)	46.135m	N74° 48' 1			(572329.5210m,482585.38f	
15	15	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	435.430m						60 km/h		N86° 34' 5	1+954.51r	2+389.94m						(572328.8)	(572826.2658m,4
16	16	Curve	Constrained on Both	Radius	75.596m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				2+389.94r	2+465.54r	38.3302 (c)	74.194m	N67° 25' 0			(572823.7197m,482623.55f	
17	17	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	110.879m						60 km/h		N48° 15' 0	2+465.54r	2+576.42m						(572826.2)	(572971.8725m,4
18	18	Curve	Constrained on Both	Radius	85.663m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				2+576.42r	2+662.08r	43.4348 (c)	83.626m	N26° 32' 0			(572964.1485m,482751.23f	
19	19	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	78.387m						60 km/h		N4° 49' 04	2+662.08r	2+740.47m						(572971.8)	(572984.3538m,4
20	20	Curve	Constrained on Both	Radius	49.621m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				2+740.47r	2+790.09r	25.1599 (c)	49.223m	N7° 45' 44			(572981.5997m,482895.08f	
21	21	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	303.062m						60 km/h		N20° 20' 3	2+790.09r	3+093.15m						(572984.3)	(572851.5152m,4
22	22	Curve	Constrained on Both	Radius	100.509m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				3+093.15r	3+193.66r	50.9622 (c)	97.228m	N5° 08' 20			(572863.6425m,483252.67f	
23	23	Line	Not Constrained	(Fix Two point)	268.218m						60 km/h		N30° 37' 1	3+193.66r	3+461.88m						(572851.5)	(573025.4433m,4
24	24	Curve	Constrained on Both	Radius	38.435m	2 Lane	113.000m	113.000m	AASHTO 2	60 km/h				3+461.88r	3+500.31r	19.4881 (c)	38.250m	N20° 52' 3			(573023.8978m,483548.21f	

Fuente. Autores

- Radios mínimos y peraltes.

Para una velocidad de 60 km/h, el peralte máximo a utilizar es del 8%, por norma el radio mínimo es de 113 m

Tabla 74. Radios mínimos y fricción transversal

VELOCIDAD ESPECÍFICA V_{CH} (Km/h)	PERALTE RECOMENDADO $e_{máx}$ (%)	FRICCIÓN TRANSVERSAL $f_{r_{máx}}$	RADIO MÍNIMO $R_{mín}$ (m)	
			CALCULADO	REDONDEADO
40	8.0	0.23	40.6	41
50	8.0	0.19	72.9	73
60	8.0	0.17	113.4	113
70	8.0	0.15	167.8	168
80	8.0	0.14	229.1	229
90	8.0	0.13	303.7	304
100	8.0	0.12	393.7	394
110	8.0	0.11	501.5	502
120	8.0	0.09	667.0	667
130	8.0	0.08	831.7	832

Fuente. (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

Cuando el peralte sea mayor al bombeo, el bombeo va a tomar la pendiente igual al peralte en las curvas, esto se da cuando el peralte en las curvas supera el 2%. El peralte se encuentra en los puntos medios de las curvas

A continuación, se muestran los resultados de las curvas obtenidos del software civil3D

Tabla 75.Peralte de la vía

Superelevation Curve	Start Station	End Station	Length	Overlap	Carril exterior izqui...	Carril exterior derec...
Curva.1						
Transition In Region	0+337.63m	0+397.63...	60.000m			
Runout	0+337.63m	0+349.63...	12.000m			
End Normal Crown	0+337.63m				-2.00%	-2.00%
Level Crown	0+349.63m				-2.00%	0.00%
Runoff	0+349.63m	0+397.63...	48.000m			
Level Crown	0+349.63m				-2.00%	0.00%
Reverse Crown	0+361.63m				-2.00%	2.00%
Begin Curve	0+381.63m					
Begin Full Super	0+397.63m				-8.00%	8.00%
Transition Out Region	0+383.35m	0+443.35...	60.000m			
Runoff	0+383.35m	0+431.35...	48.000m			
End Full Super	0+383.35m				-8.00%	8.00%
End Curve	0+399.35m					
Reverse Crown	0+419.35m				-2.00%	2.00%
Level Crown	0+431.35m				-2.00%	0.00%
Runout	0+431.35m	0+443.35...	12.000m			
Level Crown	0+431.35m				-2.00%	0.00%
Begin Normal Crown	0+443.35m				-2.00%	-2.00%
Curva.2						
Transition In Region	0+494.15m	0+554.15...	60.000m			
Runout	0+494.15m	0+506.15...	12.000m			
End Normal Crown	0+494.15m				-2.00%	-2.00%
Level Crown	0+506.15m				-2.00%	0.00%
Runoff	0+506.15m	0+554.15...	48.000m			
Level Crown	0+506.15m				-2.00%	0.00%
Reverse Crown	0+518.15m				-2.00%	2.00%

Fuente. Autoras.

✓ Diseño geométrico vertical

Para la realización del diseño geométrico vertical se presenta la tabla a continuación (Véase anexo F)

Tabla 76. Diseño geométrico vertical de la vía

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value	Minimum K for Stop
1	0+000.00m	1795.565m		2.96%					
2	3+611.69m	1902.463m	2.96%	3.92%	0.96%	Sag	300.000m	312.336	
3	8+919.76m	2110.554m	3.92%	7.34%	3.42%	Sag	300.000m	87.834	
4	15+102.41m	2564.102m	7.34%	8.53%	1.19%	Sag	300.000m	251.585	
5	17+536.48m	2771.686m	8.53%	-2.24%	10.77%	Crest	409.194m	38.000	
6	25+196.80m	2600.093m	-2.24%						

Fuente. Autores

- Longitud máxima de la curva vertical cóncava según el criterio de drenaje

Para evitar la acumulación de agua superficial en la batea o el punto más bajo de una curva es importante controlar la longitud máxima de la curva vertical cóncava. con este parámetro se diseña la curva vertical cóncava con una estimación de k menor o igual a (50)

Tabla 77. Valores mínimos de k_v

VELOCIDAD ESPECÍFICA CURVA VERTICAL V_{cv} (Km/h)	VISIBILIDAD DE PARADA D_p (m) (1)	COEFICIENTE ANGULAR k_v	
		CURVAS VERTICALES CONVEXAS (2)	CURVAS VERTICALES CÓNCAVAS (2)
20	20	1	3
30	35	2	6
40	50	4	9
50	65	7	13
60	85	11	18
70	105	17	23
80	130	26	30
90	160	39	38
100	185	52	45
110	220	74	55
120	250	95	63
130	285	124	73

Fuente. (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

✓ Diseño geométrico transversal.

Para la realización del diseño geométrico transversal se tomó los siguientes criterios, según la Ley 105 decretos 2770 de 1953 red nacional de carreteras.⁵⁴

se especifican los diseños de las vías públicas, los registros de diseño como en bahías de estacionamiento, las franjas de recreación y deporte. Estas especificaciones son:

Ancho de carril: 3.65 m

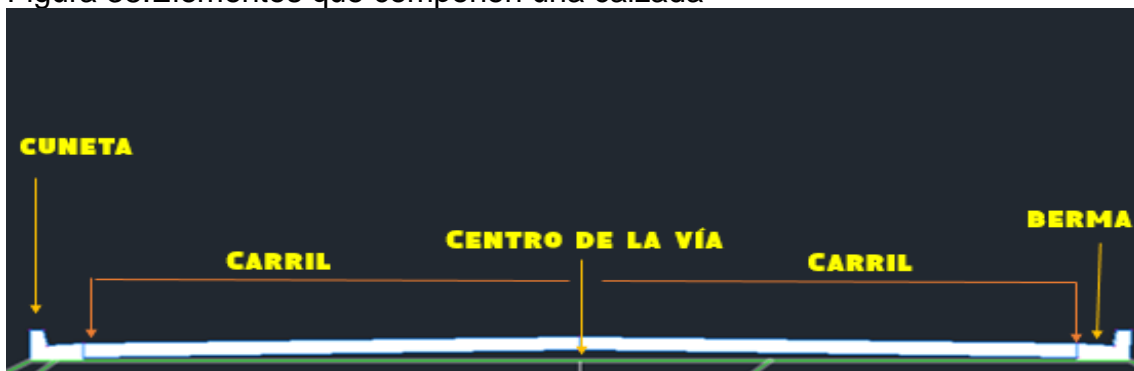
Ancho de berma: 1.80 m

Tabla 78.Datos

DATOS INICIALES	
Ancho carril (a)	3,65 m
Ancho berma (n)	1,8 m
cuneta	1 m
bombeo normal (BN)	2%

Fuente. Autores

Figura 38.Elementos que componen una calzada



Fuente. Autores

- Bombeo.

⁵⁴ LEY 105 DECRETO 2770 DE 1953.

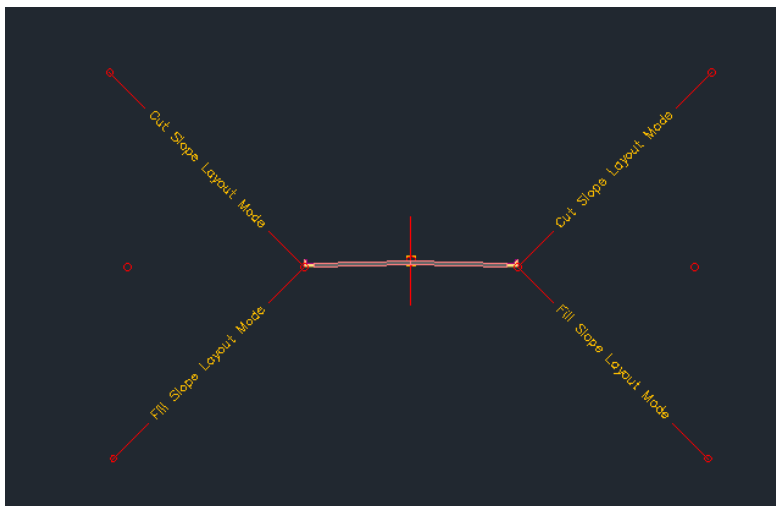
Según el manual de diseño geométrico de vías, para una superficie con concreto asfáltico se tomó una inclinación de dos por ciento (2%) a ambos lados de la vía, con el fin de drenar la superficie de la misma.

