

**PREDISEÑOS DE LOS ESTUDIOS DE GEOTECNIA, DISEÑO GEOMÉTRICO,
HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL PARA EL MEJORAMIENTO VIAL EN LA
VEREDA SANTA RITA MUNICIPIO SILVANIA**

**HENRY SEBASTIAN CLAVIJO GÓMEZ
DANIEL YESID RAMÍREZ FONSECA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C
JUNIO DE 2018**

PREDISEÑOS DE LOS ESTUDIOS DE GEOTECNIA, DISEÑO GEOMÉTRICO,
HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL PARA EL MEJORAMIENTO VIAL EN LA
VEREDA SANTA RITA MUNICIPIO SILVANIA

HENRY SEBASTIAN CLAVIJO GÓMEZ
DANIEL YESID RAMÍREZ FONSECA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director del Proyecto: Ing. Jorge Humberto Benavides Santamaría

Par designado: Ing. Juan Miguel Sánchez Durán

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C
JUNIO DE 2018

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
2.1 Alcance.....	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. OBJETIVOS.....	16
4.1 Objetivo general.....	16
4.2 Objetivos específicos.....	16
5. MARCO REFERENCIAL	17
5.1 Científico.....	17
5.1.1 Pavimento con Placa-huella.....	17
5.1.2 Diseño de Box Culvert.....	22
5.2 Teórico.....	24
5.3 Conceptual.....	24
5.4 Tecnológico	26
5.5 Metodológico	26
5.6 Histórico (estado del arte).....	26
5.7 Normativa aplicable	29
6. DESCRIPCION DE LA ZONA Y ESTUDIOS GENERALES.	30
6.1 Aspectos generales.	30
6.2 Estudio de suelos	30
6.2.1 Análisis granulométrico de suelos por tamizado I.N.V E 123-07.....	30
6.2.2 Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V. E 125-07	37
6.2.3 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos I.N.V. E 126-07.....	41
6.2.4 Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral I.N.V. E 128-07	44
6.2.5 Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad I.N.V. E 172-07 ..	49
6.3 Levantamiento topográfico.....	56
6.3.1 Generalidades.....	56
6.3.2 Ubicación y descripción del área de trabajo.....	56
6.3.3 Alcance de los trabajos topográficos.....	56
6.3.4 Instrumental y equipamiento.	57

6.3.5	Levantamiento topográfico, georreferenciación.	57
6.3.6	Anexos	58
6.3.7	Conclusiones.....	58
6.4	Aspectos hidrológicos.	58
6.4.1	Método racional clásico.....	59
6.4.2	Hoya hidrográfica y características físicas.	59
6.4.3	Caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial sobre la hoya.	68
7.	DISEÑOS.....	69
7.1	Estructura de placa huella	69
7.1.1	Subrasante y subbase granular	70
7.1.2	Espesor de la placa huella	70
7.1.3	Características de secciones transversales en tramos tangentes... 70	
7.1.4	Características en secciones transversales en la curva.....	71
7.2	Trazado geométrico	71
7.2.1	Diseño en planta del eje de la carretera.....	72
7.2.2	Diseño en perfil del eje de la vía	76
7.2.3	Movimiento de tierras	84
7.3	Obras de drenaje	85
7.3.1	Obras de drenaje longitudinal	85
7.3.2	Obra de drenaje transversal	90
7.3.3	Estructuras complementarias.....	104
8.	PRESUPUESTO.....	105
9.	RENDIMIENTOS	107
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
11.	REFERENCIAS.....	109

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Estado de la vía en el tramo del paso de la quebrada (verano)</i>	11
Figura 2: Estado de la vía en el tramo del paso de la quebrada, puente provisional	11
Figura 3: Estado de la vía en el tramo anterior a la quebrada	12
Figura 4 Ubicación geográfica del proyecto	15
Figura 5. Diseño y Construcción de Placa huella.....	17
Figura 6.Placa huella durante la construcción Guacharacas, Bolívar	20
Figura 7. Sistema placa huella.....	21
Figura 8. Sistema de un box culvert.....	22
Figura 9. Puentes voladizos sucesivos sobre río Juanambú, Nariño.....	28
Figura 10. Curva Granulométrica del suelo	36
Figura 11. Equipo cazuela Casagrande.....	37
Figura 12. Grafica limite líquido.	40
Figura 13. Carta de plasticidad Casagrande.....	43
Figura 14 Ensayo penetrómetro realizado in situ.....	49
Figura 15. Dispositivo PDC	50
Figura 16. Cono reutilizable	51
Figura 17. Ecuaciones empleadas para la determinación del tiempo de concentración.....	60
Figura 18. Curvas IDF.....	68
Figura 19. Vehículo de diseño. Camión C-3	69
Figura 20. Vista en planta y seccion transversal placa huella	71
Figura 21. Geometría de la vía (rojo), quebrada (azul).	72
Figura 22. Ubicación de las curvas	73
Figura 23 inclinación máxima en rampa de peraltes según velocidad de diseño ..	75
Figura 24 Desarrollo del peralte, curva 2	76
Figura 25 Perfil longitudinal	77
Figura 26 Ubicación del Box Culvert.....	78
Figura 27 Esquema de puntos, rasante	79

Figura 28 Esquema de rellenos y excavación en cercanías del Puente cajón.	84
Figura 29 Berma-cuneta recomendada por el INVIAS.....	87
Figura 30 Lámina de agua en la berma-cuneta.	87
Figura 31 Características de la sección propuesta	91
Figura 32 Esfuerzo vertical y horizontal del terreno	93
Figura 33 Pesos y dimensiones del vehículo de diseño C3.....	94
Figura 34 Ancho de contacto entre el neumático y la superficie de dirección transversal y longitudinal	95
Figura. 35 Solicitaciones por carga viva	96
Figura 36 Esfuerzos por empuje del Agua.....	97
Figura 37 Momentos últimos de diseño (Mu) SAP2000.....	98
Figura 38 Fuerzas cortantes últimas de diseño (Vu) SAP2000	98
Figura 39 Fuerzas axiales últimas de diseño (Pu) SAP2000	98
Figura 40 Distribución de aceros	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dosificaciones para la realización del ensayo.....	32
Tabla 2. Datos de la muestra	32
Tabla 3. Datos de cada tamiz	34
Tabla 4. Distribución por tamaño de partículas.....	36
Tabla 5. Calculo de humedades límite líquido	40
Tabla 6. Calculo límite plástico.	42
Tabla 7. Densidad del agua (dw) y coeficiente de temperatura (K) para diferentes temperaturas.....	47
Tabla 8. Datos de la muestra	48
Tabla 9. Registro de datos primer apique	52
Tabla 10. Registro de datos segundo apique	53
Tabla 11. Registro de datos tercer apique	54
Tabla 12. Correlación tabulada de CBR vs Índice PDC	55
Tabla 13. Resultados de tiempos de concentración por medio de las diferentes ecuaciones.....	61
Tabla 14. Periodo de retorno según el tipo de obra.	62
Tabla 15. Coeficiente de escorrentía según la vegetación y topografía de la zona	63
Tabla 16. Parámetros de ajuste de regresión, para cálculo de intensidad.....	64
Tabla 17. Valores máximos diarios mensuales de lluvias, estación hidrológica	65
Tabla 18. Valores máximos anuales	66
Tabla 19. Valores para configuración curvas IDF.	67
Tabla 20. Datos iniciales generales de la vía.....	72
Tabla 21. Georreferenciación de los extremos de la vía.	73
Tabla 22. Características de las curvas	74
Tabla 23. Peralte según velocidad y radio de la curva.....	74
Tabla 24. Ubicación del box Culvert	78
Tabla 25. Información de la rasante.....	79

Tabla 26 cuadro final de rasante para la Curva 1	83
Tabla 27 cuadro final de rasante para la Curva 2	83
Tabla 28 Volúmenes de excavación bajo el box culvert	84
Tabla 29 volumen de relleno.....	84
Tabla 30 Peso propio de la estructura	92
Tabla 31 Ancho de contacto entre el neumático y pavimento.....	95
Tabla 32 Cuadro de presupuesto.....	105
Tabla 33 Cuadro de rendimientos.....	107

1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Silvania Cundinamarca se divide en dos sectores rural y urbano, el sector más amplio es el rural con una área que se aproxima al 95.4% cuya principal actividad económica se basa en la agricultura, dentro de la división territorial del municipio se encuentran constituidos 3 zonas urbanas y 13 veredas dentro de las que se encuentra la vereda de Santa Rita en la cual debido a la falta de un sistema de vías adecuado que permita el desarrollo efectivo de sus ejercicios del campo en especial por que a través de su única vía de acceso existente pasa un cauce que en épocas de precipitaciones restringe el paso dejando incomunicada a la población y reteniendo la salida de los productos de los campesinos, sumado a este problema se evidencia la falta de una adecuada red vial que permita la conexión de la carretera principal (Sibaté - Fusagasugá) y la vereda.

Con el fin de presentar una solución que permita ofrecer medios aceptables de circulación de transito se realiza el diseño geométrico así como de sus sistemas de drenaje y de estructura de un pavimento con placa huella el cual por sus características presenta un adecuado funcionamiento ante volúmenes de transito bajos, condición que se presenta en esta vereda.

Para darle solución a la situación que se presenta en la zona de la quebrada se realizara la estimación hidrológica de los caudales de escorrentía que circularán por esta y así dimensionar y establecer la estructura adecuada que garantice el servicio incondicional de una vía eficiente.

La realización de estas obras favorece el nivel social de la comunidad, proyectos de este tipo son significativos para la población pues las actividades agrícolas que se generan aportan en parte al progreso del municipio.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según lo establece la normativa colombiana¹ la infraestructura de transporte debe estar bajo la vigilancia y control del Estado, y se organiza de manera estable para permitir el traslado de las personas, los bienes y los servicios, el acceso y la integración de las diferentes zonas del país y que propende por el crecimiento, competitividad y mejora de la calidad de la vida de los ciudadanos.

La vereda de Santa Rita del municipio de Silvana Cundinamarca al sur de Bogotá, establece la sostenibilidad y desarrollo de su población a partir de las actividades agrarias y propias del campo, las condiciones de la única vía de acceso y comunicación que posee este sector se encuentra en condiciones de alto deterioro sobre todo en zonas específicas del trazado, dichas condiciones sumadas a los factores naturales desfavorables recurrentes hacen que en ocasiones la vía queda con un paso restringido dejando incomunicada físicamente la población además de retener la salida de los productos de los campesinos.

