

PRE-DISEÑO ESTRUCTURAL DE PLACA HUELLA Y OBRAS DE ARTE PARA
LA VÍA Terciaria ENTRE FÓMEQUE Y LA VEREDA LAVADERO

LINDA YINED CASTRO GUEVARA

DEISY SABOGAL ROJAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2018

PRE-DISEÑO ESTRUCTURAL DE PLACA HUELLA Y OBRAS DE ARTE PARA
LA VÍA Terciaria ENTRE FÓMEQUE Y LA VEREDA LAVADERO

LINDA YINED CASTRO GUEVARA

DEISY SABOGAL ROJAS

Proyecto de grado para optar al título de

Ingeniero Civil

Director

Prof. Ing. Juan Miguel Sánchez Durán

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D.C.

2018

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Santo Tomás por habernos acogido y permitirnos ser parte de esta familia, así como también a los docentes y personas que hicieron parte de nuestra formación como profesionales.

Nuestro agradecimiento también va dirigido al Ing. Juan Miguel Sánchez Duran, director de la tesis, por habernos brindado la oportunidad de desarrollar este trabajo de grado.

Al Ing. Humberto Benavides por su asesoría en toda la parte de hidrología y al Ing. Hernando Riveros como Par Académico por su tiempo, consejos y conocimientos compartidos

Agradezco en primer lugar a Dios por el privilegio de la vida, por iluminarme todos los días en este proceso y por concederme la dicha de lograr esta meta, sin él nada es posible.

A mis padres quienes han forjado mi camino, por darme la vida, por su apoyo incondicional, por todo su esfuerzo para hacer realidad este sueño, gracias por siempre guiar mi camino y hacer de mí una persona llena de valores, esto no es sólo mío, este triunfo también es de ustedes.

A mi hermano por existir y hacer parte de este logro, gracias por todo su cariño, por estar pendiente siempre de mí.

A mi Novio por hacer parte de mi vida, por su confianza, apoyo incondicional durante toda mi carrera y por su comprensión.

A toda mi familia por estar siempre junto a mí, por toda su ayuda, por depositar su confianza en mí.

LINDA YINED CASTRO GUEVARA

En primera instancia quiero agradecer a Dios por la vida y por cada una de las bendiciones que me regalado.

A mis padres por haberme formado como la persona que soy en la actualidad, porque con su apoyo y cariño incondicional me han enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia puedo cumplir mis sueños.

A mi hermana que de una u otra manera con su amistad y apoyo me ha dado la fuerza para seguir adelante.

DEISY SABOGAL ROJAS

TABLA DE CONTENIDO

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO	12
JUSTIFICACIÓN.....	13
OBJETIVOS.....	15
GENERAL	15
ESPECÍFICOS	15
1. MARCO REFERENCIAL	16
1.1. MARCO HISTÓRICO	16
1.2. MARCO CONCEPTUAL.....	18
1.3. MARCO TEÓRICO	20
1.3.1. Estructura de la Placa Huella.	20
1.3.1.1. Incidencia del clima.	21
1.3.1.2. Pavimento rígido.	22
1.3.1.3. Ensayo de penetración dinámica de cono (P.D.C.).....	24
1.3.1.4. Método de diseño de pavimentos rígidos de la PCA.....	25
1.3.2. Drenaje superficial.....	28
1.3.2.1. Hidrología de drenaje superficial vial	29
□ Características morfométricas de la cuenca	29
□ Método racional.....	30
□ Coeficiente de escorrentía.	31
□ Período de retorno o intervalo de frecuencia	31
□ Intensidad de precipitación.....	32
□ Curvas de intensidad-duración-frecuencia	33
□ Tiempo de concentración	33
1.3.2.2. Obras transversales	36
1.3.2.3. Obras longitudinales	38
1.4. MARCO NORMATIVO.....	41
2. METODOLOGÍA	43

3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO.....	49
3.1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE FÓMEQUE	49
3.1.1. Localización.....	49
3.1.2. Geología.....	50
3.1.3. Usos del Suelo y Actividades Económicas.....	51
3.2. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA VÍA EN ESTUDIO.....	51
3.2.1. Obras de arte	51
3.2.2. Pavimento en afirmado	67
3.2.2.1. Deterioros de la superficie.....	67
3.2.2.2. Deterioros de la estructura.....	70
3.2.3. Obras de Placa-Huella existentes cerca de la zona de estudio	71
4. TRÁNSITO	77
4.1. FACTORES PARA ESTIMAR EL TRÁNSITO DE DISEÑO	77
4.2. AFOROS	80
4.3. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO	80
4.3.1. Tránsito promedio diario semanal.	80
4.3.2. Calculo TPD	81
5. ESTUDIO GEOTÉCNICO	83
5.1. ESTUDIO DE CAMPO.....	83
5.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA SUB-RASANTE	87
6. DISEÑO ESTRUCTURAL	91
6.1. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS EN LOSAS DE PAVIMENTO RÍGIDO	91
6.2. CALCULO DE LA ESTRUCTURA CON LA METODOLOGIA PCA.....	105
6.3. ESTRUCTURA DEFINITIVA.....	108
7. DISEÑO HIDRÁULICO.....	116
7.1. HIDROLOGÍA	116
7.1.1. Precipitación total.	116
7.1.2. Caudales cuencas menores	119
7.1.3. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia	120

7.1.4. Área de drenaje	122
7.1.5. Coeficiente de escorrentía.....	124
7.1.6. Tiempo de concentración	124
7.1.7. Intensidad de precipitación	126
7.2. DISEÑO HIDRAULICO ALCANTARILLA.....	126
7.3. DISEÑO HIDRÁULICO BERMA-CUNETETA	133
8. PRESUPUESTO	137
CONCLUSIONES	139
RECOMENDACIONES	141
BIBLIOGRAFÍA	142
ANEXOS 1	145
ANEXOS 2	148
ANEXOS 3	157
ANEXOS 4	169

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K	26
Imagen 2. Partes principales de una alcantarilla.....	37
Imagen 3. Imagen 3.Curvas I-P-L para pendientes de vía de 8% a 12%	40
Imagen 4. Curvas I-P-L para pendientes de vía de 0.5% a 7%	40
Imagen 5. Plancha topográfica del Municipio de Fómeque	44
Imagen 6. Mapa Político Municipio de Fómeque	49
Imagen 7. Mapa satelital de la vía en estudio.	50
Imagen 8. Perfil Longitudinal de la vía terciaria en estudio.....	50
Imagen 9. Detalle de Alcantarilla	53
Imagen 10. Sistemas de drenaje de una vía.	53
Imagen 11. Clasificación de vehículos.....	77
Imagen 12. Modelo 1 con cargas centro-centro (a), esquina (b) y centro-borde (c).	92
Imagen 13.Modelo 2 Semieje Tandem	93
Imagen 14. Esfuerzo máximo de tensión (MPa) para diferentes posiciones de carga.	101
Imagen 15. Esfuerzos máximos de tensión del modelo 1.....	102
Imagen 16. Tensiones principales en el Top y en el fondo de la losa para diferentes posiciones de carga.	103
Imagen 17. Esfuerzos máximos de tensión del modelo 2.....	104
Imagen 18. Numero De Repeticiones esperadas para el periodo de diseño	105
Imagen 19. Modelo 1	108
Imagen 20. Modelo 2	109
Imagen 21. Planta de Distribución del refuerzo	110
Imagen 22. Corte Transversal.....	111
Imagen 23. Corte Longitudinal	111
Imagen 24. Corte Longitudinal	112
Imagen 25. Corte Transversal Sección en Placa Huella.....	112
Imagen 26. Junta transversal de construcción en la Placa Huella	113
Imagen 27. Corte transversal de la cuneta.	114
Imagen 29. Ubicación de la estación del IDEAM cercana a la zona del proyecto	117
Imagen 30. Precipitación máxima anual histórica en 24 horas	118
Imagen 31. Curva Intensidad-duración-frecuencia para la zona de estudio	122
Imagen 32. Microcuencas de la zona de estudio	123
Imagen 33. Planta de Alcantarilla.	132
Imagen 34. Perfil de Alcantarilla	132
Imagen 35. Sección típica de cuneta triangular	133

Imagen 36. Perfil de la berma cuneta135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de seguridad para diseño PCA	27
Tabla 2. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales	31
Tabla 3. Períodos de retorno para el diseño de obras de drenaje	32
Tabla 4. Constante α de velocidad superficial	35
Tabla 5. Coeficiente de retardo m.....	36
Tabla 6. Formaciones Geológicas	51
Tabla 7. Factor Direccional	78
Tabla 8. Cargas de Patrón y Exponenciales.....	78
Tabla 9. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal	79
Tabla 10. Porcentaje Vehículos obtenidos en el aforo	80
Tabla 11. Parámetros de diseño	81
Tabla 12. Número de ejes equivalentes.....	82
Tabla 13. Localización de apiques.....	83
Tabla 14. Perfil estratigráfico	84
Tabla 15. Humedad natural	85
Tabla 16. Límites de Atterberg y clasificación del suelo según USCS y AASTHO.....	86
Tabla 17. Valores de CBR a partir de las correlaciones con el PDC.	88
Tabla 18. Valor percentil por nivel de tránsito.....	89
Tabla 19. % CBR de diseño de la Sub-rasante.....	90
Tabla 20. Información de la estación del IDEAM cercana a la zona del proyecto.....	117
Tabla 21. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia	120
Tabla 22. Valores de las curvas IDF	121
Tabla 23. Parámetros morfométricos de las microcuencas en estudio	123
Tabla 24. Coeficientes de Escorrentía Hoya Hidrográfica	124
Tabla 25. Valores estimados del tiempo de concentración	125
Tabla 26. Valores de intensidad para diferentes tiempos de retorno.	126
Tabla 27. Relación de caudales para comprobar la capacidad hidráulica de las alcantarillas	130
Tabla 28. Localización de alcantarillas para la zona de estudio.	131
Tabla 29. Presupuesto del proyecto.	138

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las vías terciarias debido a su localización geográfica, superficie de rodadura, diseño geométrico, tránsito, geotecnia, hidrología y otros aspectos, presentan un rápido deterioro a medida que pasa el tiempo, por la falta de un mantenimiento rutinario¹, generando dificultad e inseguridad para las personas que hacen uso diario de ellas.

Actualmente se presenta dificultad en la intercomunicación terrestre de la población rural de la Vereda Lavadero con el Municipio de Fómeque, sobre todo en épocas de invierno, debido a que las vías están en mal estado, con una superficie de rodadura insegura y en algunos casos intransitable, lo que genera dificultad para transportar los productos agrícolas y pecuarios que se producen en el Municipio de Fómeque; además, esta vía terciaria presenta una topografía bastante compleja, ya que existen tramos con pendientes que superan el 20% de desnivel.

Las dificultades persisten porque no han sido atendidos los puntos críticos y en algunos casos los procedimientos de mantenimiento realizados por parte de la administración municipal no cumplen a cabalidad con las normas de calidad, lo que genera una vía con muchas deficiencias.

Por esta razón, se va a generar una alternativa de solución que contribuya a mejorar la calidad y el servicio de la infraestructura vial terciaria, mediante el Pre-diseño estructural de una Placa Huella y las Obras de Arte para la vía terciaria que comunica el Municipio de Fómeque con la Vereda Lavadero, y permitir así el tránsito seguro de los usuarios que hacen uso de esta.

¹ De acuerdo con el “Manual de Diseño Geométrico” Ministerio de Transporte- INVIAS 2008, el mantenimiento rutinario comprende las actividades de remoción de derrumbes, rocería, limpieza de obras de drenaje, reconstrucción de cunetas, reconstrucción de zanjas de coronación, reparación de baches en afirmado y compactación de la superficie.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO

Para llevar a cabo el proyecto en mención se desarrollarán las siguientes etapas:

1. Determinación de las dificultades que se presentan en la vía de estudio, para lo cual se realizara una visita de campo y se creara el diagnostico actual de la misma, señalando la ubicación y los problemas observados.
2. Análisis de los problemas encontrados durante la visita de campo del tramo en estudio y planteamiento de las posibles soluciones para el mejoramiento de la vía.
3. Desarrollo de los estudios de tránsito, hidrológicos, geotécnicos (capacidad de soporte de la subrasante) y geométricos (ancho de la vía, pendiente, ancho de cuneta, etc.) para efectuar el pre-diseño estructural de la Placa Huella y las Obras de Arte de la vía.
4. Presentación de los diseños Propuestos, especificaciones y presupuesto del proyecto.
5. Entrega del proyecto ante la Junta de Acción Comunal de la vereda y la Alcaldía Municipal

JUSTIFICACIÓN

La infraestructura vial del País, es un factor de gran importancia para el desarrollo y la competitividad; es por ello, que las vías con bajos volúmenes de tráfico se deben encontrar siempre en buen estado y en lo posible con una superficie de rodadura competente y duradera, permitiendo a los campesinos transportar los productos del resultado de su actividad agrícola y pecuaria de forma segura, disminuyendo tiempos y costos en los viajes.

En los últimos años se ha evidenciado un detrimento prematuro de la red vial debido a la falta de inversión y mantenimiento en la infraestructura. Un artículo presentado por la Universidad de los Andes², menciona que el mayor porcentaje de vías (67%) corresponden a la red vial de tercer orden, a las cuales no se le atribuye la importancia que merecen, aun cuando estas inciden de manera directa en el desarrollo económico del País.

De acuerdo con lo anterior, en el País se ha desarrollado una técnica para mejorar la superficie de rodadura, denominada Placa Huella, la cual se utiliza para rehabilitar vías terciarias; la función principal de esta estructura es permitir un tránsito seguro evitando que los vehículos patinen en las pendientes, sobre todo en épocas de invierno.

Es por todo esto que con este proyecto se pretende generar un pre-diseño estructural de la Placa Huella y de las obras necesarias de drenaje superficial de la

² Revista de Ingeniería n°45, 2017, 64-71. El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país.

vía terciaria que comunica la Vereda Lavadero con el casco urbano del Municipio de Fómeque, optimizando la seguridad de los usuarios, sus vehículos y su carga cuando hacen uso de esta vía.

Para llevar a cabo este proyecto se tendrán en cuenta las especificaciones y normas técnicas del INVIAS³.

³ INVIAS: Instituto Nacional de Vías

OBJETIVOS

GENERAL

Pre-diseñar la estructura de la Placa Huella y las Obras de Arte para la vía terciaria que une el casco urbano del Municipio de Fómez con la Vereda Lavadero, según el Manual de Diseño de Pavimentos con Placa- Huella (INVIAS 2015).

ESPECÍFICOS

1. Calcular el tránsito promedio diario (TPD) de la vía terciaria que comunica Fómez con la Vereda Lavadero, el día de mercado y un día normal entre semana.
2. Analizar la capacidad de soporte de la sub-rasante de la vía y diseñar la estructura del pavimento con Placa Huella.
3. Diseñar el sistema de drenaje superficial de la vía, analizando las características hidrológicas y geotécnicas del Municipio de Fómez.
4. Presentar los diseños estructurales de la Placa Huella y prototipo de Alcantarilla.
5. Realizar el presupuesto para el proyecto en mención según los diseños propuestos.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. MARCO HISTÓRICO

La interconexión de vías terrestres en Colombia surgió por la necesidad de suplir las insuficiencias sociales, debido al proceso de asentamiento regional que evoluciona en la época. La interconexión entre pequeñas poblaciones o caseríos se facilitó con la provisión de caminos angostos o de herradura. Ello se evidencia en la abundante presencia de caminos existentes desde periodos de pre-conquista, contruidos para resolver problemas de intercambio comercial y desplazamiento humano de carácter coyuntural (González y Alba, 2006).

Las carreteras consideradas como terciarias facilitan el acceso a la vida nacional de las comunidades remotas o aisladas, en su gran mayoría estas vías se encuentran en afirmado.

Durante la primera mitad del siglo XX, la movilización por carretera entre los diferentes centros urbanos era una actividad muy compleja, no sólo por el lento desarrollo de las obras sino además por la gran dispersión a lo largo de todo el territorio (Pachón y Ramírez, 2005). Sólo hasta finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, se inicia una nueva etapa en la historia del desarrollo vial del país con la construcción de nuevas redes de transporte y el mejoramiento de las existentes (Pachón y Ramírez, 2005).

Fueron múltiples los factores que incidieron en el cambio de la dinámica vial en Colombia; dentro de las causas internas se destacó la necesidad de una mayor

movilización hacia los centros de oferta de los bienes y servicios ya que, la distribución vial hasta ese momento se fundamentó en el servicio a los centros de demanda. En cuanto a los factores externos, se destaca el aumento del número de vehículos causado por la recuperación de la economía mundial.

Sólo hacia los años sesenta, se empieza a ver al sistema vial como un instrumento de interconexión regional que permite la integración de los mercados localizados en diferentes zonas del País. De modo que se proyectaron obras encaminadas a conectar las vías regionales existentes a las más importantes troncales del País. Para la siguiente década, la red secundaria y terciaria había evolucionado en forma significativa gracias a los fondos de financiamiento creados para tal fin. Sin embargo, la red primaria no sufrió grandes modificaciones.

Hasta 1960 la gestión de Caminos Vecinales⁴ a nivel nacional estuvo orientada por el Ministerio de Obras Públicas, y a nivel regional por los Departamentos y Municipios, en todos los casos sin mayor coordinación o planificación, aunque siempre hubo conciencia de la importancia de este tipo de vías, ya fuese para colonización, acceso a comunidades en áreas aisladas, o para comunicación intermunicipal.

La conformación de la red terciaria no ha sido homogénea, ya que existen diferentes tipos de especificaciones según la entidad ejecutora y en muy pocos casos se han tenido en cuenta consideraciones ambientalmente sostenibles, lo que ha generado el deterioro de las carreteras terciarias y la carencia de una política para mantener y conservar la red vial regional en buen estado, (CONPES, 2016).

⁴ Fondo Nacional de caminos vecinales (FNCV), fue creado por el decreto 1650 de 1960 por el Ministro de Obras Públicas, con el fin de promover la construcción, mejoramiento y conservación de los caminos vecinales o de índole regional.

1.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Aforo vehicular. (INVIAS, 2015).** Tiene por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o a una intersección en un determinado tiempo.
- **Alcantarilla. (INVIAS, 2009).** Es una estructura subterránea ubicada transversalmente a la vía que tiene como finalidad evacuar las aguas lluvias, las alcantarillas vienen protegidas en la parte superior y se presentan de varias formas (rectangular, cuadrada, circular).
- **Berma. (DURAVIA VI).** La finalidad de esta estructura es proveer soporte de borde a la calzada del pavimento, asistencia a los vehículos en problemas, incrementar la seguridad y prevenir la erosión de las capas inferiores.
- **Cuneta. (INVIAS, 2015).** Es una estructura de drenaje que capta las aguas de escorrentía superficial proveniente de la rodadura de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición.
- **Escorrentía. (INVIAS, 2009).** Agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno.
- **Obras de drenaje (INVIAS 2009).** Es el conjunto de obras que permiten un manejo adecuado de los fluidos, para la cual es indispensable considerar los procesos de captación, conducción, y evacuación de los mismos.

- **Pendiente transversal (Zea, Ortiz, Zamudio, 2009).** Inclinação que sirve para el bombeo normal y hace que el agua drene hacia los costados y evita que el agua se acumule en la mitad.
- **Placa Huella (INVIAS, 2015).** Es un elemento estructural utilizado en las vías terciarias, que tiene la finalidad de mejorar el tránsito vehicular en terrenos que están en mal estado, con dificultad de tránsito; esta estructura es recomendada para vías con pendientes que superen el 10%.
- **Riostra (INVIAS, 2015).** Es una viga transversal de concreto reforzado en la que su acero de refuerzo se entrecruza con el acero de refuerzo de la Placa Huella del módulo anterior y con el acero de refuerzo de la Placa Huella del módulo siguiente.
- **Sub-rasante. (INVIAS, 2015).** Superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.
- **Velocidad de diseño (Zea, Ortiz, Zamudio, 2009).** Se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en un tramo determinado de una vía, cuando las condiciones son tan favorables, que las características geométricas de la vía predominan.
- **Vías Terciarias (INVIAS, 2015).** Son aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus Veredas o que comunican las Veredas entre sí, estas pueden estar en afirmado o capa de rodadura.

1.3. MARCO TEÓRICO

Una vía es cualquier espacio de dominio común por donde transitan los peatones o circulan los vehículos y se clasifican según su funcionalidad y el tipo de terreno; la clasificación de las carreteras según su funcionalidad la cual se determina según la necesidad operacional de la carretera o de los intereses de la nación son:

- Primarias
- Secundarias
- Terciarias

En Colombia la red de tercer orden o veredal, cuenta con 154.200 Km incluidos cerca de 12.500 Km que incluyen caminos privados⁵, los cuales están bajo la gestión de los Departamentos, Distritos y Municipios. Las vías terciarias en su mayoría son angostas, presentan grandes pendientes y los volúmenes de tráfico, en promedio son 30 vehículos al día (Ospina G, 2016).

Las vías terciarias siempre han jugado un papel importante en todos los planes de rehabilitación social y económica que se han llevado a cabo en las zonas de conflicto y violencia en el País, de igual manera son estas las que permiten que todos los productos agrícolas y pecuarios de estas regiones lleguen hasta las ciudades y satisfagan las necesidades de las personas que habitan allí. (Ospina G, 2017),

1.3.1. Estructura de la Placa Huella. La Placa Huella es una placa en concreto reforzado dispuesta en el suelo y con una separación en piedra fija dentro del

⁵ Revista de Ingeniería n°45, 2017, 64-71. El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país.

concreto. Una Placa Huella es una construcción resistente al paso vehicular ligero y pesado, esta requiere de especificaciones precisas de grosor según la calidad del material para asegurar su correcto funcionamiento, estabilidad y durabilidad.

Para el diseño de la Placa Huella se considera la realización de una serie de estudios y diseños relacionados con la ingeniería, específicamente, topográficos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, que servirán para determinar las obras necesarias para la atención de puntos críticos, la sostenibilidad integral de las obras y su duración en el tiempo. (Manual de drenajes para carreteras, 2009)

La Placa Huella es viable para vías terciarias con pendientes superiores al 10% y vías que tienen inconvenientes de transitabilidad cómoda y segura, ya que son estructuras de buena calidad y se pueden ejecutar a un bajo costo a largo plazo, además son estructuras que permite tener vías transitables durante cualquier época del año y no se incurre en elevados costos de mantenimiento.

La afectación de la vía o deterioro, regularmente está asociada a la ausencia de un buen sistema de drenaje superficial, problemas en la estabilización de taludes y/o condiciones geológicas del terreno; de igual forma es necesario tener en cuenta que la técnica de Placa Huella está diseñada para vías donde el tránsito de vehículos con dimensiones y peso no sean superiores a las del Camión de tres ejes (C3).

1.3.1.1. Incidencia del clima. La temperatura y la precipitación pluvial son dos variables climáticas que ejercen influencia en el comportamiento de los pavimentos.

La temperatura influye especialmente en las losas de concreto produciendo esfuerzos por alabeo⁶ que son consecuencia de gradientes térmicos, dado que el acero de refuerzo de la Placa-Huella absorbe estos esfuerzos la caracterización de la temperatura en la zona del proyecto es irrelevante. (Manual de Placa Huella, 2015).

Al contrario de la temperatura la caracterización de la precipitación es de especial importancia ya que se requiere para el dimensionamiento y localización de las obras de drenaje encargadas de evacuar las aguas lluvias o de cualquier otra índole que puedan acceder a la vía. (Manual de Placa Huella, 2015).

1.3.1.2. Pavimento rígido. Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub-base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante (AASHTO 93).

Elementos que conforman el pavimento rígido:

Sub-rasante

La Sub-rasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre

⁶ El alabeo es la distorsión que sufre una losa tomando una forma curvada hacia arriba o hacia abajo encorvando sus bordes.

mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. La respuesta de la sub-rasante ante las cargas del tránsito depende de los tipos de suelo que la constituyen y de la densidad y la humedad de ellos, tanto durante la construcción como durante el servicio (Sanchez, 2009).

Para realizar el diseño estructural de una Placa Huella es necesario revisar a partir del estudio de suelos, la capacidad portante de la sub-rasante. El resultado del CBR⁷ debe ser superior al 3%, es decir, suelos cuya capacidad de soporte de la sub-rasante puede oscilar entre una clasificación de pobre a muy buena. En el caso de que el CBR <3% se debe efectuar una estabilización a la sub-rasante (Manual de Placa Huella, 2015).

Sub-base granular

Es la capa inferior a la capa de rodadura; es un material especificado y con un espesor de diseño que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito.

La superficie de apoyo de material granular (sub base) de la Placa Huella, debe estar nivelada y compactada, como mínimo al noventa y cinco por ciento (95%), teniendo en cuenta el ensayo de compactación Próctor Modificado (I.N.V. E 142), previa la corrección que se requiera por presencia de partículas gruesas, según lo establece la norma INV E-228 (Manual de Placa Huella, 2015).

Losa

⁷ **CBR** (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California); es un ensayo que mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo para evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos.

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla (Contreras & Muñoz, 2015).

1.3.1.3. Ensayo de penetración dinámica de cono (P.D.C.). La penetración medida es una función de la resistencia al corte “in situ” de los materiales y el perfil en profundidad, da una indicación de las propiedades de los materiales de todas las capas de la estructura hasta una profundidad de auscultación determinada.

El instrumento P.D.C., mide la penetración por golpe a través de las distintas capas componentes de un pavimento. Esta penetración es función de la resistencia al corte “in situ” de los materiales del paquete estructural. El perfil en profundidad brinda, por lo tanto, una indicación de las propiedades en el lugar de los materiales de los diferentes estratos componentes en las condiciones reales en que éstos se encuentran en el momento del ensayo.

Alternativas de uso del P.D.C.

Entre los usos del ensayo se puede destacar (Osorio y Casas, 2011):

- Campaña de reconocimiento rápido del terreno.
- Verificación de la eficiencia de los equipos de compactación utilizados en obra.
- Detección e identificación de anomalías en alguna o algunas de las capas una vez construidas.
- Seguimiento del comportamiento estructural del camino y análisis de la influencia de las solicitaciones (tránsito y clima).
- Determinar el C.B.R. de la Sub-rasante.

1.3.1.4. Método de diseño de pavimentos rígidos de la PCA. El método de diseño de la Portland Cement Association, es un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto hidráulico y está reglamentado por el manual de diseño de la PCA (Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements) edición 1984.

Consideraciones básicas del diseño

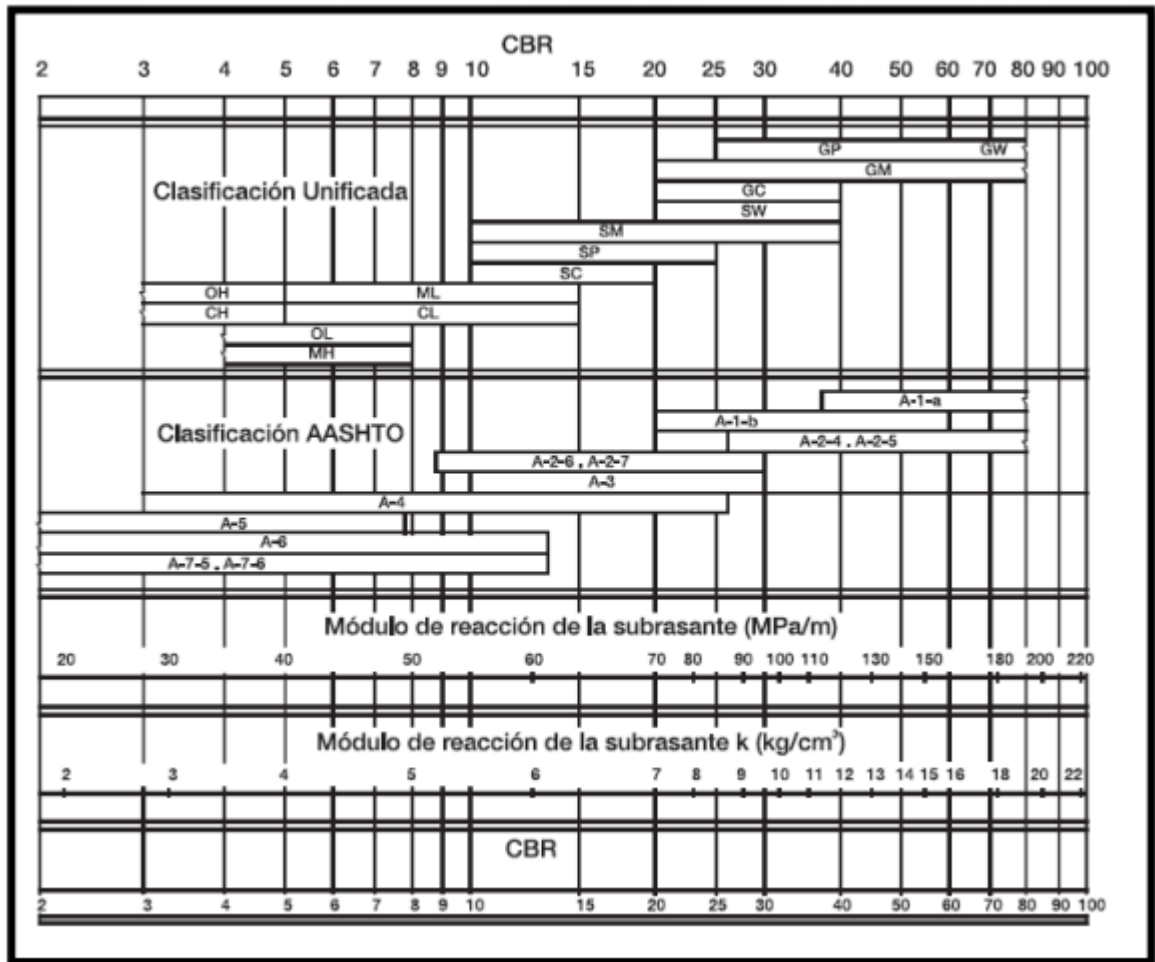
El diseño de espesores se realiza basados principalmente en cinco aspectos:

1. Resistencia a la flexión del concreto, (Modulo de Ruptura, MR).
2. Soporte de la sub-rasante, o de la combinación de sub-base y sub-rasante, (K).
3. Periodo de diseño.
4. Los pesos, frecuencias, y tipo de tráfico pesado que el pavimento soportará.
5. Factor de seguridad para las cargas, (FS).

Módulo de reacción de la sub-rasante K

La capacidad de soporte de la sub-rasante se cuantifica por medio de un parámetro llamado “Modulo de reacción” conocido también como “coeficiente de balasto” y se representa convencionalmente con la letra K (Higuera, 2011).

Imagen 1. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K



Fuente. INVIAS. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Colombia, 2008. P. 77.

Periodo de diseño

La vida útil de un pavimento rígido depende de las deficiencias que éste sufre, por lo general si no presenta es de hasta más de 40 años, pero para aquellos que tienen deficiencias por diseño o por construcción el periodo de diseño es menor de 20 años éste último siendo el más utilizado comúnmente (Duran & Salas, 2017).

Proyección de tránsito

Para determinar la proyección del tránsito se presenta la siguiente expresión.

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

Dónde: n: Periodo de diseño (años)

r: Tasa de crecimiento anual del tránsito (%).

Factores de seguridad de carga

La Portland Cement Association exige que sean mayores las cargas reales esperadas, esto se logra multiplicando las cargas por un factor de seguridad de carga (Fsc), donde se recomienda los siguientes valores según la condición:

Tabla 1. Factores de seguridad para diseño PCA

Tipo de Carretera	Factor de Seguridad
Carreteras con alto volumen de tráfico, sin interrupción	1,2
Carreteras y calles principales con tránsito pesado moderado	1,1
Caminos locales, calles residenciales y otros con poco tránsito pesado	1,0

Fuente: Guía de diseño y la construcción de pavimentos rígidos.

Análisis por fatiga

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

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

La sumatoria de todos los consumos de fatiga nunca deberá ser mayor al 100% (Higuera, 2011).

Análisis por erosión

Este análisis depende de las siguientes condiciones:

- a. Pavimento sin berma de concreto:
- b. Pavimento con berma de concreto.