Tabla 79. Valores recomendados para el bombeo

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	BOMBEO (%)
Muy buena Superficie de concreto hidráulico o asfáltico, colocada con extendedoras mecánicas.	2
Buena Superficie de mezcla asfáltica, colocada con terminadora. Carpeta de riegos.	2-3
Regular a mala Superficie de tierra o grava.	2-4

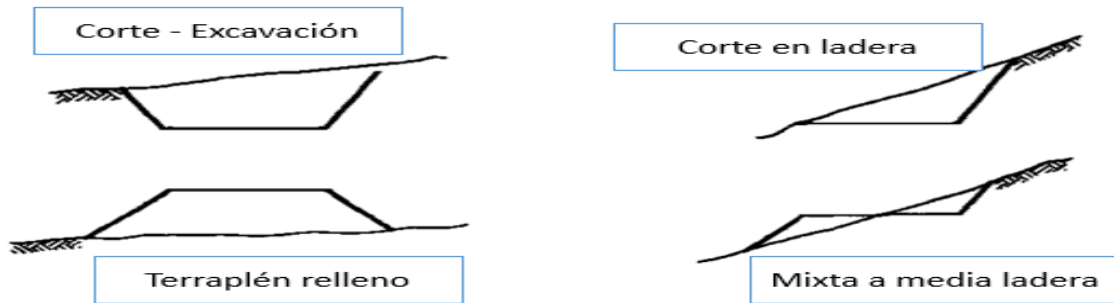
Fuente. (Manual de diseño geométrico de carreteras, INVIAS, 2008)

Figura 39. Sección típica



Fuente. Autoras a partir del software civil3D

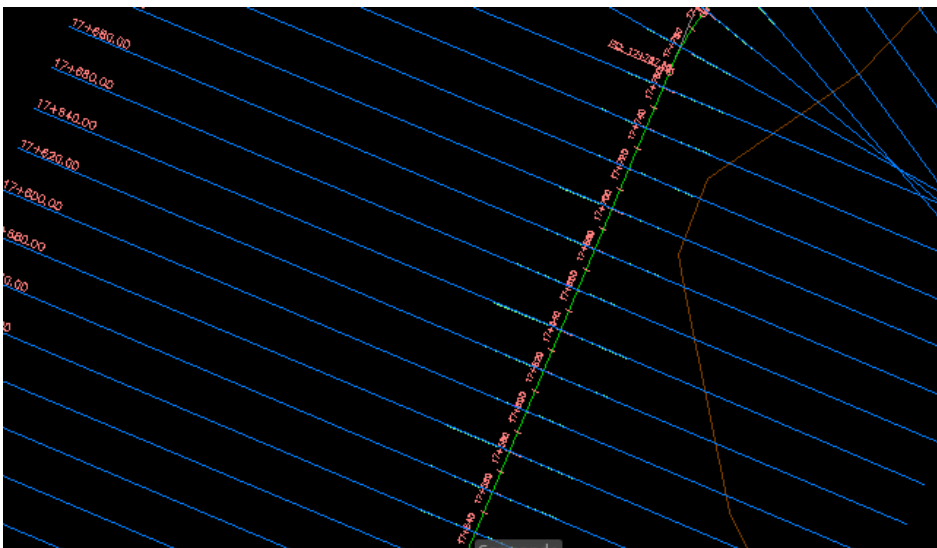
Figura 40. Secciones transversales típicas



Fuente. Diseño geométrico de vías

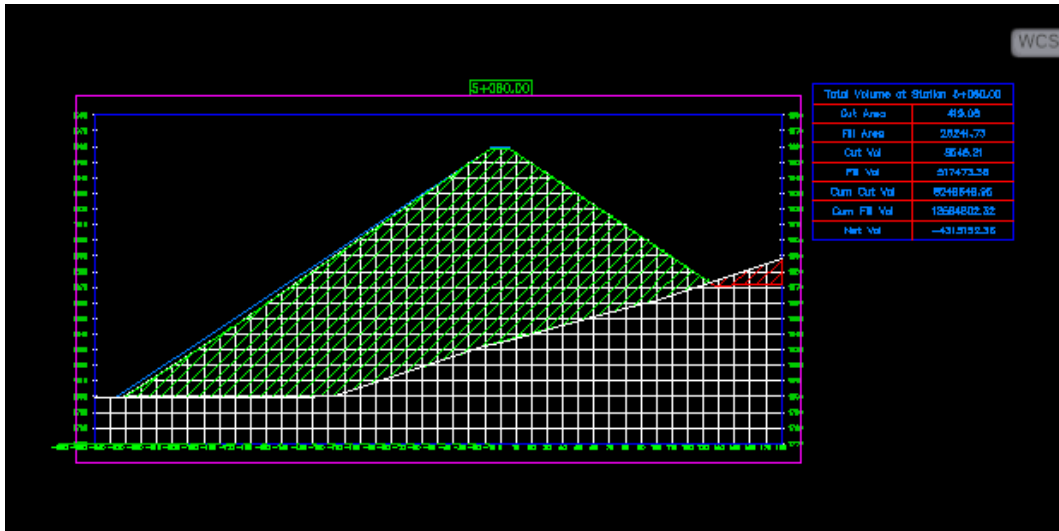
Las secciones transversales es una de las actividades más importantes en el diseño geométrico porque obtenemos los cálculos de volúmenes de corte y relleno para lo cual influye en la construcción de una carretera, debido a su incidencia en los costos. Para este proyecto las secciones se realizaron cada 20 metros. (Véase Anexo F) y (Anexo G).

Figura 41. Vista de secciones en el corredor de la vía



Fuente. Autoras a partir del software civil3D

Figura 42.Vista sección transversal



Fuente. Autoras a partir del software civil3D

✓ Pasó a paso en Civil3D - Diseño Geométrico

Del modelo digital en el que se ha trabajado se sobrepone la vía existente Sibaté-Fusagasugá con el fin de mejorar la geometría existente. En el diseño horizontal se tienen en cuenta los siguientes pasos.

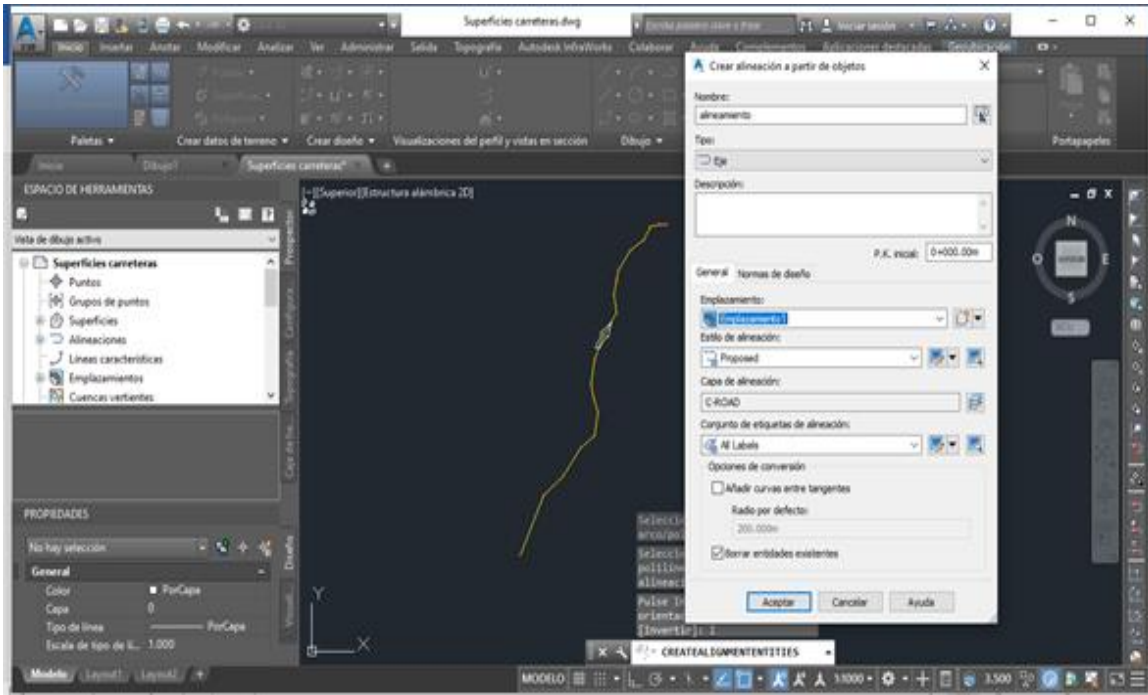
- Importación de carretera
- Crear superficies: curvas de nivel
- Etiquetar curvas de nivel
- Crear alineamiento horizontal
- Enumerar etiquetas de los PI'S
- Insertar cuadros de los elementos de las curvas
- Insertar perfil longitudinal o alineamiento vertical

- Trazado de rasante en alineamiento vertical
- Actualización de datos de las bandas de perfil
- Definiendo y creación de obra lineal
- Crear líneas de muestreo
- Insertar sección transversal
- Visualización de reporte de movimiento de tierra
- Mejorar diseño para la presentación (Planos)

Diseño horizontal

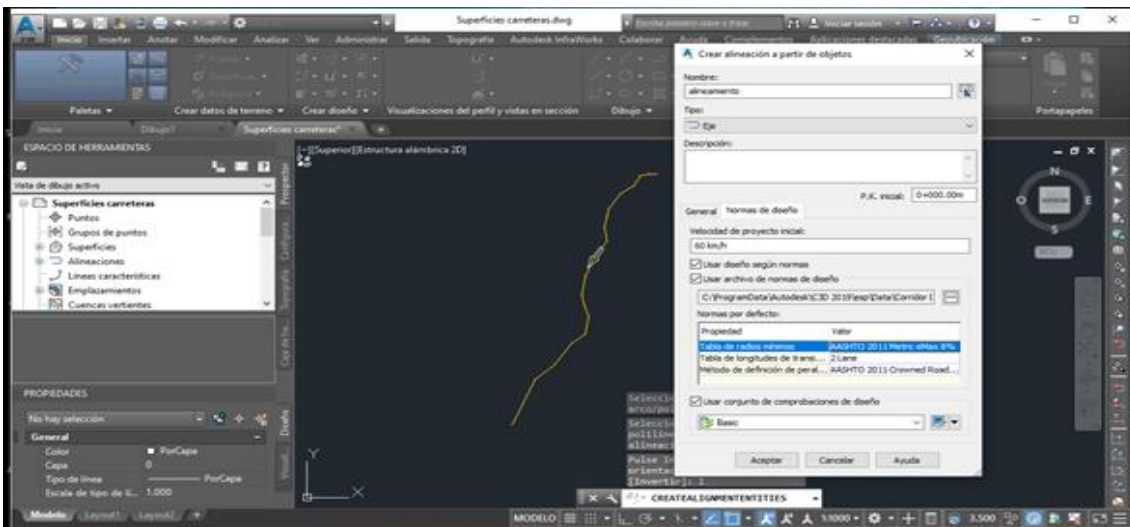
- Línea de ceros
- Poligonal abierta (Alineamiento)
- Curvas (simples o espirales)

Figura 43. Creación de alineación a partir de objetos



Fuente. Autoras a partir del software civil3D

Figura 44. Ajuste de normas de diseño

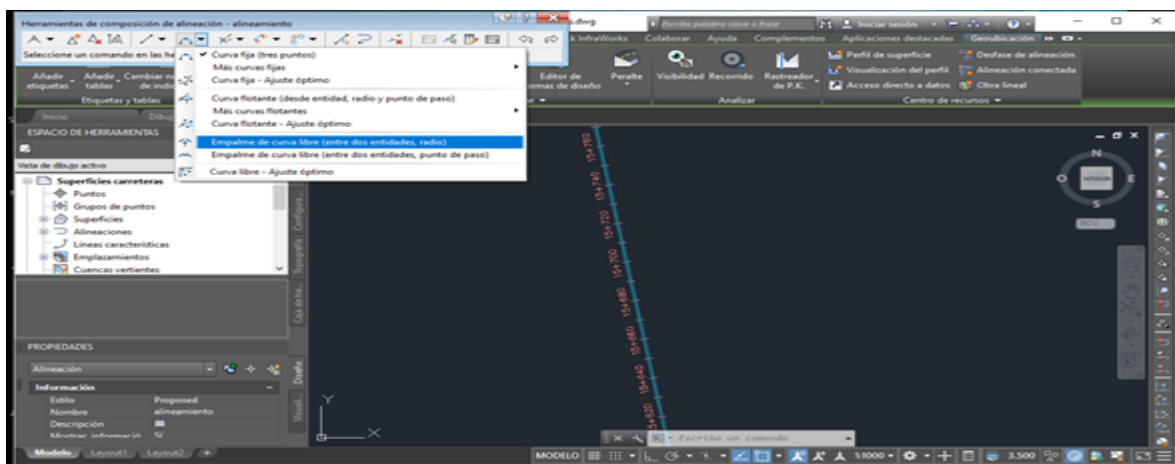


Fuente. Autoras a partir del software civil3D

- Diseño de curvas.