A lo largo de los casi 3 km de vía se encuentran aproximadamente 30 familias, algo más de 120 personas las cuales su labor principal es la de cultivos varios en los que se destacan lulo, habichuela, fresa y alverja áreas cultivadas que llegan a ser de 60 hectáreas.

La vía presenta escasos drenajes longitudinales de los cuales únicamente se observaron zanjas a los costados de la vía los cuales desembocaban directamente en el punto más bajo de la carretera por donde además pasa una quebrada con poco caudal en épocas de verano, pero que en épocas de invierno o días en los que la lluvia sea prolongada divide la vía en 2 tramos dejando al sector más alejado de la carreta principal (Fusagasugá- Sibaté pavimentada 2 carriles) incomunicada vía terrestre generando riesgos de accidentes para las personas que se atreven a pasar sobre esta quebrada por medio de un puente rudimentario que genera poca seguridad y un paso muy limitado.

¹ LEY 1682 DE 2013 - MINISTERIO DE TRANSPORTE. por la cual se adoptan medidas y disposiciones para los proyectos de infraestructura de transporte y se conceden facultades extraordinarias. Noviembre 2013 p. 1-2.

Figura 1: Estado de la vía en el tramo del paso de la quebrada (verano)



Fuente Autores.

Figura 2: Estado de la vía en el tramo del paso de la quebrada, puente provisional



Fuente Autores

Los habitantes de la vereda con el fin de conseguir una solución para darle paso a vehículos de carga, mediante sus propios métodos han intentado rellenar el cauce con materiales varios como rocas, tablas y materiales extraídos de otros lugares, soluciones que claramente no han sido buenas prácticas y que no subsana el

problema latente que los afecta además de ir depositando material que en caso de desarrollar una propuesta técnica debe ser retirado, transportado y depositado en otro lugar.

Además para darle solución al problema de paso peatonal como se muestra en la figura 2 la población ha construido un puente usando madera y es apoyado sobre unos gaviones que se encuentran a los costados de la quebrada

Las condiciones generales de la vía son deplorables pues alrededor del 90% del total que compone la vía no ha sido intervenida ni presenta una estructura óptima y los tramos que se han mejorado no se encuentran en aproximación de la quebrada.

Figura 3: Estado de la vía en el tramo anterior a la quebrada



Fuente Autores.

2.1 Alcance.

El proyecto tiene como alcance, realizar el diseño estructural de un pontón que permita satisfacer las necesidades de transporte de la comunidad dando una

solución óptima a los fenómenos hídricos presentes con base en las normas vigentes de puentes de Colombia, además del diseño geométrico y de estructura de los tramos de vía de aproximación al pontón para lo cual se propone el uso de placa huella.

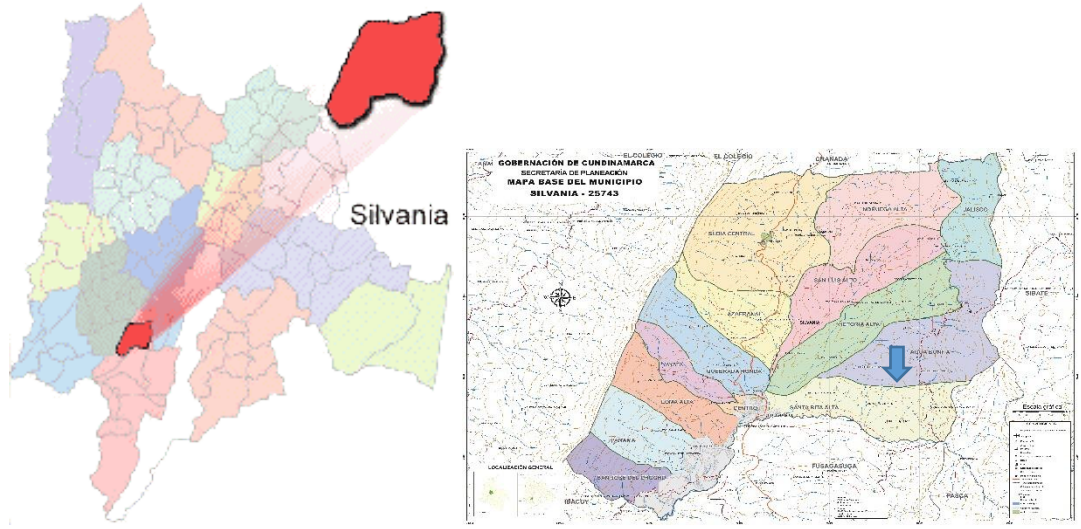
3. JUSTIFICACIÓN

A 50 minutos aproximadamente por carretera (Sibaté-Fusagasugá) de Bogotá se encuentra la vereda Santa Rita perteneciente al municipio de Silvania Cundinamarca en donde su única vía de acceso presenta problemas deficientes de intercomunicación terrestre la cual es muy importante para las personas que se dedican a la agricultura y transporte de alimentos provenientes de esta. Por otra parte en épocas de invierno el nivel de la quebrada aumenta impidiendo totalmente el paso ya sea tanto de personas como de vehículos, por esta razón el proceso de distribución de los productos agrícolas se encarecen debido al mal estado de la malla vial y la población que necesita desplazarse a otros lugares fuera de esta área arriesgan su integridad física al cruzar por un puente colgante provisional en madera el cual no presenta condiciones de seguridad.

Es necesario dar una pronta solución a esta situación dado que esta vereda se encuentra situada en una zona en la cual son muy frecuentes las condiciones de escorrentías por las frecuentes lluvias que allí se presentan, empeorando la situación de la vía.

El proyecto es importante hacerlo ya que los habitantes de esta vereda expresan las necesidades que actualmente obtienen, principalmente al no poder transportar sus productos alimenticios en épocas de invierno y por otra parte arriesgan su integridad personal al cruzar a pie por un puente colgante improvisado, hecho con cuerdas y tablas, el cual es muy inestable.

Figura 4 Ubicación geográfica del proyecto



Fuente: Google Maps, mapas alcaldía

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Proponer una alternativa factible para el mejoramiento de un tramo de vía y obras de arte en la vereda Santa Rita en el municipio de Silvania, Cundinamarca.

4.2 Objetivos específicos

1. Realizar estudios técnicos (de suelos, hidrológicos y topográficos) que permitan caracterizar las necesidades del proyecto.
2. Comparar diferentes tipos de estructuras con el fin de establecer la óptima, que logre satisfacer las necesidades de la vereda.
3. Realizar el diseño estructural de la solución establecida, contemplando para ello las cargas de servicio y los factores de su ubicación.
4. Realizar el diseño geométrico del tramo de la vía a mejorar.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 Científico

5.1.1 Pavimento con Placa-huella

El pavimento con Placa-huella constituye una solución para vías terciarias de carácter veredal que presentan un volumen de tránsito bajo con muy pocos buses y camiones al día siendo los automóviles, los camperos y las motocicletas el mayor componente del flujo vehicular. Los principales atributos de éste tipo de pavimento son: (INVIAS, 2015)

- Ofrecer permanentemente condiciones de circulación satisfactorias durante un amplio período de servicio.
 - No requerir acciones de mantenimiento diferentes a la limpieza de las obras de drenaje y la rocería de las zonas laterales.
 - Reducir los costos de construcción y mantenimiento respecto a los mismos costos de un pavimento convencional.
 - Ofrecer la posibilidad de utilización de materiales y mano de obra locales.
- (INVIAS, 2015)

Figura 5. Diseño y Construcción de Placa huella.



Fuente: Arquitecto Jeisson Gabriel Osorio Vargas, IMAGEN GOOGLE

Las placa huellas son placas en concreto reforzado dispuestas en el suelo y con una separación en piedra fija en concreto. Un placa huella es una construcción resistente al paso vehicular ligero y pesado medio. Las placa huellas requieren de especificaciones precisas de grosor y calidad del material para asegurar su correcta función, estabilidad y durabilidad. (OBRECOL S.A.S, 2016).

5.1.1.1 Placa huella tipo 1

Este tipo de placa huella contiene 2 cunetas en cada uno de sus costados, 3 rieles de concreto reforzado de los cuales 2 son de 0,90 m de ancho continuos a cada cuneta, y en el centro de la placa, un riel de 1,60 m de ancho. Este diseño permite la circulación de vehículos en ambos sentidos, y el espesor de la losa de concreto es de 0,15 m con una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

El refuerzo de dicha losa, se efectuará con barras corrugadas con límite de fluencia (f_y) de 420 MPa (4200 kg/cm²). Dicho acero, deben cumplir con el Artículo INV 640 -13 y lo que sea aplicable del Artículo 640-07. Para el refuerzo transversal, longitudinal y flejes, se empleará acero de 3/8", separados entre sí cada 0,20 m y para vigas y dentellones acero de 1/2" de diámetro. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2016)

5.1.1.2 Placa huella tipo 2

Este tipo de placa huella es similar al tipo uno, a excepción de sus cunetas, ya que solo cuenta con una a un costado y al otro cuenta con un sardinel o bordillo tipo A15 de 80 cm x 35 cm x 15 cm. De igual manera permite la circulación de vehículos en ambos sentidos.

El refuerzo de dicha losa, se efectuará con barras corrugadas con límite de fluencia (f_y) de 420 MPa (4200 kg/cm²). Dicho acero, deben cumplir con el Artículo INV 640 -13 y lo que sea aplicable del Artículo 640-07. Para el refuerzo transversal, longitudinal y flejes, se empleará acero de 3/8", separados entre sí cada 0,20 m y para vigas y dentellones acero de 1/2" de diámetro. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2016)

5.1.1.3 Placa huella tipo 3

Este tipo de placa huella está compuesta por dos cunetas ubicadas cada de estas en sus extremos, y se compone de 2 rieles de concreto reforzado de 1 m de ancho continuos a las cunetas. Este tipo es más angosto ya que permite la circulación de vehículos en un solo sentido.

Los espesores y refuerzos de la placa serán los mismos que para los anteriores prototipos.