Las ventajas de construir una Placa Huella son las siguientes:

- Disminución en los tiempos de viaje.
- Menor costo que un pavimento rígido común.
- Durabilidad, solución durable en el tiempo.
- Facilidad para el mantenimiento y menores costos.
- Trabaja mejor que en el afirmado, en lugares con altas pendientes y problemas de erosión o lluvias fuertes.
- Elimina las emisiones de polvo y barro, que ocasiona el afirmado.

Por ser un procedimiento relativamente nuevo en Colombia, la Placa Huella tiene ciertas limitaciones como:

- Mayor costo inicial, en relación con otras soluciones.
- Dificultad para consecución de materiales de calidad en zonas alejadas.
- Se debe tener mayores controles en el procedimiento constructivo.

1.3.2. Drenaje superficial. Para el diseño de un buen drenaje superficial es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones (Drenaje para carreteras, 2009).

- El agua no debe circular en cantidades excesivas por la superficie de rodadura formando charcos o baches.
- Evitar que el agua de las cunetas humedezca los terraplenes originando asentamientos en la corona de la vía.
- Impedir que el agua de los arroyos sea remansada por los terraplenes con el peligro de erosión y arrastre de sedimentos.

1.3.2.1. Hidrología de drenaje superficial vial. Los estudios hidrológicos previos al estudio hidráulico no solo deben brindar información sobre el área de drenaje y caudal a evacuar por cada obra típica, sino que además deben proporcionar la ubicación exacta y el caudal para el periodo de retorno escogido de cada una de las corrientes de agua que crucen el trazado de la vía.

Existen diversos modelos lluvia – escorrentía, pero se han utilizado ampliamente en la aplicación de la ingeniería dos métodos; El primero es el método racional, el cual se utiliza en un área de drenaje máxima igual a 2.5 km². El segundo es el método del hidrograma de escorrentía superficial, utilizado para áreas de drenaje entre 2.5 km² y 20 km² (Drenajes para carreteras, 2009).

- Características morfométricas de la cuenca. El análisis de la información cartográfica por medio del modelo de elevación digital y el uso de las herramientas para el manejo de sistemas de información geográfica SIG, son esenciales para realizar la delimitación de las cuencas asociadas a las corrientes de agua que atraviesan el eje de la vía y encontrar sus parámetros morfométricos. Los parámetros morfométricos de la cuenca, tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. A continuación, se presentan algunos de ellos (Vélez, Botero, Parra, Aristizabal & Marulanda, 2013).

Área de la cuenca: Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio.

Pendiente media de la cuenca: Es el índice que representa la pendiente media de las trayectorias que sigue el agua que escurre por las laderas hacia el río. La pendiente media se da en porcentaje o en m/m.

Longitud de la corriente o cauce principal: corresponde a la distancia horizontal entre el punto más aguas abajo y el punto más aguas arriba del cauce principal.

Pendiente de la corriente principal: es el índice que representa el desarrollo del perfil del cauce principal. Esta característica contribuye a definir la velocidad de la escorrentía superficial de la corriente de agua. La pendiente se da en porcentaje o en m/m.

- Método racional. El método racional es un modelo empírico simple que puede utilizarse para el diseño de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias de cuencas con áreas menores a 2.5 km².

Este método calcula el caudal pico de aguas lluvias utilizando la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de impermeabilidad. El caudal medido a la salida de esta cuenca pequeña durante un período de lluvia uniforme debe incrementarse hasta un valor máximo que se mantiene constante hasta que se detenga la lluvia.

$$Q = C * i * A \quad (3)$$

Donde: Q : Caudal pico de aguas lluvias (l/s).

C : Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria (adimensional).

i : Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (l/s.ha).

A : Área tributaria de drenaje (ha).

- Coeficiente de escorrentía. El coeficiente de escorrentía (C), representa la fracción de agua del total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo (Ibáñez, 2011). Su valor depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su intensidad y distribución en el tiempo, de la humedad inicial del suelo, del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente, entre otros.

Tabla 2. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales

TOPOGRAFÍA Y	ARENOSO	ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

Fuente: Manual de drenaje de carreteras, INVIAS 2009

- Período de retorno o intervalo de frecuencia. Se define como periodo de retorno T de eventos hidrológicos máximos en obras de drenaje vial, el tiempo promedio, expresado en años, en que el valor del caudal pico de una creciente

determinada es igualado o superado una vez. El periodo de retorno T está ligado a la probabilidad de una distribución probabilística:

$$T = \frac{1}{P(x \geq xi)} = \frac{1}{1 - P(x \leq xi)} \quad (4)$$

Tabla 3. Períodos de retorno para el diseño de obras de drenaje

Obras de drenaje vial	Tr
Drenaje superficial	2
Cunetas	5
Zanjas de coronación	10
Estructuras de caída	10
Alcantarillas de 0.9m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10m)	25
Puentes de luz igual a 10m y menor a 50m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50m	100

Fuente: Manual de drenaje de carreteras, INVIAS 2009.

- Intensidad de precipitación. La intensidad es la tasa de lluvia en milímetros por intervalo de tiempo para una cuenca, la cual se selecciona con base en la duración de la lluvia de diseño. El Instituto Nacional de Vías en el Manual de drenajes para carreteras, plantea que esta lluvia tiene una duración igual al tiempo de concentración (T_c) de la cuenca, si T_c es menor a 15 minutos entonces la duración de la lluvia de diseño será igual a 15 minutos.

Generalmente, las intensidades se obtienen a partir de curvas IDF creadas para la estación más cercana a la zona de estudio, pero cuando no se cuenta con la información necesaria para elaborar estas gráficas, es necesario utilizar metodologías alternas.

- Curvas de intensidad-duración-frecuencia. Las curvas (IDF) constituyen la base climatológica para la estimación de los caudales de diseño. Estas curvas sintetizan las características de los eventos extremos máximos de precipitación de una determinada zona y definen la intensidad media de lluvia para diferentes duraciones de eventos de precipitación con períodos de retorno específicos (RAS 2000).

El Manual de drenaje de carreteras del INVIAS 2009 recomienda la utilización de la precipitación máxima promedio anual en 24 horas para calcular las curvas IDF aplicando la expresión que a continuación se indica:

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{\frac{t^c}{60}} \quad (5)$$

Donde: i : Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).

T : Periodo de retorno, en años.

M : Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual.

t : Duración de la lluvia, en minutos (min)

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

- Tiempo de concentración. El mínimo período de tiempo para alcanzar el caudal máximo a la salida de la cuenca se conoce como el tiempo de concentración. Este también se puede interpretar como el tiempo que se demora el agua en llegar a la salida de la cuenca desde el punto más alejado (RAS, 2000).

En general, el tiempo de entrada depende de la longitud, la pendiente promedio y la naturaleza de la cuenca, así como de la intensidad del evento de precipitación. A continuación, se presentan algunos métodos propuestos por el RAS 2000 – Titulo D para calcular el Tiempo de concentración:

a. Ecuación de la Administración Federal de Aviación (del inglés Federal Aviation Administration) de los Estados Unidos.

$$T_c = \frac{0.707 * (1.1 - C) * L^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

Donde: T_c : Tiempo de entrada (min).

C : Coeficiente de impermeabilidad (adimensional).

L : Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).

S : Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red.

b. Ecuación del Soil Conservation Service (SCS).

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USA Soil Conservation Service, SCS), actualmente conocido como el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (US Natural Resources Conservation Service, NRCS) desarrolló la siguiente ecuación con el fin de calcular el tiempo de viaje como función de la velocidad media de la escorrentía superficial sobre el área de drenaje y la longitud del recorrido a través de la superficie del terreno.

$$T_c = \frac{L}{60 * v_s} \quad (7)$$

Donde: T_c : Tiempo de entrada (min).

L : Longitud máxima de flujo de escorrentía superficial (m).

v_s : Velocidad media de esorrentía superficial (m/s).

La velocidad media de esorrentía superficial puede estimarse con la siguiente expresión:

$$v_s = \alpha * \sqrt{S} \quad (8)$$

Donde: v_s : Velocidad media de esorrentía superficial (m/s).

α : Constante que depende del tipo de superficie (adimensional).

S : Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red.

La constante α depende del tipo de suelo que conforma la superficie de esorrentía.

Tabla 4. Constante α de velocidad superficial

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

Fuente: RAS 2000

C. Ecuación de Kerby

$$Tc = 1.44 * \left(\frac{L*m}{\sqrt{S}} \right)^{0.16} \quad (9)$$

Donde: Tc : Tiempo de entrada (min).

L : Longitud máxima de flujo de esorrentía superficial (m).

m : Coeficiente de retardo (adimensional).

S: Pendiente promedio entre el punto más alejado y el punto de entrada a la red.

El coeficiente de retardo, puede ser calculado como función del tipo de la superficie de escorrentía.

Tabla 5. Coeficiente de retardo m

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

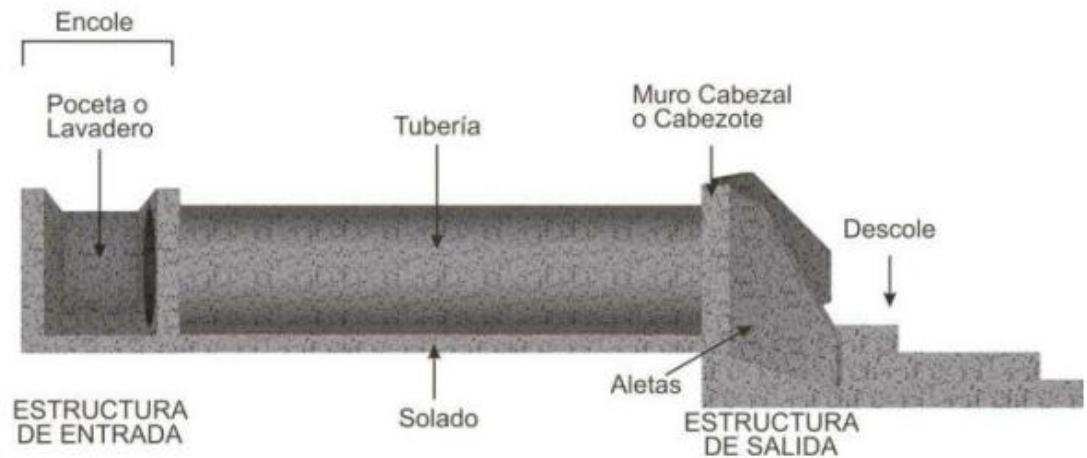
Fuente: RAS 2000

1.3.2.2. Obras transversales. Los sistemas de drenaje transversal están constituidos por elementos que transportan el agua y cruzan el eje de la carretera. Por lo general, el cruce se realiza de manera perpendicular al eje y transportan el aporte de la cuenca que se encuentra aguas arriba de la vía, en dirección aguas abajo. Entre estos se encuentran las alcantarillas (Figueroa, et al., 2008).

Según el manual de drenajes del INVIAS 2009), una alcantarilla es un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía, para permitir el desagüe normal de las corrientes de agua interrumpidas por la infraestructura vial. Incluye, por lo tanto, conductos con cualquier sección geométrica: circulares y alcantarillas de cajón principalmente.

Las alcantarillas están compuestas por las estructuras de entrada y salida, el conducto o tubería de cruce propiamente dicho y las obras complementarias de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla, respectivamente. Las partes principales de esta estructura se pueden observar en la imagen 2.

Imagen 2. Partes principales de una alcantarilla



. Fuente: Figueroa Infante, 2008.

Cuando la alcantarilla se requiere en el cruce de una quebrada, el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS establece que el caudal de diseño es la suma del caudal aportado por la corriente y del caudal que transportan las estructuras aferentes como cunetas, sub-drenajes o bajantes.

En el caso de alcantarillas que solo reciben cunetas, sub-drenajes o bajantes, el caudal de diseño corresponde a los caudales captados por las estructuras aferentes (INVIAS, 2009). Adicionalmente, basados en la topografía de la zona de estudio, es importante establecer la dirección del flujo, para saber si entre las alcantarillas se presenta un cambio de pendiente de los taludes aferente, ya que, si esto sucede el área no drenaría en una sola dirección.

Algunos fenómenos que producen las alcantarillas cuando estas generan concentraciones de agua, son (Suárez, 2001):

- Erosión aguas abajo por chorros concentrados a altas velocidades.
- Sedimentación dentro de la estructura y aguas arriba de ésta.
- Socavación por flujo concentrado si el fondo de la estructura se encuentra descubierto.

1.3.2.3. Obras longitudinales. Para el caso del pavimento con Placa-Huella es necesario recoger las aguas lluvias provenientes de la Placa-Huella en dos bermas-cunetas ubicadas lateralmente a la estructura. Estas bermas-cunetas adicionalmente sirven de confinamiento de la estructura del pavimento y de anclaje a las riostras que sirven de confinamiento. La forma y las dimensiones para la berma-cuneta eventualmente permiten que la rueda de un vehículo pueda circular por ella con seguridad para permitir el adelantamiento de un vehículo liviano y que el agua proveniente de la superficie de rodadura pueda ser canalizada hasta entregarla a un aliviadero o a una alcantarilla.

El caudal que puede transportar la berma-cuneta tipo a sección plena, dada una pendiente longitudinal de la vía, se puede encontrar mediante la aplicación de la ecuación de continuidad y la fórmula de Manning.

$$Q = V * a \quad (10)$$

$$V = \frac{1}{n} * S^{\frac{1}{2}} * R^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

Donde: Q : Caudal que puede transportar la berma-cuneta en m³/ seg.

V : Velocidad del agua que circula por la berma-cuneta, en m / seg.

R : Radio hidráulico en metros

S : Pendiente de la berma-cuneta en tanto por uno, igual a la pendiente de la rasante de la vía.

n : coeficiente de rugosidad de Manning.

a : Área hidráulica de la sección transversal de la berma-cuneta, en m^2 .

- **Radio hidráulico.**

El radio hidráulico, es un parámetro importante para el dimensionamiento de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas.

La siguiente expresión permite calcular el radio hidráulico para tuberías trabajando con sección llena.

$$R = \frac{Am}{Pm} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\pi D} = \frac{D}{4} \quad (12)$$

- **Caudal de demanda dado un espaciamiento entre alcantarillas.**

El diseño hidráulico de las cunetas es similar al de un canal abierto, aunque estrictamente el caudal de la cuneta es variable y aumenta a medida que aumenta su longitud. Para un área tributaria menor a 2.5 Km^2 se puede utilizar el método racional para encontrar el caudal:

$$Q = 0,280 * C * I * A \quad (13)$$

Donde: Q : Caudal de Escorrentía en m^3/seg .

C : Coeficiente de escorrentía

I : Intensidad para un tiempo de concentración (mm/h)

A : Área Aferente o tributaria en Km^2 $A = B * L$

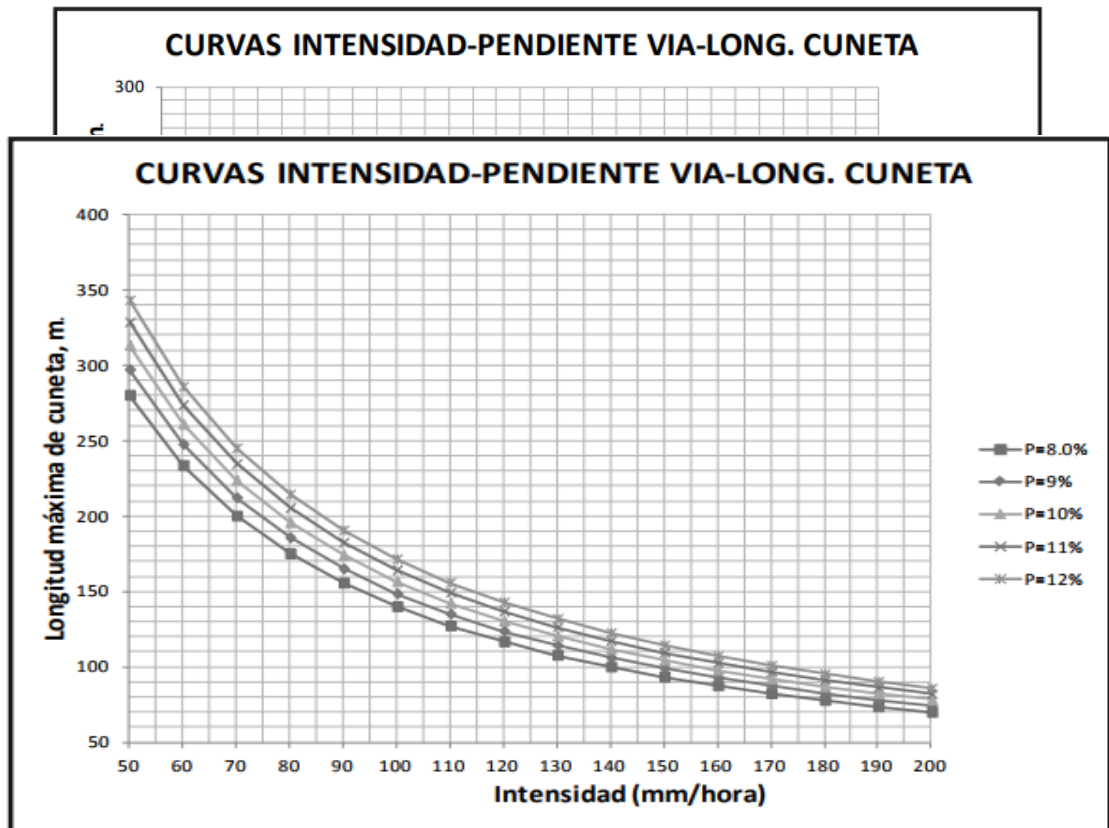
El área aferente para las cunetas está formada por el ancho impluvium (B) y la longitud de la cuneta (L).

Familia de curvas I-P-L. A partir de la Intensidad y la pendiente longitudinal de la vía se puede determinar la longitud máxima de la cuneta de un tramo de vía en estudio.

Imagen 3. Imagen 3. Curvas I-P-L para pendientes de vía de 8% a 12%

Fuente: Guía de diseño de pavimentos con Placa- Huella, INVIAS 2015,

Imagen 4. Curvas I-P-L para pendientes de vía de 0.5% a 7%



Fuente: Guía de diseño de pavimentos con Placa- Huella, INVIAS 2015,

1.4. MARCO NORMATIVO

Para la realización del proyecto se consideran las normas y especificaciones técnicas de diseño de pavimentos con Placa huella y el manual de drenaje para carreteras; a continuación, se presentarán las principales normas que rigen el diseño de La Placa Huella y Obras de Arte para la vía terciaria que comunica Fómez con la Vereda Lavadero.

NORMA	AÑO	DESCRIPCIÓN
I.N.V. E – 172 – 07	2007	Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad.
NORMA	AÑO	DESCRIPCIÓN
I.N.V. E – 122 – 13	2013	Determinación en el laboratorio del contenido de agua (Humedad) de muestras de suelo, roca mezcla de suelo-agregado.

I.N.V. E– 123 –13	2013	Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos.
I.N.V. E– 125 –13	2013	Determinación del límite líquido de los suelos.
I.N.V. E– 126 –13	2013	Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos.
I.N.V. E – 148 – 07	2007	Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio).
Manual de drenaje para carreteras.	2009	Manual para hidrología, hidráulica con aplicación en el diseño y construcción de obras típicas para el drenaje y sub drenaje de carreteras.
Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella	2015	El documento contiene la información y lineamientos necesarios para el diseño de proyectos de pavimentos con placa Huella.

2. METODOLOGÍA

Para llevar a feliz término el desarrollo del proyecto “Pre-diseño estructural de la Placa Huella y Obras de Arte para la vía terciaria que une el casco urbano de Fómez con la Vereda Lavadero” se tendrán en cuenta las siguientes fases.

Fase 1. Planeación del proyecto. En esta fase se analiza la problemática y se plantea la solución según la necesidad que se quiere resolver; para ello se delimita el tema y se elabora: formulación del problema, objetivos, justificación, marco referencial, cronograma y presupuesto.

Fase 2. Desarrollo del Proyecto. En la segunda fase se ejecutan las actividades según el cronograma propuesto en la planeación del proyecto.

Visita a la alcaldía

Realizar una visita a la alcaldía para pedir un apoyo económico para la ejecución de los ensayos o en el caso de que planeación contara con los equipos, existiera la posibilidad de contar con los mismos para llevar a cabo los apiques que se requieren para desarrollar el proyecto.

Solicitud de datos hidrológicos

Mediante la página oficial del IDEAM (www.ideam.gov.co) se realiza la solicitud de información hidrometeorológica de las estaciones que se encuentran más cerca de la zona donde se lleva a cabo el proyecto, tal como temperatura, precipitación anual y diaria.

Consulta de información topográfica

Para recopilar información topográfica de la zona, se busca en el Instituto de Información Geográfica Agustín Codazzi y en la información publicada en la página oficial del municipio.

Imagen 5. Plancha topográfica del Municipio de Fómeque



Fuente: Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Diagnostico actual de la vía

Para identificar los problemas existentes en la vía de estudio se efectuará una visita de campo, para recopilar información mediante un registro fotográfico y analizar los inconvenientes que afectan el tránsito seguro y cómodo de los usuarios.

Aforo vehicular y cálculo TPD

Para realizar el aforo vehicular se tomarán dos días de la semana, el día sábado ya que es el día de mercado del municipio y el día martes ya que es bastante transitado por vehículos que transportan los productos agrícolas hacia el casco urbano.

Con la información recopilada en el aforo vehicular, se procede a determinar cuál es el tránsito promedio diario que transita por la vía de estudio.

Extracción de muestras en campo.

Se realizarán apiques en el terreno cada kilómetro para hacer la caracterización del suelo y después hacer la extracción de la muestra con el anillo de corte para ensayo del CBR, además se efectúa el ensayo del PDC (penetrómetro dinámico de cono), cabe mencionar que para la ejecución de esta actividad se contará con la ayuda de personal capacitado para realizar un buen muestreo.

Ensayos de Laboratorio

Para determinar la capacidad portante de la sub-rasante, se efectuará el ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) con las muestras obtenidas en Campo,

para el desarrollo de este laboratorio es necesario seguir la norma I.N.V-E 148-07 para realizar el ensayo de manera correcta.

Diseño estructural de la placa huella

De acuerdo con la información recopilada del aforo vehicular y con los resultados obtenidos de los ensayos de CBR y PDC, se procede a realizar el diseño de la estructura de la placa huella según los parámetros dados en el manual del INVIAS para el diseño de pavimentos con placa-huella.

Diseño de las obras de arte

Para realizar el diseño de drenaje superficial de la placa huella se tendrán en cuenta la información brindada por el IDEAM de las estaciones hidrometereológicas más cercanas a la zona de influencia del proyecto; luego de analizar la información se procede a desarrollar los requerimientos del manual del INVIAS para las obras de arte.

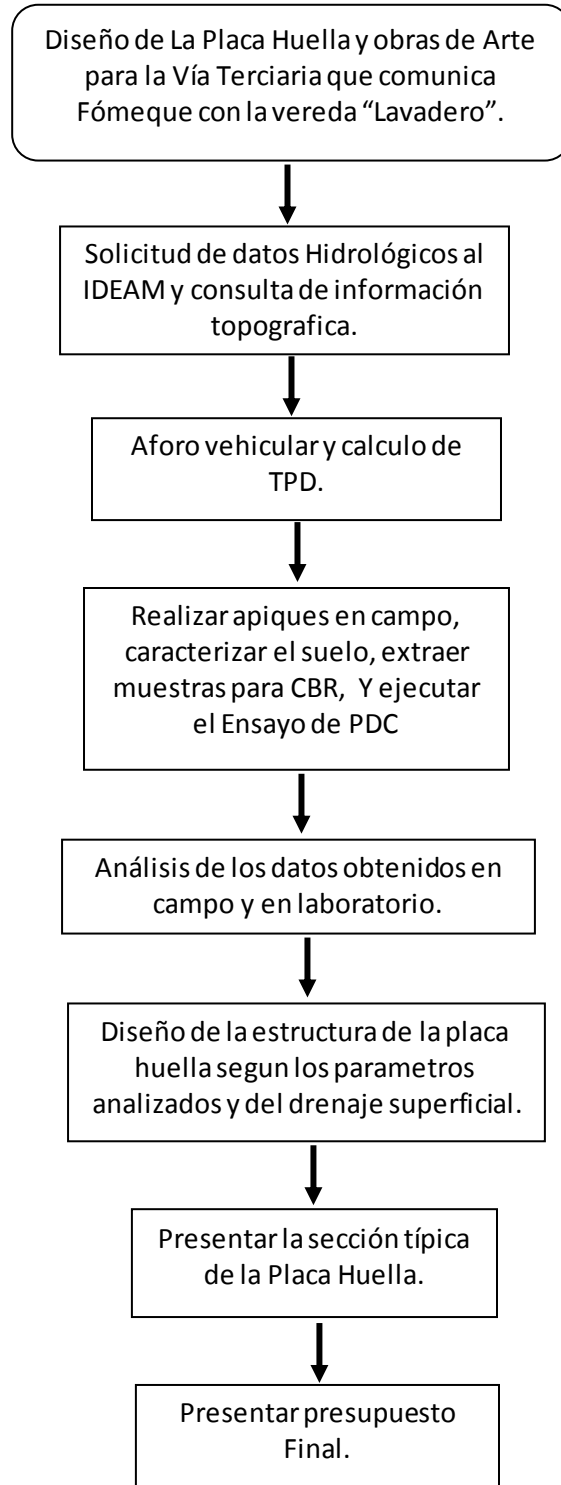
Presentación de la sección típica de la Placa Huella

Una vez desarrollados los ítems de “Diseño estructural de la Placa Huella” y “diseño de las obras de arte” se esquematiza la sección típica de la Placa Huella.

Presupuesto

Por último, se presentará el presupuesto de la Placa Huella con el tipo de estructura diseñado y las obras de arte que este requiere.

Flujograma del proyecto.



3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

3.1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE FÓMEQUE

3.1.1. Localización

El proyecto a desarrollar está ubicado en el Municipio de Fómeque, Cundinamarca, en la provincia de Oriente, a 56 km de Bogotá con una altitud de 1.895 msnm y una población de 12.157 habitantes, de la cual alrededor del 64% es rural. El Municipio cuenta con 32 Veredas.

Imagen 6. Mapa Político Municipio de Fómeque



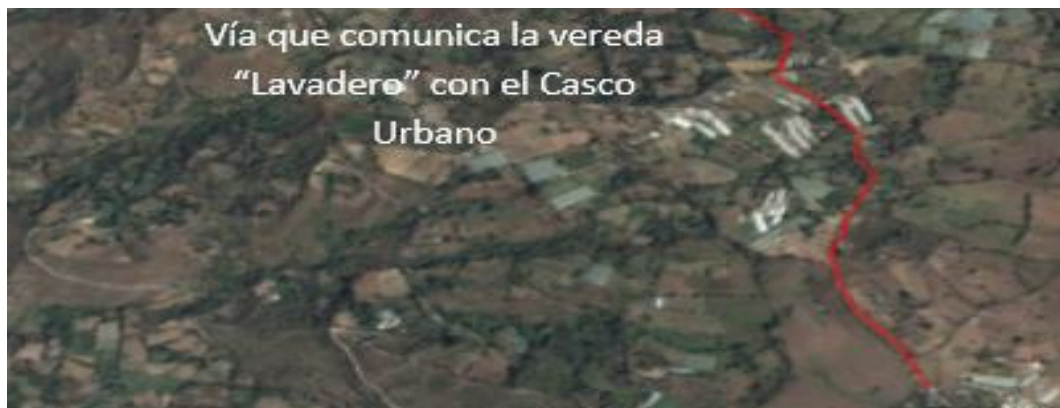
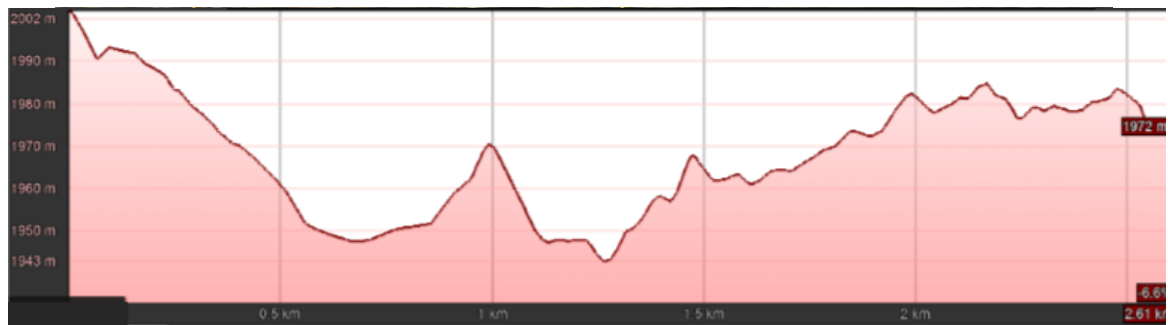
Fuente: Portal web de la Alcaldía de Fómeque.

Lavadero es una Vereda de las más cercanas al casco urbano del Municipio de Fómeque, y por ende la vía que por allí pasa es bastante importante. En la siguiente imagen tomada de Google Earth se observa la zona de estudio elegida para el desarrollo de este proyecto.

Imagen 7. Mapa satelital de la vía en estudio.



Imagen 8. Perfil Longitudinal de la vía terciaria en estudio



Fuente: Google Maps.

Fuente: Google Maps.

3.1.2. Geología.

Fómeque y los demás municipios de la cuenca del Guavio se encuentran en una zona de alta amenaza sísmica. “Estas regiones son atravesadas por numerosas fallas que las convierte en zonas de alta sismicidad, siendo la energía que ellas acumulan y liberan una oferta de la naturaleza que debe considerarse, al igual que los fracturamientos en los materiales terrestres a lo largo de las zonas de falla,

condición que puede favorecer la inestabilidad de amplios sectores. Este fenómeno se manifiesta en los márgenes del río Negro, en inmediaciones del corregimiento de La Unión.

Tabla 6. Formaciones Geológicas

ERA	PERIODO	ÉPOCA	FORMACIÓN	TIPO DE ROCA
Mesozoica	Cretácico	Optiano	Fómeque	• Lutitas negras • Limolitas grises • Arcillolitas limosas • Calizas • Areniscas • Cuarzos

Fuente: Martínez & Romero, 2007

3.1.3. Usos del Suelo y Actividades Económicas.

En la agricultura de Fómeque predomina la horticultura comercial donde sobresalen los cultivos de habichuela, tomate, pepino y maíz. Para la parte pecuaria se observan tanto el cultivo de praderas mejoradas para ganado doble propósito (carne y leche), como pastos de corte, tales como imperial y elefante, que sirven de suplemento en la franja templada con regular manejo técnico, en la zona fría existen gramíneas para el ganado tales como el kikuyo, falsa poa y leguminosas tales como tréboles (rojo y blanco) que alimentan al ganado lechero especialmente, en condiciones semintensivas y con un manejo regular (Rodríguez & Romero, 2007).

3.2. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA VÍA EN ESTUDIO

3.2.1. Obras de arte

El sistema de drenaje de una vía es el conjunto de obras encargadas de conducir las aguas de escorrentía o de flujo superficial, rápido y controladamente hasta su disposición final. De esta manera, se convierten en un soporte importante para el control de la erosión en taludes y la protección de la estructura del pavimento, permitiendo la rápida evacuación del agua, que además de afectar la estructura, afecta la seguridad de los usuarios (Cosanher, 2015).