Las curvas espirales se hacen mediante la opción “Espiral-curva-espiral (entre dos entidades) al cual se le selecciona las tangentes de entrada y salida y por consiguiente las longitudes de las espirales y un radio para la curva.

Figura 45. Herramienta de composición de alineación

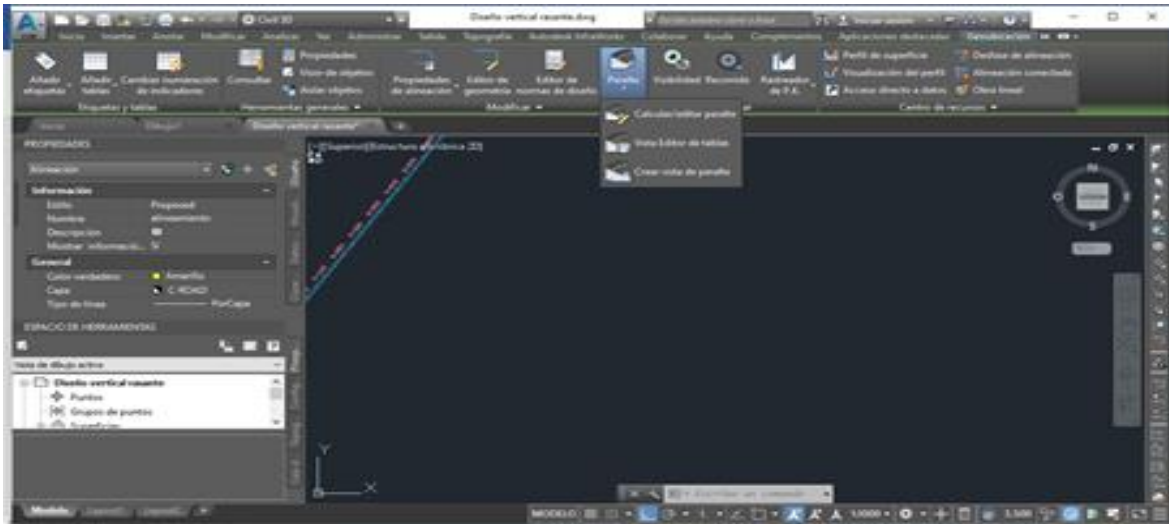


Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

- Peralte

Seleccionamos el alineamiento y vamos a la herramienta “peralte”. Allí, damos clic en la opción “calcular/ editar peralte)

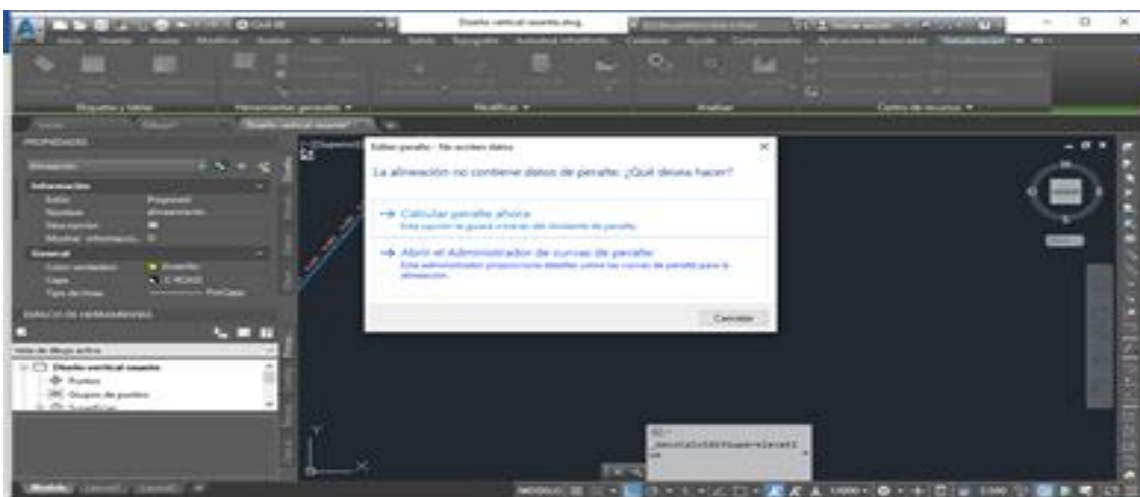
Figura 46. Creación de peralte



Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

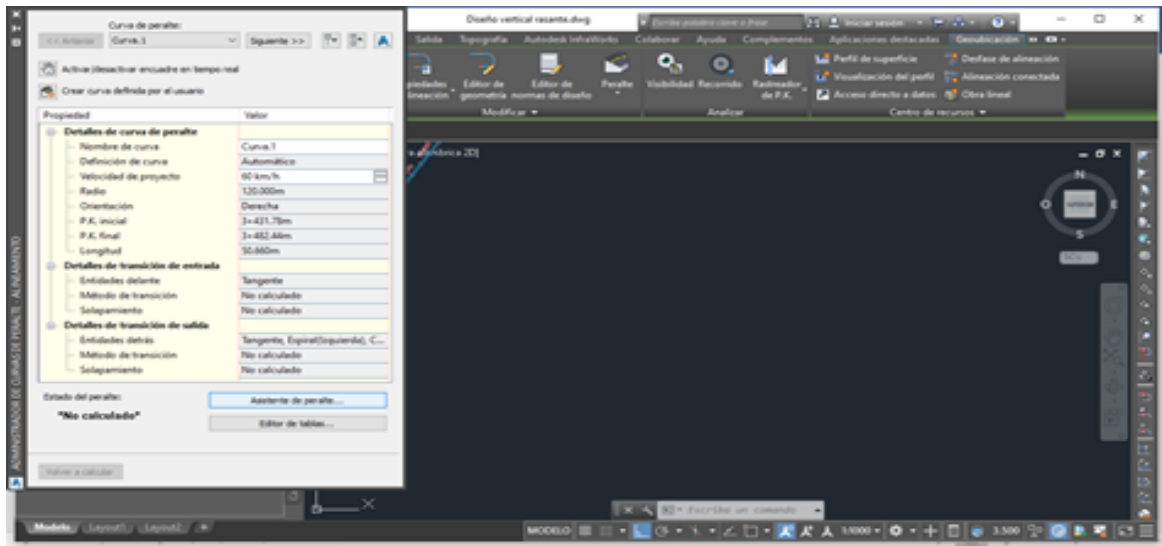
Seleccionamos la opción “abrir el administrador de curvas de peralte”

Figura 47. Administrador curvas de peralte



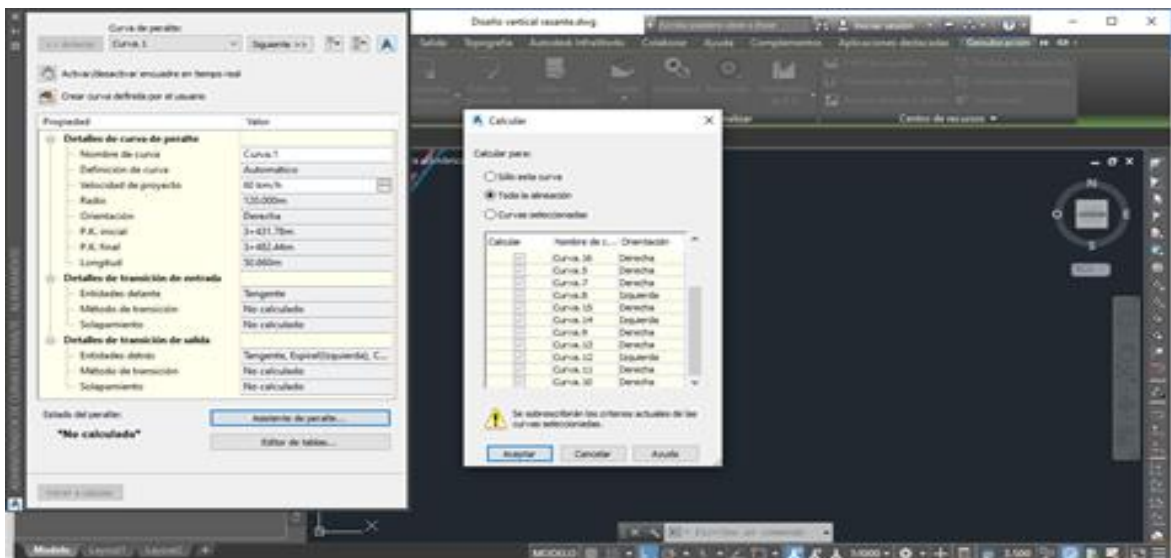
Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Figura 48. Detalles de curva de peralte



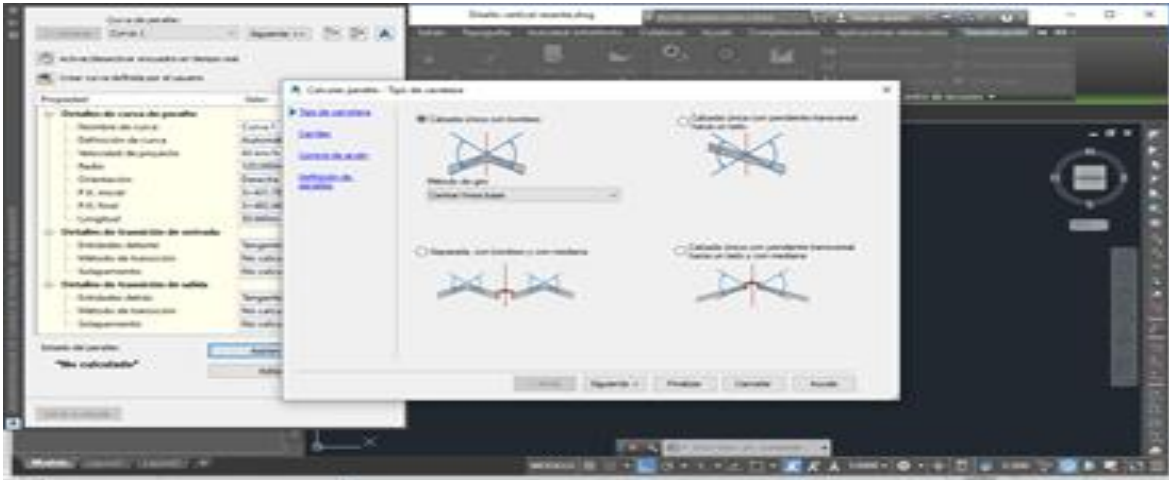
Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Figura 49 Calculo de toda la alineación



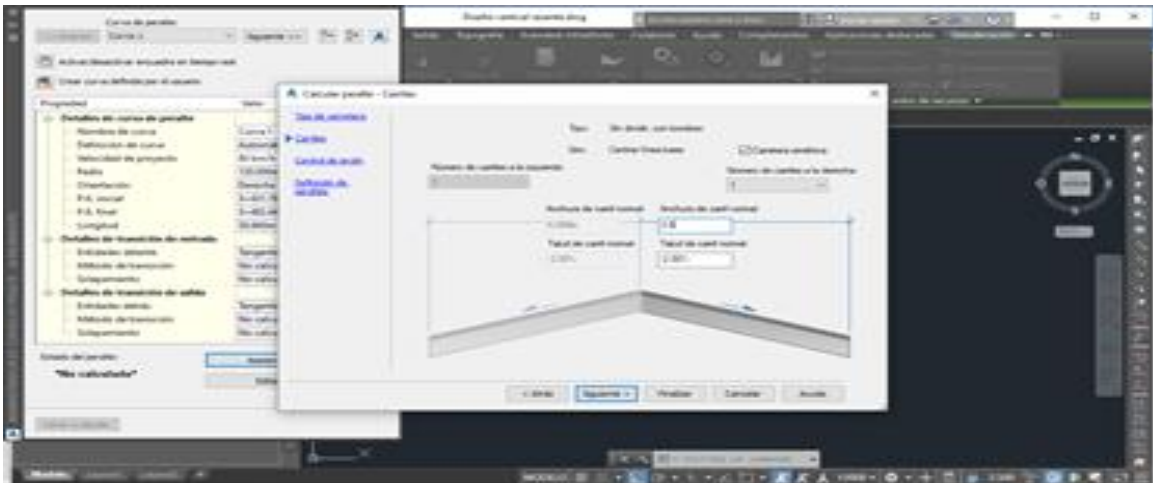
Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Figura 50. Calcular peralte- tipo de carretera



Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Figura 51. Calcular peralte- carriles



Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Figura 52. Calcular peralte- control de arcén

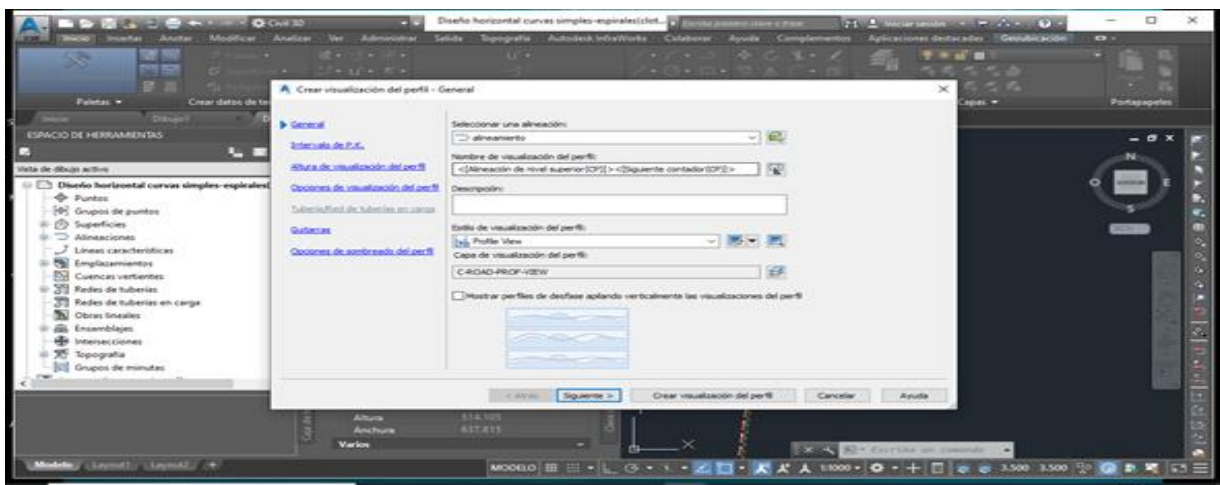


Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

✓ Diseño vertical

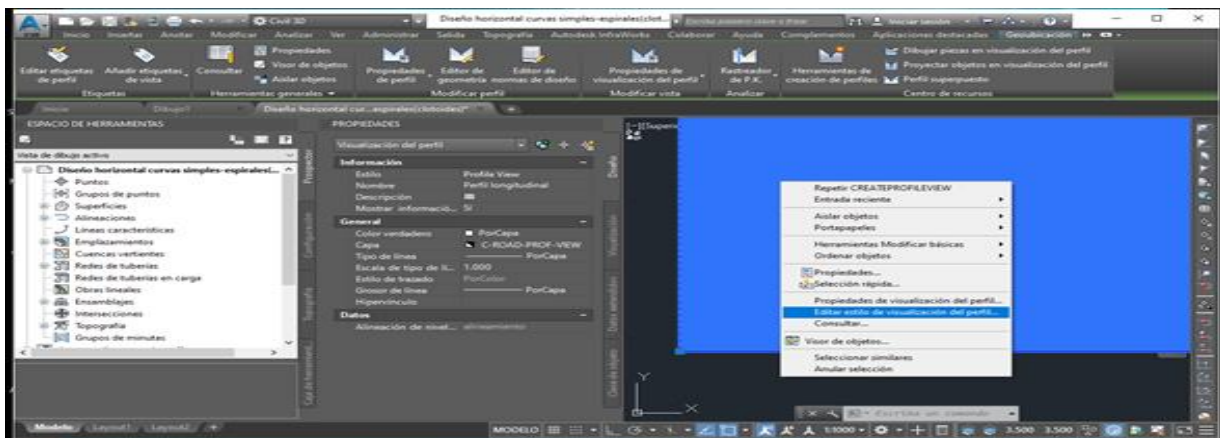
- Creación de perfil.
- A partir del alineamiento se crea las pendientes, esto se hace de forma manual para cumplir con los criterios

Figura 53. Crear visualización del perfil.



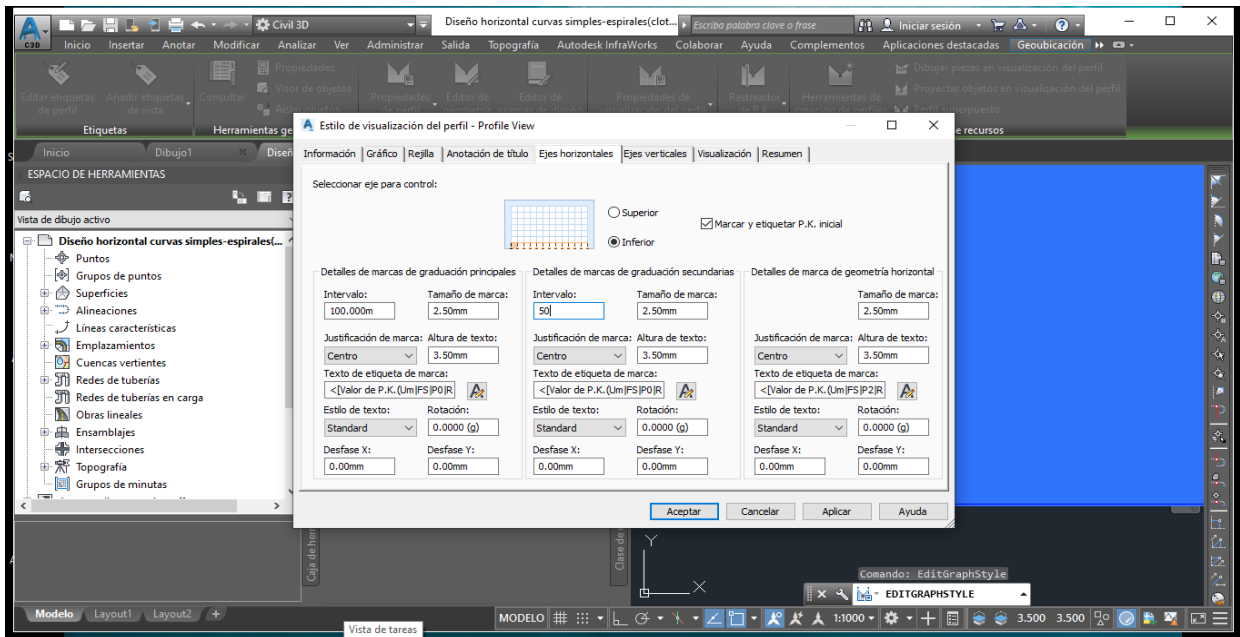
Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Figura 54. Propiedades



Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

Figura 55. Estilo de visualización del perfil

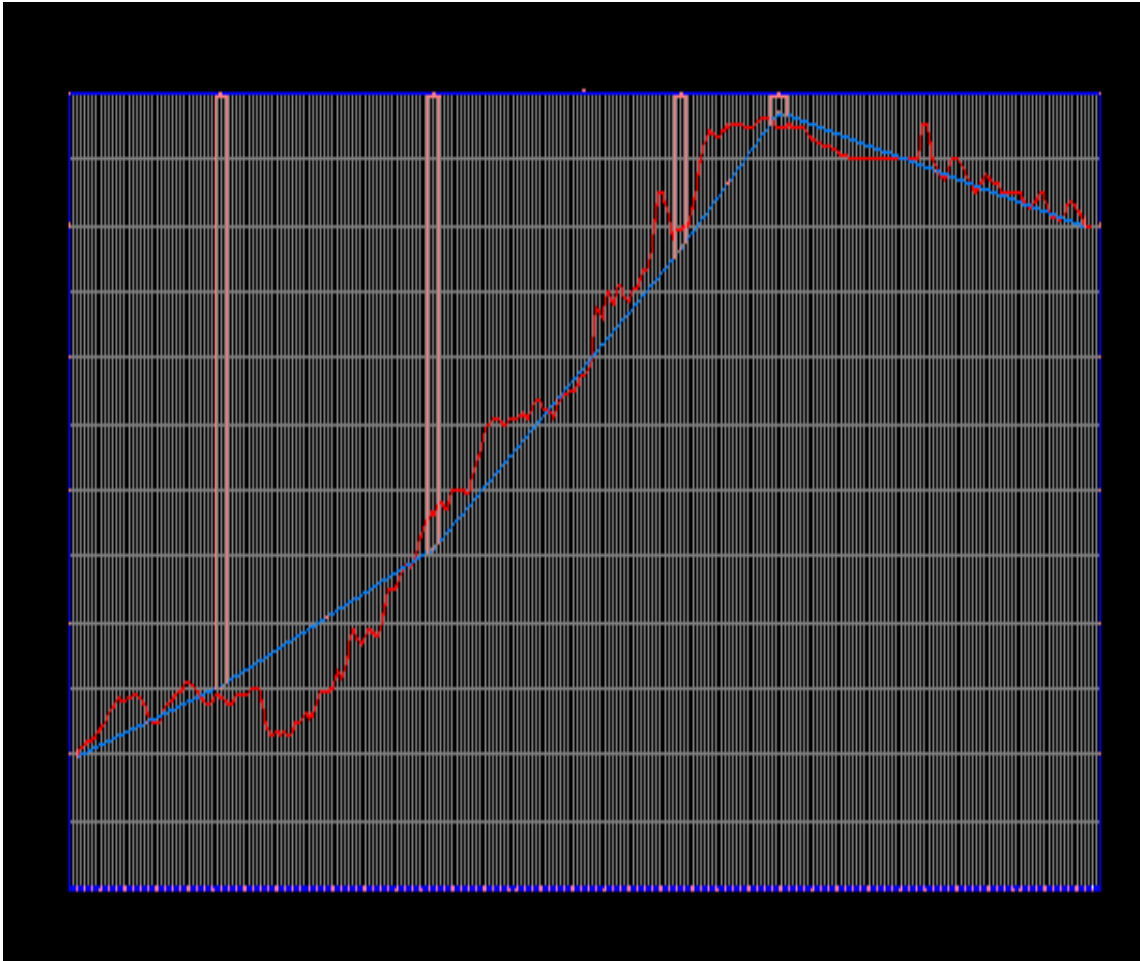


Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

- Perfil.

En el perfil que se extrae del software se puede ver la forma del terreno, enseñando las zonas críticas por corte y relleno, este perfil representa las cotas de terreno en las ordenadas y en el eje horizontal las abscisas del alineamiento.