Por otra parte, los rieles mencionados anteriormente deben estar separados por dos placas de concreto ciclópeo el cual se compone de concreto simple y agregado ciclópeo angular; en una proporción de 40%, como máximo del volumen total, dichos rieles deben presentar un ancho de 1 m cada uno. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2016)

El sitio escogido para la construcción de la placa huella, deberá cumplir con algunas condiciones que garanticen la estabilidad del terreno que soportará los elementos y la sostenibilidad del proyecto, mientras que a los usuarios les brinde las condiciones apropiadas para la circulación. En términos generales se deberá evitar intervenir en terrenos con afectaciones de carácter geológico específicamente en lo facilitan la localización de los desagües para las futuras operaciones de mantenimiento. El extremo de la tubería de descarga deberá quedar perfectamente acoplado al cabezal. Relacionado con movimientos de remoción en masa, traslacionales o rotacionales, con el fin de garantizar la durabilidad de las obras en el tiempo. Se deberá considerar sobreanchos en aquellos sitios en que se requiera para el caso de curvas o zonas que se necesite permitir el paso de dos vehículos al tiempo. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2016)

Figura 6. Placa huella durante la construcción Guacharacas, Bolívar



Fuente: archivo DPN

Una placa huella es un elemento estructural utilizado en las vías terciarias, con el fin de mejorar el tránsito vehicular en terrenos que presentan mal estado de transitabilidad, se recomienda para pendientes mayores al 10%. Para el éxito de los trabajos se debe tener especial seguimiento en el suministro de materiales, fabricación, transporte, colocación, vibrado, curado y acabados de los elementos en concretos utilizados para la construcción de puentes, estructuras de drenaje, muros de contención y estructuras en general, de acuerdo con los planos del proyecto, las especificaciones y las instrucciones del Interventor. (Diego, 2015)

Figura 7. Sistema placa huella



Fuente: Diego Fernando Arellano Murcia, Ingeniero residente de urbanismo.

1. Placa huella: estructura en concreto normalmente de 210 kg/cm^2 , apoyada sobre una base granular
2. Concreto Ciclópeo: compuesto por un concreto y agregado ciclópeo en proporción del 40% del volumen total.
3. Viguetas reforzadas: compuestas por acero de refuerzo y normalmente concreto de 210 kg/cm^2 tiene como fin arriostrar las placas.
4. Cuneta en V: fundida in situ sirve como sistema de drenaje de la estructura de pavimento.

La construcción de pavimentos en placa-huella se ha incrementado en Colombia en los últimos años, este tipo de pavimento se utiliza para vías rurales con bajo tránsito. El tipo de placa huella utilizado en el país es de concreto reforzado, basado principalmente en un diseño general definido por la especificación

particular 500-1P, que genera muchas dudas para su aplicación en diferentes proyectos. (Diego, 2015)

5.1.2 Diseño de Box Culvert

Los Box Culvert son elementos de gran tamaño elaborados en concreto reforzado los cuales pueden ser prefabricados, estos componen un sistema modular en el que cada parte se conecta con el otro para formar un túnel, Cada elemento se empalma con el otro a través de un espigo, el cual lleva incorporado un sellante bituminoso, que al estar sometido a presión forma un sello hidráulico hermético. (Prefabricados en concreto, 2003)

Sus características son:

- Rendimiento y resistencia que garantizan una larga vida útil.
- Se puede instalar bajo recubrimientos limitados, aprovechando el ancho y limitando su altura.
- Alto rendimiento de instalación en obra, que reduce el tiempo de construcción y presenta beneficios en los casos donde hay condiciones difíciles de excavación o estabilidad de suelos.
- Tienen mayor resistencia y durabilidad que los fundidos en sitio, garantizándose las dimensiones y calidad de los materiales.
- Recubrimientos externos opcionales para condiciones de suelos con una acidez agresiva.
- Los elementos prefabricados, para condiciones que así lo exijan, pueden tener perforaciones para conexiones o pozos, sellos herméticos.

Figura 8. Sistema de un box culvert



Fuente: flick photos hancock.

Son estructuras auto portantes enterradas, de sección rectangular hueca, y que pueden estar compuestas por piezas monolíticas, o por dos piezas superpuestas. Su sencillo sistema de encaje de unas piezas con otras permite ejecutar con rapidez pasos para animales, pasos inferiores peatonales, canalizaciones hidráulicas, colectores de drenaje y galerías técnicas (electricidad, agua, gas, telecomunicaciones, etc.) (Prefabricados en concreto, 2003)

Los Box culvert, son elementos versátiles ideales para los proyectos más exigentes y que requieren de facilidad y rapidez de instalación.

El proceso constructivo normalmente es el mismo y se compone de las siguientes actividades:

- I.** Excavación mecánica
- II.** Construcción de filtro y solado
- III.** Armada de formaleas de muros e instalación de hierros (PDR60)
- IV.** Instalación de hierros parrilla inferior
- V.** Instalación de hierros parrilla superior
- VI.** Vaciado, armado y vibrado de concreto
- VII.** Estructura de concreto terminada. Control de concreto (cumplimiento de resistencia 3000psi)

5.2 Teórico

El marco teórico exterioriza la documentación, libros, manuales de diseño y artículos científicos que validaran los procedimientos de estudio y diseño que se plantearan en este proyecto, de esta manera justificara las recomendaciones y conclusiones de este.

Solicitaciones sobre puentes

Las cargas sobre los puentes se dividen en cargas que actúan sobre la superestructura y cargas que actúan sobre la infraestructura.

Cargas que influyen en una superestructura

- Cargas peatonales.
- Fuerzas laterales : sismos, viento y fuerza centrífuga
- Cargas vehiculares.
- Fuerzas longitudinales: fuerzas de vidas a la carga viva, variación de temperatura.

5.3 Conceptual

Carga mayorada — Cargas nominales multiplicadas por el factor de carga apropiado especificado por la combinación de carga bajo consideración.

Ciclo de vida de diseño — Periodo de tiempo en el cual se basa la derivación estadística de las cargas transitorias: 75 años para esta Norma.

Ciclo de vida de servicio — El periodo de tiempo en el que se espera que el puente permanezca en operación.

Colapso — Cambio considerable en la geometría de un puente que inhabilita su uso.

Componente — Elemento especial o la combinación de elementos del puente que requiere una consideración individual de diseño.

Diseño — Dimensionamiento y detallado de los elementos y conexiones de un puente.

Ductilidad — Propiedad de un elemento o conexión que permite una respuesta inelástica.

Estado límite — Condición más allá de la cual el puente o componente deja de satisfacer las requisitos para los cuales fue diseñado.

Estado límite de eventos extremos — Estados límite relacionados con eventos tales como sismos, cargas especiales y colisiones de vehículos o embarcaciones, con períodos de retorno mayores que el período de diseño del puente.

Estados límite de resistencia — Estados límite que se relacionan con la resistencia y la estabilidad durante el ciclo de vida de diseño.

Estados límite de servicio — Estados límite que se relacionan con las tensiones, deformaciones y fisuración bajo condiciones regulares de operación.

Modelo — La idealización de una estructura con el objeto de analizarla.

Modificador de carga — Factor que tiene en cuenta la ductilidad, la redundancia y la clasificación operacional de un puente.

Propietario — Para la siguiente Norma, se debe entender que el INVIAS es el propietario de los puentes o a su vez la Entidad Gubernamental que este encargada.

Puente — Cualquier estructura que tenga un ancho no menor de 6m que forma parte de una carretera o que está localizado sobre o bajo una carretera.

Puente fijo — Puente con luz vehicular definida.

Puente móvil — Puente con luz vehicular variable.

Rehabilitación — Proceso mediante el cual se restablece o se incrementa la resistencia del puente.

Resistencia mayorada — Resistencia nominal multiplicada por un factor de resistencia.

Resistencia nominal — Resistencia de un componente o conexión a las sollicitaciones de las fuerzas, según lo indicado por las dimensiones especificadas en los documentos contractuales y por las tensiones admisibles, deformaciones o resistencias especificadas de los materiales.

Servicio Regular — Condición que excluye la presencia de vehículos que requieran permisos especiales, vientos superiores a los 90 km/h y eventos

extremos, incluida la socavación.

Solicitud — Deformación, tensión o esfuerzo resultante (v.gr. fuerza axial, fuerza cortante, momento flector o torsor) causado por las cargas aplicadas, deformaciones impuestas, o cambios volumétricos.

5.4 Tecnológico

Para el diseño del puente que se pretende construir en el cruce de la vía con la quebrada, se necesita del manejo de software para calcular la capacidad de carga que puede soportar este, el más común es Sap2000 el cual es un programa muy útil y exacto para comparar con cálculos manuales y verificar si estos son correctos o por lo menos aproximados a los del programa.

5.5 Metodológico

Para la ejecución del presente proyecto se necesitan de normas y Códigos, para llevar a cabo cada una de las actividades como estudios, ensayos de laboratorio, diseños de para las partes de la estructura del puente, y diseños para el dimensionamiento de la vía. Por otra parte, también se contó con la ayuda de documentación como manuales para el diseño de obras de drenaje que la vía requiere por obligación.

5.6 Histórico (estado del arte)

Los primeros puentes se realizaron con elementos naturales simples, como un tronco dejado caer sobre un arroyo o unas piedras dispuestas en un río. Estos primeros puentes serían una combinación de rocas apiladas como pilares sosteniendo los maderos que funcionaban como tableros. Se sabe que algunas tribus americanas usaron árboles y cañas para construir pasarelas que les permitían salvar agujeros en las cavernas. Con el tiempo supieron crear cuerdas que permitían unir los distintos elementos del puente. Estas cuerdas también sirvieron para crear primitivos puentes de cuerdas atados a los dos lados que se querían cruzar. En cierta manera así nacieron los puentes colgantes. (Oliver, 2016)

“Si de puentes complejos hablamos, el Emperador Romano Adriano fue apodado como *“El Arquitecto del Mundo”* por una razón muy justa: construyó cientos de obras magníficas y asombrosas a lo largo y ancho del Imperio durante el segundo siglo después de Cristo. Una de estas obras fue el **Gran Puente de Piedra de Adana**, en Turquía, el cual cruza el Río **Seyhan**. Desafortunadamente una serie de infortunios, maltratos, y, principalmente, la falta de mantenimiento tras la caída del Imperio Romano, hicieron que solo sobrevivan 14 de sus 21 arcos originales.” (Oliver, 2016)

Figura 9. Gran puente de piedra de Adana, en Turquía, el cual cruza el río Seyhan.



Fuente: Anfrix- puente más viejo del mundo.