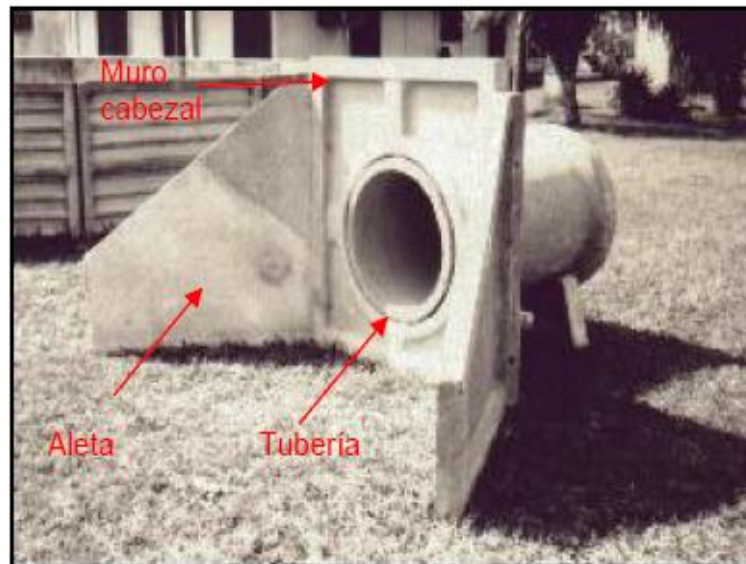
Alcantarillas

Son obras de drenaje perpendiculares al eje de la vía, cuya finalidad es evacuar las aguas de las cunetas longitudinales de un lado del camino; que por alguna razón, no es posible desaguar por ese lado y requieren ser llevadas al lado contrario. Generalmente tienen una sección circular o rectangular. Para su buen funcionamiento estas requieren de un mantenimiento periódico para evitar que se presenten problemas de acumulación de sedimentos los cuales impidan la circulación normal del caudal.

Inspección de alcantarillas

La inspección de alcantarillas permite determinar los daños en los elementos (encole, poceta o lavadero, muro cabezal, aletas, tubería, descole) que la componen, y así establecer las alternativas de reparación adecuadas para reducir o eliminar los daños y causas que los generan.

Imagen 9. Detalle de Alcantarilla



Fuente: Manual

para carreteras INVIAS 2009.

de drenaje

Imagen 10. Sistemas de drenaje de una vía.



Fuente:

de drenaje para carreteras, INVIAS 2009.

Manual

A continuación, se presenta un inventario de las alcantarillas existentes en la vía de estudio, con el fin de establecer el estado hidráulico y determinar si su capacidad de evacuación de caudales es la adecuada.

Alcantarilla N°1



Fotografía 1. No hay una estructura adecuada para la alcantarilla.



Fotografía No. 2. Estancamiento del agua proveniente de las cunetas.

Ubicación: K0 + 350m.

En estas fotografías se puede percibir que esta estructura no se encuentra en funcionamiento debido a que la poceta tiene una gran cantidad de material granular y vegetal acumulado por la falta de mantenimiento periódico, lo que interrumpe la circulación normal de las aguas permanentes, hasta llegar al punto de estanqueidad del agua. Al mismo tiempo la alcantarilla no cuenta con una estructura adecuada según las recomendaciones del manual de drenajes del INVIAS, por lo que es necesario una rehabilitación total de la misma.

Estos inconvenientes en los drenajes afectan de manera directa la estructura de la vía, ya que se pueden producir infiltraciones; además la acumulación de agua puede generar problemas de salubridad en la zona.

Alcantarilla N°2



Fotografía No. 3. No hay estructura de alcantarilla



Fotografía No. 4. Descole obstruido por los escombros y material vegetal.

Ubicación: K0 + 980m.

En esta parte no se encuentra una estructura adecuada para la recolección de estas aguas, ya que apenas se encuentra la tubería por la cual se conducen las aguas, pero no existen aletas para disipar la velocidad, ni el muro cabezal; en el descole apenas se ve una parte de la estructura y se puede ver la falta de mantenimiento de la misma, por esta razón se propone la rehabilitación.

Alcantarilla N°3



Fotografía No. 5. Superficie de la vía inundada



Fotografía No. 6. Se requiere de una alcantarilla

Ubicación: K1 + 335m

En esta parte del tramo se necesita el diseño de una alcantarilla debido a que cuando se presentan precipitaciones, se da una gran acumulación de aguas sobre la superficie de la vía, por falta de una estructura que las recolecte y las disponga de forma adecuada.

Alcantarilla N°4



Fotografía No. 7. Estructura de la alcantarilla



Fotografía No. 8. Purga de un sistema de riego.

Ubicación: K1 + 445m

Esta alcantarilla tiene un diámetro de tubería de 36 pulgadas y cuenta con los elementos requeridos para este tipo de estructuras (muro cabezal, aletas, etc.). Sin embargo, se puede observar la presencia de una purga aguas arriba, la cual pertenece a un sistema de riego que pasa muy cerca, ocasionando un incremento en el caudal medio diario del cauce.

Se recomienda un mantenimiento periódico para retirar material vegetal y los sedimentos acumulados que obstaculizan el paso normal de las aguas.

Alcantarilla N°5



Fotografía No. 9. Alcantarilla cubierta por material vegetal



Fotografía No. 10 Tubería de la alcantarilla totalmente tapada

Ubicación: K1 + 535m

En las fotografías se observa el muro cabezal y la tubería completamente tapada por maleza, tanto en el encole como en el descole; en estos elementos hay pérdida de material del concreto lo que debilita la estructura. Se considera que el deterioro de la estructura es causado por la falta de mantenimiento, y se recomienda la rehabilitación total de la alcantarilla.

Alcantarilla N°6



Fotografía No. 11. Encole de la alcantarilla



Fotografía No. 12. Tubería de encole de la alcantarilla



Fotografía No. 13. Descole de la alcantarilla.

Ubicación: K1 + 630m

La alcantarilla tiene fractura parcial de la tubería, no cumple con el diámetro mínimo requerido por la norma y en la parte del descole se puede ver que la tubería se encuentra tapada por material rocoso y vegetal, además la baja pendiente con la que cuenta esta obra, no es la óptima para inducir el transporte de sedimentos lo que provoca la acumulación de material, perdiendo la poca capacidad de la estructura de transportar el caudal de este cauce.

Alcantarilla N°7



Fotografía No. 14. No hay estructura de alcantarilla



Fotografía No. 15. Descole de la alcantarilla

Ubicación: K1 + 730m

En las fotografías anteriores se puede percibir que NO existe un sistema de recolección de aguas correcto, además los habitantes vierten las aguas por medio de un tubo de diámetro pequeño que no cumple la normativa de una alcantarilla, así que en esta parte del tramo se necesita el diseño de una alcantarilla nueva.

Alcantarilla N°8



Fotografía No. 16. Alcantarilla sin muro
cabezal



Fotografía No. 17. Tubería de encole
de la alcantarilla

Ubicación: K1 + 810m

Esta alcantarilla no posee muro cabezal y aletas, y la tubería existente se encuentra tapada por material vegetal y escombros, lo que genera la acumulación de agua; no presenta estructura de descole, por este motivo es necesaria la rehabilitación de la alcantarilla, ya que permitirá un adecuado manejo de las aguas y proporcionara seguridad a los usuarios que transitan la vía.

Alcantarilla N°9



Fotografía No. 18. Alcantarilla sin muro cabezal



Fotografía No. 19. Descole de la alcantarilla

Ubicación: K1 + 950m

En estas fotografías se infiere que la estructura en la parte del encole presenta un taponamiento por material vegetal, no tiene estructura adecuada, y el tubo recolector esta desportillado en casi todo su perímetro, por ende, esta obra de arte requiere una rehabilitación en la cual se cumplan los parámetros mínimos.

Además, es preciso realizar un buen manejo de las mangueras que captan agua de este canal, ya que en muchas ocasiones perjudican el paso normal del cauce.

Alcantarilla N°10



Fotografía No. 20. Estructura de la alcantarilla



Fotografía No. 21. Alcantarilla con acumulación de material vegetal

Ubicación: K2 + 220m

En las fotografías No. 20 y 21 se encuentra la única estructura que cumple con el diámetro mínimo requerido, y gran parte de los elementos de una alcantarilla, sin embargo, se puede notar que el mantenimiento es casi nulo, por la gran cantidad de material acumulado que se puede observar en la poceta de la estructura, lo que restringe el paso normal del agua.

Alcantarilla N°11



Fotografía No. 22. Alcantarilla fuera de servicio.

Ubicación: K2 + 520m

En la fotografía No. 22 se aprecia que la alcantarilla requiere la rehabilitación total, ya que como se puede observar no hay funcionamiento de la tubería por taponamiento, no cuenta con los elementos necesarios como aletas, estructura de descole y el muro cabecal presenta pérdida de material.

Drenajes inadecuados



Fotografía No. 23. Drenaje incorrecto

En la fotografía N° 23 se puede apreciar que los usuarios que transitan este tramo se ven obligados a realizar pequeñas zanjas que permitan la evacuación del agua estancada sobre la superficie de la vía y guiarlas hasta terrenos privados sin ser recolectadas por una estructura adecuada, después de que se producen precipitaciones de alta intensidad.

Taponamiento del drenaje longitudinal



Fotografía No. 24. Taponamiento de la Cuneta



Fotografía No. 25. Costado de la vía encharcado.



Fotografía No. 26. Agua estancada en la cuneta

Al realizar la inspección del drenaje longitudinal que presenta la vía se puede observar que en gran parte del tramo se encuentra agua estancada, debido al mal estado en el que se encuentran las cunetas, como consecuencia del escaso mantenimiento periódico, y, por otro lado, no existen estructuras adecuadas para encauzar ni evacuar de forma pertinente las aguas producto de la escorrentía o de las actividades propias de la zona.

Asimismo, cuando se presentan precipitación con intensidad fuerte, en varios tramos el agua reboza las cunetas existentes, lo que genera pequeñas inundaciones sobre la vía, deteriorando la superficie existente.

3.2.2. Pavimento en afirmado

Los daños que se presentan en los pavimentos en afirmado afectan considerablemente la funcionalidad, la comodidad y la seguridad de los usuarios que transitan por la vía. A continuación, se presenta los principales inconvenientes en el afirmado en la vía de estudio.

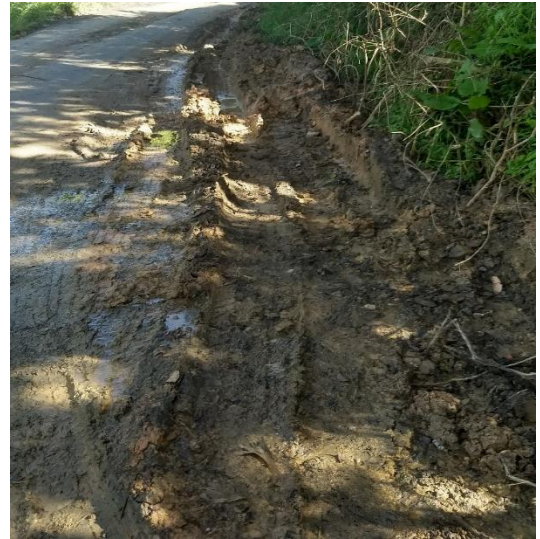
3.2.2.1. Deterioros de la superficie

- Deformaciones

Pérdida de pendiente transversal



Fotografía No. 27.



Fotografía No. 28.

Sección transversal inadecuada, presenta una deformación longitudinal continua a lo largo de las huellas de canalización del tránsito, en casos extremos la sección transversal de la carretera muestra un perfil en forma de W, lo que no permite el flujo de las aguas pluviales, produciendo estancamientos de agua y el reblandecimiento del cuerpo de la calzada.

Este deterioro es causado por el desgaste superficial producido por el tránsito, así como por pérdidas irregulares de grava o asentamientos desiguales del suelo de fundación.

- Desprendimientos

Pérdida de grava



Fotografía No. 29.

La desaparición del material superficial como consecuencia de las agresiones sufridas por el afirmado. Su velocidad de evolución es variable de acuerdo con el clima, los materiales de construcción, el tránsito y la topografía, sin embargo, se acentúa en épocas lluviosas, dificultando un camino transitable. En épocas secas se forman nubes de polvo que reducen la visibilidad y afectan a la comunidad cercanas al tramo.

Cabezas duras



Fotografía No. 30.



Fotografía No. 31.

Son partículas gruesas que sobresalen en la superficie del afirmado, por desprendimiento del material fino alrededor de ellas. Este fenómeno produce discontinuidad en la granulometría de la grava, dando lugar a una pésima calidad del rodamiento y a una drástica disminución en la velocidad de circulación.

Surcos de erosión



Fotografía No. 32.



Fotografía No. 33.

Son paralelos al eje de la calzada y se producen por deficiencias en el drenaje superficial de la vía, afectando principalmente las zonas con fuerte pendiente y baja compactación.

Como se puede observar la gravedad del problema, la cantidad de agua involucrada y la velocidad de los cursos de agua formados tienen una superficie en pésimas condiciones.

3.2.2.2. Deterioros de la estructura

- Deformaciones

Baches



Fotografía No. 34.



Fotografía No. 35.



Fotografía No. 36.



Fotografía No. 37.

Son cavidades o depresiones localizadas de forma más o menos circular, que se hacen más visibles durante el período de lluvia debido a que el agua estancada satura el material superficial y lo hace más vulnerable a la acción del tránsito, obligando a reducir la velocidad. Este tipo de problemas disminuyen el confort y la seguridad de los vehículos.

3.2.3. Obras de Placa-Huella existentes cerca de la zona de estudio

Las fotografías presentadas a continuación contienen los problemas que han evidenciado en las estructuras ejecutadas cerca al tramo de estudio.

Estructura de entrega de aguas



Fotografía No. 38.



Fotografía No. 39.

Las estructuras existentes de Placa-Huella en un tramo cercano, tienen un déficit en los sistemas de recolección de aguas; como se puede apreciar en la fotografía No. 38 No existe una alcantarilla u otro tipo de estructura que se encargue de transportar las aguas provenientes de la berma-cuneta de la placa-huella a un sitio adecuado, sino que las aguas llegan al final de la cuneta y se dispersan sobre la superficie de vía contigua a la placa-huella, y en otros casos forman un cauce al costado de la vía.

Tramos incompletos



Fotografía No. 40.



Fotografía No. 41.

En las fotografías se puede observar que se han ejecutado proyectos incompletos de Placa-Huella, debido a que en tramos con alta pendiente solo se construye una parte de la estructura, lo que ocasiona problemas de transitabilidad y drenaje, ya que la escorrentía circula inadecuadamente sobre la superficie, induciendo a que el agua se infiltre y afecte las capas dispuestas para soportar las cargas del tránsito vehicular.

Drenaje longitudinal



Fotografía No. 42.

Los accesorios dispuestos para evacuar las aguas de las cunetas de la placa-huella existente no cumplen las dimensiones mínimas requeridas, como se puede observar en la fotografía No. 42.

Drenaje transversal



Fotografía No. 44.



Fotografía No. 45.

Como se puede observar en las anteriores fotografías los drenajes transversales diseñados no cumplen los estándares de calidad ni con las secciones mínimas para atender la esorrentía, debido a que la pendiente del tramo es bastante alta lo cual origina que el agua alcance velocidades altas y pase por encima de la rejilla hecha para recolectar la misma.

Grietas en la estructura de la placa-huella

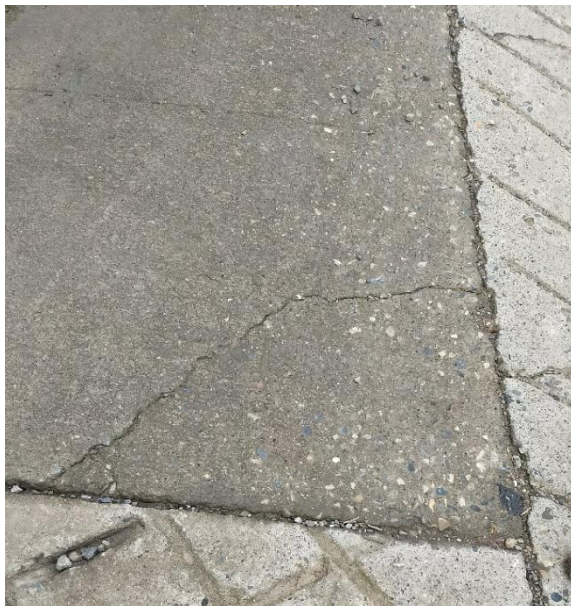


Fotografía No. 43.

Puede estar relacionadas con problemas del concreto y del proceso constructivo, o por los esfuerzos que actúan sobre el concreto, ya que las condiciones geométricas de la vía y la imprudencia de algunos usuarios hacen inevitable que estas estructuras trabajen con esfuerzos que superan su resistencia.

g >10 mm: Se observa un potencial de infiltración importante con material granular y presencia de vegetación.

Grietas de esquina



Fotografía No. 46.

Es un tipo de deterioro que genera un bloque de forma triangular, se presenta en la intercepción de las juntas transversal y longitudinal, formando un ángulo de aproximadamente 45° en la dirección del tránsito.

Las posibles causas de este problema puede ser la falta de apoyo de la losa, originado por la erosión de la base, la sobrecarga en las esquinas y una deficiente transmisión de cargas entre juntas

Grietas transversales



Fotografía No. 47.



Fotografía No. 48.

Fracturamiento de la losa predominantemente perpendicular al eje de la vía, su origen da indicio a la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado; las causas más comunes son: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, deficiencias en la ejecución de éstas y un espesor insuficiente de la losa para soportar las solicitaciones de carga.

4. TRÁNSITO

Para realizar el cálculo del volumen y tránsito promedio diario que transita por la vía Fόμεque-Vereda Lavadero se tomaron dos días de la semana para realizar el aforo vehicular: sábado 7 de octubre del 2017 (día de mercado) y martes 10 de octubre del 2017 (día normal), este conteo se realizó continuamente de 6 a.m. a 10 p.m. totalizando en intervalos de 1 hora.

Para el conteo se consideraron los siguientes tipos de vehículos:

Imagen 11. Clasificación de vehículos

Autos	
Bus	
Busetas	
Camión C2	
Camión C3	

Fuente: Ingeniería de tránsito y transporte (2010).

4.1. FACTORES PARA ESTIMAR EL TRÁNSITO DE DISEÑO

Para el cálculo de ejes acumulados con el eje patrón de 8,2 toneladas y para un período de diseño de veinte (20) años se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Distribución direccional

Para la vía Fómez Vereda Lavadero, se considera que la circulación va en las dos direcciones con un ancho de la calzada crítico de 4 m, lo que da una distribución direccional de uno (1.0)

Tabla 7. Factor Direccional

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

Fuente: Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998.

- Factor camión o factor daño

Para la estimación de los ejes equivalentes se realizó el cálculo teniendo en cuenta la ley de la cuarta potencia utilizando las cargas patrón y exponenciales propuestas por el INVIAS en el Manual de Diseño de pavimentos de concreto.

Tabla 8. Cargas de Patrón y Exponenciales

Eje	Direccional	Sencillo de llanta doble	Tándem	Tridem
Carga patrón (kN)	60.00	81.81	132.14	184
Exponencial	4	4.5	4.2	4.3

Fuente: Manual de Diseño de pavimentos de concreto, INVIAS.

Ley de la cuarta potencia

$$FC = \left[\frac{P_i}{P_r} \right]^n \quad (14)$$

Donde: FC : Factor camión

P_i : Carga por eje considerada

Pr: Carga patrón

n: Exponente

- Tasa de crecimiento anual

Es la rata de crecimiento anual del tráfico de vehículos comerciales, para este proyecto se tomó como referencia el 3% establecido en el manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito de 1998.

- Tránsito atraído

Para establecer el tránsito atraído se aplicó el criterio del Instituto de Ingenieros de Estados Unidos, que señala que al tránsito atraído se le asignan porcentajes entre el 5% y el 25% de tránsito normal; para este proyecto se asume el 10% del tránsito normal.

- Tránsito generado

El cálculo de tránsito generado se efectúa en función del tránsito normal; se determina tomando como referencia la clasificación del potencial de la actividad económica en el área del proyecto y su población beneficiada.

El municipio de Fómeque cuenta con alta producción de avicultura y productos agrícolas como: habichuela, arveja, frijol, tomate, papa, maíz, entre otros.

Tabla 9. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal

Clasificación del área del proyecto	Población beneficiada, hab	Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal
Área con potencial minero alto	Menos de 5000	3.0
	5000 o más	6.0
Área con potencial agrícola alto	Menos de 5000	2.5
	5000 o más	5.5
Área con potencial turístico alto	Menos de 5000	2.0
	5000 o más	3.5
Área de bajo potencial de desarrollo		1.5

Fuente: Ministerio de Transporte, 2010

4.2. AFOROS

Resultados obtenidos del conteo

Tabla 10. Porcentaje Vehículos obtenidos en el aforo

	TPD	A(%)	B(%)	C2P (%)	C2G (%)	C3 (%)
MARTES	339	67,26	0,59	14,75	16,81	0,59
SÁBADO	360	73,89	0,56	14,17	11,39	0,00

Fuente: Propia

4.3. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO

Para la estimación del número de ejes equivalentes para el diseño de la estructura del pavimento (Placa-huella) se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

4.3.1. Tránsito promedio diario semanal.

Cálculo de volumen de vehículos comerciales día en ambas direcciones.

$$TPDS = \frac{Ma*6+Sa*1}{7} \quad (15)$$

Donde: Ma : Número de vehículos comerciales día normal

Sa : Número de vehículos comerciales día mercado

- Parámetros de diseño

Tabla 11. Parámetros de diseño

Período de diseño (años)	20
Tasa de crecimiento anual (r)	3%
Ancho de la calzada Crítico	4,00
Factor direccional (Fd)	1
Confiabilidad	85%

Fuente: Propia.

4.3.2. Calculo TPD

- ❖ Número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

$$N_{80KN \text{ Carril diseño} (normal) Año base} = 365 \left[\sum_{i=1}^k (Veh. comerciales_{día ambas direcciones} * \%V_k * FD_k) \right] \quad (16)$$

Donde: % V_k : Porcentaje de vehículos comerciales.

FD_k : Factor daño

Fd : Factor direccional

- ❖ Número acumulado de ejes equivalentes en el carril de diseño para el período de diseño

$$N_{80KN \text{ Carril diseño} (normal) acum.} = N_{80KN \text{ Carril diseño} (normal) Año base} * \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (17)$$

- ❖ Número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el período de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado.

$$N'_{80KN \text{ Carril diseño} (normal)} = N_{80KN \text{ Carril diseño} (normal) acum.} * (10^{0.05 * Z_r}) \quad (18)$$

- ❖ Número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el período de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado y el tránsito atraído y generado.

$$N_{80KN} = N'_{80kN \text{ Carril diseño} (normal)} + (N'_{80kN \text{ Carril diseño} (normal)} * 0.1) + (N'_{80kN \text{ Carril diseño} (normal)} * 0.025) \quad (19)$$

Tabla 12. Número de ejes equivalentes

Descripción	Total
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño	151.589
Número acumulado de ejes equivalentes en el carril de diseño para el período de diseño	4.073.261
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el período de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado.	4.589.485
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el período de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado y el tránsito atraído y generado.	5.163.170

Fuente: Propia.

5. ESTUDIO GEOTÉCNICO

5.1. ESTUDIO DE CAMPO

Para el desarrollo del proyecto es necesario la caracterización del subsuelo de la zona con el fin de estimar los parámetros de diseño para la ejecución del mismo. Para ello se lleva a cabo una exploración por medio de seis (6) apiques de aproximadamente 1,2 m de profundidad a lo largo del tramo con una distancia promedio entre ellos de 500 m. En los apiques realizados se obtuvieron muestras alteradas y a las cuales se le realizaron ensayos de: Límites de Atterberg, humedad natural y granulometría para la muestra que lo ameritara.

Tabla 13.Localización de apiques

VÍA FOMEQUE - VEREDA LAVADERO		
ABSCISA	APIQUE	PROFUNDIDAD (m)
K0 + 000 (DERECHO)	AP-1	0 - 1,2
K0 + 600 (DERECHO)	AP-2	0 - 1,2
K1 + 100 (DERECHO)	AP-3	0 - 1,2
K1 + 600 (IZQUIERDO)	AP-4	0 - 1,2
K2 + 100 (IZQUIERDO)	AP-5	0 - 1,2
K2 + 600 (DERECHO)	AP-6	0 - 1,2

Fuente: Propia

Los estudios realizados permitieron llegar a encontrar un primer estrato compuesto por un material de relleno de aproximadamente 20 cm.

La subrasante está compuesta por un suelo residual limo inorgánico de baja plasticidad, de color gris y café con vetas habanas, y en promedio se encuentra a una profundidad de 0,75 m.

Tabla 14. Perfil estratigráfico

PROF. (m)	AP-1	AP-2	AP-3	AP-4	AP-5	AP-6
0,00						
0,05						
0,10						
0,15	M-R			M-R	M-R	M-R
0,20						
0,25		M-R				
0,30			M-R			
0,35						
0,40						
0,45						
0,50						
0,55				ML		
0,60	MH					
0,65						
0,70					ML	
0,75						CL
0,80						
0,85		ML				
0,90			ML			
0,95						
1,00	ML					
1,05						
1,10						
1,15						
1,20						

Fuente: Propia

M-R: Material de Relleno.

MH: Limo inorgánico de alta plasticidad.

ML: Limo inorgánico de baja plasticidad.

CL: Arcilla inorgánica de baja plasticidad.

- **Humedad Natural**

El ensayo de humedad natural del suelo se realizó con los parámetros de la norma INV.E-122-07; los resultados mostraron una relación del 13% entre el peso de agua contenido en el suelo y el peso de su fase sólida. En la tabla 12 se encuentran los resultados obtenidos de las muestras alteradas tomadas en campo.

Tabla 15. Humedad natural

Apique No.	Muestra	Profundidad (m)	% Humedad Natural
1	1	0,3 - 0,9	21,70
1	2	0,9 - 1,2	13,40
2	1	0,5 - 1	22,08
2	2	1 - 1,2	10,27
3	1	0,6 - 1,2	9,01
4	1	0,1 - 1,2	10,65
5	1	0,2 - 1,2	14,32
6	1	0,24 - 1,2	8,75

Fuente: Propia

- **Límites de Atterberg**

El desarrollo del ensayo de Límites de Atterberg o límites de consistencia se realizó bajo la norma I.N.V.E-125-07. En la tabla 5 se encuentran la clasificación de la subrasante de acuerdo a la carta de plasticidad de Casagrande, la USCS y AASTHO.

Tabla 16. Límites de Atterberg y clasificación del suelo según USCS y AASTHO.

No. Apique	No. Muestra	Imagen	Profundidad (m)	Descripción	LL	LP	IP	Ret N°10	Ret N°40	Ret N°200	CLASIFICACIÓN	
											USCS	AASTHO
1	1		0,3-0,9	Arcilla café oscura con oxidaciones, raíces y arena fina	54	40,6	13,2	—	—	—	MH	—
1	2		0,9-1,2	Arcillolita café claro con vetas habanas y oxidaciones	37	29,7	7,5	—	—	—	ML	—
2	1		0,5-1	Arcillolita café oscura	42	32,6	9,0	—	—	—	ML	—
2	2		1-1,20	Arcillolita gris oscura con oxidaciones	40	27,9	12,0	—	—	—	ML	—
3	1		0,6-1,20	Arcilla gris oscura con raíces	32	24,2	7,8	—	—	—	ML	—
4	1		0,1-1,00	Arcillolita gris oscura con oxidaciones y vetas habanas	38	26,5	11,3	—	—	—	ML	—
5	1		0,2-1,20	Arcilla rojiza sin cascajo con algo de gravas, vetas y oxidaciones	38	30,8	6,8	—	—	—	ML	—
6	1		0,24- 1,20	Arena arcillosa con gravas café claro	45	28,9	16,3	19,1	12,4	2,5	CL	Arcilla Ligera

Fuente: Propia

5.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA SUB-RASANTE

Para hacer un análisis de las características geo-mecánicas del tramo de estudio se debe tener en cuenta el reconocimiento de campo, la estratigrafía de la zona y los resultados de ensayos de laboratorio, así mismo las condiciones de estabilidad de la vía y los parámetros geotécnicos para el diseño. Uno de estos parámetros es el valor de CBR, ya que brinda información sobre las condiciones existentes del suelo y de esta manera permite dar una solución del proyecto.

Se realizó el cálculo de la resistencia del suelo por medio del equipo de PDC, en los anexos se presentan los datos obtenidos en campo por medio de un cuadro donde se indica la profundidad, golpes realizados, golpes acumulados, índice de penetración. Los ensayos de PDC se realizaron al lado de los sondajes de exploración cada 250 m.

A partir de las correlaciones del PDC para determinar el CBR propuestas por el INVIAS en la norma I.N.V. E-172-07, se calcularon los valores de la capacidad de soporte de la sub-rasante con la siguiente expresión:

$$CBR = \frac{292}{DN^{1.12}} \quad (20)$$

Donde

DN: Índice de penetración.(mm/golpe)

A continuación, se presentan los resultados de CBR obtenidos a partir de las correlaciones con el PDC (Penetró metro dinámico de cono).

Tabla 17. Valores de CBR a partir de las correlaciones con el PDC.

VÍA FOMEQUE - VEREDA LAVADERO		
Apique No.	Localización	CBR (%) obtenido a partir del Penetrómetro dinámico de cono
AP-1	K0 + 000	10,2
AP-2	K0 + 300	10,2
AP-3	K0 + 600	7,9
AP-4	K0 + 850	8,3
AP-5	K1 + 100	6,5
AP-6	K1 + 350	7,9
AP-8	K1 + 850	10,2
AP-9	K2 + 100	9,7
AP-10	K2 + 350	12,2
AP-11	K2 + 600	11,5

Fuente Propia

En resumen, el cambio elevado del índice de penetración durante toda la profundidad ensayada indica un cambio de consistencia, humedad o tipo de suelo lo cual puede ser muy significativo al intentar muestrear todo el estrato como un solo tipo de suelo bajo las mismas condiciones. Esto sucede en los suelos que contienen bajos contenidos de humedad resultan ensayos de CBR in situ demasiados altos, lo contrario sucede cuando el contenido de humedad es alto resultaría un CBR in situ bajo.

Ante el continuo cambio del índice de penetración en toda la profundidad ensayada obliga a tomar uno de los valores más bajos en cada ensayo para determinar la capacidad de soporte de la sub-rasante.

Para determinar el valor representativo de la capacidad de soporte de la unidad homogénea de diseño, se analizaron en conjunto los datos de CBR con el criterio de Percentil estadístico, variable con el número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

- **Percentil estadístico:** El número de ejes equivalentes calculado en el capítulo de análisis de tránsito para el presente proyecto es de 4.561.828, lo que indica un percentil de 87.5% según la Tabla 15.

Tabla 18. Valor percentil por nivel de tránsito

Número de ejes de 8.2 T. en el carril de diseño	Valor percentil para determinar el CBR de diseño
$<10^4$	60%
10^4-10^6	75%
$>10^6$	87,5%

Fuente: Instituto del Asfalto, 1991

- **Desviación estándar de los valores de CBR**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (CBR - CBRi)^2}{n-1}} \quad (21)$$

Donde: $CBRi$: valor de cada ensayo de CBR (%)

n : numero de valores de CBR

CBR : Valor medio de los valores de CBR (%)

- **Desviación estándar normal (Z).**

Para un nivel de confianza del 87.5% el valor de la desviación estándar es de 1.15.

- **CBR de diseño**

$$CBR_{diseño} = CBR - (Z * \sigma) \quad (22)$$

A continuación, se presenta el % CBR de diseño para el proyecto.

Tabla 19. % CBR de diseño de la Sub-rasante

Promedio	9,5
Desviación Estándar	1,77
Percentil	87,5%
Zr	-1,15
CBRd (%)	7,4

Fuente: Propia.

6. DISEÑO ESTRUCTURAL

6.1. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS EN LOSAS DE PAVIMENTO RÍGIDO

El cálculo de los esfuerzos y deformaciones se llevó a cabo mediante elementos finitos tridimensionales, colocando la carga sobre la posición que genera el máximo esfuerzo de tensión en el concreto, para ello se utilizó el programa **EverFE 2.24**.

EVERFE es una herramienta de análisis de elementos finitos 3D para pavimentos rígidos, desarrollado en la Universidad de Washington en cooperación con el Departamento de Transporte de Washington. En la actualidad, EVERFE es el programa finito 3D más sofisticado y fácil de usar, con elementos específicamente desarrollados para el análisis de pavimento rígido. El programa cuenta con una interfaz gráfica de usuario intuitiva que simplifica en gran medida la generación de modelos.

A continuación, se presentarán los modelos de prueba evaluados en el proyecto; en estos se realizó una configuración de una losa para analizar los esfuerzos que se generan en las losas de la Placa Huella cuando pasan diferentes tipos de ejes vehiculares.