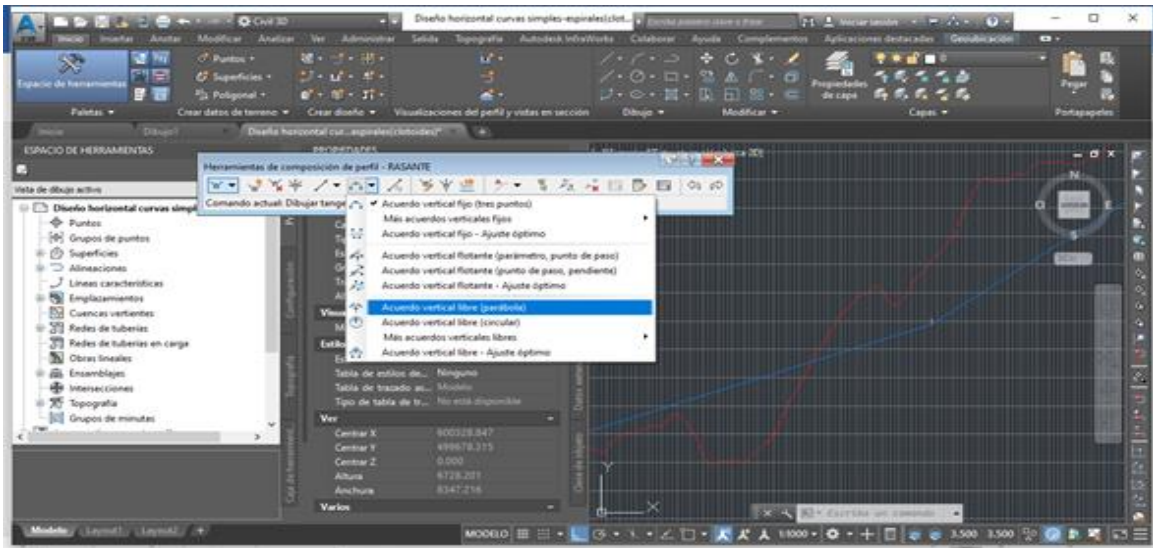
Figura 56. Perfil longitudinal



Fuente. Autoras a partir del software civil 3D

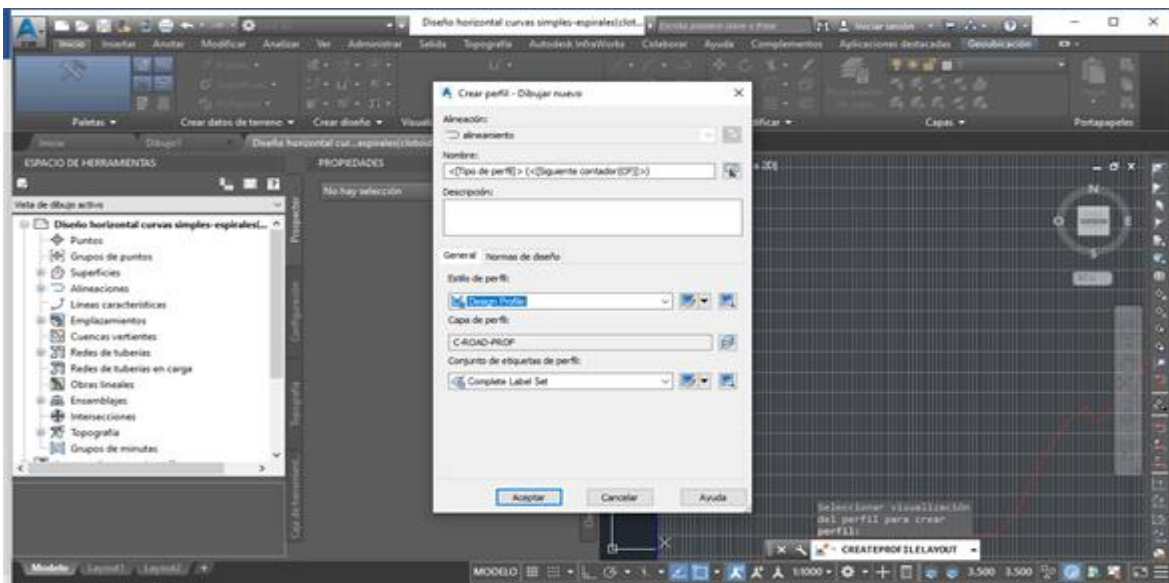
- Rasante.

Figura 57. Herramienta de composición de perfil- Rasante



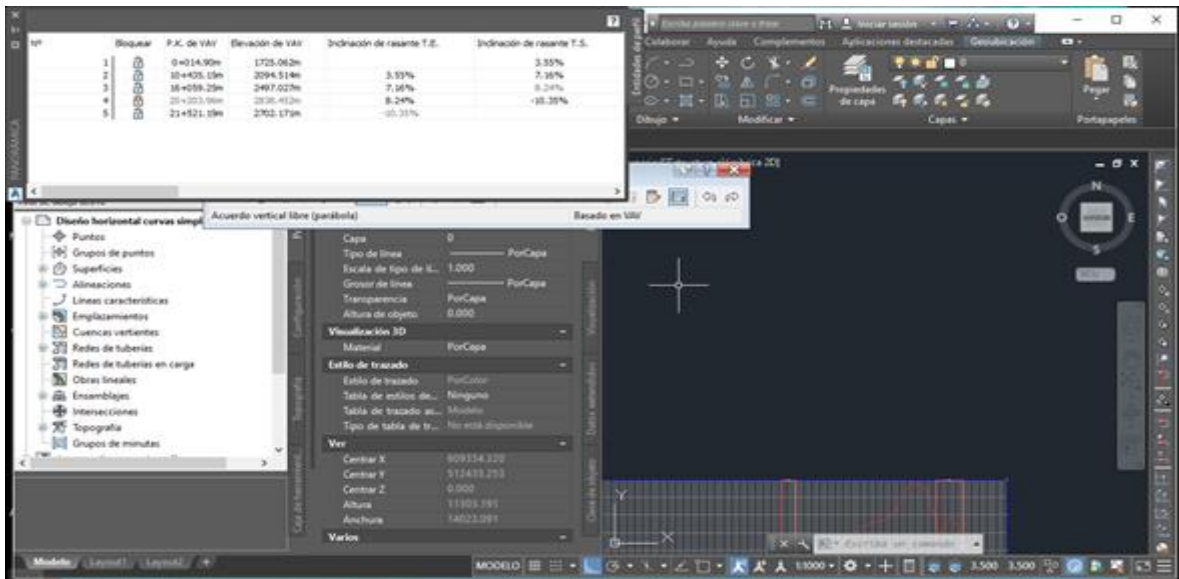
Fuente. Autoras a partir del software civil3D

Figura 58. Creación de perfil



Fuente. Autoras a partir del software civil3D

Figura 59. Datos del diseño vertical



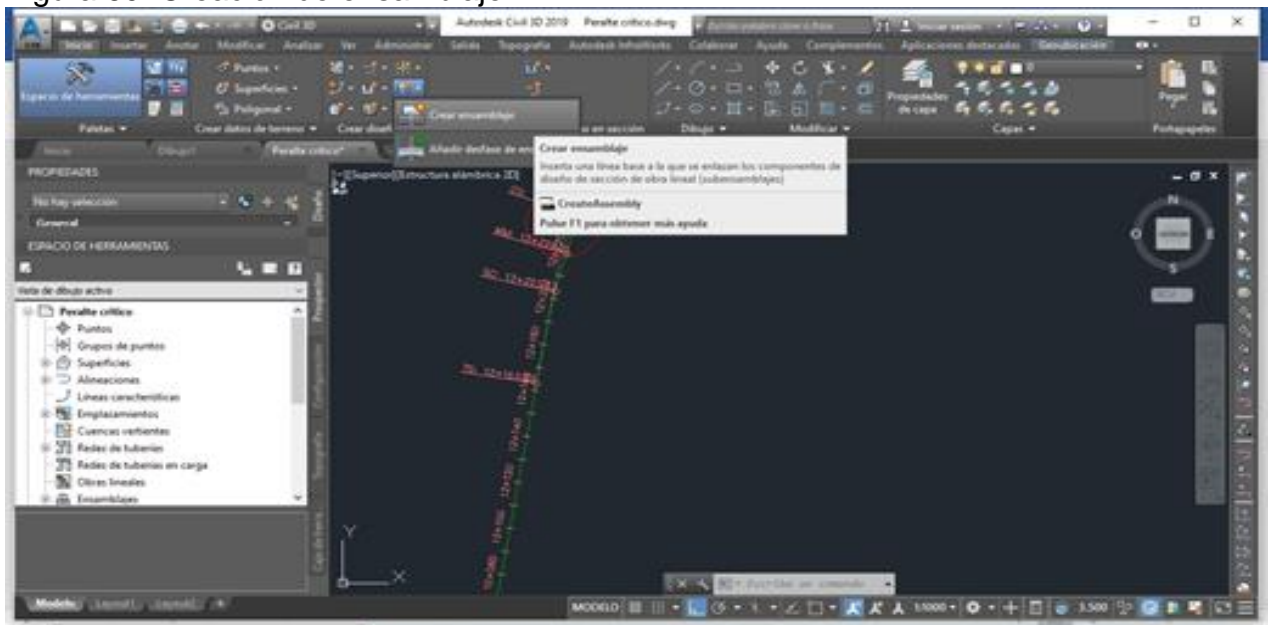
Fuente. Autoras a partir del software civil3D

✓ Diseño transversal.

En el diseño transversal se siguen los siguientes pasos

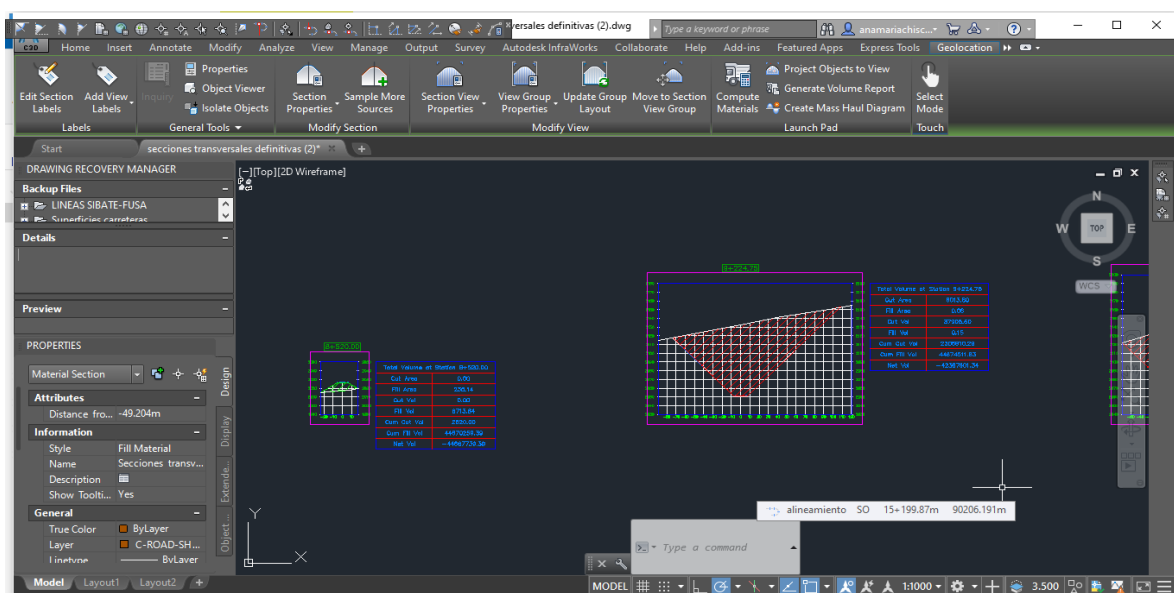
- Se crea un ensamblaje
- Se determinan las características de la sección típica
- Se hacen las secciones transversales cada 20 metros manualmente
- Se sacan las vistas de sección transversal (corte y relleno)