En Colombia, durante el año de 1974, se construye el puente sobre el río Juanambú, sobre la Carretera Popayán – Pasto. Esta estructura es considerada como el primer viaducto construido en el país por el sistema de voladizos sucesivos, utilizando el sistema de pos-tensado y destacándose en su momento con el Premio Nacional de Ingeniería. (Restrepo, 2016)

Figura 9. Puentes voladizos sucesivos sobre río Juanambú, Nariño.



Fuente: Argos.

En la década de los años 90, se construyen en Colombia puentes importantes con este sistema constructivo como el puente de la Transversal de los contenedores en Plato sobre el río Magdalena, los puentes de Casa de Teja y Aserrío del sector comprendido entre Guayabetal y Pipiral, de la Carretera Bogotá-Villavicencio, y el puente Puerta del Nowen que une los Departamentos de Meta y Guaviare entre otros.

Para los años 2001 y 2004, se construyen el viaducto de Pipiral de la Carretera Bogotá-Villavicencio y el puente de Barranca-Yondó sobre el río Magdalena. Éste, con su luz central de 200 metros, se convierte a la fecha en el puente en voladizos sucesivos con la luz más grande construida en el país. (Restrepo, 2016)

En el año 2008, con el inicio de los grandes proyectos de infraestructura en el país también comienza en Colombia el auge de construcción de los puentes en voladizos sucesivos muy apropiados para salvar las diferentes depresiones propias de nuestra topografía colombiana. Se destacan los construidos sobre el corredor Bogotá – Buenaventura, la Ruta del Sol y las vías para los grandes proyectos de infraestructura energética en el país. (Restrepo, 2016)

5.7 Normativa aplicable

Para el diseño de los pontones utilizaremos el Código colombiano de diseño sísmico de puentes – 2014.

Para el diseño de las vías utilizaremos la Guía De Diseños De Pavimentos Con Placa-Huella

Para los estudios, ensayos y sondeos de suelos utilizaremos, las normas:

- Clasificación de los suelos (I.N.V. E 102-07).
- Límites de consistencia (I.N.V. E 125-07).
- Pesos específicos (I.N.V. E 125-07).
- Granulometría (I.N.V. E 123-07).
- Gravedad específica (I.N.V. E 128-07).
- Ensayo PDC ((I.N.V. E 172-07)
- Para el diseño de obras de arte se utilizará el manual de drenaje para carreteras 2009.
- Para el diseño de la placa-huella se utilizará la Guía de diseño de pavimentos con Placa-huella.

6. DESCRIPCION DE LA ZONA Y ESTUDIOS GENERALES.

6.1 Aspectos generales.

Silvania se encuentra dividido en su territorio en Zona urbana y zona rural. (http://www.silvania-cundinamarca.gov.co/mapas_municipios)

La zona urbana se encuentra conformada por tres (3) sectores los cuales se referencia a continuación: Casco Urbano, Casco zona de condominios y la inspección departamental de policía de Subía y la zona Rural es representada por trece (13) veredas y dos inspecciones Municipales (Inspección Municipal de policía de Agua bonita y Subia). Está representada por trece (13) veredas y dos inspecciones Municipales (Inspección Municipal de policía de Agua bonita y Subia). Dentro de las veredas rurales se encuentra la vereda de Santa Rita en donde se ubica el proyecto a desarrollar, para acceder a esta zona se debe llegar por medio de la carretera que comunica el municipio de Fusagasugá con Sibaté.

La vía de principal de la vereda se encuentra en alto grado de deterioro y este problema se agudiza en épocas de invierno donde el transporte se vuelve casi imposible.

6.2 Estudio de suelos

Para la ejecución de los laboratorios hechos a continuación, fue necesario ir a una visita de campo en el lugar donde se va a desarrollar el proyecto. Allí se realizaron 3 apiques tal y como se muestra en la figura 10, para sacar muestras de suelo alteradas a diferentes profundidades por apique, no mayores a 1 metro. Al mismo tiempo, en cada apique se hizo el ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC) el cual es útil para hallar el CBR del suelo ensayado.

6.2.1 Análisis granulométrico de suelos por tamizado I.N.V E 123-07

6.2.1.1 Introducción

Para determinar los tamaños de partículas de suelo de la vía en la vereda Santa Rita del municipio de Silvania, Cundinamarca, es necesario hacer el ensayo de la norma INV E 123-07. Ya que esta nos identifica el tamaño máximo de partículas

que contiene nuestro suelo. Al mismo tiempo, con base en los resultados que se hallen en el laboratorio, se va a a determinar la humedad del suelo.

6.2.1.2 Objetivos

El análisis granulométrico de suelos por tamizado nos determina la distribución de tamaños de partículas contenidas en nuestra muestra.

La presente norma nos describe un método en el cual podemos determinar porcentajes de suelo que pasan por los diferentes tamices, en nuestro caso desde la serie de tamiz de $\frac{3}{4}$ de pulgada hasta el tamiz N° 200 (75 μm).

6.2.1.3 Equipo experimental

Balanza: con sensibilidad de 0.01 g para pesar el material que quede retenido en cada tamiz.

Tamices de malla cuadrada: para nuestro laboratorio, fueron necesarios los siguientes tamices.

19.0 mm (3/4")

12.7 mm (1/2")

9.5 mm (3/8")

4.75 mm (No.4)

2.00 mm (No.10)

425 μm (No.40)

150 μm (No.100)

75 μm (No.200)

Horno: Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).

Envases: Adecuados para el manejo y secado de las muestras.

Cepillo y brocha: Para limpiar las mallas de los tamices.

6.2.1.4 Muestra.

El análisis con tamices se hizo con parte de la muestra entera después de separar los finos por lavado. Luego se secó en el horno una pequeña porción húmeda del material, y con esta se realizó el apropiado tamizado.

Para la porción de muestra retenida en el tamiz N°10 (2 mm), la masa dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 1. Dosificaciones para la realización del ensayo

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)		Masa mínima aproximado de la porción en gramos, g
9.5	3/8"	500
19.0	3/4"	1000
25.4	1"	2000
38.1	1 1/2"	3000
50.8	2"	4000
76.2	3"	5000

Fuente. Norma INV E 123-07

En nuestro caso el diámetro nominal de las partículas más grandes fue de ¾ de pulgada (19 mm), por lo tanto la masa mínima aproximada de la porción es de 1000 gramos.

Con esta masa se empezó a realizar el laboratorio secando esta muestra en el horno y al día siguiente realizar el tamizado.

6.2.1.5 Análisis y resultados

Como anteriormente se había mencionado, se empezó con una muestra húmeda de 1000 gramos, que luego de secarla al horno pesó 868,20 gramos, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos de la muestra

Masa inicial Húmeda	1000	gr
Suelo seco	868,2	gr
Humedad	15,181	%
Pt200 lavado	599,78	gr
Retenido T200	268,42	gr

Fuente. Autores

Para hallar los resultados de la Tabla 3. (Datos de cada tamiz), se calculó de la siguiente forma:

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ 3/4'' = Masa_{sueloseco} - Masa_{retenida\ T\ 3/4''}$$

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ 3/4'' = 868,20\ g - 34,47 = 833,73\ g$$

Con los tamices después del 3/4 de pulgada se aplicó la siguiente formula:

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ 1/2'' = Masa\ pasa\ Tamiz\ 3/4'' - Masa_{retenida\ T\ 1/2''}$$

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ 1/2'' = 833,73\ g - 26,33\ g = 807,4\ g$$

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ 3/8'' = 807,4\ g - 10,71\ g = 796,69\ g$$

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ N^{\circ}\ 4 = 796,69\ g - 30,05\ g = 766,64\ g$$

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ N^{\circ}\ 10 = 766,64\ g - 21,36\ g = 745,28\ g$$

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ N^{\circ}\ 40 = 745,28\ g - 31,73\ g = 713,55\ g$$

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ N^{\circ}\ 100 = 713,55\ g - 80,52\ g = 633,03\ g$$

$$Masa\ pasa\ Tamiz\ N^{\circ}\ 200 = 633,03\ g - 33,25\ g = 599,78\ g$$

Para dejar los resultados en términos de porcentajes, se desarrolla de la siguiente forma

- Para porcentaje retenido:

$$\% \text{ Retenido Tamiz } \# = \frac{Masa_{retenida\ T\#} * 100\%}{Masa_{suelo\ seco}}$$

$$\% \text{ Retenido Tamiz } 3/4'' = \frac{34,47\ g * 100\%}{868,20\ g} = 3,97\%$$

$$\% \text{ Retenido Tamiz } 1/2'' = \frac{26,33\ g * 100\%}{868,20\ g} = 3,03\%$$

$$\% \text{ Retenido Tamiz } 3/8'' = \frac{10,71\ g * 100\%}{868,20\ g} = 1,23\%$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Retenido Tamiz } N^{\circ}4 &= \frac{30,05 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 3,46\% \\ \% \text{ Retenido Tamiz } N^{\circ}10 &= \frac{21,36 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 2,46\% \\ \% \text{ Retenido Tamiz } N^{\circ}40 &= \frac{31,73 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 3,65\% \\ \% \text{ Retenido Tamiz } N^{\circ}100 &= \frac{80,52 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 9,27\% \\ \% \text{ Retenido Tamiz } N^{\circ}200 &= \frac{33,25 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 3,83\%\end{aligned}$$

- Para porcentaje que pasa:

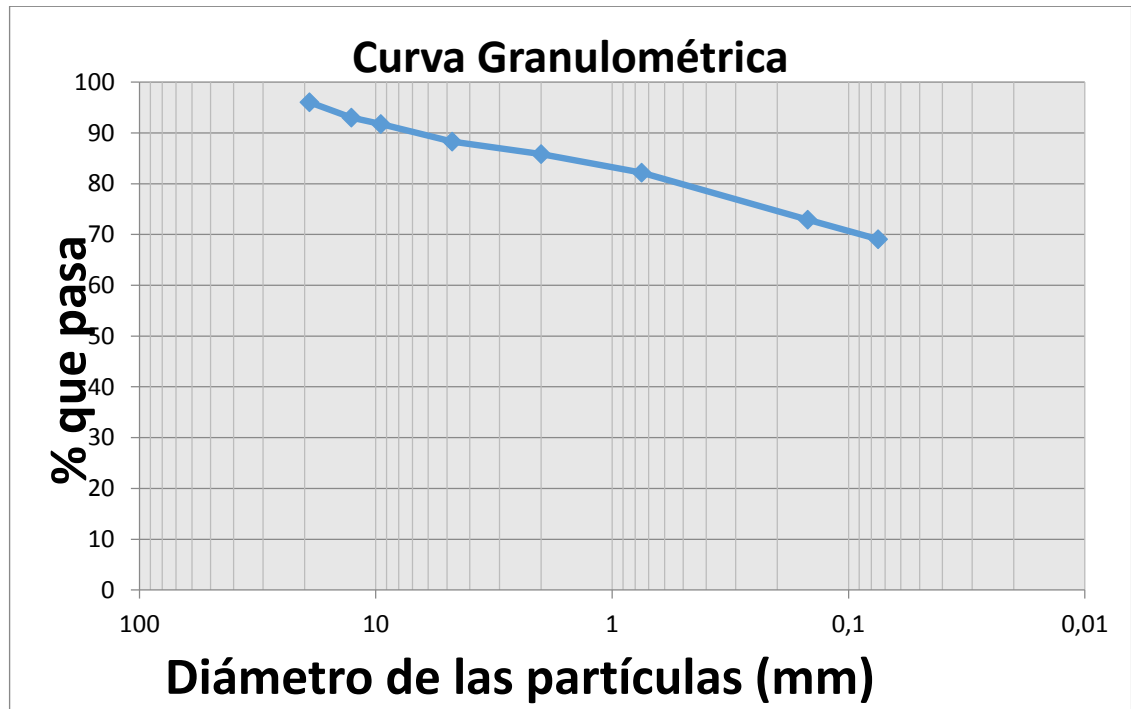
$$\begin{aligned}\% \text{ Pasa Tamiz } \# &= \frac{Masa_{pasa \text{ T\#}} * 100\%}{Masa_{\text{suelo seco}}} \\ \% \text{ Pasa Tamiz } 3/4'' &= \frac{833,73 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 96,03\% \\ \% \text{ Pasa Tamiz } 1/2'' &= \frac{807,4 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 93,00\% \\ \% \text{ Pasa Tamiz } 3/8'' &= \frac{796,69 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 91,76\% \\ \% \text{ Pasa Tamiz } N^{\circ}4 &= \frac{766,64 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 88,30\% \\ \% \text{ Pasa Tamiz } N^{\circ}10 &= \frac{745,28 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 85,84\% \\ \% \text{ Pasa Tamiz } N^{\circ}40 &= \frac{713,55 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 82,19\% \\ \% \text{ Pasa Tamiz } N^{\circ}100 &= \frac{633,03 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 72,91\% \\ \% \text{ Pasa Tamiz } N^{\circ}200 &= \frac{599,78 \text{ g} * 100\%}{868,20 \text{ g}} = 69,08\%\end{aligned}$$

Tabla 3. Datos de cada tamiz

Tamiz (in)	Abertura tamiz (mm)	Masa retenida (gr)	Masa pasa(gr)	%Retenido	%Pasa
¾	19,1	34,47	833,73	3,97	96,03
½	12,7	26,33	807,4	3,03	93,00
3/8	9,52	10,71	796,69	1,23	91,76
N°4	4,75	30,05	766,64	3,46	88,30
N°10	2	21,36	745,28	2,46	85,84
N°40	0,75	31,73	713,55	3,65	82,19
N° 100	0,149	80,52	633,03	9,27	72,91
N°200	0,075	33,25	599,78	3,83	69,08
FONDO	-	599,78	-	69,08	-
	Σ	868,2	Σ	100,00	

Fuente. Autores,

Figura 10. Curva Granulométrica del suelo



Fuente. Autores.

De acuerdo con la Tabla 3, el tamaño máximo de las partículas del suelo analizado, es de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19,10 mm), pero en escasa proporción.

A continuación se separa, tal como se muestra en la tabla, la cantidad en gramos de cada tipo de suelo que contiene la muestra observada.

Tabla 4. Distribución por tamaño de partículas

GRAVA	101,56
ARENA GRUESA	53,09
ARENA FINA	113,77
LIMOS Y ARCILLAS	599,78

Fuente. Autores.

6.2.2 Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V. E 125-07

6.2.2.1 Introducción.

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

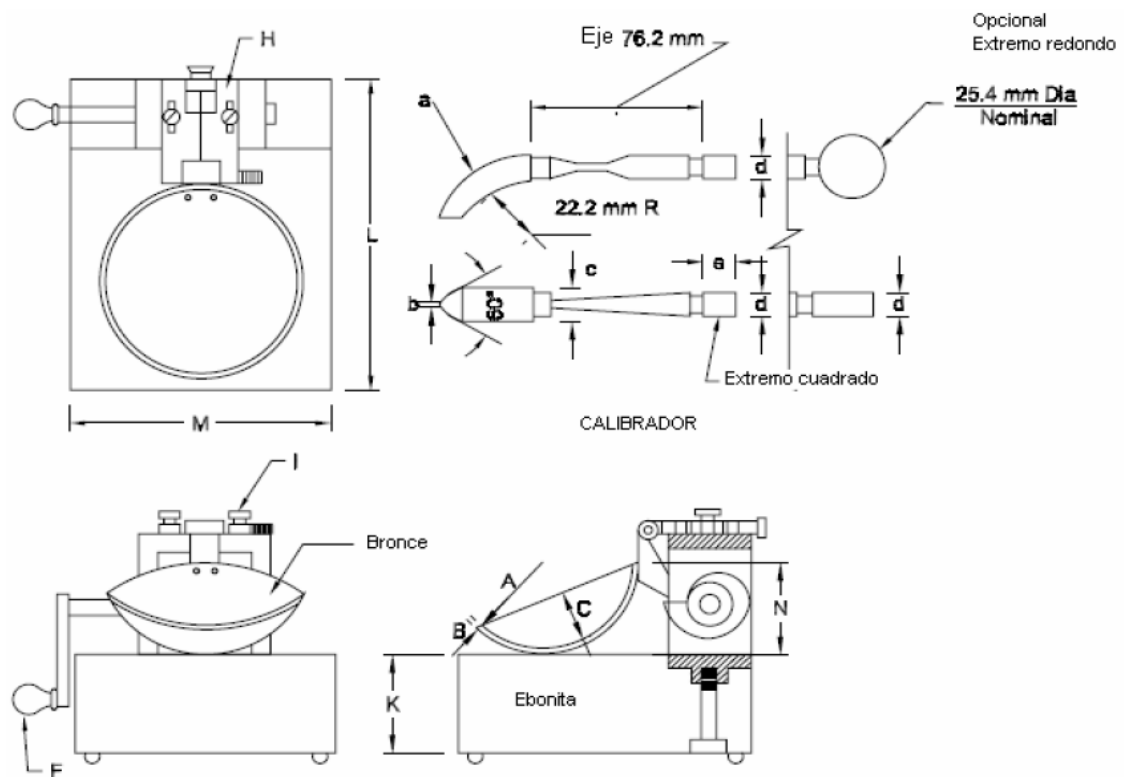
Para los fines de esta especificación, cualquier valor observado o calculado deberá aproximarse a la “unidad más cercana”.

6.2.2.2 Equipo experimental.

Espátula: Una espátula de hoja flexible de 75mm a 100 mm (3" a 4") de longitud y 20mm (3/4") de ancho, aproximadamente.

Aparato del Límite Líquido De operación manual: Es un aparato consistente en una cazuela de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura 11.

Figura 11. Equipo cazuela Casagrande.



Fuente. Norma I.N.V. E 125-07.

Ranurador: Un ranurador curvo (trapezoidal), conforme con las dimensiones exactas indicadas en las Figura 1. El calibrador no tiene que ser parte del ranurador.

Recipientes: Hechos de material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con calentamientos y enfriamientos repetidos. Deben tener tapas que ajusten bien, para evitar pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final. Se requiere un recipiente para cada determinación del contenido de agua.

Balanza: Una balanza con una sensibilidad de 0.01 gr.

Horno: Un horno termostáticamente controlado, capaz de mantener temperaturas de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) para secar las muestras.

6.2.2.3 Muestra

Se tomó una muestra que pesó aproximadamente 35 g. de una porción de material completamente mezclado que pasó el tamiz de 0.425 mm (No.40).

Por medio del calibrador del mango del ranurador y de la platina de ajuste H (Figura 1), se ajusta la altura a la cual levanta la cazuela, de tal manera que el punto de la cazuela que hace contacto con la base esté a $10.0 \pm 0.2\text{mm}$ (0.394") sobre ésta. Se asegura la platina de ajuste H, apretando los tornillos I. Con el calibrador aún colocado, se comprueba el ajuste girando la manija rápidamente varias veces. Si el ajuste es correcto, se oirá un sonido de roce cuando la excéntrica golpea contra la cazuela. Si la cazuela se levanta del calibrador o no se oye ruido, se debe hacer un nuevo ajuste.

6.2.2.4 Procedimiento del ensayo cuando se utiliza ranurador curvo

Sobre la superficie lisa, se amasa la muestra de suelo adicionándole agua entre los 10 y 15 ml, y simultáneamente se va mezclando con la espátula hasta que nos quede una masa espesa para que al ponerla en la cazuela Casagrande, cumpla

con los golpes que la norma nos pide, los cuales son rangos de los 25 a 35, 20 a 30 y 15 a 25, respectivamente.

Ya cuando se está haciendo uso de la cazuela, esta se levanta y golpea girando la manija F, a una velocidad de dos (2) revoluciones por segundo, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de cerca de 13mm (0.5"). Se anota el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

Luego de que la pequeña porción de suelo cumpla con los golpes dentro de los rangos requeridos por la norma, se saca una tajada de suelo, aproximadamente del ancho de la espátula; se toma de uno y otro lado y en ángulo recto con la ranura incluyendo la porción de ésta en la cual se hizo contacto y se coloca en un recipiente adecuado.

Se pesa y se anota el valor. Se coloca el suelo con el recipiente dentro del horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) hasta obtener una masa constante y se vuelve a pesar tan pronto como se haya enfriado antes de que pueda haber absorbido humedad higroscópica. Se anota esta masa, así como la pérdida de masa debida al secamiento y la masa del agua.

6.2.2.5 Análisis y resultados

Se calcula el contenido de humedad del suelo, expresándolo como porcentaje de la masa del suelo secado en el horno, como sigue:

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Masa del agua}}{\text{Masa del suelo secado al horno}} * 100$$

El porcentaje de humedad se debe calcular con aproximación al entero más próximo.