El análisis de los esfuerzos se tendrá en cuenta la consideración propuesta en la guía de diseño de Placa Huella del INVIAS la cual menciona que “En pavimentos de Placa Huella cada una de las huellas soporta un lado del eje, por lo que para efectos de la modelación se considera una distribución de 50% del peso total del eje en cada huella”.

Para determinar el módulo de reacción de la sub-rasante se realizó una correlación con el valor del CBR calculado anteriormente (7.4%); según lo mencionado del

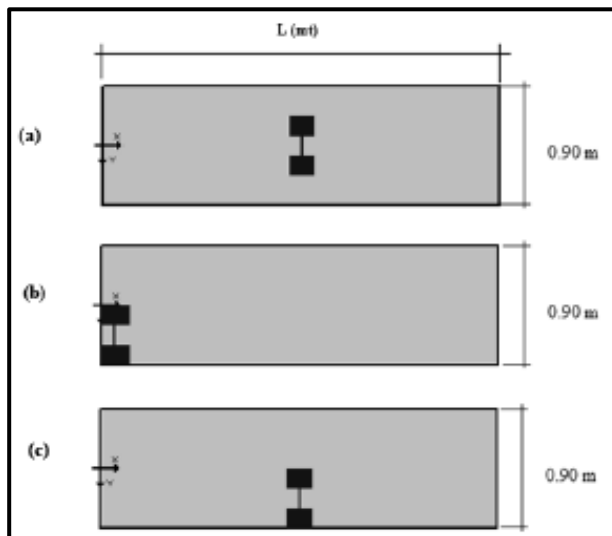
método PCA en el capítulo el valor de K para la sub-rasante en estudio es de 49 MPa/m.

Modelo 1

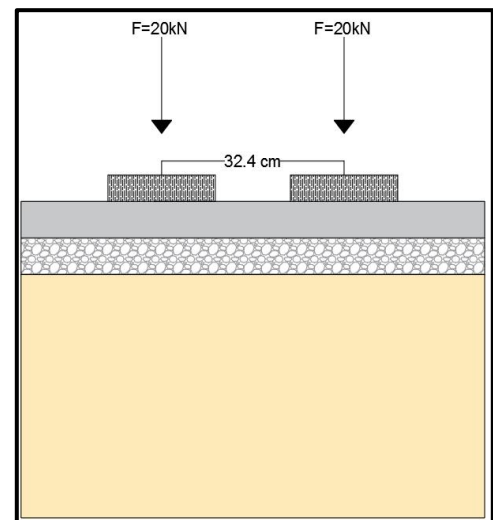
Es una placa-huella de concreto de 0.9 m de ancho, longitud variable entre 1.0 m y 2.0 m, y espesor variable entre 0.15 m y 0.20 m, la placa-huella estaba soportada sobre una capa granular de 0.15 m de espesor con módulo de 200 MPa, apoyada sobre la sub-rasante con módulo resiliente de 24.1 MPa. La carga utilizada en este modelo fue un semieje simple de rueda doble de 40 kN (Correspondiente a un eje estándar de 80 kN), con separación entre ruedas de 0.324 m, la cual se ubicó en diferentes posiciones; Centro-Centro, Centro-Borde y Esquina (Imagen).

Imagen 12. Modelo 1 con cargas centro-centro (a), esquina (b) y centro-borde (c).

Fuente: Guía de diseño de Placa Huella INVIAS



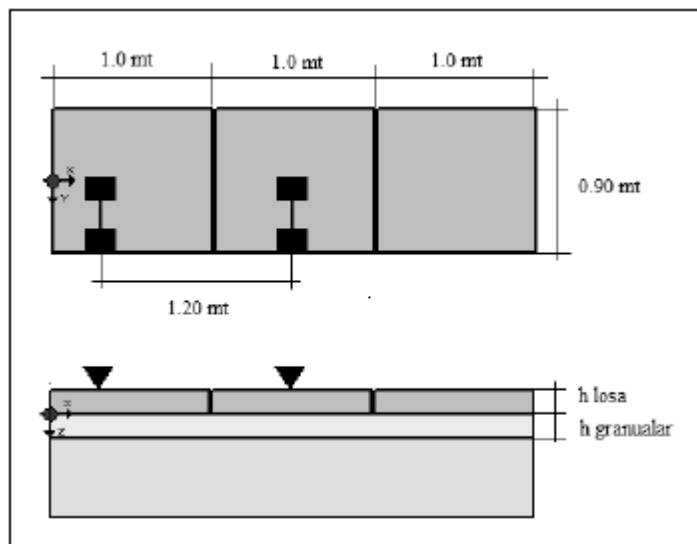
Fuente: Propia



Modelo 2

Este modelo consistió en evaluar tres Placa Huella de concreto de 0.9 m de ancho y 1 m de longitud unidas mediante trabazón de agregados con un semieje tándem de 100 kN, 50 kN en cada rueda doble del semieje del tándem, con uno de los ejes del tándem ubicado en la posición centro – borde de la placa central que resultó ser la más crítica y en otro eje del tándem en la placa adyacente para diferentes espesores de placas.

Imagen 13. Modelo 2 Semieje Tandem



Fuente: Guía de diseño de Placa Huella INVIAS

Descripción del programa Everfe

- GEOMETRÍA

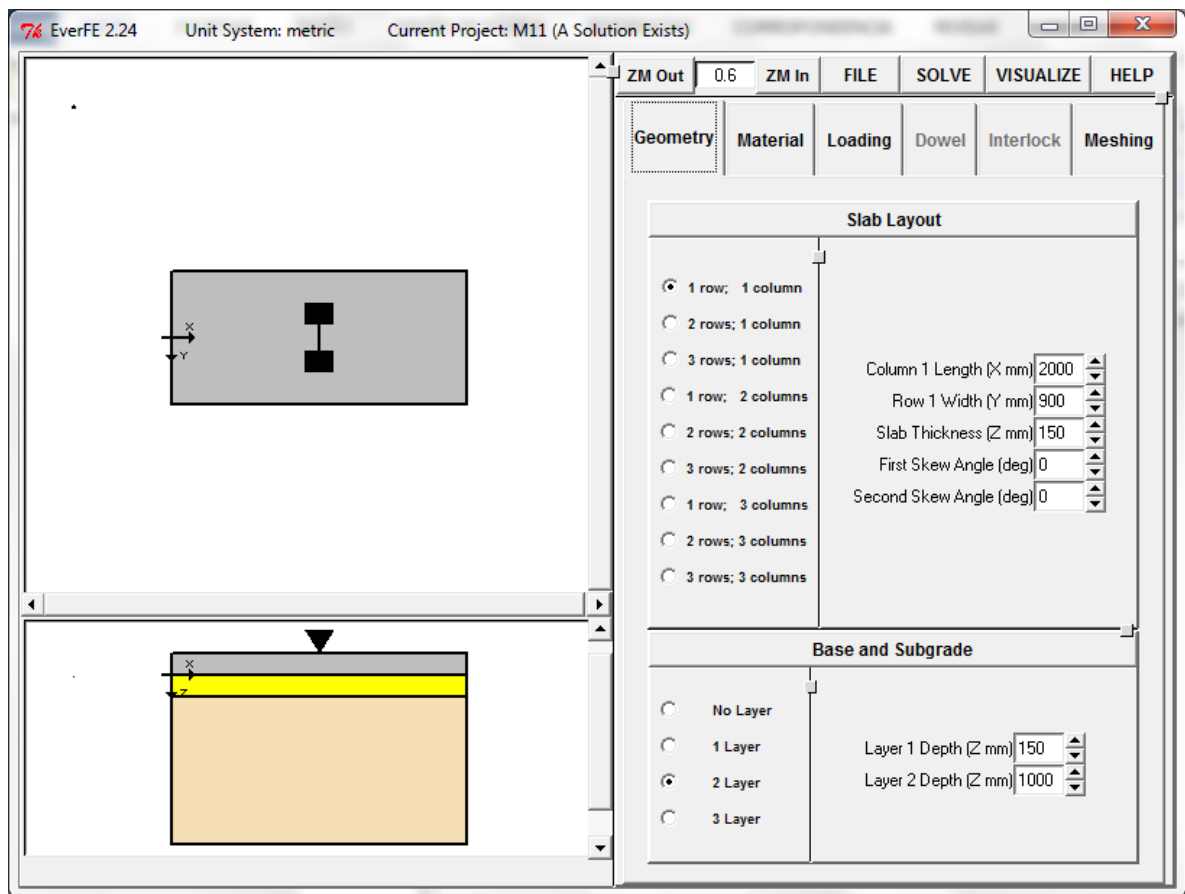
El panel de la geometría permite la especificación de la dimensión básica del sistema de pavimento rígido, y se divide en dos sub-paneles: en las losas de diseño y en las capas de base y sub-rasante.

La geometría del sistema se refleja inmediatamente en la planta y en elevación que se muestra en la parte izquierda del panel de entrada de EverFE.

Las casillas de control a la izquierda del cuadro secundario (Slab Layout) se utilizan para seleccionar el número de filas y columnas en cada modelo. Los cuadros de entrada a la derecha del sub-panel permiten la especificación detallada de las dimensiones de la losa (longitud, ancho, espesor y ángulo de inclinación). La anchura (dimensión y) de cada fila de losas se supone constante, como es la longitud (dimensión x) de cada columna de las losas.

El origen del sistema de coordenadas empleado por EverFE siempre se muestra en la vista en planta y elevación, y está situado en el borde izquierdo de la losa y en la parte inferior de la losa. En el eje y es positivo hacia abajo, y en las coordenadas del eje z la parte superior del espesor de las losas es negativo.

Para hacer el análisis se realizaron pruebas para distintas dimensiones de losas; estas tienen una superficie geométrica rectangular y una longitud de 100 cm, 150 cm y 200 cm con un espesor que varía entre 15 cm y 20 cm.



- PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

El panel material controla la especificación de las propiedades de los materiales para las losas de concreto, dovelas, capas de base, la fundación líquida densa, y la interfaz de losa-base.

El programa trata a las losas como sólidos linealmente elásticos, en él se debe especificar el módulo de elasticidad (E), la relación de Poisson (ν), el coeficiente de expansión térmica (α), y la densidad de la losa.

➤ Losa de concreto

Los parámetros utilizados para modelar la losa de concreto fueron:

Módulo de elasticidad (E): 21000 MPa

Coeficiente de poisson (ν): 0.15

Coeficiente de expansión térmica (α): 1.1×10^{-5}

Densidad de la losa: 2400 kg/m³

Para el caso de los pavimentos en placa-huella, que son para vías rurales y que generalmente se construyen con concreto hecho en obra, resulta conveniente manejar un valor bajo de MR, es decir, tener un factor de seguridad para reducir el máximo esfuerzo admisible antes de que el pavimento se fisure por carga última, de esta manera se utilizó un módulo de ruptura de 3.0 MPa.

Para ingresar el módulo de elasticidad en el programa Everfe 2.24 fue necesario tomar el módulo de rotura y hacer una conversión de unidades, luego multiplicarlo por un coeficiente 6750 el cual permite obtener el módulo de elasticidad con las unidades que utiliza el programa.

➤ Base granular

Los parámetros utilizados para modelar la Base granular fueron:

Módulo de elasticidad (E): 200 MPa

Coeficiente de poisson (ν): 0.35

Densidad de la losa: 1700 kg/m³

La densidad de cada capa el programa establece de forma predeterminada que es cero por no tener influencia en el resultado.

➤ Sub-rasante

Los parámetros utilizados para modelar la Sub-rasante fueron:

Módulo de elasticidad (E): 24.1 MPa

Coeficiente de poisson (ν): 0.45

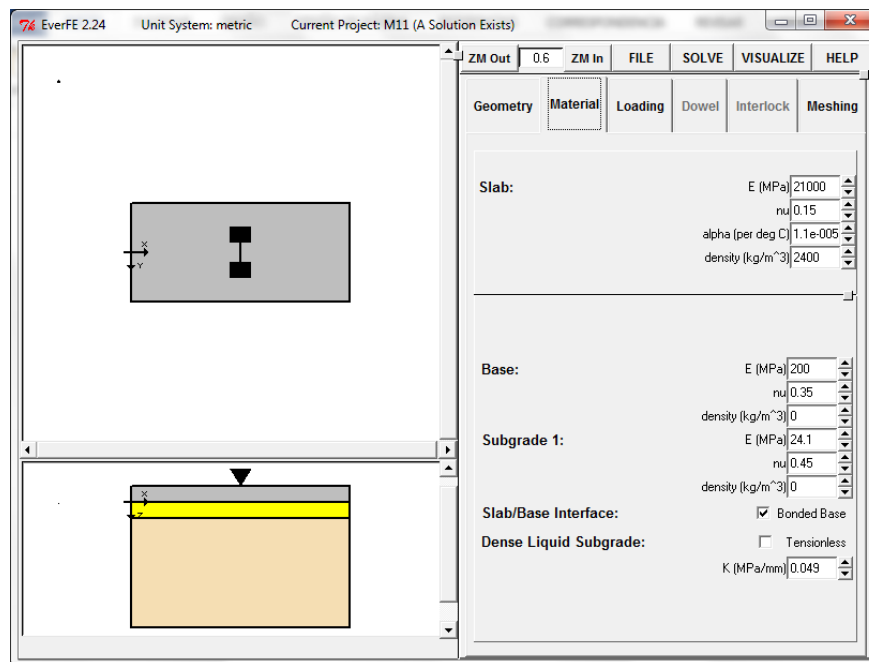
Densidad de la losa: 1700 kg/m³

➤ Interfaz Base/Losa

Si se incluyen una o más capas de base por debajo de la losa, el programa permite definir la interacción entre la losa y la base, lo que puede afectar en gran medida los resultados del modelo. Por defecto, la interfaz está unida, es decir, un contacto perfecto se mantiene en la interfaz entre la parte inferior de la losa y la parte superior de la base y es lo que utilizaremos en nuestro diseño.

➤ Fundación liquida (sub-rasante)

Esta capa se utiliza el usual “valor k” usado en el diseño de pavimento rígido, y tiene unidades de MPa/m. Utilizaremos un valor de 0.049 Mpa/mm.



- CARGAS POR EJE Y GRADIENTE DE TEMPERATURA

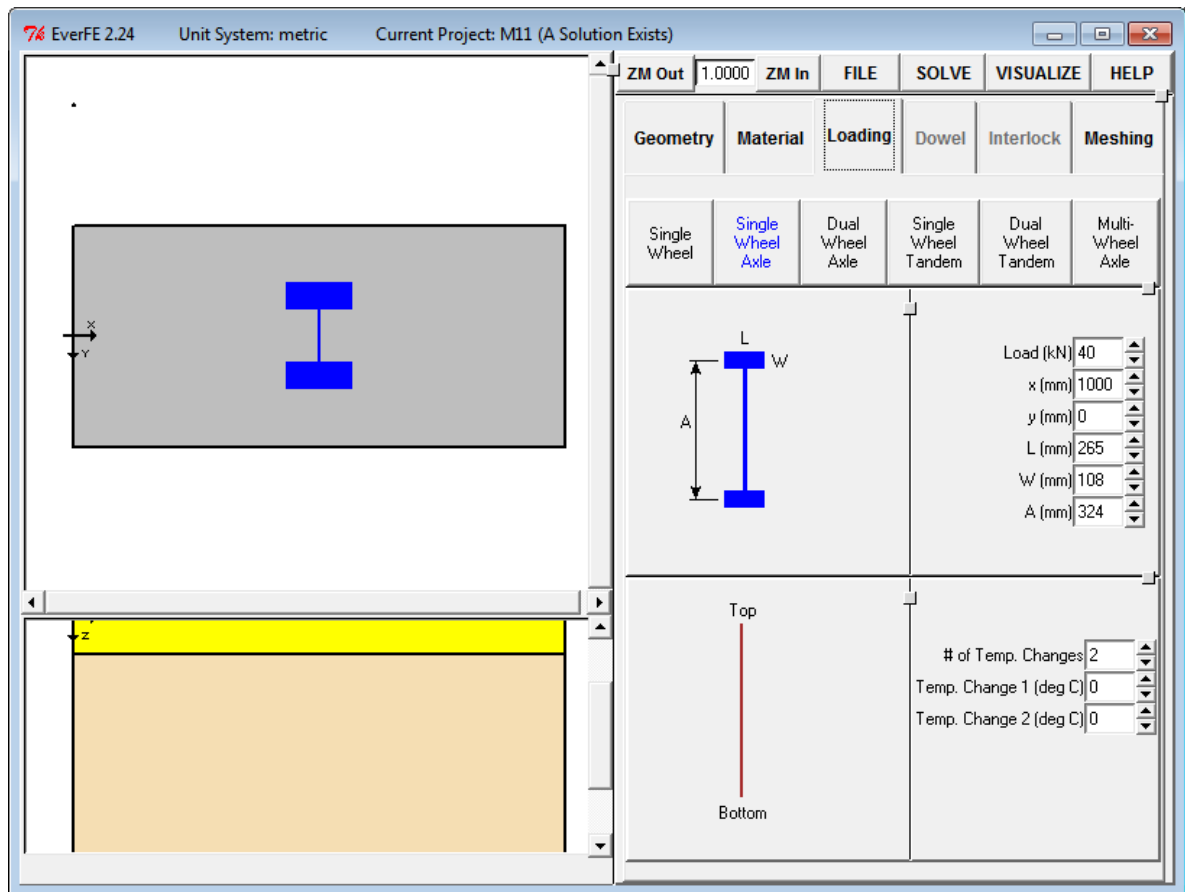
- Especificación de las cargas por eje

Las cargas para un eje se crean haciendo clic en cualquiera de los seis botones en la parte superior del panel de carga. Cuando se crea una carga, un gráfico aparece en el panel de carga que muestra la magnitud de la carga y de la geometría del eje de rueda. Luego se introducen los valores deseados para todos los parámetros geométricos en las unidades apropiadas. Los valores dados son las distancias desde el modelo de origen de coordenadas hasta el centro de gravedad del eje.

A	324 mm
L	265
W	108 mm
Carga total	40 KN

- Los efectos térmicos

Lineal, bilineal y trilineal son las distribuciones térmicas que se pueden especificar en EverFE. Esto se logra especificando el rango de temperatura. El esfuerzo en cualquier punto se calcula como el producto del coeficiente de expansión térmica y el cambio de temperatura en ese punto. Para la realización del proyecto NO tendremos en cuenta el gradiente de temperatura.



- TRABAZÓN DE AGREGADO

EverFE tiene dos opciones básicas para especificar el comportamiento de trabazón de agregado en las juntas transversales: un modelo lineal, y un modelo no lineal; el modelo por defecto es lineal.

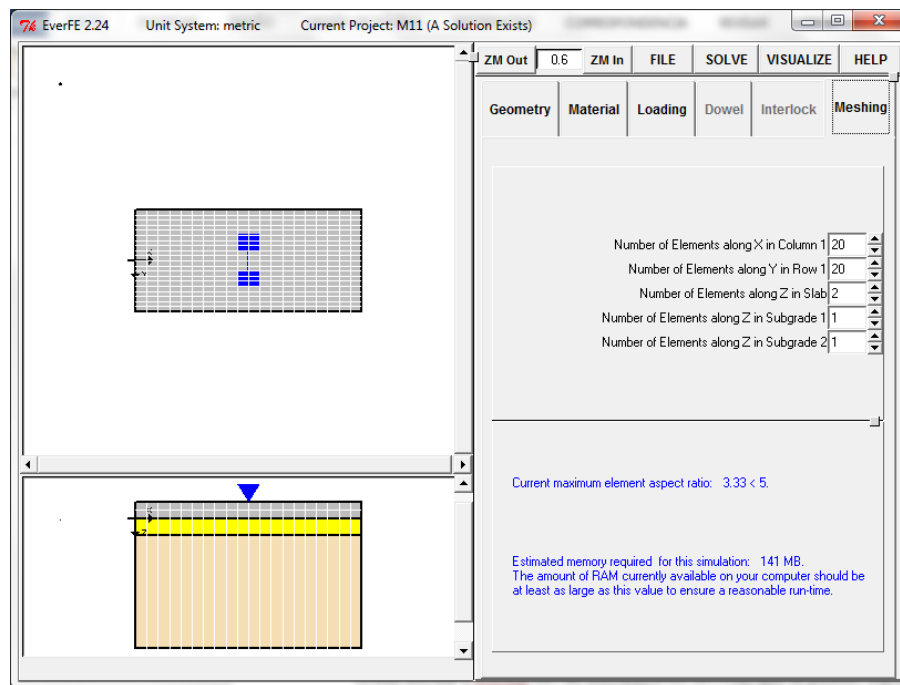
- Modelo lineal de trabazón de agregados

Seleccionar el modelo de trabazón de agregados lineal requiere que se especifique un valor único para la rigidez de juntas, parámetro que se aplica para cada junta transversal en el modelo de elementos finitos. Además, se debe especificar una abertura de la junta independiente para cada junta transversal en el modelo (apertura entre la Columna 1 y Columna 2; Apertura entre la Columna 2 y columna

3). Los valores que ocuparemos para rigidez en la junta es el valor predeterminado de cero y la apertura de las juntas será de 0.5 mm.

- MALLADO

El mallado estará en función de que tan detallado se requiere el análisis. Para el proyecto en desarrollo emplearemos número de divisiones de elementos en cada fila y columna de 20.



- RESULTADOS DEL PROGRAMA

EverFE permite la obtención de tensiones previstos en cualquier punto de la losa y la base, por medio de resultados para los puntos (Results for Points) del menú Visualización.

Para ver las tensiones en otros planos dentro de la losa, el programa brinda la opción de cambiar el plano horizontal a cualquier valor entre 3 (la parte inferior) y 7 (la parte superior) de la losa.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

Modelo 1

En el modelo 1 se evaluaron Placas Huellas de diferentes longitudes y espesores, con carga en tres posiciones diferentes (Centro-Centro, Centro-Borde y Esquina). A continuación se presenta la Tabla que muestra los resultados de los máximos esfuerzos de tensión obtenidos para las longitudes y espesores de placa evaluados.

Imagen 14. Esfuerzo máximo de tensión (MPa) para diferentes posiciones de carga.

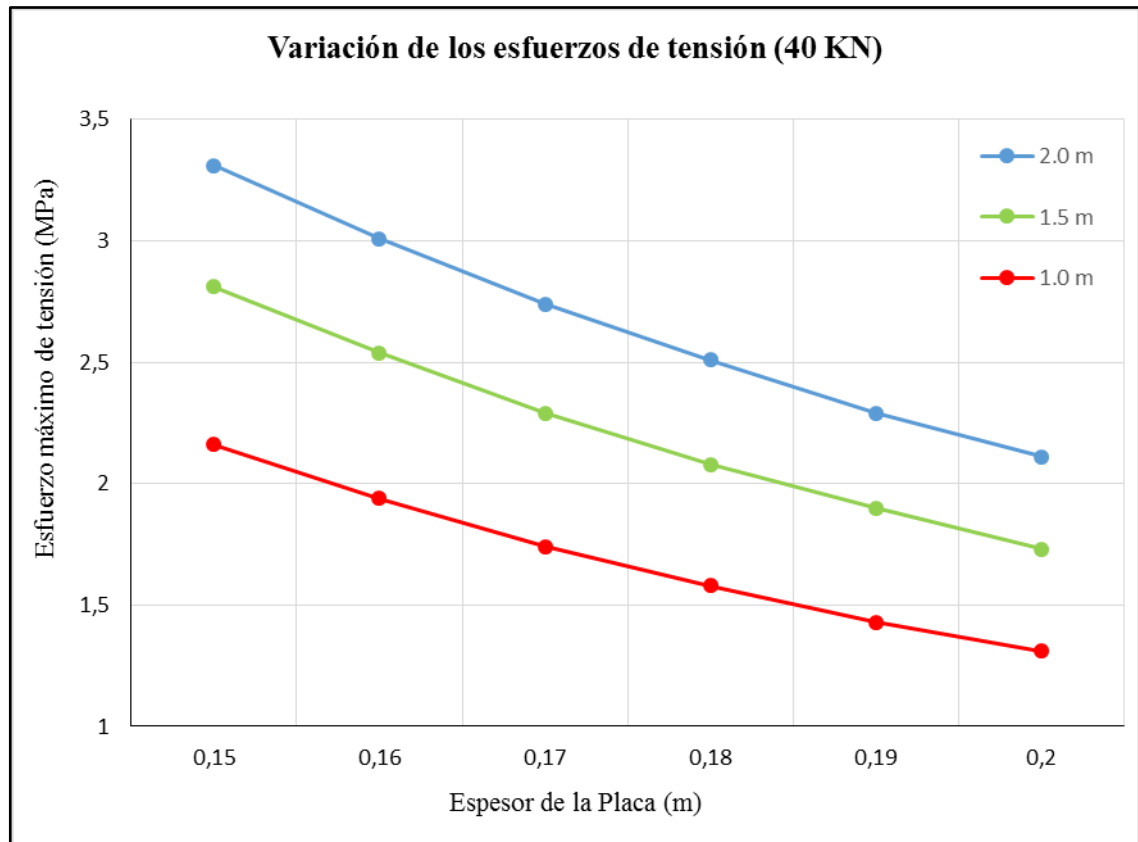
Longitud (m)	Espesor (m)	Centro - Centro	Esquina	Centro - Borde
2,0	0,15	2,49	1,32	3,31
	0,16	2,28	1,18	3,01
	0,17	2,08	1,06	2,74
	0,18	1,91	0,955	2,51
	0,19	1,76	0,871	2,29
	0,2	1,62	0,797	2,11
1,5	0,15	2,05	1,27	2,81
	0,16	1,86	1,14	2,54
	0,17	1,68	1,02	2,29
	0,18	1,53	0,927	2,08
	0,19	1,4	0,843	1,9
	0,2	1,28	0,77	1,73
1,0	0,15	1,48	1,17	2,16
	0,16	1,33	1,05	1,94
	0,17	1,2	0,945	1,74
	0,18	1,08	0,856	1,58
	0,19	0,986	0,779	1,43
	0,2	0,9	0,713	1,31

Fuente: Propia

Observando los resultados se infiere que en todos los casos el esfuerzo máximo de tensión se presenta cuando la carga está ubicada en la posición centro - borde. En

cada longitud de Placa Huella evaluada, el esfuerzo disminuye con el incremento del espesor de la placa.

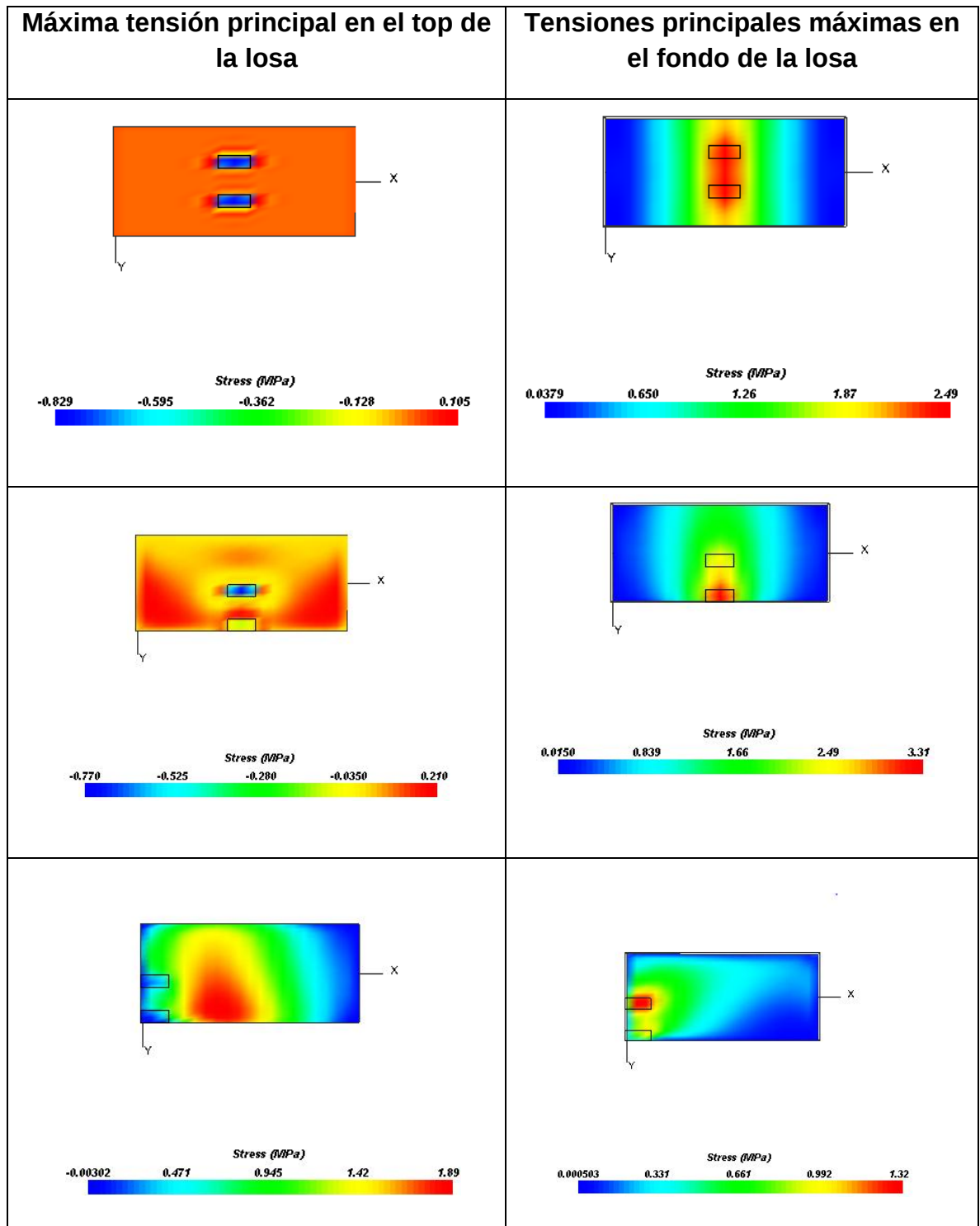
Imagen 15. Esfuerzos máximos de tensión del modelo 1.



Fuente: Propia.

Cuando se comparan los esfuerzos entre las diferentes longitudes, se encuentra que a menor longitud de la Placa Huella, menor es el esfuerzo máximo de tensión al comparar placas del mismo espesor.

Imagen 16. Tensiones principales en el Top y en el fondo de la losa para diferentes posiciones de carga.



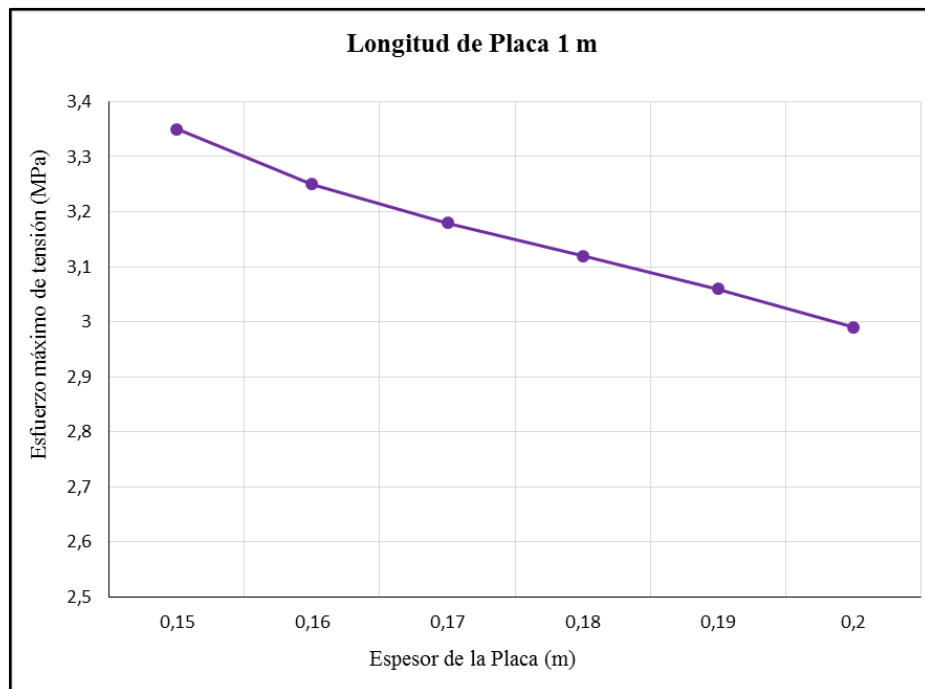
Fuente: Propia

Modelo 2

Cabe anotar que el valor del esfuerzo máximo de tensión tomado como referencia para el análisis para falla por carga última los resultan es de 3.0 MPa según la Guía de Diseño.