Figura 60. Creación de ensamblaje



Fuente. Autoras a partir del software civil3D

Figura 61. Visualización de movimiento de tierras



Fuente. Autoras a partir del software civil3D

8.4 COSTOS DE VOLÚMENES

Tabla 80. Datos de volúmenes

Volume Report									
Aignment: Ya									
Sample Line Group: secciones t									
Start Sta: 0+000.00									
End Sta: 21+000.00									
	96800.66	32049.8		132552.99	23354.02				
Station	Cut Area (Sq.M.)	Cut Volume (Cu.M.)	Reusable Volume (Cu.M.)	Fill Area (Sq.M.)	Fill Volume (Cu.M.)	Cum. Cut Vol. (Cu.M.)	Cum. Reusable Vol. (Cu.M.)	Cum. Fill Vol. (Cu.M.)	Cum. Net Vol. (Cu.M.)
0+020.00	25.65	0	0	0	0	0	0	0	0
0+040.00	44.93	705.79	705.79	0	0	705.79	0	0	705.79
0+060.00	51.39	963.21	963.21	0	0	1,669.00	0	0	1,669.00
0+080.00	46.45	978.48	978.48	0	0	2,647.48	0	0	2,647.48
0+100.00	51.43	978.83	978.83	0	0	3,626.31	0	0	3,626.31
0+120.00	89.39	1,408.22	1,408.22	0	0	5,034.53	0	0	5,034.53
0+140.00	101.27	1,906.58	1,906.58	0	0	6,941.11	0	0	6,941.11
0+160.00	110.95	2,122.15	2,122.15	0	0	9,063.26	0	0	9,063.26
0+180.00	144.56	2,555.13	2,555.13	0	0	11,618.39	0	0	11,618.39
0+200.00	184.59	3,291.54	3,291.54	0	0	14,909.93	0	0	14,909.93
0+220.00	219.61	4,041.99	4,041.99	0	0	18,951.92	0	0	18,951.92
0+240.00	244.82	4,644.33	4,644.33	0	0	23,596.26	0	0	23,596.26
0+260.00	251.68	4,965.02	4,965.02	0	0	28,561.28	0	0	28,561.28

A partir de los datos de volúmenes que suministro el software de Civil 3D, se tomó en cuenta los valores de excavación, del mismo modo se utilizó los APUS del departamento de Cundinamarca obtenido del instituto nacional de vías (INVIAS) que cuenta con precios de mano de obra, materiales, maquinaria y transporte.

Tabla 81. Costo de volúmenes de la vía

No	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR
1	LOCALIZACION Y REPLANTEO	km	21	660099	13862077.32
2	DESMONTE Y LIMPIEZA	Ha	229353.65	241037	55282805130
3	EXCAVACION SIN CLASIFICAR EXPLANACION Y CANALES	m ³	32049.8	9659	309555739.9
4	TERRAPLEN	m ³	23354.02	13142	306917141.3
					\$ 55.913.140.088

Fuente. Autores

Para la realización de estos costos, también se organizaron unos análisis de precios unitarios para el mejoramiento y mantenimiento por unidad si en un futuro se llegara a necesitar. (Véase Anexo H)

Tabla 82. Costos por unidad departamento de Cundinamarca

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS DIRECCIÓN TÉCNICA			
ITEM	DESCRIPCION ACTIVIDAD	UNIDAD	PRECIO
	EXPLANACIONES		
<u>100.1</u>	<u>LOCALIZACION Y REPLANTEO</u>	KM	660.099
<u>200.2</u>	<u>DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONAS NO BOSCOSAS</u>	Ha	241.037
<u>210.1.1</u>	<u>EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR DE LA EXPLANACIÓN Y CANALES</u>	m3	9659
<u>210.2.1</u>	<u>EXCAVACIÓN EN ROCA DE LA EXPLANACIÓN Y CANALES</u>	m3	35.291
<u>211.1</u>	<u>REMOCIÓN DE DERRUMBES</u>	m3	24.441
<u>220.1</u>	<u>TERRAPLENES</u>	m3	13.142
<u>221.1</u>	<u>PEDRAPLÉN COMPACTO</u>	m3	8.639
<u>230.1</u>	<u>MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE , INVOLUCRA SUELO EXISTENTE</u>	m2	2.411

Fuente. Autoras

CONCLUSIONES

- Para el desarrollo de este proyecto se trabajó de la mano con la comunidad, ya que son ellos quienes, plantean la problemática y a su vez brindan la cooperación en la toma de datos, para la ejecución de los diseños, esto generó un buen cumplimiento de los objetivos planteados.
- Gracias al trabajo conjunto con la comunidad se lograron identificar las horas y los días en los que se presentaba un flujo vehicular, ya que son ellos quienes conocen las actividades de transporte de carga y de pasajeros con las que fluye la zona. Esto permitió un trabajo en conjunto para el estudio del tránsito y la realización de un pavimento óptimo que satisfaga las necesidades de movilidad con las que cuenta esta población.
- Con las visitas realizadas a la carretera de estudio que comunica Sibaté-Fusagasugá en el departamento de Cundinamarca, se pudo identificar que la vía de comunicación es de interés para el desarrollo económico de los habitantes en ese sector, ya que la mayoría se dedica a la agricultura y dependen de los turistas que transiten por esa ruta de acceso, por esta razón se hizo el mejoramiento de ese camino como una idea para impulsar el desarrollo económico y así obtener efectos positivos en la productividad.

RECOMENDACIONES

- Para realizar un mejoramiento vial que permita brindar solución a la problemática del sector, se recomienda realizar un reconocimiento de la zona, analizando sus dificultades y problemáticas, por medio del contacto directo con la comunidad.
- En la elaboración de un proyecto social se recomienda hacer socializaciones con las personas afectadas por la problemática, con el fin de conocer la satisfacción de la comunidad con el desarrollo de los diseños y así mismo generar un trabajo en conjunto para el cumplimiento de los objetivos planteados.
- Se recomienda efectuar un levantamiento topográfico en la zona de estudio, con el fin de obtener una topografía más precisa, ya que por temas económicos en este proyecto se llevó a cabo por medio del uso de software.
- Se recomienda para el aforo del tránsito realizar largos periodos de estudio, así como elegir bien los días y las semanas en las que se ejecutará, con el fin de obtener valores más precisos y con esto llegar a una mejor variación de volúmenes vehiculares, para óptimos diseños viales.
- Para la toma de muestras de suelo se recomienda el uso de maquinaria especializada, para obtener material a mayores profundidades y con menor

estado de alteración. Con esto se logran resultados óptimos en las pruebas de laboratorio requeridas.

- Si el proyecto se desea ejecutar, se recomienda realizar un nuevo estudio de presupuesto, tomando en cuenta que los precios pueden variar, así como las cantidades de obra, modificando considerablemente los valores proporcionados anteriormente.

BIBLIOGRAFÍA

Instituto Nacional de Vías. 2016. www.invias.gov.co. [En línea] 01 de septiembre de 2016. [Citado el: 04 de marzo de 2019.] <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras>.

LONDOÑO NARANJO, CIPRIANO Y ALVAREZ PABON, JORGE ALBERTO. Manual de diseño de pavimentos de concreto: para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito/ Cipriano Alberto Londoño Naranjo; Jorge Alberto Álvarez Pabón; instituto colombiano de productores de cemento. - Medellín: ICPC; 2008. 114p.

JORGE CORONADO ITURBIDE, AGENCIA DE LOS ESTADOS UNIDOS PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL Y SECRETARÍA DE INTEGRACIÓN ECONÓMICA CENTROAMERICANA. Manual centroamericano para diseño de pavimentos. – Guatemala, Noviembre de 2002. 289 pág.

GERSON JAVIER PEREZ. CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS REGIONALES (CEER) La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia.- Cartagena de indias, octubre de 2005. 73 pág.

ARGOS 360. HISTORIA Y ORIGEN DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO EN COLOMBIA, Enero 2014.

TECNURA. CONCESIONES VIALES EN COLOMBIA, Santafé de Bogotá, Enero-Junio 2002, Vol. 5 Núm. 10

TANZANIA. Road Geometric Design Manual Ministry of Works, 2011 Edition, financed by the Government pag 329

COPYRIGHT LEGIS S.A, EL DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA EN COLOMBIA, Noviembre de 2017

M.I. Darter, W.R. Hudson, and R.C.G. Hass. Selection of Optimal Pavement Designs Considering Reliability, Performance, and Costs. In Transportation Research 485, TRB, National Research Council, Washington, D.C, 1974, pp 67-79

COREA Y ASOCIADOS S.A. MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA. Manual para la revisión de estudios de tránsito. Nicaragua, Octubre de 2008. 197 pág.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. 2016. www.invias.gov.co [En línea] 13 de enero de 2016. [Citado el: 06 de marzo de 2019.] <https://www.invias.gov.co/index.php/mas/sala/noticias/2473-invias-anuncia-aumento-en-tarifas-de-peajes>

ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. A Case of Road Design in Mountainous. Kth Terrain with an Evaluation of Heavy Vehicles Performance. Srnová, Barbora, Escuela de Arquitectura y Medio Ambiente Construido (ABE), Ingeniería Civil y Arquitectónica, Ingeniería Estructural y Puentes, 2017. 180 pág.

ARGUELLO MANTILLA, Javier Hernando, León Gómez, Nelson Libardo. Diseño geométrico de una doble calzada para la vía suba-cota. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de ingeniería civil. Modalidad Trabajo social, 2015. 133 pag.

Gutiérrez Graf, F. 2004. Rediseño geométrico del distribuidor vial de la UDLA-P en la ruta Quetzalcóatl. Tesis licenciatura. Ingeniería civil. Departamento de ingeniería civil, Escuela de ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Abril. 2004.

MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos 3 edición-Tomo 1. Bogotá D.C: Universidad católica de Colombia, 2010. 733 pág.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE SIBATE. Economía [En línea] 2017. Sibaté: [Citado el: 08 de marzo 2019]. <http://www.sibate-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA. “App accesos norte de Bogotá- Estudio de trazado y Diseño geométrico, promesa de sociedad futura app”. Bogotá D.C, Enero de 2016. 48 pág.

AASTHO. Guide for Design of Pavement Structures. Washington: American Association of state Highway and Transportation Officials, 1993. 624 p.

DELATTE, Norbert. Concrete Pavement Design, Construction, and Performance. 1 ed. New York: Taylor & Franci, 2008. 389 pág.

ACADEMIA. Diseño y conservación de pavimentos rígidos. Universidad Nacional Autónoma de México, Diciembre de 2016. 47 pág.

CARDENAS, James. Diseño geométrico de carreteras. 2 ed. Bogotá: Ecoe ediciones, 2013. 544 pág.

MAINROADS, glossary of technical terms. [En línea]. Canberra: [Citado el: 25 marzo de 2019].

<https://www.mainroads.wa.gov.au/BuildingRoads/StandardsTechnical/RoadandTrafficEngineering/Pages/GlossaryofTechnicalTerms.aspx>

Tayabji, S.D., & Colley, B.E. 1986. Analysis of jointed concrete pavements. United States: s.n., 1986.

Ministerio, de transporte y comunicaciones. 2014. Manual de carreteras- Diseño geométrico. Perú: s.n., 2014.