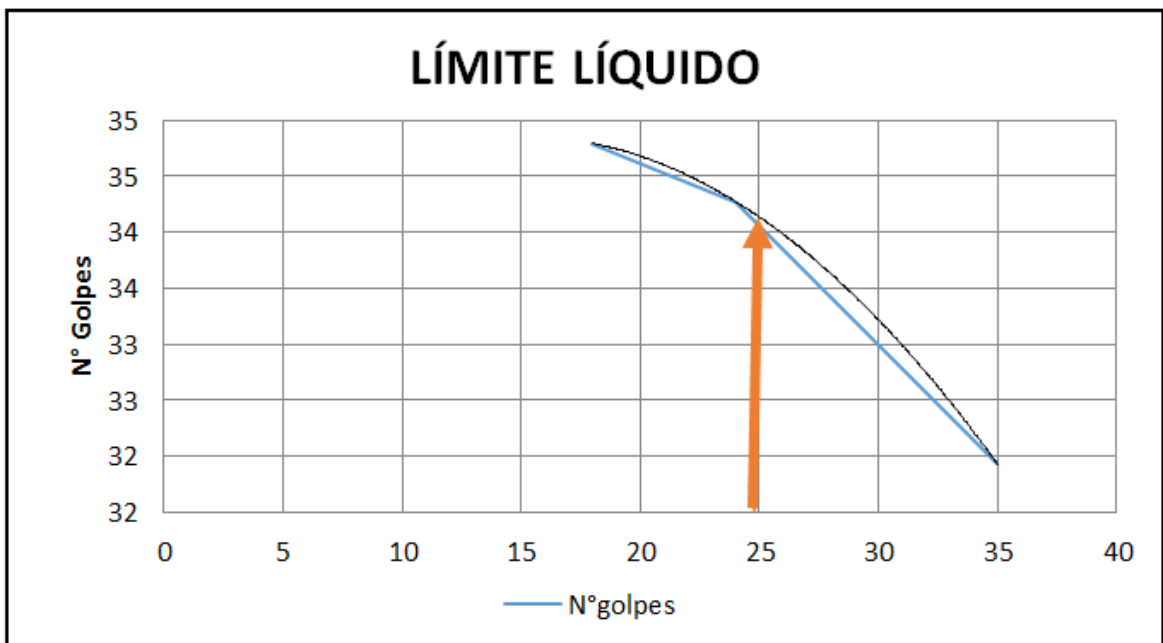
El Límite Líquido se determinó por el método del diagrama de la Gráfica 1. El método normal de los tres (3) puntos debe emplearse como ensayo de referencia para resolver cualquier duda.

Tabla 5. Calculo de humedades límite líquido

Límite líquido						
N° recipiente	Peso recipiente (gr)	N° golpes	Peso Húmedo + recipiente (gr)	Peso seco + molde (gr)	Peso seco (gr)	Humedad (%)
1	50,09	18	78,14	70,9	20,81	35
2	67,95	24	94,16	87,47	19,52	34
3	50,45	35	78,3	71,56	21,11	32
					LL	34

Fuente. Autores.

Figura 12. Grafica limite líquido.



Fuente. Autores.

6.2.3 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos I.N.V. E 126-07.

6.2.3.1 Introducción.

El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la cual pueden formarse rollos de suelo de unos 3mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos rollos se desmoronen.

6.2.3.2 Equipo experimental.

Espátula: De hoja flexible, de unos 76.2 mm (3") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.

Cápsula para evaporación: De porcelana, o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.

Balanza: De 100 g de capacidad con aproximación a 0.01 g.

Recipientes: Se deben emplear recipientes apropiados, hechos de material resistente a la corrosión y que no estén sujetos a cambios en su masa o a desintegración por repetidos calentamientos y enfriamientos. Los recipientes deben tener tapas que cierren a presión para prevenir pérdidas de humedad de las muestras antes de hacer la determinación inicial de masa y para prevenir la absorción de la humedad de la atmósfera después del secado y antes de la determinación final de la masa. Se requiere un recipiente para cada determinación de humedad.

Horno: Termostáticamente controlado, regulable a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

Superficie lisa: Para amasado y enrollamiento. Usualmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

6.2.3.3 Preparación de la muestra.

Se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 425 µm (No.40). Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad rollos con la masa de suelo. Se toma una porción de unos 6 g de dicho rollo como muestra para el ensayo.

El secado previo del material en horno, estufa o al aire, puede cambiar (generalmente disminuir) el límite plástico de un suelo con material orgánico aunque este cambio puede ser poco importante.

Emplear uno de los siguientes métodos para formar los rollos de masa de suelo de 3 mm de diámetro, a razón de 80 a 90 rotaciones por minuto, contando como rotación un movimiento completo de la mano hacia adelante y hacia atrás, regresando así, a la posición inicial.

6.2.3.4 Análisis de resultados.

Se calcula el Límite Plástico, expresado como el contenido de agua en porcentaje de la masa de suelo seca al horno, de la siguiente manera:

$$L.P = \frac{\text{Masa de suelo humedo}}{\text{Masa de suelo seco al horno}} * 100$$

Tabla 6. Calculo límite plástico.

Límite Plástico						
N° recipiente	Peso recipiente (gr)	Peso Húmedo + recipiente (gr)	Peso Húmedo (gr)	Peso seco + recipiente (gr)	Peso seco (gr)	Humedad (%)
1	19,75	24,78	5,03	23,78	4,03	25
2	18,92	21,89	2,97	21,33	2,41	23
					LP	24

Fuente. Autores.

Se registra el límite plástico, aproximado al número entero más cercano.

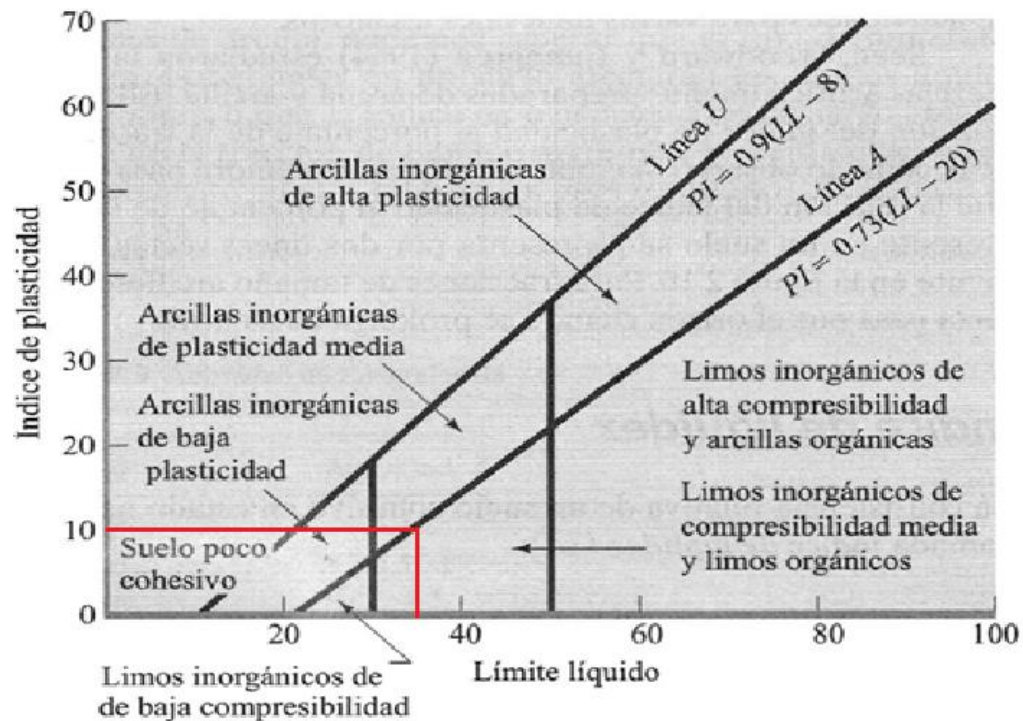
Ya obtenidos los resultados del límite líquido y límite plástico, procedemos a calcular el Índice plástico con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice plástico} = \text{Límite líquido} - \text{Límite plástico}$$

$$\text{Índice plástico} = 34 - 24$$

$$\text{Índice plástico} = 10$$

Figura 13. Carta de plasticidad Casagrande



Fuente. Braja Das. Fundamentos de ingeniería geotécnica.

6.2.3.5 Conclusiones

Con base en el ensayo de Casagrande, y finalmente verificando los datos con la carta de plasticidad, el suelo que servirá como subrasante del proyecto, es un limo inorgánico de compresibilidad media.

6.2.4 Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral I.N.V. E 128-07

6.2.4.1 Introducción

Este método de ensayo se utiliza para determinar la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral (filler) por medio de un picnómetro. Cuando el suelo está compuesto solo de partículas mayores que el tamiz de 4.75 mm (No. 4). El valor de gravedad específica para el suelo será el promedio ponderado de los dos valores así obtenidos.

La Gravedad específica es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas, a la misma temperatura. El valor de la gravedad específica de un suelo se usa en casi toda ecuación que exprese relaciones de fase de aire, agua y sólidos en un volumen dado de material.

6.2.4.2 EQUIPO EXPERIMENTAL

Picnómetro: El picnómetro debe ser un frasco con tapón o un frasco volumétrico con una capacidad mínima de 250 ml. El volumen del picnómetro debe ser de 2 a 3 veces mayor que el volumen de la mezcla del suelo con agua usada durante la actividad de extracción de aire en la prueba.

El frasco con tapón fija mecánicamente el volumen. No se debe mojar el frasco por fuera porque crearía cambios en el equilibrio térmico. Al usar un frasco con tapón, se debe asegurar que el tapón esté correctamente marcado y que corresponde al frasco.

Equipo para extraer el aire atrapado: Para extraer el aire atrapado se puede usar uno de los siguientes:

- Bomba de vacío – Capaz de producir un vacío parcial de 100mm de mercurio (Hg) de presión absoluta.
- Reverbero o Mechero Bunsen – Capaz de mantener una temperatura suficiente para hervir agua.