Al evaluar el modelo 2 con un semieje tándem de 100 kN ubicado en la posición crítica centro – borde y las características propias del terreno de fundación y de los materiales a emplear, se observa que los esfuerzos máximos de tensión en las placas con un espesor entre 15 cm y 19 cm son superiores a 3 MPa, lo que indica que bajo el criterio dado en la Guía la placa fallaría por carga última; de esta manera la Placa Huella debería tener un espesor superior a 0.2 mt para que el paso de un eje tándem con las características estudiadas no afecten la estructura.

Imagen 17. Esfuerzos máximos de tensión del modelo 2.



Fuente: Propia.

Durante el análisis se observó que se presenta un contacto entre las esquinas inferiores de las placas, bajo el borde cargado que está en contacto con el material granular de soporte, generando altos esfuerzos en esos puntos que podrían inducir a la falla de la esquina (despicadura).

6.2. CALCULO DE LA ESTRUCTURA CON LA METODOLOGIA PCA

La estructura de la placa se modeló con el programa BS-PCA que se basa en la metodología de la Portland Cement Association (PCA). Para modelar la estructura de pavimento con ayuda del programa BS-PCA se definieron los siguientes parámetros:

- Repeticiones Esperadas

1. SRS con una configuración de carga de 4 Ton. en cada eje
2. SRD con una configuración de carga de 4 Ton. y 7 Ton. respectivamente.
3. SRT con una configuración de carga 6 Ton. y 22 Ton. respectivamente.

A partir de la siguiente expresión se estimó el número de repeticiones por cada tipo de eje para el periodo de diseño.

Imagen 18. Numero De Repeticiones esperadas para el periodo de diseño

Año	2017	2019	Cargas Por Eje (Ton.)				4 Ton. (SRS)	6 Ton. (SRS)	7 Ton. (SRD)	22 Ton. (SRT)
TPD	449	476	1 EJE	2 EJE	Σ					
A	233	247								
B	2	2	4 SRS	4 SRS	8	4				
C	107	114								
C2P	50	53	4 SRS	4 SRS	8	106				
C2G	55	58	4 SRS	7 SRD	11	58		58		
C3	2	2	6 SRS	22 SRT	28		2			2
Nrep2019-2038							1.679.085	21.121	580.815	21.121

Fuente: Propia

$$N_{rep} = N_{rep.dia} * \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \quad (23)$$

- Módulo de Rotura del concreto (MR): 3.8 MPa.
- Módulo de reacción (KCOMBINADO): 49 MPa/m
- Factor de Seguridad de Carga (FSC): 1
- Factor de Mayoración de repeticiones (FMR): 1
- La estructura no tiene Berma
- La estructura no tiene Pasadores.

Una vez ingresados los datos anteriormente mencionados, se fue iterando el valor del espesor de la losa de diseño verificando los criterios de consumo de erosión y de fatiga, ya que estos no pueden superar los máximos admitidos.

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 49 Mpa/m

Espesor de la Losa : 180 mm

Módulo de Rotura Losa : 3.8 Mpa

☐ Con Bermas

☐ Con Pasadores

TRANSITO

Tn

Factor de Seguridad Carga : 1

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

Total Consumo Esfuerzo (%) : 78,4819

Total Consumo Erosión (%) : 27,1979

Informe del software BS-PCA

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA							
UNIVERSIDAD DEL CAUCA							
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL							
Software : BS-PCA							
Datos :							
Resistencia K del Apoyo : 49 Mpa/m							
Espesor Losa : 180 mm							
Modulo de Rotura : 3.8 Mpa							
Bermas : NO							
Pasadores : NO							
Factor de Seguridad Cargas : 1							
Factor de Mayoración Repeticiones : 1							
Resultados :							
Carga	Carga	Repeticiones	Repeticiones	Consumo	Repeticiones	Consumo	
Tn	FS	Esperadas	Admisib_Fatiga	Fatiga	Admisi_Erosion	Erosion	
	kN			%		%	
EJES SIMPLES							
Esfuerzo Equivalente: 2,0 Factor Esfuerzo: 0,5322 Factor Erosion: 3,1610							
4,00	39,20	1.679.085	Inf	0,00	Inf	0,00	
6,00	58,80	21.121	Inf	0,00	14.433.295	0,15	
7,00	68,60	580.815	7.128.213	8,15	4.828.105	12,03	
EJES TANDEM							
Esfuerzo Equivalente: 1,7 Factor Esfuerzo: 0,4509 Factor Erosion: 3,2930							
22,00	215,60	21.121	30.030	70,33	140.603	15,02	
EJES TRIDEM							
Esfuerzo Equivalente: 1,3 Factor Esfuerzo: 0,3372 Factor Erosion: 3,3330							

Total :				78,48	-----		
					27,20		

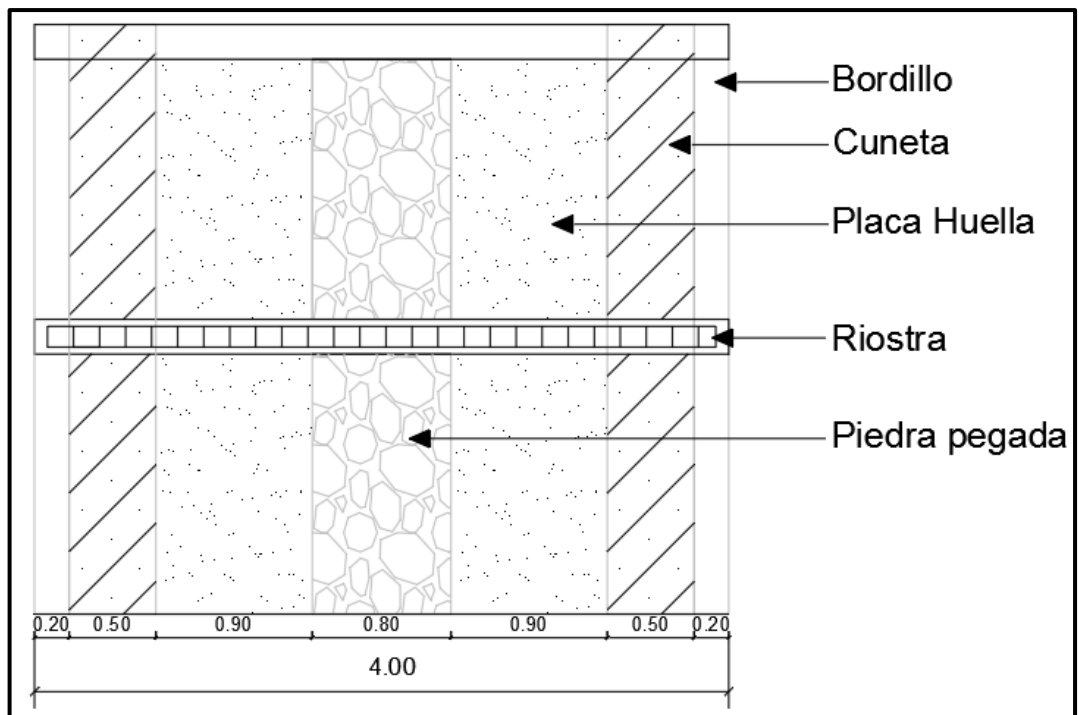
Como resultado de la evaluación en el programa BS-PCA y teniendo en cuenta los esfuerzos analizados en EverFE para la posición más crítica el espesor de la Placa Huella dio como resultado 18 cm.

6.3. ESTRUCTURA DEFINITIVA

Modelos propuestos de Placa Huella

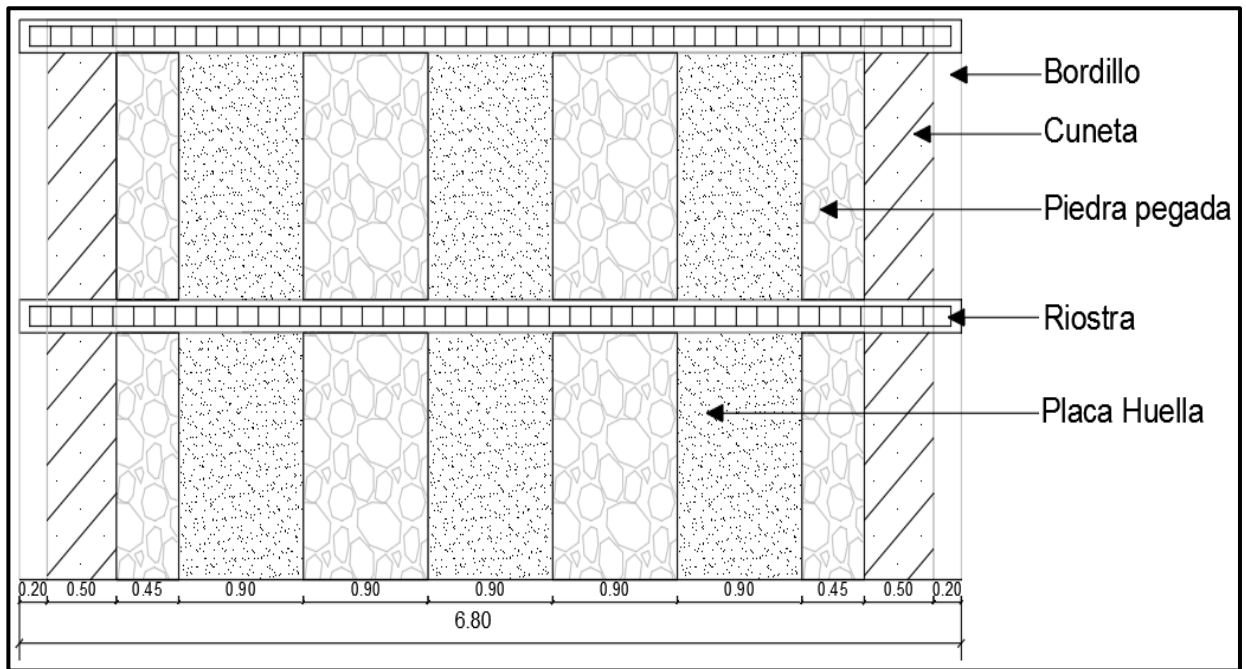
Debido a que el ancho del tramo en estudio es variable se proponen dos tipos de Placa Huella; el modelo 1 presenta dos placas de concreto de 0.9 m de ancho separadas por una banda de piedra pegada de 0.8 m de ancho, el modelo 2 tiene 3 placas de concreto de 0.9 m de ancho separadas por 2 bandas de piedra pegada, como se aprecia en las imágenes

Imagen 19. Modelo 1



Fuente: Propia

Imagen 20. Modelo 2



Fuente: Propia

Superficie de apoyo

Sub-base granular con un espesor de 15 cm de espesor. El módulo de reacción para el conjunto sub-rasante – sub-base es de 60 MPa/m.

Dimensiones y refuerzo de las placas

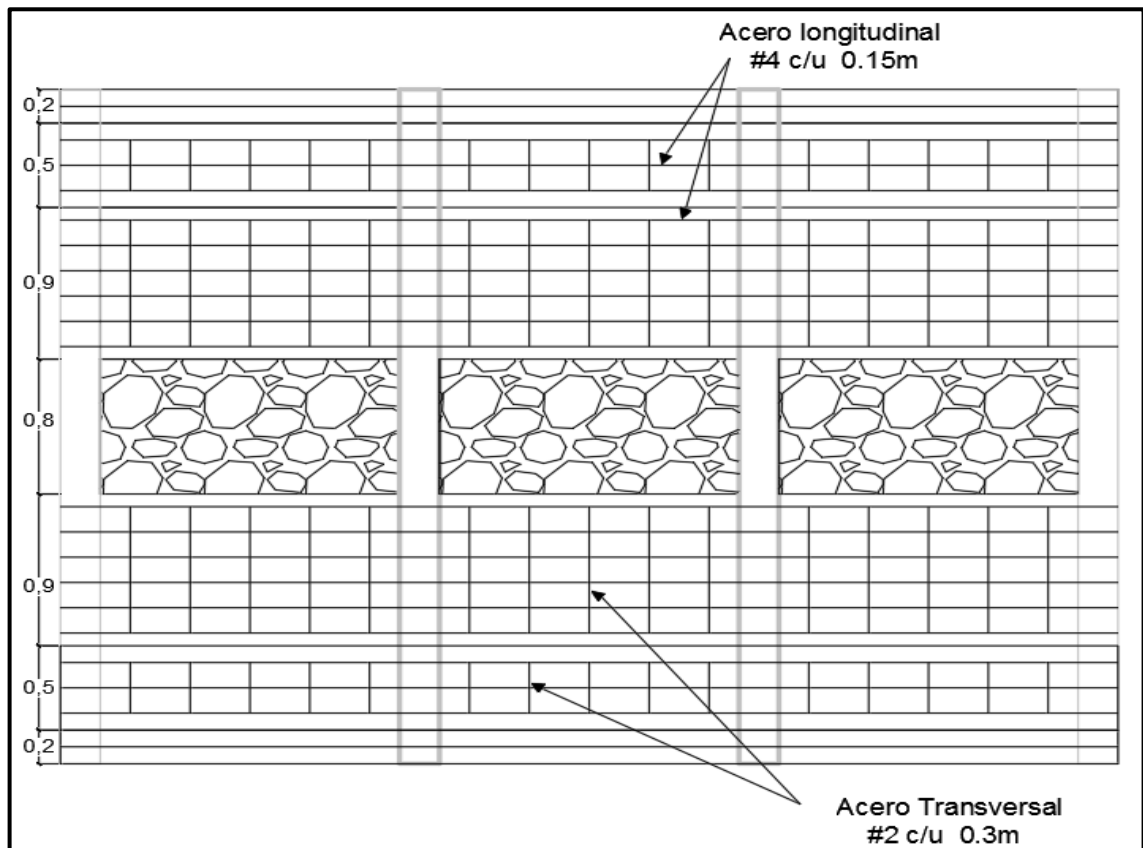
Según el análisis realizado en el programa EVERFE. 24 los efectos derivados de la disminución de la longitud de la placa, permiten una leve disminución de los esfuerzos en los elementos por lo que se propone una placa con las siguientes condiciones:

- Longitud: 1.5 m.
- Ancho: 0.9 m.
- Espesor: 0.18 m.

- Refuerzo longitudinal: Una varilla número 4 cada quince centímetros. (#4 c/u 15cm).
- Refuerzo transversal: Una varilla número 2 cada treinta centímetros (#2 c/u 30cm).
- Concreto simple con módulo de rotura de 3.8 MPa; la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días debe ser de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

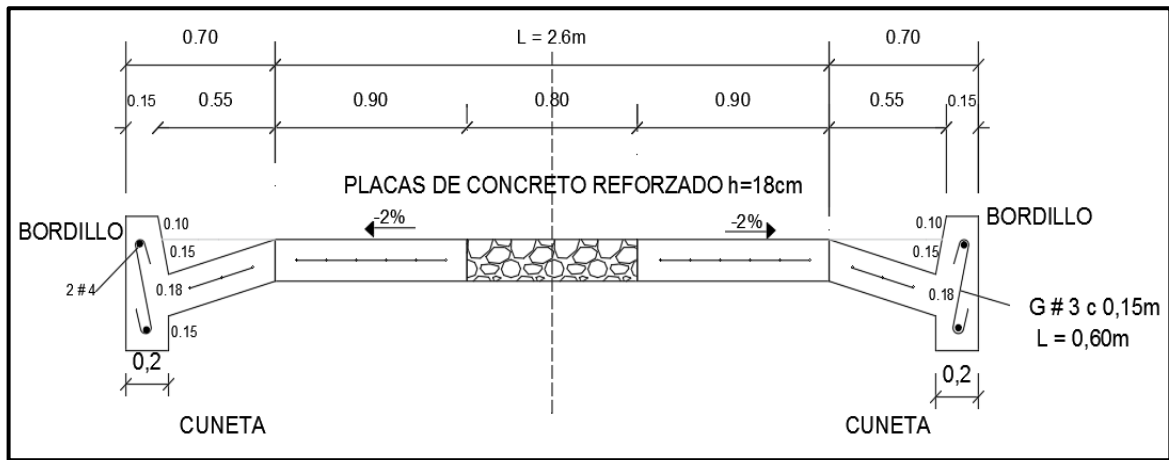
Cabe mencionar que la longitud de traslape para las varillas longitudinales #4 es de mínimo sesenta centímetros (60 cm).

Imagen 21. Planta de Distribución del refuerzo



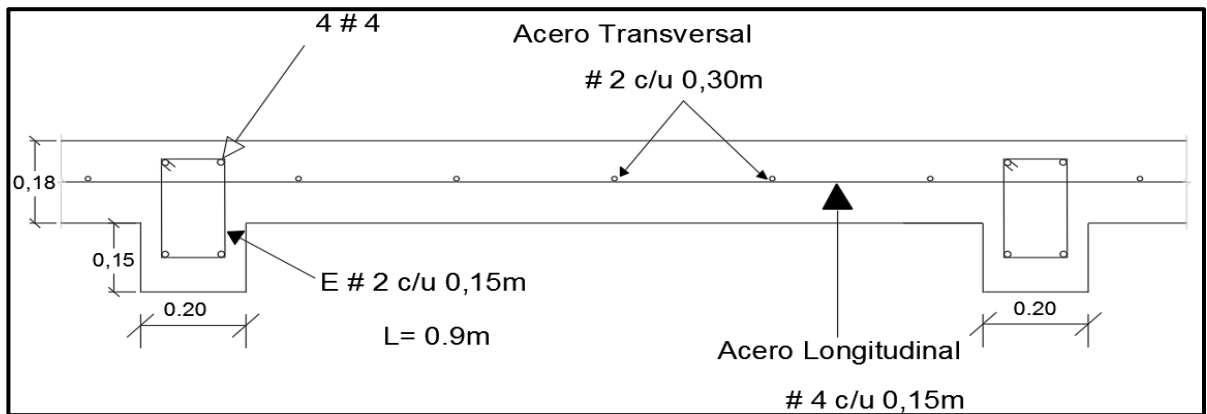
Fuente: Propia

Imagen 22. Corte Transversal



Fuente: Propia

Imagen 23. Corte Longitudinal



Fuente: Propia

Dimensiones y refuerzo de la Riostra

Las dimensiones y el refuerzo de la riostra son las especificadas en la guía de diseño de Placa Huella del INVIAS.

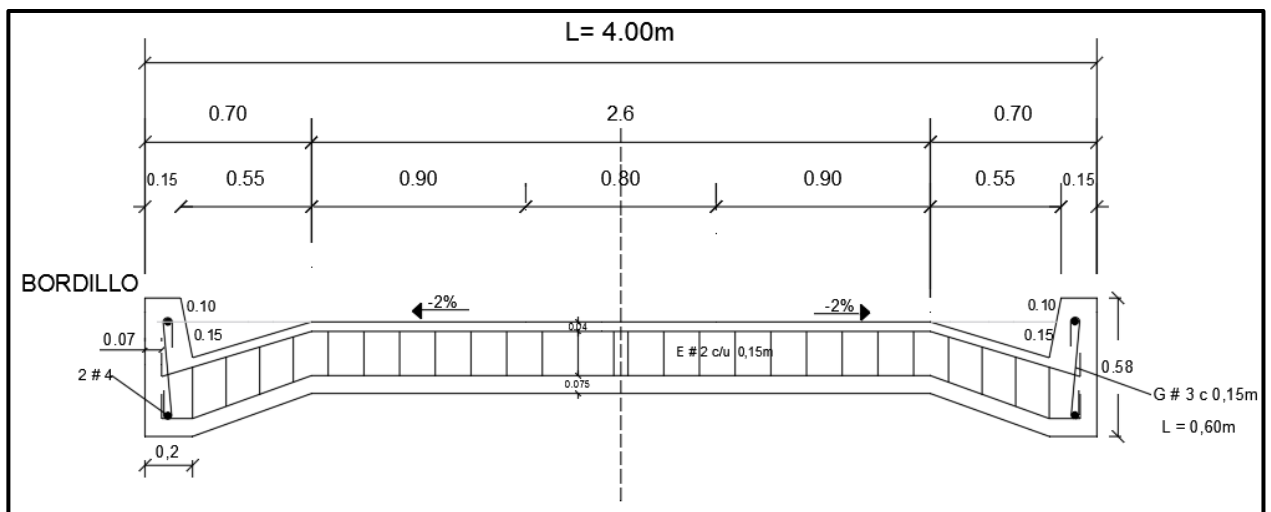
- Profundidad: 0.33 m.
- Ancho de la Riostra: 0.20 m.
- Refuerzo Longitudinal: Cuatro varillas número 4 (4 # 4).

- Estribos: Una varilla número 2 cada 15 centímetros (1#2 c/u 15cm).
- Concreto simple con módulo de rotura de 3.8 MPa; la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días debe ser de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

•

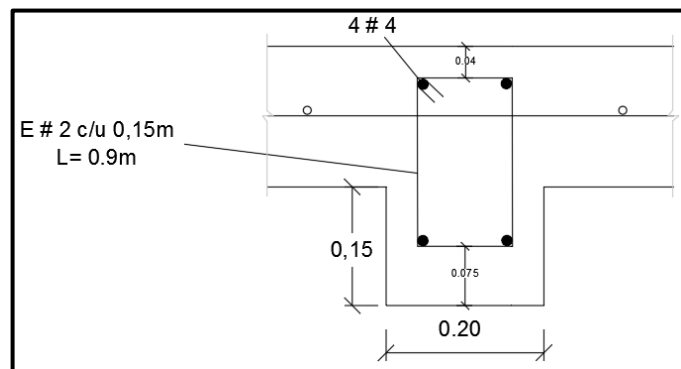
El recubrimiento de las varillas longitudinales #4 es de 7.5 cm en la parte inferior y de 4 cm en la parte superior.

Imagen 24. Corte Longitudinal



Fuente: Propia

Imagen 25. Corte Transversal Sección en Placa Huella

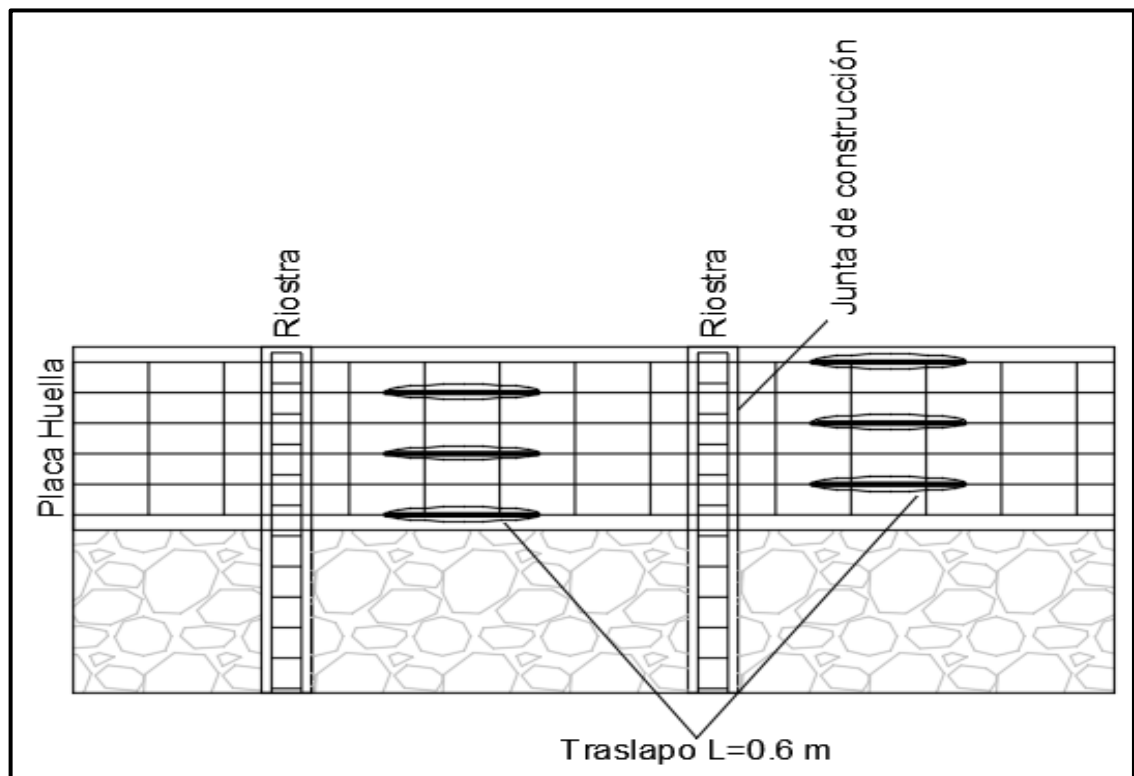


Fuente: Propia

Juntas

El modelo concibe los diferentes elementos estructurales del pavimento en Placa Huella como una estructura monolítica, por ende el proceso constructivo debe garantizar la adecuada transmisión de los esfuerzos y deformaciones a lo largo y ancho de estos elementos (Guía de Placa Huella, 2015).

Imagen 26. Junta transversal de construcción en la Placa Huella



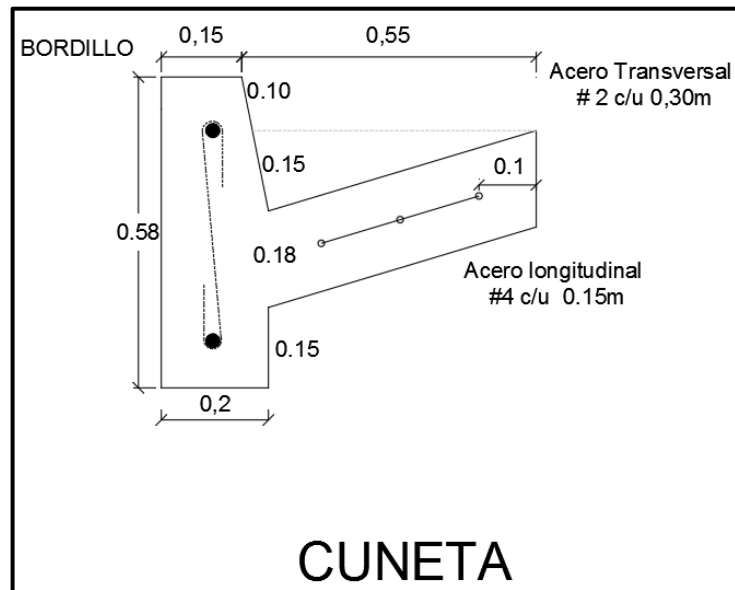
Fuente: Propia

Diseño estructural de la Berma-cuneta y el Bordillo

Aunque es poco eventual la circulación de un vehículo de diseño sobre la berma-cuneta, esta debe poder soportar los esfuerzos producidos por el paso de este y,

por ende, el espesor, el refuerzo requerido y las características de los materiales deben ser similares a los utilizados en la Placa Huella.

Imagen 27. Corte transversal de la cuneta.



Fuente: Propia

Piedra pegada

La principal función de la piedra pegada es la disminución de costos en la construcción de pavimentos de Placa Huella, por ende ésta no tiene capacidad estructural y por lo tanto no requiere mecanismo de transmisión de esfuerzos con los otros elementos del pavimento.

Características de los materiales

- La piedra pegada conformada por un concreto ciclópeo, compuesto por 60% de concreto simple y 40% de canto rodado.
- Características del Agregado Ciclópeo:
 - Tamaño máximo del agregado $T_{\text{máx.}}$ = entre ocho y doce centímetros. (0,08 m - 0,12 m). Deben ser cantos rodados.

- Características del concreto simple:
 - Resistencia a la compresión a los 28 días $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
 - Tamaño máximo del agregado grueso $T_{\text{máx.}} =$ Treinta y ocho milímetros (38 mm).
 - Asentamiento = Cinco (5) centímetros.

Resistencia del acero de refuerzo: Según las barras de refuerzo corrugado deben ser de acero de baja aleación que cumplan con las Normas NTC-2289.

$$4.200 \text{ Kg/cm}^2 \leq f_y \leq 5.200 \text{ Kg/cm}^2$$

El módulo de elasticidad del acero debe ser de 200.000 MPa.

7. DISEÑO HIDRÁULICO

7.1. HIDROLOGÍA

Generalmente, los fenómenos de remoción en masa están directamente asociados con los períodos lluviosos, pues la precipitación es uno de sus principales agentes detonantes por el incremento de los caudales de escorrentía superficial, lo que hace necesario conocer el régimen pluviométrico temporal y espacial; es decir, identificar los meses más lluviosos y los sectores donde se concentran los valores más altos de la precipitación en la zona de estudio. A continuación, se hace un resumen de los resultados obtenidos para dichos análisis.

Metodología

La metodología utilizada para el presente estudio es la que se encuentra consignada en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS. A medida que se va avanzando en el estudio y teniendo en cuenta que existen muchos métodos para realizar los análisis hidrológicos, hidráulicos y de socavación se irá especificando el método finalmente adoptado.

7.1.1. Precipitación total.

Como su nombre lo indica, se refiere a la cantidad total de precipitación ocurrida en un periodo de tiempo determinado. Para establecer el régimen pluviométrico en el sector de estudio y teniendo en cuenta el nivel de discretización de la información, se utilizaron los registros históricos de precipitaciones totales mensuales de la Estación Fómeque ubicada en el casco urbano del municipio, operada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Dicha estación es la más cercana al sitio de estudio del presente informe.

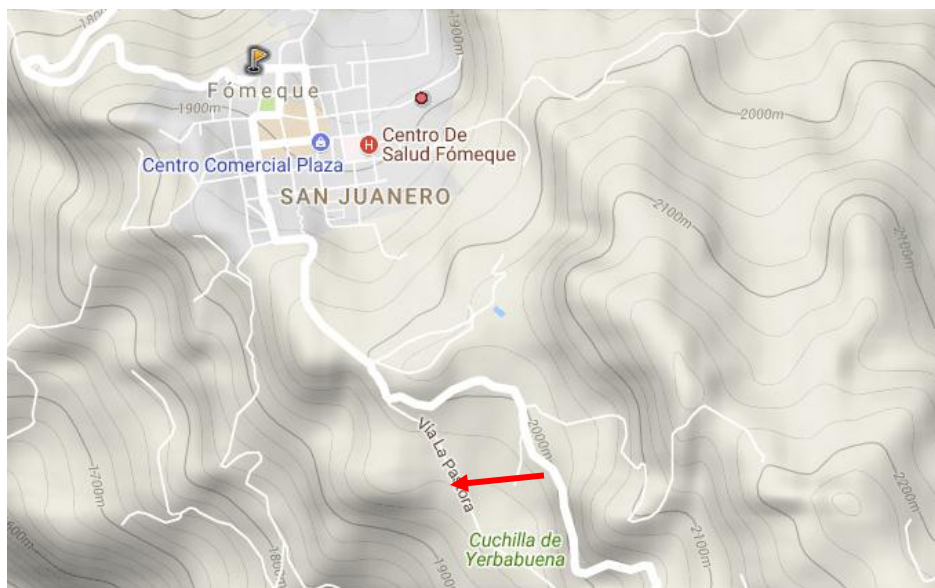
En la Tabla 20 se indican las características de dicha estación y la imagen 29 muestra la ubicación de la misma.

Tabla 20. Información de la estación del IDEAM cercana a la zona del proyecto

Código estación	35020290
Área operativa	Área operativa 11
Nombre	Fómeque
Tipo	Convencional
Clase	Meteorológica
Categoría	Pluviométrica
Estado	Activa
Departamento	Cundinamarca
Latitud	4.486.528
Longitud	-73.890.417
Altitud	1900
Corriente	Negro
Fecha de Instalación	15/11/1981

Fuente: IDEAM, 2017.

Imagen 28. Ubicación de la estación del IDEAM cercana a la zona del proyecto



Fuente: IDEAM

De acuerdo a la información suministrada por el IDEAM, se localizó para cada año de la serie histórica, el valor máximo de precipitación registrado en veinticuatro (24) horas.