Pérez, G. Rodríguez. J. (2009). APUNTE DE HIDROLOGÍA SUPERFICIAL, Nuevo Plan

CORPORACIONES AUTÓNOMAS REGIONALES. Boletín estadístico de hidrología y climatología. [En línea]. Bogotá: CAR [citado el: 17 de octubre de 2019].
<http://sie.car.gov.co/handle/20.500.11786/33821>

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Geoportal. [En línea] Bogotá: IDEAM [citado el 17 de octubre de 2019].
<http://visor.ideam.gov.co:8530/geovisor/#!/profiles/3>






SECRETARIA DE TRANSPORTE DE CUNDINAMARCA. Observatorio de accidentalidad vial. [En línea]. Bogotá: SEC [Citado el: 17 de octubre de 2019]. <http://www.cundinamarca.gov.co/Home/secretariasEntidades.gc/Secretariadetransporte/SecretariadetransporteDespliegue/asobservatorio/historico+indices+de+accidentalidad>

ANEXOS

✓ Imágenes en prácticas de laboratorio

- Análisis granulométrico por tamizado.

Anexo 1. Desarrollo de la práctica de laboratorio por tamizado

Lavado de material		
Secado al horno		
Granulometría		

Fuente. Autores

- Determinación de límites.

Anexo 2. Desarrollo de la práctica de laboratorio por límites

<p>Preparación de la muestra macerando y tamizando</p>		
<p>Límite líquido y plástico</p>		

Fuente. Autores

- Proctor modificado.

Anexo 3. Desarrollo de la práctica de laboratorio por Proctor modificado

Moldes para la compactación del material



Compactación del material 56 golpes cada capa



Material compactado



Fuente. Autores

✓ Datos de temperatura proporcionados por el IDEAM

Anexo 4. Datos de temperatura

			I D E	A M - I	INSTITUTO	DE HIDRO	LOGIA, ME	TEOROLOG/ Y ESTUDI	OS AMBIEN	TALES										
			VAL	ORES MEDI	OS MENS	UALES DE	TEMPERATU	A (oC)					SISTEMA D	E INFORMACION						
			ACIONA	L AMBIENTAL																
F	ECHA	DE	PROCES	O : 2018/O	3-may.												ESTACION :	211950	70	ALTO DE SAN MIGUEL
L	ATIT	UD	418	N	TIP	O EST	CO	DEPTO	CUND	INAMARCA	FECHA-	INSTALACI	ON	1969-JUN						
L	ONGI	TUD	7418	W	ENT	IDAD	01 IDEA	M	MUNICI	PIO PASC	FECHA-	SUSPENSI	N							
E	LEVA	CION	2256	m.s.n.m	REG	IONAL	11 BOGO	TA	CORRIE	NTE CUJA										
****	****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****						
A#O	EST	ENT	ENERO	* FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO	* JUNIO	* JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE	* DICIE	* VR ANUAL *					
****	****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****					
1983	2	1	14.9	15.2	15.1	15.4	15.2	14.9	14.6	14.6	14.7	14.8	14.8	15.2	15.0					
1984	2	1	14.3	14.0	14.4	14.8	14.8	14.7	14.3	14.6	14.0	14.2	14.4	14.5	14.4					
1985	2	1	14.3	14.7	14.8	15.3	15.5	15.4	15.4	15.0	15.4	15.3	15.5	15.4	15.2					
1986	2	1	15.8	15.6	16.0	15.6	15.4	15.0	15.1	14.6	14.6	15.1	15.1	14.3	15.2					
1987	2	1	14.4	14.2	14.6	14.8	15.0	14.6	14.8	15.1	14.9	14.7	14.8	14.8	14.7					
1988	2	1	14.8	14.8	14.7	14.7	14.7	14.7	14.6	14.6	14.6	14.8	14.8	14.8	14.7					
1989	2	1	14.9	14.6	15.1	15.1	15.5	14.9	15.0	15.2	15.7	15.4	15.4	15.2	15.2					
1990	2	1	15.5	15.1	15.9	15.7	15.5	15.5	15.5	15.7	15.5	15.8	15.6	16.1	15.6					
1991	2	1	15.6	16.0	15.7	15.6	15.4	15.0	14.7	14.8	15.2	15.5	15.7	15.4	15.4					
1992	2	1	14.8	15.5	15.2	15.7	15.3	14.8	15.3	15.3	14.9	15.0	14.9	14.9	15.1					
1993	1	1	15.2	15.0	15.5	15.3	15.6	15.2	15.0	14.9	15.3	15.1	14.9	15.0	15.2					
1994	1	1	15.0	15.2	15.5	15.1	15.2	15.0	14.6	15.2	15.0	14.9	15.2	15.3	15.1					
1995	1	1	15.0	15.0	15.2	15.3	15.4	15.4	15.0	15.5	15.4	15.2	15.3	15.2	15.2					
1996	1	1	15.9	16.1	16.2	15.9	16.2	16.0	15.7	15.5	15.8	15.4	15.7	14.9	15.8					
1997	1	1	14.5	14.6	15.2	15.1	15.0	14.8	14.3	14.7	14.2	14.6	14.5	14.9	14.7					
1998	1	1	14.6	14.9	15.4	15.4	15.4	14.7	14.4	14.3	15.3	15.1	14.9	15.2	15.0					
1999	1	1	15.2	14.7	14.8	15.5	15.4	15.5	15.6	15.7	15.7	15.2	15.8	16.0	15.4					
2000	1	1	16.3	16.6	16.5	16.4	16.4	16.6	16.4	16.0	16.5	16.1	16.2	16.3	16.4					
2001	1	1	16.3	16.5	16.6	16.3	16.5	15.5	15.2	15.5	15.8	15.9	15.5	15.6	15.9					
2002	1	1	15.7	15.3	15.3	16.0	15.6	15.7	15.4	15.8	15.6	15.7	15.9	16.1	15.7					
2003	1	1	15.9	15.7	16.1	15.8	16.1	16.4	15.9	16.2	16.4	15.8	16.2	16.0	16.0					
2004	1	1	16.5	16.1	16.3	16.3	16.3	16.4	16.0	16.2	16.5	16.3	15.9	16.2	16.3					
2005	1	1	16.6	16.7	17.2	16.8	16.7	16.7	16.0	16.6	16.7	16.7	16.5	16.5	16.6					
2006	1	1	16.2	16.3	16.1	16.5	16.5	16.6	16.5	16.6	16.7	14.9	15.1	15.8	16.2					

Fuente. (IDEAM)

Anexo 4. (Continuación...)

				IDE	AM - I	INSTITUTO	DE HIDRO	LOGIA, ME	TEOROLOGII Y ESTUDI	OS AMBIEN	TALES				
													SISTEMA D	E INFORMACION	
					VAL	ORES MAXI	MOS MENS	UALES DE	TEMPERATU A (oC)				NACIONA	L AMBIENTAL	
F	ECHA	DE	PROCES	O: 2018/0	3-may.							ESTACION:	211950	70 LA UNION	
L	ATIT	UD	418 N	TIP	O EST	CO		DEPTO	CUND	INAMARCA		FECHA-	INSTALACI	ON 1969-JUN	
L	ONGI	TUD	7418 W	ENT	IDAD	01 IDEA	M	MUNICI	PIO PASC	A		FECHA-	SUSPENSI	N	
E	LEVA	CION	2256 m.s.n.m	REG	IONAL	11 BOGO	TA	CORRIE	NTE CUJA						
****	****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
AHO	EST	ENT	ENERO	* FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO	* JUNIO	* JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE	* DICIE	* VR ANUAL *
****	****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1983	2	1								20.4	25.13	21.3	20.3	20.3	25.13
1984	2	1	21.1	21.2	21.1	21.4	21.1	21.1	20.2	22.0	20.2	20.0	20.3	20.4	22.0
1985	2	1	20.0	20.3		21.1	21.2	20.1	20.6	19.6	20.8	23.0		20.0	23.03
1986	2	1	19.4	20.6	20.8	24.0	21.2	21.2	23.2	22.8	22.2	22.6	21.6	23.0	24.0
1987	2	1	22.6	22.2			21.4	20.8	22.0	20.2	20.6	21.2	20.6	20.2	22.63
1988	2	1	20.6	3 20.03	20.43		21.6	22.0	27.0	21.4		21.83	20.4	3 20.3	3 27.03
1989	2	1	20.8					21.0	20.03	20.6	22.8	21.0	20.8	20.2	22.83
1990	2	1	22.6	21.4	21.0	22.2	22.0	21.4	21.4	22.4	24.6	22.2	21.8	21.0	24.6
1991	2	1	22.0	22.8	24.2	23.8	21.6	23.4	22.6	22.4	22.8	22.4	23.0	23.0	24.2
1992	1	1	23.2	24.0	23.6	21.63	21.6	20.4	20.6	20.23					24.03
1993	2	1												20.8	3 20.83
1994	1	1	21.8	20.8	21.63	24.2	21.4	3 22.0	3 20.63	20.83	22.23	21.23	20.4	3 19.8	3 24.23
1995	1	1	20.0	20.8	21.4	21.0	20.6	3 21.0	3 20.0	21.63	20.8	21.6	20.2	20.6	21.63
1996	1	1	20.6	20.0	21.0	21.8	20.8	21.2	20.83	21.63	21.8	21.0	20.4	20.4	3 21.83
1997	1	1	22.0	3 22.4	22.4	21.4	21.8	21.4	21.63	22.0	22.4	21.6	21.0	19.9	3 22.43
1998	1	1	19.6	20.2	21.0	20.0	20.2	19.4	3 19.0	19.63	19.6	19.4	19.8	3 19.8	3 21.03
1999	1	1	19.2	19.8	20.8							21.8	19.2	3 19.8	3 21.83
2000	1	1	19.4	3 19.2	19.8	20.03				20.6	22.2	21.43	20.0	3 20.0	22.23
2001	1	1	22.0	3 23.2	21.4	22.03	23.2	3 21.6	3 20.8	20.63	22.2	20.6	20.8	21.2	23.23
2002	1	1	21.0	22.2	22.6	20.8	22.0	20.6	19.8	20.2	21.6	21.0	20.6	19.6	22.6
2003	1	1	20.4	21.6	20.0	20.6	21.4	19.6	3 20.0	20.23	20.6	19.6	20.6	20.6	21.63
2004	1	1	20.6	21.2	20.6	21.23	21.0	21.4	20.6	20.8	22.4	20.2	21.4	20.4	22.43
2005	1	1	21.2	3 21.0	21.2	21.0		21.2	3 20.4	20.8	21.4	20.6	20.0	20.6	21.43


Fuente. (IDEAM)

Anexo 4. (Continuación...)