Horno: Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

Balanzas: Con capacidad de 2000 g y sensibilidad de 0.01g

Pipeta

Termómetro: Un termómetro capaz de medir temperaturas entre los límites en que se está llevando a cabo la prueba, graduado con precisión de 0.1°C (0.18°F) y con una profundidad disponible para inmersión entre 25 y 80 mm. No se deben emplear termómetros de inmersión total. Se pueden usar un termómetro de precisión de mercurio para uso general o un termómetro digital que abarque de -1 a 57°C .

Embudo: Un embudo de superficie anticorrosiva y lisa con un cuello que se extienda más allá de la marca de calibración del frasco volumétrico o el sello de taponamiento en los frascos con tapón. El diámetro del cuello del embudo debe ser lo suficientemente grande para permitir el paso fácil de los sólidos.

Calibración del picnómetro

Se limpia, se seca, se pesa y se registra la masa del picnómetro vacío (W_f), con aproximación a 0.01g. Cuando se esté calibrando la botella con tapón, la masa se debe determinar con aproximación de 0.001g.

Se llena con agua desairada a temperatura ambiente, hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración.

Se recomienda quitar el exceso de agua y dejarla a nivel de la marca de calibración. Este método reduce la posibilidad de alterar el equilibrio térmico al reducir el número de veces que se abre el recipiente aislante.

Se acerca el recipiente aislante a la balanza o viceversa, se abre el recipiente y se seca un picnómetro. Sólo debe tocarse el aro del picnómetro para evitar que el calor de la mano altere el equilibrio térmico: Trabájese ya sea en el recipiente aislante o colocando el picnómetro en una lámina aislante (icopor) mientras se ejecutan los ajustes en el nivel del agua.

Se mide y se anota la temperatura del agua (T_i) con aproximación a 0.1°C empleando el termómetro que ha sido equilibrado térmicamente en el recipiente

aislante. Se inserta el termómetro en el agua a la profundidad adecuada de inmersión (véase 4.6). Se regresa el picnómetro al recipiente aislante. Se repite esta operación con todos los picnómetros que haya en el recipiente aislante. Se calcula el volumen calibrado de cada picnómetro, empleando la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{W_{a_{T_i}} - W_f}{\delta w_{T_i}}$$

Donde:

W_a = masa del picnómetro más agua a la temperatura de calibración. (g)

W_f = masa promedio del picnómetro seco. (g)

δw = densidad del agua a la temperatura de calibración. (g/ml)

T_i = temperatura de calibración. °C

6.2.4.3 Muestra

Se debe tener especial cuidado en obtener muestras representativas para la determinación de la gravedad específica de los sólidos. La muestra de suelo se puede ensayar con su humedad natural o puede secarse al horno. Sin embargo, algunos suelos, principalmente aquellos que tienen un alto contenido de materia orgánica, son muy difíciles de rehumedecer después de que se han secado al horno. Estos suelos pueden ser ensayados sin haber sido secados previamente en el horno, en cuyo caso, la masa de la muestra seca se determina al final del ensayo.

Tabla 7. Densidad del agua (dw) y coeficiente de temperatura (K) para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)*	Coeficiente de Temperatura (K)
15.0	0.9991	1.0009	16.0	0.99895	1.00074
0.1	0.99909	1.00088	0.1	0.99893	1.00072
0.2	0.99907	1.00087	0.2	0.99891	1.00071
0.3	0.99906	1.00085	0.3	0.99889	1.00069
0.4	0.99904	1.00084	0.4	0.99888	1.00067
0.5	0.99902	1.00082	0.5	0.99886	1.00066
0.6	0.99901	1.0008	0.6	0.99885	1.00064
0.7	0.99899	1.00079	0.7	0.99883	1.00062
0.8	0.99898	1.00077	0.8	0.99881	1.00061
0.9	0.99896	1.00076	0.9	0.99879	1.00059
19.0	0.99841	1.0002	20.0	0.99821	1.00000
0.1	0.99839	1.00018	0.1	0.99819	0.99998
0.2	0.99837	1.00016	0.2	0.99816	0.99996
0.3	0.99835	1.00014	0.3	0.99814	0.99994
0.4	0.99833	1.00012	0.4	0.99812	0.99992
0.5	0.99831	1.0001	0.5	0.9981	0.9999
0.6	0.99829	1.00008	0.6	0.99808	0.99987
0.7	0.99827	1.00006	0.7	0.99806	0.99985
0.8	0.99825	1.00004	0.8	0.99804	0.99983
0.9	0.99823	1.00002	0.9	0.99802	0.99981
23.0	0.99754	0.99933	24.0	0.9973	0.99909
0.1	0.99752	0.99931	0.1	0.99727	0.99907
0.2	0.99749	0.99929	0.2	0.99725	0.99904
0.3	0.99747	0.99926	0.3	0.99723	0.99902
0.4	0.99745	0.99924	0.4	0.9972	0.99899
0.5	0.99742	0.99921	0.5	0.99717	0.99897
0.6	0.9974	0.99919	0.6	0.99715	0.99894
0.7	0.99737	0.99917	0.7	0.99712	0.99892
0.8	0.99735	0.99914	0.8	0.9971	0.99889
0.9	0.99732	0.99912	0.9	0.99707	0.99887
27.0	0.99652	0.99831	28.0	0.99624	0.99803
0.1	0.99649	0.99828	0.1	0.99621	0.998
0.2	0.99646	0.99825	0.2	0.99618	0.99797
0.3	0.99643	0.99822	0.3	0.99615	0.99794
0.4	0.99641	0.9982	0.4	0.99612	0.99791
0.5	0.99638	0.99817	0.5	0.99609	0.99788
0.6	0.99635	0.99814	0.6	0.99607	0.99785
0.7	0.99632	0.99811	0.7	0.99604	0.99783
0.8	0.99629	0.99808	0.8	0.99601	0.9978
0.9	0.99627	0.99806	0.9	0.99598	0.99777

En este caso la temperatura medida en el laboratorio del agua es de 19,4 °C, por lo tanto, haciendo uso de la anterior tabla, la densidad del agua es de 0,99833 g/ml y el valor del coeficiente de temperatura (K) es de 1,00012.

6.2.4.4 Análisis y resultados

Método B: Procedimientos para especímenes secados al horno.

Se inició con una muestra seca de 35 gramos y los datos obtenidos en el laboratorio fueron los siguientes:

Tabla 8. Datos de la muestra

Masa picnómetro	87,60	gr
Picnómetro+agua	336,30	gr
Temperatura	19,40	°
Densidad Agua	0,99833	g/ml
Masa agua	248,70	gr
Masa Agua+pic+suelo	355,18	gr
Masa suelo	35,00	gr
Coeficiente de temperatura (K)	1,00012	
Volumen	249,12	ml

Fuente. Autores.

La gravedad específica de los sólidos se calcula con tres decimales, mediante la siguiente fórmula:

$$G_{s_{20^{\circ}C}} = \frac{W_s * K}{W_s - W_b + W_a}$$

Donde:

K = factor de correccion basado en la densidad del agua a 20°C.

W_a = masa del picnometro mas agua a la temperatura del ensayo. (g)

W_s = masa del suelo seco (g).

W_b = masa del picnometro mas agua mas suelo, a la temperatura del ensayo. (g)

Teniendo los valores de las variables de la anterior ecuacion, procedemos a calcular la gravedad especifica de los suelos:

$$G_{s_{20^{\circ}C}} = \frac{35g * 1,00012}{35g - 355,18g + 336,30g}$$

$$G_{s_{20^{\circ}C}} = 2,171$$

6.2.5 Método de ensayo normal para el uso del penetrómetro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad I.N.V. E 172-07

6.2.5.1 Introducción

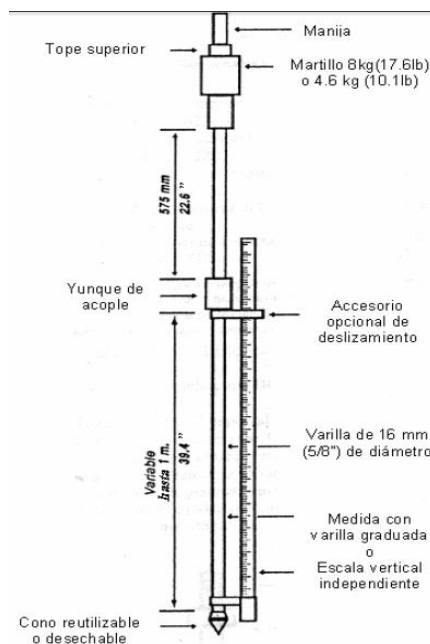
El penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, es un dispositivo utilizado para evaluar la resistencia in-situ de suelos inalterados o de materiales compactados. Este dispositivo cuenta con accesorio de deslizamiento que facilita la lectura de la distancia que la punta del penetrómetro dinámico de cono (PDC) penetra dentro del suelo. Generalmente va asegurado al yunque del aparato o a la varilla inferior y se sostiene y se desliza sobre una escala independiente o puede estar sostenido por una varilla externa y deslizar a lo largo de la varilla inferior del penetrómetro.

Figura 14 Ensayo penetrómetro realizado in situ



Fuente. Autores

Figura 15. Dispositivo PDC



Fuente: Norma INV E - 172 – 07

6.2.5.2 Objetivos

Este método de ensayo cubre la medida de la rata de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La rata de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio). La masa unitaria del suelo también puede ser estimada (Nota 1) si se conocen el tipo de suelo y su contenido de agua. El PDC descrito en este método de ensayo es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos.

Este método de ensayo permite el uso opcional de un martillo deslizante de 4.6 kilogramos en lugar del de 8 kilogramos, si este último produce una penetración excesiva en suelos muy blandos.

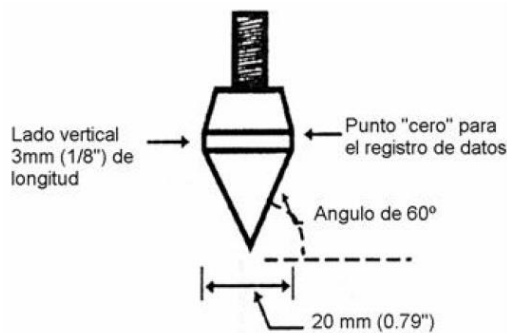
6.2.5.3 Equipo experimental

El PDC de 8 kilogramos se muestra esquemáticamente en la figura 1. Está constituido por los siguientes elementos:

- Una varilla de acero de 16 milímetros (5/8") de diámetro, con una punta cónica reutilizable o desechable.
- Un martillo de 8 kilogramos (17.6 lb) el cual es accionado desde una altura fija de 575 milímetros (22.6")
- Un yunque de ensamble y una manija. La punta del cono tiene un ángulo de 60° y el diámetro en la base del cono es de 20 milímetros (0.79") (Ver figura 15)

El aparato debe ser de acero inoxidable con excepción del cono, el cual puede ser de acero endurecido u otro material similar, resistente al desgaste.