Imagen 29. Precipitación máxima anual histórica en 24 horas

Estación pluviométrica Fómeque cund. - precipitación máxima anual histórica en 24 horas	
AÑO	PRECIPITACIÓN (mm)
1982	28
1983	37,5
1984	39,2
1985	40
1986	45
1987	45
1988	50
1989	60
1990	35
1991	20
1992	35,1
1993	29,6
1994	31,6
1995	28,7
1996	31,4
1997	39,5
1998	18,5
1999	19
2000	43,8
2001	21,4
2002	28,5
2003	18
2004	40,8
2005	17,9
2006	28
2007	29
2008	50
2009	34,3
2010	38,3
2011	29,6
2012	48,5
2013	37,1

2014	27,9
AÑO	PRECIPITACIÓN (mm)
2015	15,4
2016	39,4
2017	12,2

Fuente: IDEAM, 2017

La precipitación máxima absoluta en 24 horas es de 60 mm con una desviación estándar de 11.1 y una media de 31.2.

7.1.2. Caudales cuencas menores

Las hoyas hidrográficas menores se consideran como aquellas cuencas que poseen un área de drenaje inferior o inclusive igual a 2.5 km². Por lo tanto, para este tipo de cuencas es posible emplear el método o fórmula Racional para la definición de caudales máximos instantáneos, consignado en el “Manual de Drenaje para Carreteras” del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

Utilizando la intensidad media del evento de precipitación, con una duración igual al tiempo de concentración del área de drenaje y un coeficiente de impermeabilidad, se procede a calcular el caudal de diseño expresado por la siguiente ecuación:

$$Q = 2.78 * C * i * A \quad (24)$$

Donde: Q : Caudal pico de aguas lluvias (l/s)

C : Coeficiente de impermeabilidad

i : Intensidad de precipitación correspondiente al tiempo de concentración utilizado (mm/h).

A : Área tributaria de drenaje (ha).

7.1.3. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Se calcularon las curvas intensidad-duración-frecuencia mediante el método simplificado propuesto en el Manual de Drenajes para Carreteras, INVIAS, donde se realizó una recopilación de la información hidrológica disponible de la zona en cuestión y se determinó por correlación con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, una curva IDF característica para la estación Fómeque, tal como se muestra en la Imagen 15, a partir de la siguiente ecuación.

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c} \quad (25)$$

Donde: i : Intensidad de precipitación, $\frac{mm}{h}$

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

T : Periodo de retorno, años

M : precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual

t : Duración de la lluvia, minutos

❖ Parámetros de ajuste de la regresión

Tabla 21. Valores de los coeficientes a , b , c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia

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

Fuente: Manual de drenaje para carreteras, INVIAS 2009

La región a la que pertenece el proyecto en mención de acuerdo a su localización es a la Andina, es decir, R1. De esta forma, los valores de los coeficientes para el cálculo de las curvas Intensidad – duración - frecuencia (IDF) son:

Parámetro	Valor
a	0.94
b	0.18
c	0.66
d	0.83

❖ Expresión para calcular la intensidad de precipitación

Al aplicar la fórmula regionalizada de las curvas IDF para Colombia, y cambiar los parámetros para la región No. 1 se obtiene la siguiente ecuación:

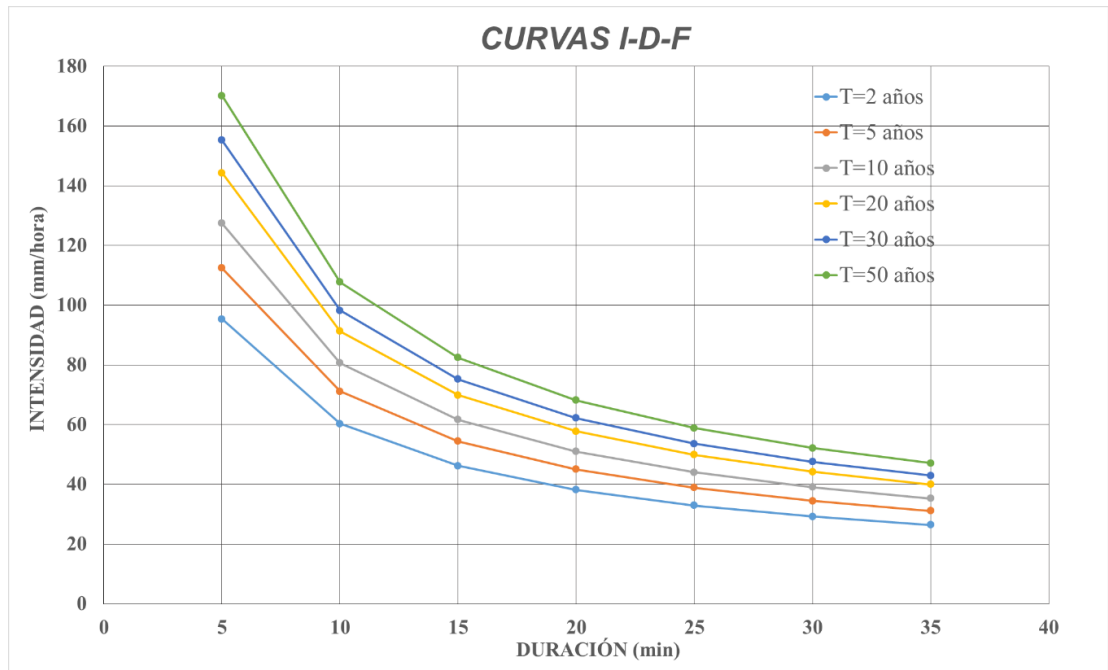
$$i = \frac{0.94 * T^{0.18} * M^{0.83}}{\left(\frac{t}{60}\right)^{0.66}} \quad (26)$$

Tabla 22. Valores de las curvas IDF

	PERÍODO DE RETORNO (años)					
DURACIÓN (min)	2	5	10	20	30	50
5	95,35	112,45	127,39	144,32	155,25	170,2
10	60,35	71,17	80,62	91,34	98,25	107,72
15	46,18	54,46	61,69	69,89	75,18	82,43
20	38,19	45,04	51,03	57,81	62,18	68,17
25	32,96	38,87	44,04	49,89	53,67	58,84
30	29,22	34,47	39,05	44,23	47,58	52,17
35	26,4	31,13	35,27	39,95	42,98	47,12

Fuente: Propia

Imagen 30. Curva Intensidad-duración-frecuencia para la zona de estudio



Fuente: Propia

7.1.4. Área de drenaje

El área de drenaje o tributaria corresponde al área en proyección horizontal aferente a la vía hasta el sitio de cruce con la misma, y se expresará en Ha. En la Tabla 23 se presentan las áreas de drenaje de las micro cuencas aferentes a la vía objeto de estos estudios.

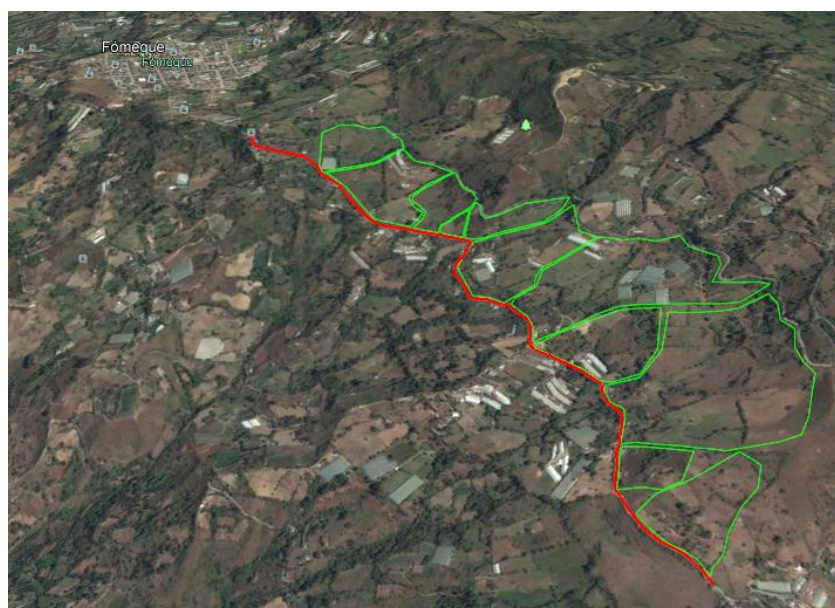
Tabla 23. Parámetros morfométricos de las microcuencas en estudio

Microcuenca No.	Area Cuenca (Ha)	Longitud media del cauce (m)	Coefficiente de Impermeabilidad	Pendiente media del cauce
1	5,11	300	0,42	13%
2	6,42	350	0,42	12%
3	4,31	290	0,42	25%
4	0,58	98	0,42	20%
5	2,56	307	0,42	15%
6	7,98	426	0,42	24%
7	14	524	0,42	20%
8	5,23	310	0,42	24%
9	18,6	495	0,42	15%
10	1,87	164	0,42	34%
11	13,84	265	0,42	24%

Fuente: Propia

La delimitación de las microcuencas presentes en el tramo de estudio se realizó en el programa Google Earth, como se puede observar en la siguiente imagen

Imagen 31. Microcuencas de la zona de estudio



Fuente: Google Earth.

7.1.5. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía C se define como la relación entre el volumen de agua escurrido superficialmente y el volumen de agua precipitado. Este coeficiente depende claramente de las características de drenaje de la hoya estudiada como lo son el tipo de cobertura existente, el tipo suelo existente y la pendiente media de la hoya.

En la Tabla 24 se presenta el coeficiente de escorrentía seleccionado para la cuenca hidrográfica tributaria de la zona, de acuerdo a la clasificación propuesta por el Manual de Drenaje del INVIAS, para áreas rurales.

Tabla 24. Coeficientes de Escorrentía Hoya Hidrográfica

Tipo de cobertura	Coeficiente escorrentía
Franco limo arcilloso	0.42

Fuente: Propia

7.1.6. Tiempo de concentración

Cuando se utiliza la fórmula Racional, se debe suponer que el caudal máximo ocasionado por una determinada intensidad del aguacero de diseño sobre un área de drenaje específica, es producido por el referido aguacero, el cual se prolonga durante un período de tiempo igual al tiempo de concentración del flujo en el punto bajo consideración. Técnicamente, se define este último como el tiempo de concentración, T_c , el cual es el tiempo requerido para que la escorrentía superficial llegue al punto bajo consideración desde la parte más apartada del área de drenaje.

Para el cálculo del tiempo de concentración fueron utilizados los 3 métodos propuestos en el RAS 2000 - Título D y mencionados en el capítulo 1. El tipo de suelo que conforma la superficie de escorrentía es un área cultivada en surcos y en algunas zonas en pastos y patios, de esta forma las constantes α y m varían entre

2 y 2.7 de acuerdo a la microcuenca. La Tabla 25 muestra los resultados obtenidos de todos los métodos.

Los resultados calculados para el tiempo de concentración varían entre sí puesto que cada autor estima su ecuación para unas cuencas con características muy particulares.

Tabla 25. Valores estimados del tiempo de concentración

Microcuenca No.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (Tc)		
	Administración Federal de Aviación	Soil Conservation Service (SCS)	Kerby
1	200,0	6,9	4,7
2	242,9	6,2	5,1
3	139,4	4,8	4,5
4	52,7	1,4	4,0
5	190,5	6,6	4,0
6	209,0	5,4	5,0
7	281,7	9,8	5,0
8	166,6	5,8	4,6
9	242,9	9,2	4,9
10	101,8	2,3	4,4
11	109,2	4,9	4,3

Fuente: Propia

Se puede observar que los tiempos de concentración, aunque variantes dependiendo de la ecuación, nunca sobrepasan el valor unificado recomendado por INVIAS, tiempo de concentración (Tc) igual a 15 minutos, con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoyo y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración (Manual de drenajes INVIAS, 2009).

7.1.7. Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación para un periodo de retorno y una duración de 15 minutos, fue estimada a partir de las curvas I-D-F, calculadas con anterioridad.

Tabla 26. Valores de intensidad para diferentes tiempos de retorno.

Periodo de Retorno (años)	Intensidad (mm/h)
2	46.18
5	54.46
10	62
20	69.89
30	75.18
50	82.43

Fuente: Propia

7.2. DISEÑO HIDRAULICO ALCANTARILLA

Los diseños que aseguran una mayor durabilidad de la carretera se refieren a dos grandes tipos de obras hidráulicas: las obras transversales, constituidas por todas aquellas que permiten que el agua cruce la vía bajo la carpeta de rodadura y que entregan el caudal ladera abajo (entre ellas, las más comunes son las alcantarillas circulares y los cajones o box culverts), y las obras longitudinales, conformadas por canales y cunetas (típicamente de sección triangular o rectangular) que conducen el agua recogida en las laderas, en forma paralela al desarrollo del trazado, hasta entregarlas en el inicio de una obra transversal.

Las obras de drenaje superficial propuestas para el proyecto en mención son las cunetas y alcantarillas, que servirán para recoger las aguas procedentes de las partes altas de las laderas o los taludes de corte (denominado comúnmente zanja de coronación), con el fin de evitar la erosión superficial y la infiltración y/o saturación

en los taludes. Para el cálculo de estas estructuras se utilizó la fórmula de Manning para flujo uniforme:

$$Qo = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

Dónde: Q: es el caudal (m³ /s)

R: es el radio hidráulico (m)

S: es la pendiente del canal (m/m)

A: es el área de la sección mojada del canal (m²)

n: es el coeficiente de rugosidad de Manning.

Los principales criterios de diseño de las cunetas y canales son los siguientes:

- Las frecuencias de las crecientes de diseño (Tr) es de 50 años (para estar en concordancia con los lineamientos de las normas nacionales).
- La velocidad mínima debe ser de 0.25 m/s y la velocidad máxima admisible de 6 m/s.

En la actualidad en la vía de estudio se observan obras con serios problemas de obstrucción lo cual es un indicador del poco mantenimiento que se le realiza, así como de la capacidad insuficiente para evacuar las crecientes de diseño y del acelerado proceso de deforestación que han sufrido las cuencas en los últimos años, lo que evidencia el cambio de uso del suelo en las zonas de estudio (Vélez Upegui, et al., 2013).

Por todo lo anterior y debido a que, posiblemente, estas obras fueron construidas en el siglo pasado y en el momento de su diseño no se contemplaron todas las variables que se tienen en cuenta en el diseño hidrológico, es necesario rehabilitar las alcantarillas existentes en la vía.

El diseño de la alcantarilla consiste en establecer una sección transversal óptima, suficiente para evacuar un caudal asociado a un período de retorno establecido y que además asegure que no se generen velocidades menores a las mínimas o mayores a las máximas admisibles; para el proyecto en referencia el diámetro mínimo a utilizar es de 36 pulgadas, atendiendo los criterios de arrastre de sedimentos y a la facilidad de mantenimiento.

A partir de la cartografía o por medio de Google Earth se definen las áreas aferentes o áreas tributarias de los flujos de agua permanentes que son cruzados por el proyecto para determinar el tipo y dimensiones las obras de drenaje necesarias para facilitar el cruce de las aguas, teniendo en cuenta las consideraciones hidrológicas e hidráulicas en las diferentes cuencas.

La ubicación de las alcantarillas se realiza:

- Al final de la longitud máxima de cuneta (L).
- En el punto más bajo de una curva vertical cóncava donde hay un cambio de pendiente (descenso - ascenso).
- Prioritariamente en los cruces de aguas permanentes de acuerdo a los estudios hidrológico e hidráulico.
- En el cruce de flujo de agua en hondonadas donde potencialmente se presenta paso de agua en épocas de lluvia.

Básicamente existen dos condiciones de flujo en alcantarillas que dependen de las condiciones tanto aguas arriba como aguas abajo, los conductos pueden fluir llenos o parcialmente llenos.

Capacidad hidráulica (Q_0)

Para determinar la capacidad hidráulica de la alcantarilla se emplea la Ecuación de Manning; teniendo en cuenta que se va a emplear tubería de concreto, el valor del coeficiente de rugosidad de Manning es de 0.013; el diámetro de la tubería es de 36", valor mínimo sugerido por el INVIAS, y una pendiente de 2%; el resultado final del caudal a tubo lleno es de 2656.01 l/s.

$$Q_0 = \frac{1}{0.013} * \frac{\pi}{4} * (0.91)^2 * 0.23^{\frac{2}{3}} * 0.02^{\frac{1}{2}} \quad (28)$$

$$Q_0 = 2.66 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_0 = 2656.01 \frac{l}{s}$$

Caudal de diseño

El caudal de diseño se determinó mediante el método racional; para un periodo de retorno de 5 años la intensidad de precipitación es de 62mm/h, con un coeficiente de escorrentía de 0.42 para un suelo Franco limo arcilloso y un área aferente según la microcuenca.

Para la determinación del diámetro óptimo de la alcantarilla es necesario utilizar las propiedades hidráulicas de la sección circular que relacionan las características de flujo a sección llena y parcialmente llena, lo que permite comprobar si la capacidad de la tubería, con los parámetros asignados en el diseño, es admisible.

Conociendo la capacidad de las tuberías y los caudales de diseño que llegan a cada una de ellas, es posible obtener una relación que indica cuales de las estructuras están en la capacidad de transportar el caudal de diseño hidrológico (aquellas cuya relación de caudales es menor a uno) y cuáles no están en capacidad de transportar dicho caudal.

Tabla 27. Relación de caudales para comprobar la capacidad hidráulica de las alcantarillas

Microcuenca No.	i (mm/h)	Q (l/s)	Q _o	Q/Q _o	
1	62	369,9	2656,01	0,14	OK
2	62	464,8	2656,01	0,17	OK
3	62	312,0	2656,01	0,12	OK
4	62	42,0	2656,01	0,02	OK
5	62	185,3	2656,01	0,07	OK
6	62	577,7	2656,01	0,22	OK
7	62	1013,5	2656,01	0,38	OK
8	62	378,6	2656,01	0,14	OK
9	62	1346,5	2656,01	0,51	OK
10	62	135,4	2656,01	0,05	OK
11	62	1001,9	2656,01	0,38	OK

Fuente: Propia

A continuación, se presenta la ubicación recomendada de alcantarillas según el cálculo de caudales y la topografía del terreno teniendo en cuenta la longitud máxima de cunetas, cambio de pendiente (descenso y ascenso) y los estudios hidrológicos.

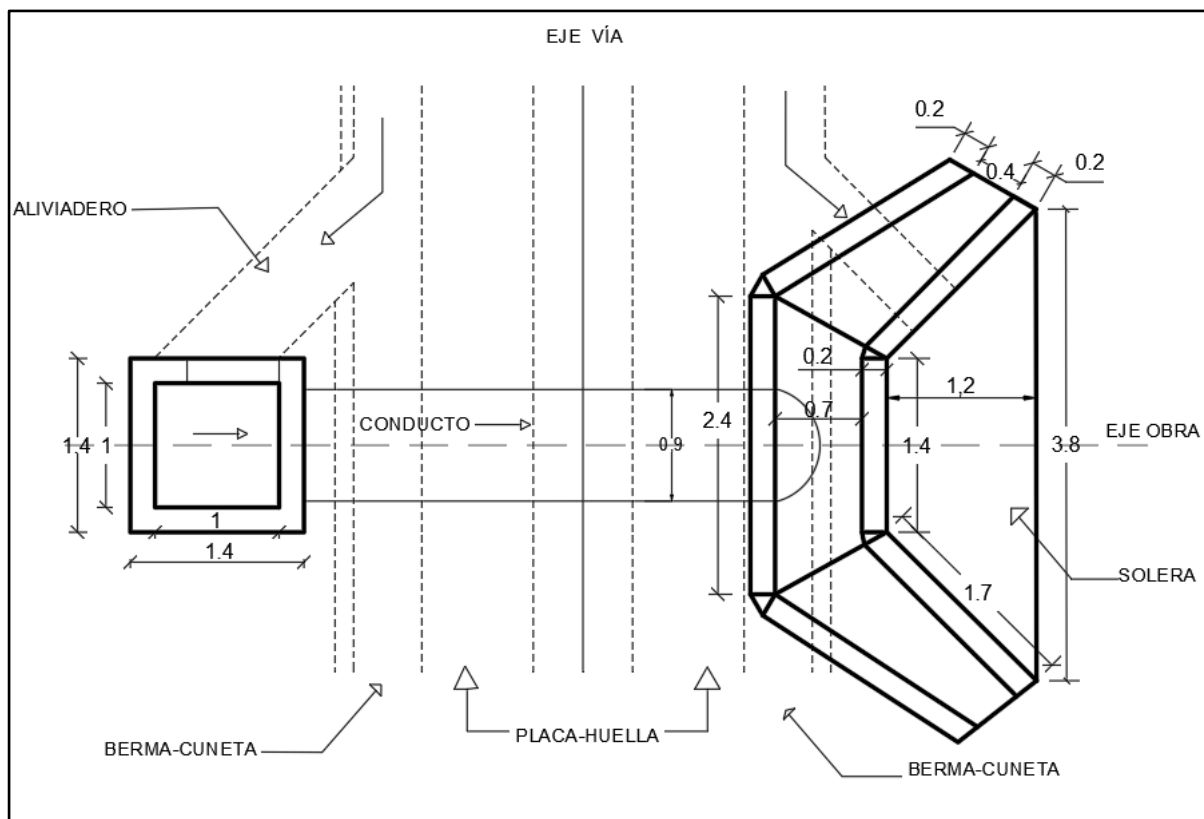
Tabla 28. Localización de alcantarillas para la zona de estudio.

Localización	Pendiente	n Manning	Diámetro (m)
K0 + 350 m	2%	0,013	0,91
K0 + 690 m	2%	0,013	0,91
K0 + 785 m	2%	0,013	0,91
K0 + 885 m	2%	0,013	0,91
K0 + 980 m	2%	0,013	0,91
K1 + 147 m	2%	0,013	0,91
K1 + 335 m	2%	0,013	0,91
K1 + 445 m	2%	0,013	0,91
K1 + 630 m	2%	0,013	0,91
K1 + 730 m	2%	0,013	0,91
K1 + 810 m	2%	0,013	0,91
K1 + 950 m	2%	0,013	0,91
K2 + 220 m	2%	0,013	0,91
K2 + 370 m	2%	0,013	0,91
K2 + 520 m	2%	0,013	0,91

Fuente: Propia

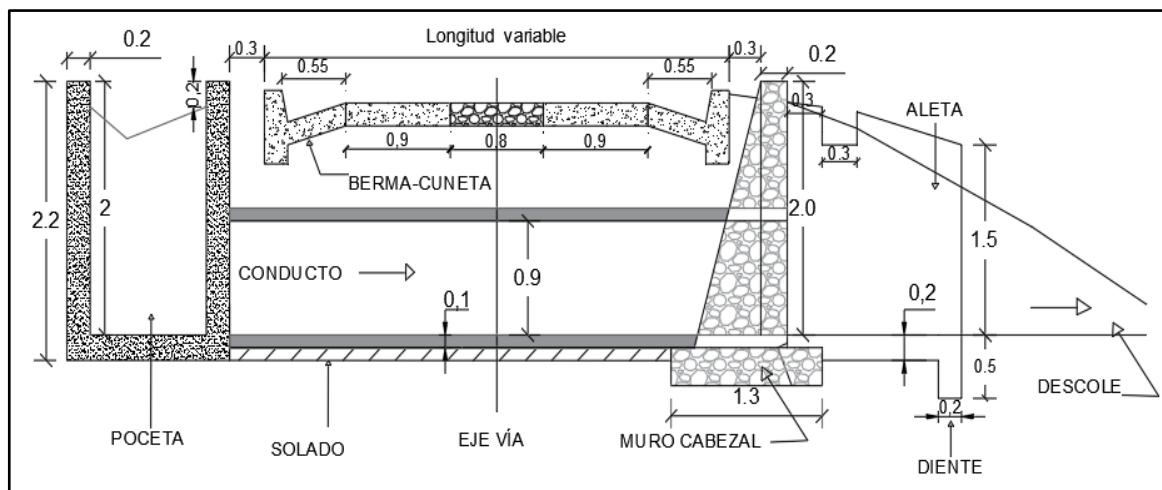
A continuación, se presentan los esquemas con el detalle de la alcantarilla en Planta y Perfil recomendada para el tramo en estudio.

Imagen 32. Planta de Alcantarilla.



Fuente: Propia

Imagen 33. Perfil de Alcantarilla



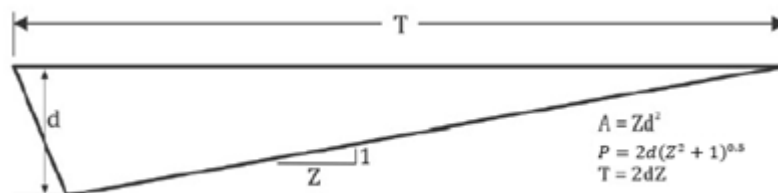
Fuente Propia

7.3. DISEÑO HIDRÁULICO BERMA-CUNETETA

En cortes de la vía, el drenaje aferente será manejado por medio de cunetas. Estas cunetas recogerán el agua de los taludes cortados aferentes a las vías y la propia escorrentía superficial de las calzadas, y desaguarán a las corrientes de agua cercanas o a cajas o cabezales de inicio de las alcantarillas. El cálculo del caudal aportante a cada tramo se ha basado en la fórmula Racional, con intensidades de lluvia correspondiente a un tiempo de concentración de 15 minutos y un período de retorno de 5 años, y su longitud estará dada por la separación máxima entre alcantarillas.

Desde el punto de vista práctico constructivo y teniendo en cuenta la topografía del terreno en donde existen cortes en las laderas para el desarrollo de la vía se ha definido un tipo de sección de cuneta revestida en concreto, la cual está en capacidad de transportar adecuadamente los caudales máximos aferentes. Estas cunetas se deberán diseñar desde el punto de vista estructural para que resista cargas del tráfico, ya que a pesar de que la vía tiene proyectadas bermas, es probable que en curvas o en algunas ocasiones con automóviles estacionados la cuneta reciba cargas vehiculares.

Imagen 34. Sección típica de cuneta triangular



Fuente: Manual de drenajes para carreteras, 2009

El diseño del drenaje longitudinal consistirá en la verificación de la capacidad hidráulica de las cunetas propuestas en el Manual de diseño de Placa Huella del Instituto Nacional de Vías (2015).

Caudal de diseño

La intensidad de diseño estimada a partir de la curva de intensidad-duración-frecuencia característica de la zona es de 54.5 mm/hora, para un período de retorno de 5 años y una duración de 15 minutos.

De acuerdo a la topografía del terreno y al valor de la intensidad de precipitación asumimos una longitud de cuneta de 330 m y por recomendación del Manual de drenaje del INVIAS un ancho impluvium de 25 m, lo que permite tener una rea aferente para las cunetas de 8250 m².

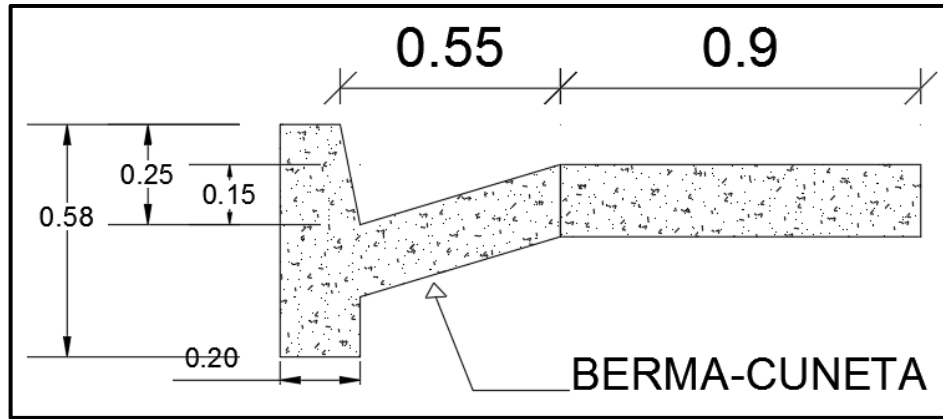
El coeficiente de escorrentía es $C = 0.72$, ya que las intercuencas son tierras cultivadas y se encuentran en terreno montañoso.

$$Q = 2.78 * 0.72 * 54.5 \text{ mm/h} * 0.825 \text{ Ha} \quad (25)$$

$$Q = 90 \text{ l/s}$$

La cuneta es de sección triangular y tiene un ancho de 0.55 m, distribuido 0.53 m al lado de la calzada y 0.02 m del lado del talud y una profundidad de 0.15 m; revestida en concreto, con una rugosidad $n = 0.013$ y una pendiente hacia la calzada de 28.3%, admisible desde el punto de vista de seguridad vial.

Imagen 35. Perfil de la berma cuneta



Fuente: Propia

- Área:
 $A = 0.041 \text{ m}^2$
- Perímetro mojado:
 $P = 1.092 \text{ m}$
- Pendiente:
 $Z = 3.5$
- Radio Hidráulico:
 $R = \frac{A}{P} = 0.0375$

Para un caudal de 54.5 l/s, una pendiente longitudinal de 11% y un coeficiente de rugosidad de Manning de 0.013, las variables que describen el funcionamiento hidráulico de la cuneta toman los siguientes valores, obtenidos al igualar la expresión de Manning con el caudal de diseño:

$$Qd = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

$$90 \text{ l/s} = \frac{1}{0.013} * (3.5 * d^2) * \left(\frac{3.5 * d}{2 * \sqrt{3.5^2 + 1}} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.12^{\frac{1}{2}}$$

Profundidad del flujo = 0.1 m

Velocidad media del flujo = 2.9 m/s

La profundidad del flujo no rebasa la altura máxima de la cuneta (0.15 m), ni la velocidad media favorece procesos de sedimentación o de erosión de la cuneta; por lo tanto, el diseño elegido se considera adecuado.

8. PRESUPUESTO

El análisis de precios unitarios (APU) se realizó con base en los costos emitidos por el INVIAS para el Departamento de Cundinamarca para el periodo 2017-2, de igual forma también se consultaron bases de datos como Construdata y otros proveedores de los materiales.

Las actividades que se utilizan para ejecutar la Placa Huella, fueron complementadas con actividades no previstas que regularmente se presentan en los proyectos similares y que con frecuencia son objeto de ajuste de los mismos durante la construcción. El presupuesto final, porcentajes cuantificación de la Administración, Imprevistos y Utilidades (AIU) e Interventoría Integral (Administrativa, Técnica y Financiera) son de carácter teórico y buscan dar una idea de la cantidad estimada de recursos a invertir.

A continuación, se presenta el presupuesto para la construcción de la Placa Huella; con una longitud de 2.6 Km y un ancho de 4 m.

Nota: para elaborar el análisis del costo del cerramiento de la obra se asumió un cierre total de la vía, es decir, que solo se cercó transversalmente al inicio y al final de la obra; sin embargo, cuando se realice la construcción de este proyecto es recomendable hacerlo por tramos o analizar la posibilidad de ejecutar la obra por carriles, ya que es una vía que comunica a varias veredas con el casco urbano.

Tabla 29.Presupuesto del proyecto.

ITEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	\$ UNITARIO	\$ ITEM
1. PRELIMINARES					
1.1.	Localización y replanteo	ml	2600,0	897,8	2.334.292,0
1.2.	Cerramiento de obra	ml	15,0	6.009,5	90.142,5
2. Excavaciones y rellenos					
2.1.	Excavación en material común	m ³	1560,0	7.909,8	12.339.317,1
2.2.	Transporte materiales de excavación distancia >1000 m.	m ³ /km	2028,0	12.796,9	25.952.062,5
2.3.	Excavación manual para riostras	m ³	403,7	40.416,7	16.314.430,0
2.4.	Base Granular Clase B	m ³	1560,0	75.524,3	117.817.879,2
3. Construcción de Placa Huella					
3.1.	Huellas de concreto de 3000 PSI, incluye formaletas	m ³	743,3	332.203,5	246.924.937,1
3.2.	Entre huellas concreto ciclópeo, incluye formaletas	m ³	330,4	209.604,4	69.243.430,0
3.3.	Concreto de 3000 PSI para riostras	m ³	403,7	338.803,5	136.760.081,7
3.4.	Acero de refuerzo 420 MPa para placas, riostras y cunetas	kg	117643,0	3.248,0	382.104.501,2
3.5.	Cuneta y bordillo de concreto de 2000 PSI, incluye la conformación de la superficie de apoyo	m ³	1089,9	373.291,0	406.857.356,9
4. Cajas de recolección					
4.1.	Excavación manual 1m * 1m * 1m	m ³	15,0	40.416,7	606.250,0
4.2.	Concreto de 2000 PSI para cajas de recolección	m ³	26,6	416.338,0	11.091.244,0
5. Alcantarilla D = 0,9 m					
5.1.	Excavación 2,2 m * 1m * 4m	m ³	132,0	7.909,8	1.044.096,1
5.2.	Tubería de concreto reforzado D=900 mm	ml	60,0	532.850,1	31.971.006,8
TOTAL COSTOS DIRECTOS				\$	1.461.451.027,3
ADMINISTRACIÓN (15%)				\$	219.217.654,1
IMPREVISTOS (5%)				\$	73.072.551,4
UTILIDADES (5%)				\$	73.072.551,4
TOTAL PROYECTO				\$	1.826.813.784,1

Fuente: Propia

En los anexos 4 se encuentra el cuadro de cantidades y en detalle los APU del proyecto.

CONCLUSIONES

En el presente capítulo se recopila la información que se concluye del trabajo de estudio realizado en el presente documento, a partir de los análisis de campo y de la identificación de la problemática de la zona para generar una posible solución.

De acuerdo al análisis realizado del estado actual de la vía se observaron deficiencias en el sistema de drenaje, inconveniente de transitabilidad segura en épocas de invierno, como consecuencia de la falta de mantenimiento periódico y preventivo. Así mismo, la zona analizada refleja la falta de eficiencia en la implementación de políticas de intervención adecuadas para recuperar la malla vial.

El tipo de suelo encontrado en la sub-rasante de la zona de estudio fue un suelo residual limo inorgánico de baja plasticidad, de color gris y café con vetas habanas, que se encuentra a una profundidad promedio de 0,75 m; la humedad natural promedio de este es de 13 %.

El %CBR de la sub-rasante es de 7.4%, el cual fue determinado a partir de correlaciones con el ensayo con el P.D.C. (Penetrómetro Dinámico de Cono), por lo cual, este tipo es apto para construir la Placa Huella sin realizar ningún tipo de mejoramiento, ya que el valor de la capacidad de soporte mínima sugerida por el INVIAS en el manual de diseño de Placa Huella es de 3%.

El diseño de la estructura se realizó teniendo en cuenta las condiciones de la zona de acuerdo con las características propias de suelos encontrados en los apiques y el estudio de tránsito realizado para determinar el tipo de vehículos que transitan la vía. El espesor de la losa fue calculado por el método de diseño de la PCA, a partir del número de ejes por cada carga esperados en el periodo de diseño.

Así mismo, los diseños de la Placa Huella fueron propuestos teniendo en cuenta un análisis de los esfuerzos a los que son sometidos las losas de cierta longitud con las características de la sub-rasante y las cargas que transitan por la vía, de esta manera se recomienda una losa de 0.9 m de ancho con una longitud de 1.5 m.

El reforzamiento que se presenta en los modelos son un factor de seguridad asumido y una recomendación hecha en la guía de diseño para absorber esfuerzos tanto positivos como negativos que se producen por el desplazamiento de las cargas móviles.

El sistema de drenaje presentado partió de los diseños propuesto por el INVIAS corroborando que la capacidad hidráulica de los elementos cumpliera teniendo en cuenta la hidrología y características propias de la zona donde se desarrolla el proyecto en mención; como resultado la berma cuneta recomendada tiene una capacidad hidráulica de 0,15m y el diámetro de las alcantarillas mínimo debe ser de 36”.

El presupuesto del proyecto se evaluó a partir precios unitarios del INVIAS para Cundinamarca y Construdata. Como resultado se obtuvo que el costo de la Placa Huella con un ancho de 4 m y una longitud 2.600 m es de \$ 1.826.813.784.1;

RECOMENDACIONES

Es importante realizar un trabajo de mantenimiento, el cual consiste en la rocería, excavación, remoción, limpieza y transporte de los materiales que se encuentran depositados en los encoles y descoles o dentro del cuerpo de las estructuras existentes, a fin de restablecer su capacidad hidráulica y correcto funcionamiento del drenaje de cauces naturales, que de alguna manera pueden afectar la estabilidad de las vías.

De la misma manera, se debe realizar los diferentes tipos de mantenimiento (preventivo, periódico y correctivo) a la Placa Huella para mantener las condiciones y nivel de servicio inicial de la vía.

Para el desarrollo y la ejecución del proyecto se sugiere tener en cuenta los problemas de remoción en masa, un inconveniente que afecta bastantes vías, entre ellas las vías del municipio de Fómeque, debido a las fallas geológicas que existen en la zona y al clima húmedo que puede incidir en el aumento de las presiones intersticiales debido a las filtraciones de agua, provocando un deslizamiento que afecta el tránsito seguro de los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Correa E., 2017, El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país. Revista de Ingeniería, n° 45, 2017 pp 64-71.
- [2] Instituto Nacional de Vías , 2015, Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella. Subdirección de estudios e innovación.
- [3] González, Alba, 2006, Infraestructura vial en Colombia: un análisis económico como aporte al desarrollo de las regiones 1994-2004, Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/12066/T10.06%20G589in.pdf?sequence=1>.
- [4] Pachón Á; Ramírez M, 2005, La infraestructura de transporte en Colombia durante el siglo XX: una descripción desde el punto de vista económico”, en imprenta, ed. FCE-BR, Bogotá.
- [5] CONPES 3857, 2016, Lineamientos de política para la gestión de la red terciaria.
- [6] Zea J, Ortiz G, & Zamudio P., 2009 Diagnóstico de la vía actual y propuesta de diseño geométrico del tramo comprendido entre el K0+000 hasta el k3+000 de la vía municipio de Tena-Los Alpes Cundinamarca.
- [7] Ospina G., 2016, El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. Revista de Ingeniería n° 44, 2016 pp 20-27.
- [8] Instituto Nacional de Vías, 2009, Manual de drenaje para carreteras. Subdirección de apoyo técnico
- [9] AASHTO, 1993, Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento. Recuperado el 11 de Marzo de 2018.
- [10] Sanchez F, 2009... Evaluación de la Subrasante recuperado de: http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%206.ppt
- [11] OSORIO M. JOSE & CASAS G. ANA, 2011, Correlación P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba. Monografía, Universidad Militar Nueva Granada.

- [12] Higuera C., 2011, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Teoría, Métodos de diseño y ejemplos de aplicación. Volumen II.
- [13] Durán L & Salas B., 2017. Análisis comparativo de espesores de losas de concreto para troncales de transmlenio en configuraciones alternativas de ejes de buses articulados.
- [14] Higuera C., 2011, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Principios fundamentales, el tránsito, factores climáticos y geotecnia vial. Volumen I.
- [15] Vélez Upegui, J. J. y otros, 2013. En: Diseño hidrológico e hidráulico de obras de ingeniería para proyectos viales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, pp. 0-220.
- [16] Veléz J., Botero B., & Marulanda A., 2013, Diseño hidráulico e hidrológico de obras de ingeniería para proyectos viales.
- [17] Ibáñez A, S., Moreno Ramón, H. & Gisbert Blanquer, J. M., 2011. En: Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía (C). España: Universidad Politécnica de Valencia, pp. 1-7.
- [18] RAS-2000 Título D, 2016, Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias.
- [19] Figueroa Infante, A. S. y otros, 2008. En: Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado). Bogotá: Ministerio de Transporte. Pp 1-76.
- [20] Suárez, J. (2001): Control de erosión en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos e Ingeniería de Suelos Ltda.
- [21] Rodríguez M. Genny & Romero G. Diana, 2007, optimización técnica y operativa para la planta de tratamiento de residuos sólidos del Municipio de Fómeque Cundinamarca, Universidad de la Salle.
- [22] Cosanher, 2015. Drenaje en carreteras. Recuperado de: <http://www.cosanher.com/single-post/2015/05/27/drenaje-en-carreteras>
- [23] Romero A., Paredes Y., 2016, Proceso constructivo y presupuesto para un kilómetro de plaza huella en la vía Acolsure – Buenavista km 2.

- [24] Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas. (2016), Recuperado de: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/placahuella/ptplacahuella.pdf>, Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella.
- [25] Chavarro Acuña W., Molina Pinzón C, (2015), Evaluación de alternativas de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito. Recuperado de: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2617/1/Evaluaci%C3%B3n-alternativas-pavimentaci%C3%B3n-v%C3%ADas-bajos-vol%C3%BAmenes-de-tr%C3%A1nsito.pdf>
- [26] Contreras F. & Muñoz J., 2015, Placa huellas para red terciaria un acercamiento para el diseño y construcción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [27] Otálvaro M., 2016, consideraciones generales para realizar el diseño hidrológico e hidráulico de obras de drenaje para vías de bajos volúmenes de tránsito. Caso de estudio pista de prueba Urrao-Antioquia.

ANEXOS 1

Resultado aforos

Tabla 34. Aforo día sábado

Fecha	7 - Oct. - 2017		Estación de aforo		Alto donde Martha	
Condición climática	Despejado		Movimientos aforados		Ambos sentidos	
Aforador	Deisy Sabogal Rojas		Hora de inicio		5 a.m.	
	Linda Yined Castro		Hora Final		10 p.m.	
Período	Vehiculos					
	Livianos	Buseta	C2P	C2G	C3	Motocicletas
5 a.m. - 6 a.m.	10	-	1	1	-	17
6 a.m. - 7 a.m.	17	-	-	3	-	32
7 a.m. - 8 a.m.	28	-	3	2	-	35
8 a.m. - 9 a.m.	16	1	3	4	-	31
9 a.m. - 10 a.m.	20	-	4	3	-	24
10 a.m. - 11 a.m.	10	-	7	3	-	26
11 a.m. - 12 m.	21	-	4	-	-	24
12 m. - 1 p.m.	20	-	6	3	-	27
1 p.m. - 2 p.m.	6	-	1	5	-	22
2 p.m. - 3 p.m.	15	-	5	1	-	25
3 p.m. - 4 p.m.	14	-	4	1	-	26
4 p.m. - 5 p.m.	21	1	2	5	-	33
5 p.m. - 6 p.m.	22	-	5	-	-	37
6 p.m. - 7 p.m.	15	-	2	2	-	40
7 p.m. - 8 p.m.	12	-	2	3	-	28
8 p.m. - 9 p.m.	11	-	1	4	-	20
9 p.m. - 10 p.m.	8	-	1	1	-	5
TOTAL	266	2	51	41	0	452

Tabla 35. Aforo día martes

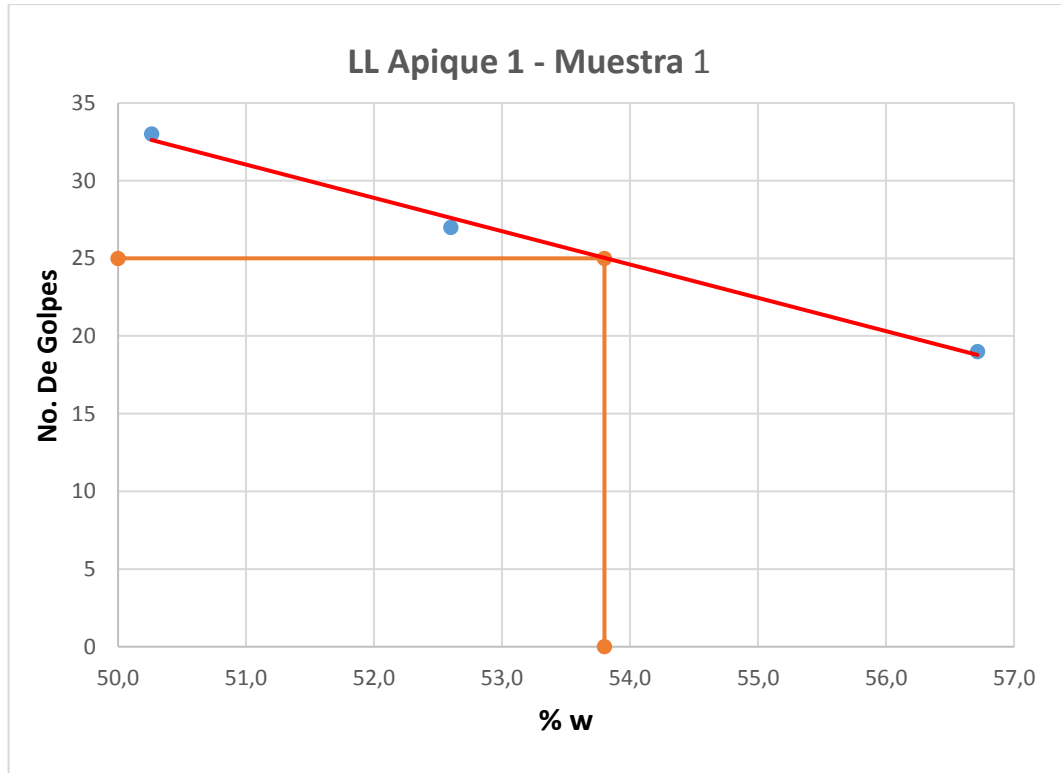
Fecha	10 - Oct. - 2017		Estación de aforo		Alto donde Martha	
Condición climática	Despejado		Movimientos aforados		Ambos sentidos	
Aforador	Deisy Sabogal Rojas		Hora de inicio		6 a.m.	
	Linda Yined Castro		Hora Final		10 p.m.	

Período	Vehiculos					
	Livianos	Buseta	C2P	C2G	C3	Motocicletas
6 a.m. - 7 a.m.	18	1	5	2	1	16
7 a.m. - 8 a.m.	26	-	5	5	-	45
8 a.m. - 9 a.m.	15	-	3	9	1	18
9 a.m. - 10 a.m.	10	-	-	-	-	13
10 a.m. - 11 a.m.	14	-	-	4	-	17
11 a.m. - 12 m.	14	-	2	3	-	19
12 m. - 1 p.m.	19	-	2	4	-	23
1 p.m. - 2 p.m.	17	1	-	1	-	11
2 p.m. - 3 p.m.	7	-	4	3	3	13
3 p.m. - 4 p.m.	10	-	-	5	1	9
4 p.m. - 5 p.m.	6	-	2	-	-	30
5 p.m. - 6 p.m.	35	-	8	5	-	46
6 p.m. - 7 p.m.	18	-	10	2	-	20
7 p.m. - 8 p.m.	12	-	7	8	-	17
8 p.m. - 9 p.m.	5	-	2	5	-	8
9 p.m. - 10 p.m.	2	-	-	1	-	4
TOTAL	228	2	50	57	6	309

ANEXOS 2

Resultados de los ensayos de laboratorio

Apique No. 1

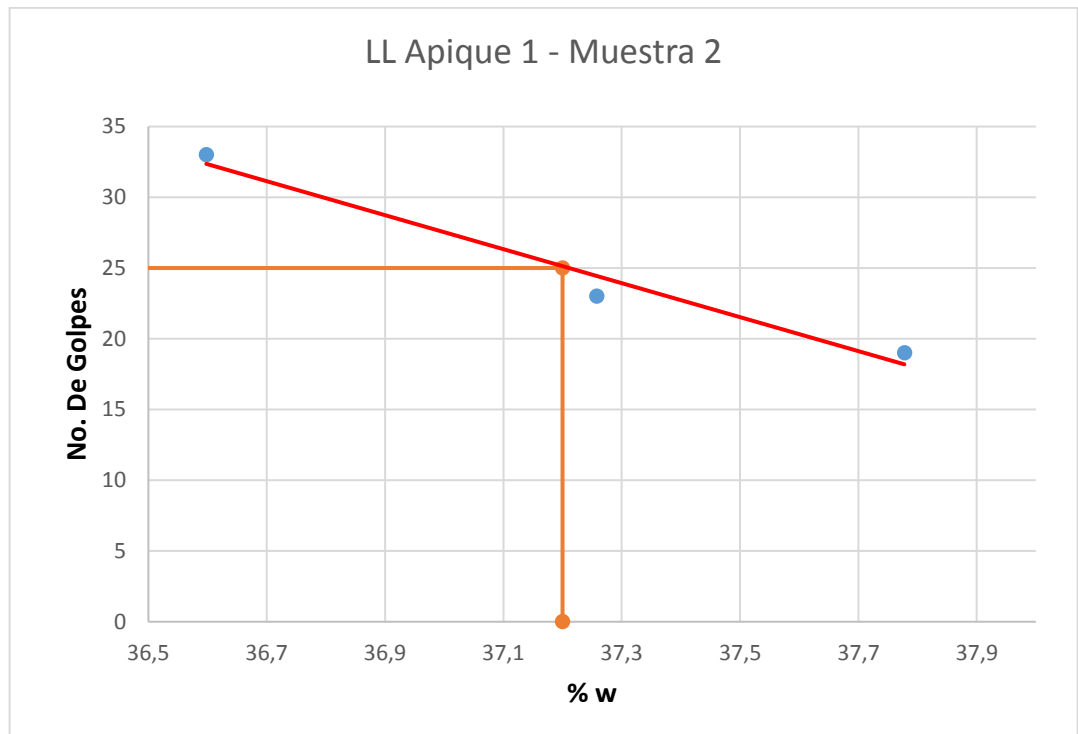


Suelo MH (Limo inorgánico de alta plasticidad)

Límite Líquido = 53,8%

Límite Plástico = 40,6%

Índice de Plasticidad = 13,2%



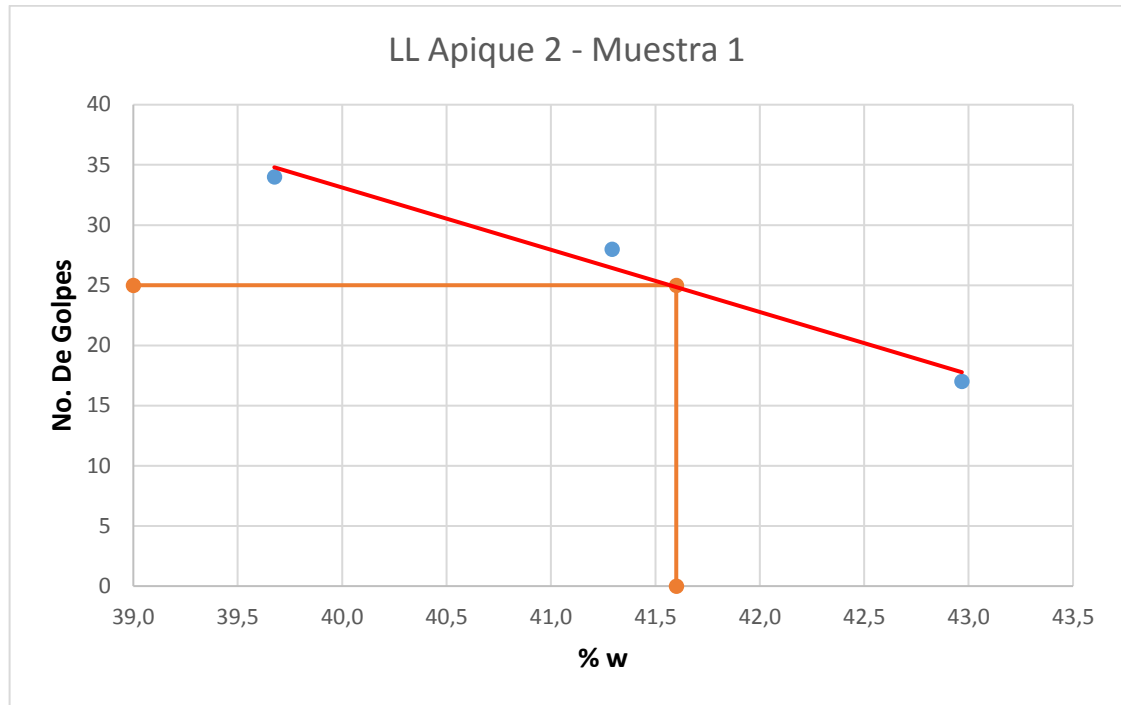
Suelo ML (Limo inorgánico de baja plasticidad)

Límite Líquido = 37,2%

Límite Plástico = 29,7%

Índice de Plasticidad = 7,5%

Apique No. 2

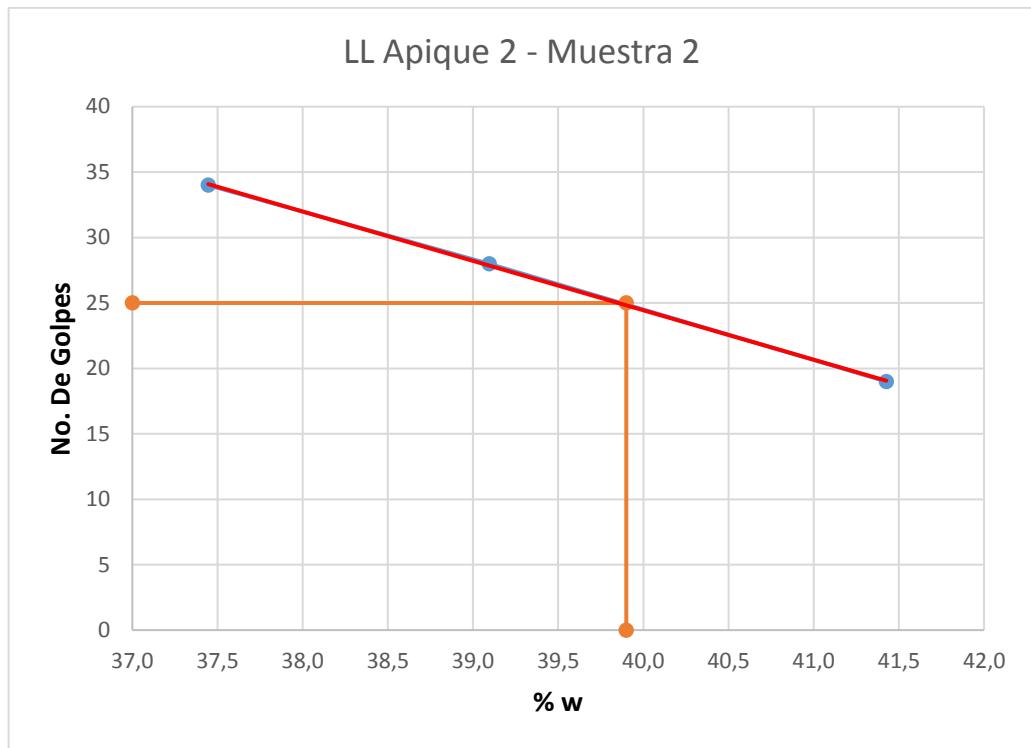


Suelo **ML** (Limo inorgánico de baja plasticidad)

Límite Líquido = 41,6%

Límite Plástico = 32,6%

Índice de Plasticidad = 9,0%



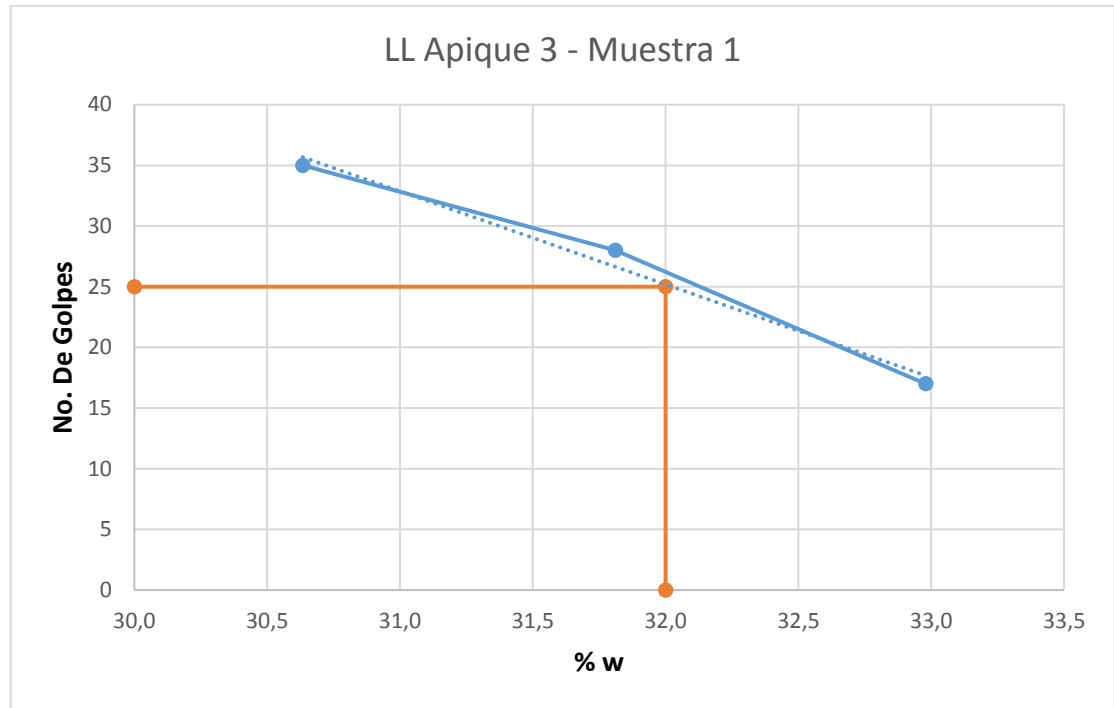
Suelo ML (Limo inorgánico de baja plasticidad)

Límite Líquido = 39,9%

Límite Plástico = 27,9%

Índice de Plasticidad = 12,0%

Apique No. 3



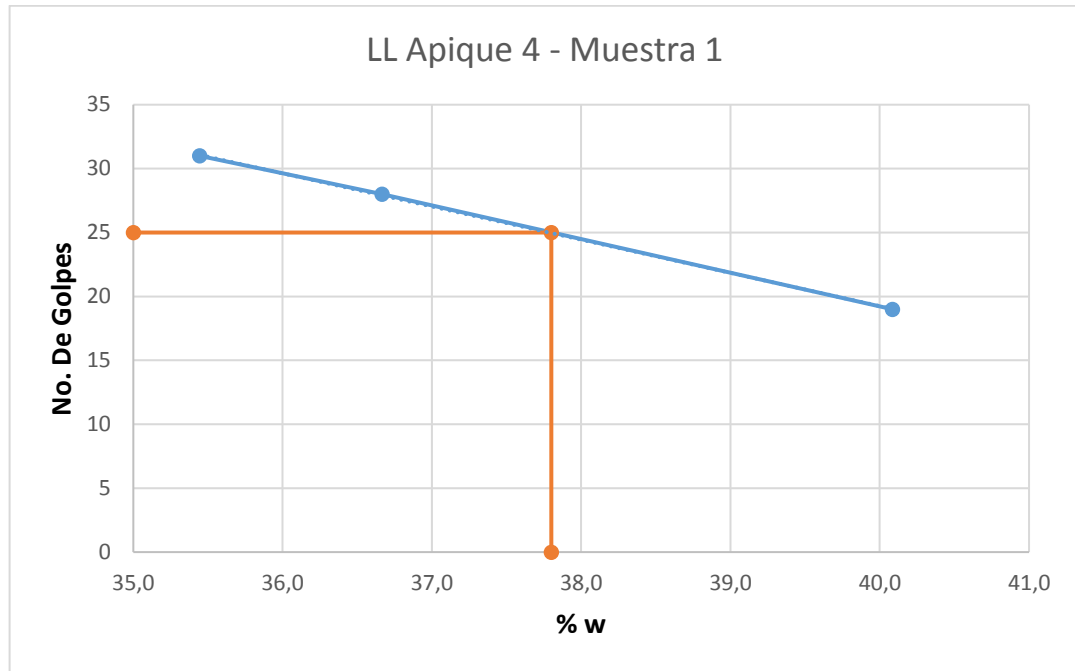
Suelo **ML** (Limo inorgánico de baja plasticidad)

Límite Líquido = 32,0%

Límite Plástico = 24,2%

Índice de Plasticidad = 7,8%

Apique No. 4



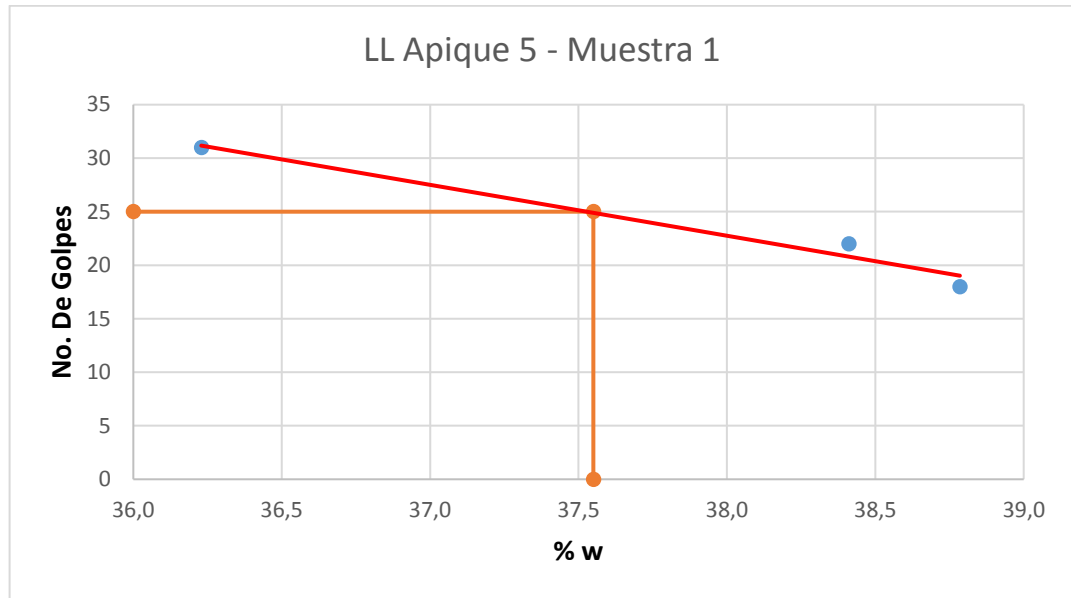
Suelo **ML** (Limo inorgánico de baja plasticidad)

Límite Líquido = 37,8%

Límite Plástico = 26,5%

Índice de Plasticidad = 11,3%

Apique No. 5



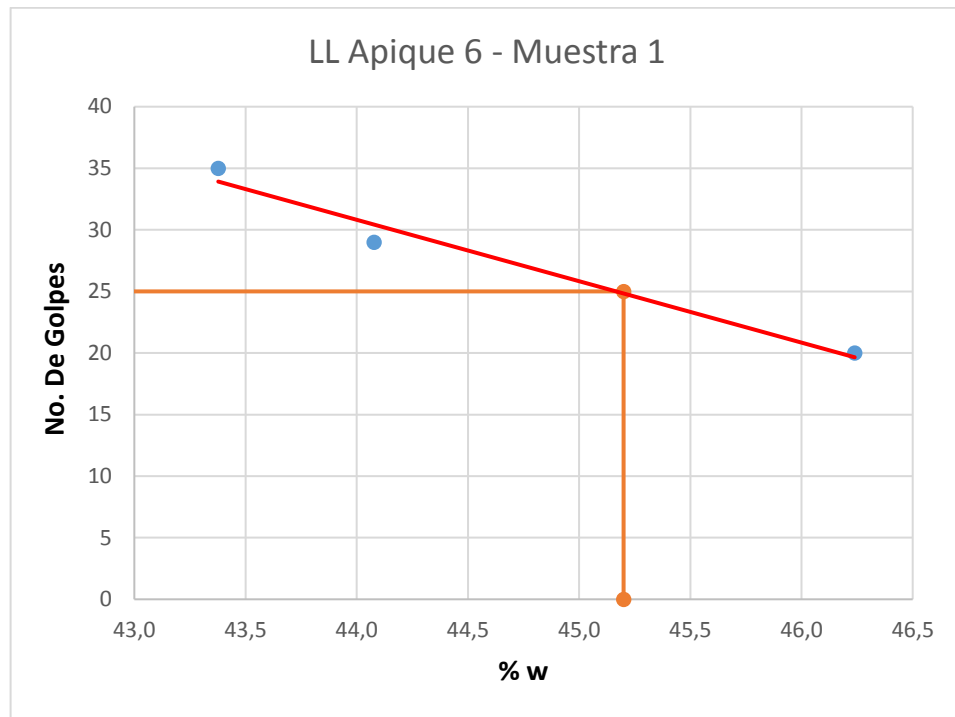
Suelo **ML** (Limo inorgánico de baja plasticidad)