	IDE	AM - I	INSTITUTO	DE HIDRO	LOGIA, ME	TEOROLOG	Y ESTUDI	OS AMBIEN	TALES				SISTEMA D	E INFORMACION	
	VAL	ORES MINI	MOS MENS	UALES DE	TEMPERATU	A (oC)							NACIONA	L AMBIENTAL	
F	ECHA	DE	PROCES	O: 2018/O	3-may.					ESTACION:	211950	EL PINAR			
L	ATT	UD	418 N	TIP	O EST	CO		DEPTO	CUND	INAMARCA	FECHA-	INSTALACI	ON 1969-JUN		
L	ONGI	TUD	7418 W	ENT	IDAD	01 IDEA	M	MUNICI	PIO PASC	A	FECHA-	SUSPENSIO	N		
E	LEVA	CION	2256 m.s.n.m	REG	IONAL	11 BOGO	TA	CORRIE	NTE CUJA						
****	****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	
AÑO	EST	ENT	ENERO	* FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO	* JUNIO	* JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE	* DICIE	* VR ANUAL *
****	****	****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
1983	2	1							3.3	9.4	9.4	9.2	8.2	3.3	
1984	2	1	7.8	9.4	8.2	10.2	10.1	9.3	9.2	8.3	9.3	8.3	9.2	9.0	7.8
1985	2	1	8.1	8.1						6.2	6.3	6.2		5.4	5.4
1986	2	1	6.4	5.4	6.4	7.4	7.8	8.8	8.2	7.6	7.2	8.3	8.4	5.2	5.2
1987	2	1	7.4	6.6			7.6	9.2	9.2	9.2	8.0	2.2	8.0	8.0	2.2
1988	2	1	8.2	3 8.4	8.2		8.0	7.0	7.4	8.0		7.6	9.6	3 5.1	3 5.1
1989	2	1	5.1					9.8	7.8	9.4	9.2	9.2	9.4	8.6	5.1
1990	2	1	6.0	8.6	9.4	10.2	9.4	9.0	9.4	7.8	8.6	9.6	9.2	8.4	6.0
1991	2	1	8.2	7.6	9.6	9.6	10.2	10.2	9.6	9.0	10.0	9.6	7.4	7.8	7.4
1992	2	1	6.6	8.8	8.0	9.4	10.2	10.8	9.2	7.4	9.2	9.6	10.0	9.4	6.6
1993	2	1	8.8	8.2	9.8	10.8	9.8	10.8	9.0	10.2	9.4	10.0	10.2	9.0	8.2
1994	1	1	9.6	9.2	10.4	10.4	11.2	10.2	10.2	9.2	10.2	10.4	9.6	8.6	8.6
1995	1	1	6.8	9.0	9.6	10.6	10.6	10.4	9.8	9.4	9.4	9.6	10.4	9.0	6.8
1996	1	1	8.8	10.0	9.6	12.0	9.6	10.0	9.2	9.0	10.0	9.0	8.8	7.0	7.0
1997	1	1	10.0	8.8	10.0	9.0	9.6	10.3	10.0	9.8	8.0	9.8	7.0	8.0	7.0
1998	1	1	7.0	6.0	9.0	10.0	10.0	9.6	9.0	9.8	9.2	10.2	10.0	9.0	3 6.0
1999	1	1	8.6	6.0	9.0	10.0	10.0	10.0	5.0	10.0	10.0	9.8	9.8	7.2	5.0
2000	1	1	9.6	9.0	9.8	10.6				9.6	9.4	10.0	10.4	9.0	9.0
2001	1	1	9.0	3 10.0	10.6	10.2	9.4	11.0	11.2	10.6	10.2	11.0	9.8	8.8	3 8.8
2002	1	1	9.4	10.0	8.6	10.4	10.2	9.6	9.8	10.0	10.2	9.6	9.8	6.4	3 6.4
2003	1	1	8.8	9.0	9.2	10.0	10.4	10.0	9.0	9.0	8.8	9.8	8.6	7.4	7.4
2004	1	1	9.8	9.0	10.0	11.0	10.2	10.8	9.4	9.2	9.6	10.4	10.0	9.8	9.0
2005	1	1	8.6	8.2	8.6	10.8		11.0	3 10.8	9.2	7.6	7.8	9.6	9.2	7.6

Fuente. (IDEAM)

Anexo 5. Formato de laboratorios solicitados

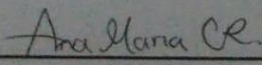
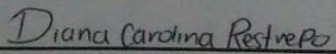
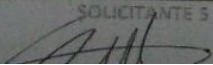
 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 053 LI 103 02				
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: <p style="text-align: center;">Trabajo de grado</p>								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS			E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO			
506149	Ana Maria Chisco Rojas			amchisco99@ucatolica.edu.co	3057641508			
506168	Diana Carolina Restrepo			dcrestrepo68@ucatolica.edu.co	3124716042			
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	22/07/19	6:00pm	10:00pm				A	Determinacion
2	23/07/19	6:00pm	10:00pm				A	de limites
3	24/07/19	6:00pm	10:00pm				A	ensayo CBR
4	25/07/19	6:00pm	10:00pm				A	ensayo CBR
5	26/07/19	6:00pm	10:00pm				A	ensayo CBR

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Moldes cilindricos	2				
Martillo.	2				
disco separador	2				

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por el personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

 SOLICITANTE 1	 SOLICITANTE 2	SOLICITANTE 3
SOLICITANTE 4	 SOLICITANTE 5	

Fuente. Autoras

Anexo 6. Formatos de laboratorios solicitados

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS

FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)

F 003 U 103 02

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO:
Trabajo de grado

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506100	Ana Maria Chisco Rojas	amchisco99@ucatolica	3057641908
506100	Diana Carolina Restrepo	drestrepo68@ucatolica	3124716042

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:

ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽¹⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽²⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽²⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽²⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽²⁾ (HH:MM)		
1	22/07/19	6:00pm	10:00pm				C	Determinación de límites
2	23/07/19	6:00pm	10:00pm				C	ensayo CBR
3	24/07/19	6:00pm	10:00pm				C	ensayo CBR
4	25/07/19	6:00pm	10:00pm				C	ensayo CBR

MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR

	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	
Módos cilindricos	2				
Martillo	2				
Disco separador	2				

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS

FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)

F 003 U 103 02

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO:
"Estado técnico para el mejoramiento del trazado del subte Fúteguaque contemplando los componentes de tránsito, pavimentos, drenaje geométrico y presupuesto"
Trabajo de grado

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506100	Ana Maria Chisco Rojas	amchisco99@ucatolica	3057641908
506100	Diana Carolina Restrepo	drestrepo68@ucatolica	3124716042

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:

ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽¹⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽²⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽²⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽²⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽²⁾ (HH:MM)		
1	29/07/19	6:00pm	10:00pm				A	ensayo de límite Plactor
2	30/07/19	3:00pm	5:00pm				C	CBR
3	31/07/19	6:00pm	10:00pm				C	CBR
4	1/08/19	4:00pm	8:00pm				C	CBR

MATERIALES/EQUIPOS/ INSUMOS A USAR

	UND	CANT	A CARGO:		OBSERVACIONES
			LAB	USU	

(1) Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
(2) A) Mecánica de suelos. B) Concreto. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica.

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por el personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

Ana Maria CR.
SOLICITANTE 1

Diana Carolina Restrepo
SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 3

Ana Maria CR.
SOLICITANTE 1

Diana Carolina Restrepo
SOLICITANTE 2

SOLICITANTE 3

SOLICITANTE 4

[Signature]
SOLICITANTE 5

Fuente. Autoras

Anexo 7. Cronograma de ensayos en el laboratorio.

CRONOGRAMA DE ENSAYOS CON MUESTRAS DE SUELO				
Ensayos que se pueden realizar en la Universidad				
ENSAYOS EN EL LABORATORIO				
ENSAYO		EQUIPO	DURACION	FECHA
E-123	ANALISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO	Juego de tamices ASTM, Balanza , cepillo, horno	2 horas para cada muestra	17-jul-19
				18-jul-19
E-125	DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS	copa de casagrande, ranurador, espátula , recipientes, balanza	3 horas por cada muestra	19-jul-19
				22-jul-19
E-126	LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS	Espátula, capsula de porcelana, Horno , balanza , tamiz #40, agua destilada , vidrio grueso esmerilado	3 horas por cada muestra	23-jul-19
				24-jul-19
E-141 y 142	RELACIONES DE HUMEDAD, MASA UNITARIA SECA EN LOS SUELOS (ENSAYO NORMAL DE COMPACTACIÓN PROCTOR)	molde, horno , pisones manuales, tamices, espátula, balanza, recipientes, probeta , cuchara y brocha	3 horas por cada muestra	25-jul-19
				26-jul-19
E-148	RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO)	prensa, moldes , disco espaciador, martillos de compactacion , aparato medidor de expansion, entre otros	4 horas por cada muestra	30-jul-19
				31-jul-19
TOTAL HORAS REQUERIDAS				
60 horas * Aproximadamente				

Fuente. Autoras

Anexo 8. Carta de compromiso de proyecto social.

24 de marzo del 2019

JUNTA DE ACCIÓN COMUNAL
Veredas San Rafael y San Miguel
Municipio de Sibaté Cundinamarca

ASUNTO: INCONFORMIDAD CON EL ACTUAL ESTADO DE LA VIA SIBATE-FUSAGASUGA

Los habitantes de las veredas San Rafael y San Miguel, municipio de Sibaté Cundinamarca, presenta inconformidad por el grave estado en el que se encuentra la única vía de acceso que tienen con las cabeceras municipales de Sibaté y Fusagasugá, así como las demás comunidades aledañas en la parte sur del corredor vial.

Actualmente la carretera presenta grandes deterioros en el pavimento haciendo casi imposible el tránsito, se han aumentado los índices de accidentalidad por la baja señalización y en algunos sectores la invasión de carriles. En vista de todas estas dificultades la población ha bajado sus índices de economía ya que esta zona es neta mente rural y sus ingresos económicos depende de la agricultura.

Las estudiantes de la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA del programa de Ingeniería civil, DIANA CAROLINA RESTREPO RINCON Y ANA MARIA CHISCO ROJAS, presentan a la comunidad una propuesta para dar solución al estado actual de la vía Sibaté- Fusagasugá; El cual consta de un estudio de transito para realizar los diseños geométricos de un nuevo corredor vial, así como también el diseño de pavimento y el respectivo presupuesto. Todo esto para que la alcaldía municipal logre realizar un estudio de factibilidad y posterior la ejecución de este proyecto.

Por medio de esta junta las comunidades han decidido aceptar dicha propuesta con el compromiso de realizar reuniones periódicas para revisar el avance de dichos diseños, las veredas San Rafael Y San Miguel brindaran apoyo en lo que se requiera para llevar a cabo esta propuesta.

Se anexa copia de acta de compromiso firmada por las estudiantes y la presidenta de la junta de acción comunal.

24 de marzo del 2019

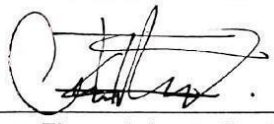
Comunidad vereda San Rafael y San Miguel

Municipio de Sibaté Cundinamarca

CARTA DE COMPROMISO DE PROYECTO SOCIAL

Yo DIANA CAROLINA RESTREPO RINCON Y ANA MARIA CHISCO ROJAS estudiantes del programa de Ingeniería Civil de la UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA, nos comprometemos a realizar la entrega del proyecto social "ESTUDIO TÉCNICO PARA EL MEJORAMIENTO DEL TRAZADO VIAL SIBATÉ – FUSAGASUGÁ CONTEMPLANDO LOS COMPONENTES DE TRANSITO, PAVIMENTOS, DISEÑO GEOMÉTRICO Y PRESUPUESTO" finalizando el semestre 2-2019, así como también a la asistencia a las reuniones planeadas durante la ejecución del proyecto.

Diana Carolina Restrepo R
Nombre del estudiante


Firma del estudiante

Ana María Chisco Rojas
Nombre del estudiante

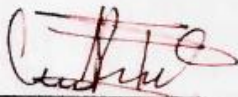

Firma del estudiante


Firma Representante de la Junta
de acción comunal

Firma: Ana Maria Chisco R

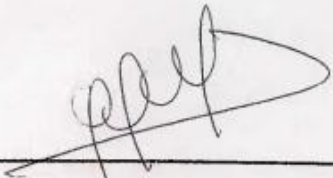
Nombre: **ANA MARIA CHISCO ROJAS**

Código 506199

Firma: 

Nombre: **DIANA CAROLINA RESTREPO RINCON**

Código 506168

Firma: 

Asesor del Trabajo de grado

Nombre: **YELINCA NALENA SALDEÑO MADERO**

FECHA (12/12/2019)