Límite Líquido = 37,6%

Límite Plástico = 30,8%

Índice de Plasticidad = 6,8%

Apique No. 6



Suelo **CL** (Arcilla inorgánica de baja plasticidad)

Límite Líquido = 45,2%

Límite Plástico = 28,9%

Índice de Plasticidad = 16,3%

ANEXOS 3

Tabla 36. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 1

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 20 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	130			
1	144	14	14	15,20
2	155	11	11	19,91
3	168	13	13	16,51
4	180	12	12	18,06
5	190	10	10	22,15
6	203	13	13	16,51
7	218	15	15	14,07
8	235	17	17	12,23
9	250	15	15	14,07
10	262	12	12	18,06
11	275	13	13	16,51
12	288	13	13	16,51
13	300	12	12	18,06
14	310	10	10	22,15
15	324	14	14	15,20
16	336	12	12	18,06
17	352	16	16	13,08
18	365	13	13	16,51
19	378	13	13	16,51
20	388	10	10	22,15
21	400	12	12	18,06
22	408	8	8	28,44
23	415	7	7	33,03
24	425	10	10	22,15
25	436	11	11	19,91
26	445	9	9	24,92
27	456	11	11	19,91
28	470	14	14	15,20
29	480	10	10	22,15
30	490	10	10	22,15
31	500	10	10	22,15
32	514	14	14	15,20
33	525	11	11	19,91
34	534	9	9	24,92
35	545	11	11	19,91
36	560	15	15	14,07
37	570	10	10	22,15
38	585	15	15	14,07
39	595	10	10	22,15
40	605	10	10	22,15
41	614	9	9	24,92
42	625	11	11	19,91
43	640	15	15	14,07
44	660	20	20	10,19
45	675	15	15	14,07
46	695	20	20	10,19
47	715	20	20	10,19
48	735	20	20	10,19
49	755	20	20	10,19
50	773	18	18	11,47
51	790	17	17	12,23
52	810	20	20	10,19
53	826	16	16	13,08
54	845	19	19	10,79
55	860	15	15	14,07
56	877	17	17	12,23

Tabla 37. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 2

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómez Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 24 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	180			
1	198	18	18	11,47
2	205	7	7	33,03
3	212	7	7	33,03
4	221	9	9	24,92
5	230	9	9	24,92
6	238	8	8	28,44
7	247	9	9	24,92
8	254	7	7	33,03
9	262	8	8	28,44
10	274	12	12	18,06
11	284	10	10	22,15
12	294	10	10	22,15
13	304	10	10	22,15
14	314	10	10	22,15
15	324	10	10	22,15
16	334	10	10	22,15
17	345	11	11	19,91
18	355	10	10	22,15
19	364	9	9	24,92
20	374	10	10	22,15
21	382	8	8	28,44
22	396	14	14	15,20
23	410	14	14	15,20
24	424	14	14	15,20
25	436	12	12	18,06
26	450	14	14	15,20
27	466	16	16	13,08
28	478	12	12	18,06
29	494	16	16	13,08
30	510	16	16	13,08
31	528	18	18	11,47
32	546	18	18	11,47
33	565	19	19	10,79
34	580	15	15	14,07
35	596	16	16	13,08
36	616	20	20	10,19
37	630	14	14	15,20
38	645	15	15	14,07
39	655	10	10	22,15
40	670	15	15	14,07
41	685	15	15	14,07
42	695	10	10	22,15
43	710	15	15	14,07
44	725	15	15	14,07
45	738	13	13	16,51
46	750	12	12	18,06
47	765	15	15	14,07
48	775	10	10	22,15
49	785	10	10	22,15
50	795	10	10	22,15
51	810	15	15	14,07
52	820	10	10	22,15
53	835	15	15	14,07
54	848	13	13	16,51

Tabla 38. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 3

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 25 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	193			
1	209	16	16	13,08
2	220	11	11	19,91
3	229	9	9	24,92
4	238	9	9	24,92
5	246	8	8	28,44
6	257	11	11	19,91
7	268	11	11	19,91
8	278	10	10	22,15
9	288	10	10	22,15
10	293	5	5	48,14
11	308	15	15	14,07
12	316	8	8	28,44
13	330	14	14	15,20
14	342	12	12	18,06
15	355	13	13	16,51
16	368	13	13	16,51
17	382	14	14	15,20
18	396	14	14	15,20
19	411	15	15	14,07
20	426	15	15	14,07
21	442	16	16	13,08
22	459	17	17	12,23
23	476	17	17	12,23
24	493	17	17	12,23
25	510	17	17	12,23
26	525	15	15	14,07
27	541	16	16	13,08
28	556	15	15	14,07
29	575	19	19	10,79
30	596	21	21	9,65
31	620	24	24	8,31
32	645	25	25	7,94
33	669	24	24	8,31
34	693	24	24	8,31
35	715	22	22	9,16
36	730	15	15	14,07
37	745	15	15	14,07
38	760	15	15	14,07
39	771	11	11	19,91
40	781	10	10	22,15
41	790	9	9	24,92
42	798	8	8	28,44
43	808	10	10	22,15
44	816	8	8	28,44
45	828	12	12	18,06
46	836	8	8	28,44
47	844	8	8	28,44
48	852	8	8	28,44
49	860	8	8	28,44
50	868	8	8	28,44
51	878	10	10	22,15
52	887	9	9	24,92
53	894	7	7	33,03
54	903	9	9	24,92
55	910	7	7	33,03
56	920	10	10	22,15
57	928	8	8	28,44

Tabla 39. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 4

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 18 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	130			
1	150	20	20	10,19
2	168	18	18	11,47
3	181	13	13	16,51
4	198	17	17	12,23
5	210	12	12	18,06
6	225	15	15	14,07
7	240	15	15	14,07
8	255	15	15	14,07
9	272	17	17	12,23
10	288	16	16	13,08
11	301	13	13	16,51
12	316	15	15	14,07
13	334	18	18	11,47
14	350	16	16	13,08
15	372	22	22	9,16
16	395	23	23	8,71
17	419	24	24	8,31
18	435	16	16	13,08
19	446	11	11	19,91
20	455	9	9	24,92
21	461	6	6	39,25
22	467	6	6	39,25
23	474	7	7	33,03
24	480	6	6	39,25
25	486	6	6	39,25
26	492	6	6	39,25
27	500	8	8	28,44
28	505	5	5	48,14
29	510	5	5	48,14
30	515	5	5	48,14
31	521	6	6	39,25
32	527	6	6	39,25
33	530	3	3	85,31

Tabla 40. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 5

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 20 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	130			
1	150	20	20	10,19
2	164	14	14	15,20
3	174	10	10	22,15
4	188	14	14	15,20
5	200	12	12	18,06
6	210	10	10	22,15
7	228	18	18	11,47
8	240	12	12	18,06
9	255	15	15	14,07
10	266	11	11	19,91
11	281	15	15	14,07
12	298	17	17	12,23
13	320	22	22	9,16
14	340	20	20	10,19
15	361	21	21	9,65
16	380	19	19	10,79
17	394	14	14	15,20
18	408	14	14	15,20
19	428	20	20	10,19
20	450	22	22	9,16
21	470	20	20	10,19
22	490	20	20	10,19
23	510	20	20	10,19
24	533	23	23	8,71
25	562	29	29	6,72
26	588	26	26	7,60
27	605	17	17	12,23
28	625	20	20	10,19
29	650	25	25	7,94
30	680	30	30	6,47
31	708	28	28	6,99
32	732	24	24	8,31
33	753	21	21	9,65
34	772	19	19	10,79
35	793	21	21	9,65
36	815	22	22	9,16
37	830	15	15	14,07
38	845	15	15	14,07
39	862	17	17	12,23
40	885	23	23	8,71
41	903	18	18	11,47
42	915	12	12	18,06

Tabla 41. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 6

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 18 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	165			
1	190	25	25	7,94
2	210	20	20	10,19
3	228	18	18	11,47
4	245	17	17	12,23
5	260	15	15	14,07
6	280	20	20	10,19
7	295	15	15	14,07
8	315	20	20	10,19
9	325	10	10	22,15
10	328	3	3	85,31
11	335	7	7	33,03
12	338	3	3	85,31
13	345	7	7	33,03
14	350	5	5	48,14
15	360	10	10	22,15
16	365	5	5	48,14
17	370	5	5	48,14
18	383	13	13	16,51
19	400	17	17	12,23
20	405	5	5	48,14

Tabla 42. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 7.

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 15 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	85			
1	90	5	5	48,14
2	94	4	4	61,81
3	98	4	4	61,81
4	100	2	2	134,35
5	102	2	2	134,35

Tabla 43. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 8

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 10 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	120			
1	140	20	20	10,19
2	153	13	13	16,51
3	168	15	15	14,07
4	180	12	12	18,06
5	190	10	10	22,15
6	198	8	8	28,44
7	212	14	14	15,20
8	220	8	8	28,44
9	230	10	10	22,15
10	245	15	15	14,07
11	262	17	17	12,23
12	275	13	13	16,51
13	285	10	10	22,15
14	292	7	7	33,03
15	301	9	9	24,92
16	307	6	6	39,25
17	312	5	5	48,14
18	315	3	3	85,31
19	320	5	5	48,14
20	325	5	5	48,14
21	328	3	3	85,31
22	335	7	7	33,03
23	340	5	5	48,14
24	345	5	5	48,14
25	348	3	3	85,31
26	354	6	6	39,25
27	360	6	6	39,25
28	365	5	5	48,14
29	370	5	5	48,14
30	375	5	5	48,14
31	380	5	5	48,14

Tabla 44. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 9

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 15 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	135			
1	155	20	20	10,19
2	165	10	10	22,15
3	175	10	10	22,15
4	193	18	18	11,47
5	210	17	17	12,23
6	225	15	15	14,07
7	240	15	15	14,07
8	250	10	10	22,15
9	262	12	12	18,06
10	275	13	13	16,51
11	288	13	13	16,51
12	305	17	17	12,23
13	323	18	18	11,47
14	344	21	21	9,65
15	365	21	21	9,65
16	380	15	15	14,07
17	398	18	18	11,47
18	415	17	17	12,23
19	427	12	12	18,06
20	436	9	9	24,92
21	445	9	9	24,92
22	453	8	8	28,44
23	470	17	17	12,23
24	480	10	10	22,15
25	495	15	15	14,07
26	508	13	13	16,51
27	518	10	10	22,15
28	528	10	10	22,15
29	542	14	14	15,20
30	555	13	13	16,51
31	573	18	18	11,47
32	592	19	19	10,79
33	612	20	20	10,19
34	630	18	18	11,47
35	650	20	20	10,19
36	670	20	20	10,19
37	690	20	20	10,19
38	700	10	10	22,15
39	715	15	15	14,07
40	723	8	8	28,44
41	735	12	12	18,06
42	745	10	10	22,15
43	755	10	10	22,15

Tabla 45. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 10

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 15 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	53			
1	70	17	17	12,23
2	78	8	8	28,44
3	85	7	7	33,03
4	95	10	10	22,15
5	100	5	5	48,14
6	105	5	5	48,14
7	115	10	10	22,15
8	125	10	10	22,15
9	128	3	3	85,31
10	135	7	7	33,03
11	145	10	10	22,15
12	150	5	5	48,14
13	158	8	8	28,44
14	167	9	9	24,92
15	175	8	8	28,44
16	185	10	10	22,15
17	195	10	10	22,15
18	205	10	10	22,15
19	215	10	10	22,15
20	225	10	10	22,15
21	235	10	10	22,15
22	240	5	5	48,14
23	245	5	5	48,14
24	255	10	10	22,15
25	265	10	10	22,15
26	275	10	10	22,15
27	285	10	10	22,15
28	295	10	10	22,15
29	305	10	10	22,15
30	320	15	15	14,07
31	330	10	10	22,15
32	340	10	10	22,15
33	355	15	15	14,07
34	367	12	12	18,06
35	380	13	13	16,51
36	390	10	10	22,15

Tabla 46. Calculo del CBR final a partir del ensayo PDC – Apique 11

Proyecto: Pre-diseño de Placa Huella y Obras de arte	Fecha: 17 Enero de 2018
Localización: Vereda Lavadero - Fómeque Cund.	Peso del martillo: 8 kg
Profundidad del punto cero bajo la superficie: 15 cm	Tiempo (Predicción): 15° C
Clasificación del material:	Nivel freático: Desconocido
Condición del pavimento: No aplica	

No. Golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración entre lecturas (mm)	Indice PDC (mm/golpe)	% CBR INVIAS 172-07
0	126			
1	144	18	18	11,47
2	155	11	11	19,91
3	166	11	11	19,91
4	177	11	11	19,91
5	190	13	13	16,51
6	202	12	12	18,06
7	215	13	13	16,51
8	229	14	14	15,20
9	240	11	11	19,91
10	250	10	10	22,15
11	260	10	10	22,15
12	272	12	12	18,06
13	280	8	8	28,44
14	288	8	8	28,44
15	298	10	10	22,15
16	306	8	8	28,44
17	313	7	7	33,03
18	322	9	9	24,92
19	330	8	8	28,44
20	336	6	6	39,25
21	343	7	7	33,03
22	350	7	7	33,03
23	355	5	5	48,14
24	360	5	5	48,14
25	365	5	5	48,14
26	370	5	5	48,14
27	374	4	4	61,81
28	380	6	6	39,25
29	385	5	5	48,14
30	390	5	5	48,14
31	395	5	5	48,14
32	400	5	5	48,14
33	405	5	5	48,14
34	415	10	10	22,15
35	420	5	5	48,14

ANEXOS 4

Tabla 47. Cuadro de cantidades

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	DIMENSIONES			Kg	Volumen	Total	CANT.
			1-Largo	2-Ancho	3-Alto				
1. PRELIMINARES									
1.1.	Localización y replanteo	ml	2.600,0						2.600,0
1.2.	Cerramiento de obra	ml	15,0						15,0
2. Excavaciones y rellenos									
2.1.	Excavación en material común	m³	2.600,0	4,0	0,2		1.560,0		1.560,0
2.2.	Transporte materiales de excavación distancia >1000 m.	m³/km							2.028,0
2.3.	Excavación manual para riostras	m³	4,0	0,2	0,3		0,3	1.529,0	403,7
2.4.	Base Granular	m³	2.600,0	4,0	0,2				1.560,0
3. Construcción de Placa Huella									
3.1.	Huellas de concreto de 3000 PSI, incluye formaletas	m³	2.294,1	0,9	0,2		371,6	2,0	743,3
3.2.	Entre huellas concreto ciclópeo, incluye formaletas	m³	2.294,1	0,8	0,2		330,4	1,0	330,4
3.3.	Concreto de 3000 PSI para riostras	m³	4,0	0,2	0,3		0,3	1.529,0	403,7
3.4.	Acero de refuerzo 60000 PSI para placas, riostras y cunetas	kg				117.643,0			117.643,0
3.5.	Concreto de 2000 PSI para cunetas y bordillos	m3	2.600,0	0,5	0,2		243,4	2,0	486,7
			2.600,0	0,2	0,6		301,6	2,0	603,2
4. Cajas de recolección									
4.1.	Excavación manual 1m * 1m * 1m	m³	1,0	1,0	1,0		1,0	15,0	15,0
4.2.	Concreto 2000 PSI	m3	0,8	0,8	2,2		1,4	15,0	21,1
							5,5	15,0	82,8
5. Alcantarilla D = 0,9 m									
5.1.	Excavación 2,2 m * 1m * 4m	m³	4,0	1,0	2,2		8,8	15,0	132,0
5.2.	Tubería de diámetro 0,9m	ml	4,0					15,0	60,0

1. PRELIMINARES

1.1. LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO

UNIDAD: ml

1. MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Estacas de madera	UND	0,50	\$ 750,0	\$ 375,0
Puntilla 1"	Lb	0,01	\$ 3.200,0	\$ 32,0
Total			\$	407,0

2. EQUIPO

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Día)	Rendimiento (ml/Día)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,0	\$ 3.000,0	870	\$ 3,4
Estación electrónica total	UND	1,0	\$ 60.000,0	870	\$ 69,0
Equipo de nivelación	UND	1,0	\$ 24.000,0	870	\$ 27,6
Total			\$		100,0

3. MANO DE OBRA

Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (ml/Día)	Vr. Total
Comisión de topografía	1,0	\$ 200.000	1,7	\$ 340.000,0	870,0	\$ 390,8
Total					\$	390,8

4. TRANSPORTE

Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (ml/km)	Vr. Total
		0,00	0,00	0,00	0,00
Total				\$	-

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 897,8

1.2. CERRAMIENTO DE OBRA

UNIDAD: ml

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Listones de madera	UND	0,30	\$ 10.000,0	\$ 3.000,0
Puntilla	LB	0,01	\$ 3.200,0	\$ 32,0
Tela cerramiento obra (verde)	ml	1,00	\$ 1.900,0	\$ 1.900,0
Cinta Señalización	ml	1,00	\$ 100,0	\$ 100,0
			Total	\$ 5.032,00

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Día)	Rendimiento (ml/Día)	Vr. Total
Herramienta Menor	GB	1,00	\$ 3.000,0	200,00	\$ 15,0
				Total	\$ 15,00

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (ml/Día)	Vr. Total
Oficial Obras Civiles	1,0	\$ 50.000,0	1,75	\$ 87.500,0	200,00	\$ 437,5
Ayudante	2,0	\$ 30.000,0	1,75	\$ 105.000,0	200,00	\$ 525,0
					Total	\$ 962,50

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (ml/km)	Vr. Total
		0,0	0,00	\$ -	\$ -
					Total
					\$ -

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 6.009,5

2. EXCAVACIONES Y RELLENOS

2.1. EXCAVACIÓN EN MATERIAL COMÚN

UNIDAD: m³

1. MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
				\$ -
				\$ -
			Total	\$ -

2. EQUIPO

Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Hora)	Rendimiento (m ³ /hora)	Vr. Total
Retroexcavadora sobre oruga, potencia 138 HP, balde de 1,5 m ³ .	UND	1,0	\$ 184.343,7	35	\$ 5.267,0
					Total \$5.266,96

3. MANO DE OBRA

Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m ³ /hora)	Vr. Total
Oficial	1,0	\$ 50.000,0	1,85	\$ 92.500,0	35	\$ 2.642,9
						Total \$ 2.642,9

4. TRANSPORTE

Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m ³ /km)	Vr. Total
					\$ -
					Total \$ -

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 7.909,82

2.2. TRANSPORTE MATERIALES DE EXCAVACIÓN DISTANCIA >1000 M.

UNIDAD: m³

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
				\$ -
			Total	\$ -

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Hora)	Rendimiento (m³/hora)	Vr. Total
Volqueta 6 m³	UND	1,3	\$ 59.062,5	6,0	\$ 12.796,9
				Total	\$ 12.796,88

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m³/hora)	Vr. Total
	0,0	\$ -		\$ -		\$ -
					Total	0,00

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m³/km)	Vr. Total
					\$ -
				Total	\$ -

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 12.796,9

2.3. EXCAVACIÓN MANUAL PARA RIOSTRAS

UNIDAD: m³

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
				\$ -
			Total	\$ -

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (día)	Rendimiento (m ³ /día)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,0	\$ 3.000,0	2,0	\$ 1.500,0
Carretilla 5ft metálica	UND	1,0	\$ 10.000,0	2,0	\$ 5.000,0
				Total	\$ 6.500,0

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m ³ /día)	Vr. Total
Obrero	2,0	\$ 30.000,0	1,85	\$ 111.000,0	6,0	\$ 18.500,0
Oficial	1,0	\$ 50.000,0	1,85	\$ 92.500,0	6,0	\$ 15.416,7
					Total	\$ 33.916,67

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m ³ /km)	Vr. Total
					\$ -
				Total	\$ -

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 40.416,7

2.4. BASE GRANULAR CLASE B

UNIDAD: m³

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Material de base	m ³	1,3	\$ 47.196,7	\$ 61.355,7
Agua	lt	24,0	\$ 50,9	\$ 1.222,6
			Total	\$62.578,22

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Hora)	Rendimiento (m ³ /hora)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,0	\$ 714,3	45	\$ 15,9
Carro tanque de agua(1000 Galones)	UND	1,0	\$ 62.653,4	45	\$ 1.392,3
Motoniveladora potencia 215 HP, ancho de cuchilla 4,27 m, peso 18 ton.	UND	1,0	\$ 172.833,3	45	\$ 3.840,7
Vibrocompactor, potencia 153 HP, peso 10 Ton.	UND	1,0	\$ 91.333,3	45	\$ 2.029,6
				Total	\$ 7.278,5

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m ³ /hora)	Vr. Total
Obrero	2,0	\$ 30.000,0	1,85	\$ 111.000,0	45,0	\$ 2.466,7
Oficial	1,0	\$ 50.000,0	1,85	\$ 92.500,0	45,0	\$ 2.055,6
					Total	\$ 4.522,2

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m3/km)	Vr. Total
Transporte de material de subbase	m ³ /km	1,3	1	\$ 881,0	\$ 1.145,3
				Total	\$ 1.145,3

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 75.524,28

3. CONSTRUCCIÓN DE PLACA HUELLA

3.1. HUELLAS DE CONCRETO DE 3000 PSI, INCLUYE FORMALETAS

UNIDAD: m²

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Cemento	kg	360,5	\$ 410,0	\$ 147.805,0
Triturado	m ³	0,9	\$ 55.000,0	\$ 47.586,0
Arena de Río	m ³	0,6	\$ 40.000,0	\$ 23.072,0
Agua	Lts	185,4	\$ 20,0	\$ 3.708,0
Desencofrante Separol	kg	0,02	\$ 8.568,0	\$ 128,5
Formaletas	m ²	2,6	\$ 6.000,0	\$ 15.600,0
			Total	\$ 237.899,5

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Día)	Rendimiento (m ² /Día)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,0	\$ 4.000,0	5,0	\$ 800,0
Mezcladora de Concreto	UND	1,0	\$ 30.000,0	5,0	\$ 6.000,0
Vibrador de Concreto	UND	1,0	\$ 24.000,0	5,0	\$ 4.800,0
				Total	\$ 11.600,0

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m ² /Día)	Vr. Total
Ayudante de obra	5,0	\$ 30.000,0	1,75	\$ 262.500,0	5,0	\$ 52.500,0
Oficial de Concretos	1,0	\$ 50.000,0	1,75	\$ 87.500,0	5,0	\$ 17.500,0
					Total	\$ 70.000,0

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m ³ /km)	Vr. Total
Triturado	m ³	0,9	10,00	\$ 881,0	\$ 7.622,4
Arena de Río	m ³	0,6	10,00	\$ 881,0	\$ 5.081,6
				Total	\$ 12.704,0

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 332.203,5

3.2. ENTRE HUELLAS CONCRETO CICLÓPEO, INCLUYE FORMALETAS

UNIDAD: m³

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Cemento	kg	96,41	\$ 410,0	\$ 39.527,3
Triturado	m ³	0,31	\$ 55.000,0	\$ 17.131,0
Arena de Río	m ³	0,23	\$ 40.000,0	\$ 9.344,2
Agua	Lts	68,60	\$ 20,0	\$ 1.372,0
Piedra rajón o canto rodado	m ³	0,4	\$ 34.000,0	\$ 13.600,0
Formaletas	m ²	2,6	\$ 6.000,0	\$ 15.600,0
Desencofrante Separol	kg	0,02	\$ 8.568,0	\$ 128,5
			Total	\$ 96.702,9

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Día)	Rendimiento (m ³ /Día)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,00	\$ 4.000,0	4,0	\$ 1.000,0
Mezcladora de Concreto	UND	1,00	\$ 30.000,0	4,0	\$ 7.500,0
Vibrador de Concreto	UND	1,00	\$ 24.000,0	4,0	\$ 6.000,0
				Total	\$ 14.500,0

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m ³ /Día)	Vr. Total
Ayudante de obra	5,0	\$ 30.000,0	1,75	\$ 262.500,0	4,0	\$ 65.625,0
Oficial de Concretos	1,0	\$ 50.000,0	1,75	\$ 87.500,0	4,0	\$ 21.875,0
					Total	\$ 87.500,0

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m ³ /km)	Vr. Total
Piedra rajón o canto rodado	m ³ /km	0,4	10,00	\$ 2.000,0	\$ 8.000,0
Triturado	m ³ /km	0,3	10,00	\$ 2.000,0	\$ 6.229,4
Arena de Río	m ³ /km	0,2	10,00	\$ 2.000,0	\$ 4.672,1
				Total	\$ 10.901,5

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 209.604,40

3.3. CONCRETO DE 3000 PSI PARA RIOSTRAS

UNIDAD: m³

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Cemento	kg	360,5	\$ 410,0	\$ 147.805,0
Triturado	m ³	0,9	\$ 55.000,0	\$ 47.586,0
Arena de Río	m ³	0,6	\$ 40.000,0	\$ 23.072,0
Agua	Lts	185,4	\$ 20,0	\$ 3.708,0
Desencofrante Separol	kg	0,0	\$ 8.568,0	\$ 128,5
Formaletas	m ²	0,3	\$ 6.000,0	\$ 1.800,0
			Total	\$ 224.099,5

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Día)	Rendimiento (m ³ /Día)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,0	\$ 4.000,0	4,0	\$ 1.000,0
Mezcladora de Concreto	UND	1,0	\$ 30.000,0	4,0	\$ 7.500,0
Vibrador de Concreto	UND	1,0	\$ 24.000,0	4,0	\$ 6.000,0
				Total	\$ 14.500,0

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m ³ /Día)	Vr. Total
Ayudante de obra	5,0	\$ 30.000,0	1,75	\$ 262.500,0	4,0	\$ 65.625,0
Oficial de Concretos	1,0	\$ 50.000,0	1,75	\$ 87.500,0	4,0	\$ 21.875,0
					Total	\$ 87.500,0

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m ³ /km)	Vr. Total
Triturado	m ³	0,9	10,00	\$ 881,0	\$ 7.622,4
Arena de Río	m ³	0,6	10,00	\$ 881,0	\$ 5.081,6
				Total	\$ 12.704,0

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 338.803,54

3.4. ACERO DE REFUERZO 420 MPa PARA PLACAS, RIOSTRAS Y CUNETAS

UNIDAD: kg

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Acero de refuerzo de 420 Mpa	kg	1,05	\$ 2.000,0	\$ 2.100,0
Alambre Negro Calibre 18	kg	0,03	\$ 5.300,0	\$ 159,0
			Total	\$ 2.259,0

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Día)	Rendimiento (kg/Día)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,00	\$ 4.000,0	200,0	\$ 20,0
Cizalla	UND	1	\$ 1.300,0	200,0	\$ 6,5
				Total	\$ 26,5

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (kg/Día)	Vr. Total
Ayudante	2	\$ 30.000,0	1,75	\$ 105.000,0	200,0	\$ 525,0
Oficial de ferreteria	1	\$ 50.000,0	1,75	\$ 87.500,0	200,0	\$ 437,5
					Total	\$ 962,5

4. TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m³/km)	Vr. Total	
					\$ -	
					Total	\$ 0,00

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 3.248,00

**3.5. CUNETA Y BORDILLO DE CONCRETO DE 2000 PSI, INCLUYE
LA CONFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE DE APOYO**

UNIDAD: m³

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Cemento	kg	267,8	\$ 410,0	\$ 109.798,0
Triturado	m ³	1,0	\$ 55.000,0	\$ 56.650,0
Arena de Río	m ³	0,5	\$ 40.000,0	\$ 20.600,0
Arena de peña	m ³	1,0	\$ 40.000,0	\$ 40.000,0
Agua	Lts	175,1	\$ 20,0	\$ 3.502,0
Desenfofrante Separol	kg	0,0	\$ 8.568,0	\$ 128,5
Material seleccionado para relleno	m ³	0,8	\$ 18.800,0	\$ 14.100,0
Formaletas	m ²	3,0	\$ 6.000,0	\$ 18.000,0
			Total	\$ 262.778,52

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Día)	Rendimiento (m ³ /Día)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,0	\$ 4.000,0	4,0	\$ 1.000,0
Mezcladora de Concreto	UND	1,0	\$ 30.000,0	4,0	\$ 7.500,0
Vibrador de Concreto	UND	1,0	\$ 24.000,0	4,0	\$ 6.000,0
Compactador Manual	UND	1,0	\$ 7.800,0	4,0	\$ 1.950,0
				Total	\$ 16.450,0

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m ³ /Día)	Vr. Total
Ayudante de obra	5,0	\$ 33.000,0	1,75	#####	4,0	\$ 72.187,5
Oficial de Concretos	1,0	\$ 50.000,0	1,75	\$ 87.500,0	4,0	\$ 21.875,0
					Total	\$ 94.062,5

4. TRANSPORTE						
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m³/km)	Vr. Total	
Triturado	m³	1,03	10,0	\$ 2.000,0	\$ 0,01	
Arena de Río	m³	0,52	10,0	\$ 2.000,0	\$ 0,00	
					Total	\$ 0,01

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 373.231,03

4. CAJAS DE RECOLECCIÓN

4.1. CONCRETO DE 2000 PSI PARA CAJAS DE RECOLECCIÓN

UNIDAD: m³

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Cemento	kg	267,80	\$ 550,0	\$ 147.290,0
Triturado	m ³	0,87	\$ 15.050,0	\$ 13.021,3
Arena de Río	m ³	0,65	\$ 15.636,0	\$ 10.146,2
Agua	Lts	175,10	\$ 20,0	\$ 3.502,0
Desenclafante Separol	kg	0,02	\$ 8.568,0	\$ 128,5
Formaletas	m ²	9,0	\$ 6.000,0	\$ 54.000,0
			Total	\$ 228.088,0

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Día)	Rendimiento (m ³ /día)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,00	\$ 4.000,0	2,00	\$ 2.000,0
Mezcladora de Concreto	UND	1,00	\$ 30.000,0	2,00	\$ 15.000,0
Vibrador de Concreto	UND	1,00	\$ 24.000,0	2,00	\$ 12.000,0
				Total	\$ 29.000,0

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (m ³ /día)	Vr. Total
Ayudante de obra	4,00	\$ 33.000,0	1,75	\$ 231.000,0	2,0	\$ 115.500,0
Oficial de Concretos	1,00	\$ 50.000,0	1,75	\$ 87.500,0	2,0	\$ 43.750,0
					Total	\$ 159.250,00

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m ³ /km)	Vr. Total
Triturado	m ³	0,87	10,00	\$ 2.000,0	\$ 0,004
Arena de Río	m ³	0,65	10,00	\$ 2.000,0	\$ 0,003
				Total	\$ 0,01

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 416.337,99

5. ALCANTARILLA D = 0,9 m

5.1. TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO D=900 mm

UNIDAD: ml

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Mortero 1:3 para anillos	m ³	0,02	\$ 310.639,0	\$ 6.212,8
Material granular para solado y atraque	m ³	0,46	\$ 47.800,0	\$ 21.988,0
Tubo de concreto reforzado D=0,9m	ml	1	\$ 340.000,0	\$ 340.000,0
			Total	\$ 368.200,8

2. EQUIPO					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (Hora)	Rendimiento (ml/hora)	Vr. Total
Herramienta menor	GB	1,0	\$ 4.000,0	3,0	\$ 1.333,3
Retroexcavadora A25 C	UND	1,0	\$ 192.448,0	3,0	\$ 64.149,3
				Total	\$ 65.482,7

3. MANO DE OBRA						
Descripción	Cantidad	Jornal	F. P.	Total Jornal	Rendimiento (ml/hora)	Vr. Total
Ayudante de obra	4,00	\$ 30.000,0	1,75	\$ 210.000,0	3,0	\$ 70.000,0
Oficial	1,00	\$ 50.000,0	1,75	\$ 87.500,0	3,0	\$ 29.166,7
					Total	\$ 99.166,67

4. TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Distancia (km)	Tarifa (m³/km)	Vr. Total
					\$ -
					Total
					\$ 0.00

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 532.850,11