Figura 16. Cono reutilizable



Fuente: Norma INV E 172-07

Se deben cumplir las siguientes tolerancias:

- La tolerancia en el peso del martillo de 8 kilogramos es 0.010 kg.
- La tolerancia en el peso del martillo de 4.6 kg es 0.010 kg.
- La tolerancia en la altura de caída de 575 mm es 1 mm.
- La tolerancia en el ángulo de la punta del cono de 60° es 1°.
- La tolerancia en la base de medida del cono de 20 mm es 0.25 mm.

6.2.5.4 Registro de la información

Se sugiere el empleo de un formato como el de la Tabla 1 para el registro de los datos. El operador debe escribir la información del encabezado antes de realizar el ensayo. Los datos reales del ensayo se registran en la columna 1 (número de golpes) y en la columna 2 (penetración acumulada en mm); si se conoce el

contenido de humedad, se deberá escribir en la columna 8. Cuando se ha ensayado una capa superficial a través de un orificio obtenido mediante taladrado, la primera lectura corresponde a la lectura de referencia en la parte superior de la capa a ser ensayada.

Tabla 9. Registro de datos primer apique

Proyecto: V. Santa-Rita, Silvania

Fecha: 20/Febrero/2018

Localización: K0+ 800

Peso del martillo: 8 kg

Profundidad del punto cero bajo la superficie: 0,22 m

Tiempo: Predicción 25°C

Clasificación del material:

Nivel freático:

Condición del pavimento: Afirmado

desconocido

1	2	4	5	6	7		8
Númer o de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por golpe (mm)	Factor del martillo	Índice PDC mm/gol pe	CBR %	CBR % Teórico	Humedad (%)
0	220	-	-	-	-		
1	75	75	1	75	2,3	2,3	
2	130	55	1	55	3,3	3,3	
3	190	60	1	60	3,0	3,0	
4	225	35	1	35	5,0	5,4	
6	265	40	1	40	4,7	4,7	
7	328	63	1	63	2,8	2,8	
8	395	67	1	67	2,6	2,6	
9	515	120	1	120	1,4	1,4	
10	600	85	1	85	2,0	2,0	
11	693	93	1	93	1,8	1,8	
12	825	132	1	132	1,2	1,2	
13	910	85	1	85	2,0	2,0	

Fuente propia, CBR promedio 2,7%

Tabla 10. Registro de datos segundo apique

Proyecto: V. Santa-Rita, Silvania

Localización: K0+ 800

Profundidad del punto cero bajo la superficie: 0,22 m

Clasificación del material:

Condición del pavimento: Afirmado

Fecha:

20/Febrero/2018

Peso del martillo: 8 kg

Tiempo: Predicción

25°C

Nivel freático:

desconocido

1	2	4	5	6	7		8
Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por golpe (mm)	Factor del martillo	Índice PDC mm/golpe	CBR %	CBR % Teórico	Humedad (%)
0	840	-	-	-	-		
1	20	20	1	20	10,0	10,2	
2	70	50	1	50	3,7	3,7	
3	150	80	1	80	2,2	2,2	
4	190	40	1	40	4,7	4,7	
5	260	70	1	70	2,5	2,5	
6	330	70	1	70	2,5	2,5	
7	354	24	1	24	8,0	8,3	

Fuente propia, CBR promedio 4,9%

Tabla 11. Registro de datos tercer apique

Proyecto: V. Santa-Rita, Silvania

Localización: K0+ 800

Profundidad del punto cero bajo la superficie: 0,22 m

Clasificación del material:

Condición del pavimento: Afirmado

Fecha:

20/Febrero/2018

Peso del martillo: 8 kg

Tiempo: Predicción

25°C

Nivel freático:

desconocido

1	2	4	5	6	7		8
Número de golpes	Penetración acumulada (mm)	Penetración por golpe (mm)	Factor del martillo	Índice PDC mm/golpe	CBR %	CBR % Teórico	Humedad (%)
0	330	-	-	-	-	-	
1	50	50	1	50	3,7	3,7	
2	100	50	1	50	3,7	3,7	
3	170	70	1	70	2,5	2,5	
4	210	40	1	40	4,7	4,7	
5	260	50	1	50	3,7	3,7	
6	300	40	1	40	4,7	4,7	
7	330	30	1	30	6,0	6,5	

Fuente propia, CBR promedio 4,2%

6.2.5.5 ANÁLISIS Y RESULTADOS

EL CBR estimado in-situ se calcula utilizando el índice PDC (columna 6 de la Tabla 1, 2, 3) y una tabla como la Tabla 4, para cada juego de lecturas. La penetración por golpe puede ser dibujada, relacionándola con la profundidad. La penetración por golpe se emplea para estimar el CBR in-situ o la resistencia al corte, utilizando alguna correlación apropiada.

Tabla 12. Correlación tabulada de CBR vs Índice PDC

Índice PDC mm/golpe	CBR %	Índice PDC mm/golpe	CBR %	Índice PDC mm/golpe	CBR %
<3	100	39	4.8	69-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	78-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2.0
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4.0	92-96	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-166	1.0
20-21	10	58	3.1	166-183	0.9
22-23	9	59-60	3.0	184-205	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	<0.5

Fuente. Braja Das, Principios de ingeniería geotécnica.

Por ejemplo, la correlación entre la penetración por golpe (PDC) y el CBR que se muestra en la Tabla 2 ha sido derivada de una ecuación recomendada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que se indica como sigue:

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

La anterior ecuación fue utilizada para hallar los CBR a diferentes penetraciones tal como se muestra en las Tablas 1, 2 y 3, del registro de datos.

6.2.5.6 Conclusiones.

Para el diseño de la placa huella es necesario establecer un CBR de diseño, el cual se escogió como el menor CBR promedio de cada una de las tablas del registro de datos.

Para nuestro proyecto el CBR se tomara un promedio de las tres perforaciones realizadas obteniendo un valore de CBR de 3.9%

Con el CBR calculado, ya es posible empezar a realizar el diseño de la placa huella de acuerdo con el manual de diseño de pavimentos con placa huella del INVIAS.

6.3 Levantamiento topográfico.

6.3.1 Generalidades.

Para determinar el distancias reales del terreno así como las condiciones topográficas a detalle del sector se realizó el levantamiento topográfico de la zona que permiten desarrollar los estudios y diseños para presentar una alternativa de la estructura vial estos levantamientos se georreferenciaron al sistema de coordenadas WGS-84.

A continuación se presenta un informe técnico en el cual se desarrollaron las actividades propias de la Georreferenciación y Levantamiento Topográfico, necesarias para generar la información requerida.

6.3.2 Ubicación y descripción del área de trabajo.

El terreno se encuentra ubicado en una zona escarpada a la cual se debe acceder por una vía destapada que se conecta con la carretera principal Fusa- Sibaté.

6.3.3 Alcance de los trabajos topográficos.

El alcance de este trabajo consiste en hacer una poligonal amarrada geodésicamente al sistema IGAC-CDMB en el sistema coordenado GWS-84.

De esta poligonal se desprenden los levantamientos topográficos de detalles con el fin de poder plasmarlos en dibujos y construir planos que permitan hacer los diseños respectivos, las operaciones principales son:

- Materialización de dos puntos coordenados amarrados al sistema coordenado WGS-84
- Referencia de mojones, ligados posicionalmente a señales permanentes en el terreno.
- Calculo de áreas, distancias y direcciones.

- Representación gráfica del levantamiento mediante la confección o dibujo de planos.

6.3.4 Instrumental y equipamiento.

Detalle Topográfico: Estación Total Marca TOPCON Modelo: GTS-230W.

Georreferenciación: GPS

Software: Topcon Link

TopoCal 2018

Autocad Civil 3D 2010

Paquete de Microsoft Office.

6.3.5 Levantamiento topográfico, georreferenciación.

Antes de comenzar con el levantamiento se efectuó una visita preliminar al sector, identificando los caminos de acceso. Esta misma instancia se aprovechó para el reconocimiento de los Vértices en donde se ubicó y materializó unos puntos estratégicos para hallar las coordenadas por medio del GPS.

Los trabajos de procesamiento de datos estuvieron orientados a determinar, a partir del levantamiento topográfico realizado, las coordenadas y cotas de los puntos principales. Procesando la información mediante el software computarizado.

La secuencia de los trabajos fue la siguiente:

- Toma de datos de puntos relevantes, a fin de obtener las coordenadas y cotas a partir de distancias, ángulos horizontales y verticales.
- El procesamiento de la información se realizó mediante el software del equipo de topografía el cual exportó archivos gráficos y genéricos, con lo que se ploteó el dibujo en planta y la inserción de las curvas de nivel
- Procesamiento de la información, coordenadas y cotas. Se realizó con el programa TopoCal que ubica los puntos en base a sus coordenadas y determina las curvas a nivel, con una equidistancia de 0,10 m., a partir de las cotas calculadas.

- Dibujo del plano en Autocad, tomando como referencia el croquis realizado en campo, y realizando la propuesta de trazado geométrico para la vía teniendo en cuenta los puntos obligatorios.

6.3.6 Anexos

- Planos en formato digital y medio físico
- Cartera.

6.3.7 Conclusiones.

- La zona se encontró en un sector escarpado en donde no existe la necesidad de realizar obras de prevención de riesgo
- El DATUM o modelo es el elipsoide WGS84.

6.4 Aspectos hidrológicos.

Para el mejoramiento de la vía del municipio es necesario el diseño de una obra mayor (pontón, box culvert) la cual es necesaria para permitir el cruce de la quebrada, con el fin de conseguir una estructura económica y segura en el Manual de Drenaje para Carreteras (2009, INVIA), sugiere y sugiere ciertos criterios para la determinación del diámetro más económico que permita pasar el caudal de diseño sin exceder la carga máxima a la entrada, contemplando el arrastre de sedimentos y la facilidad de mantenimiento de la estructura.

Para hallar dicho caudal de diseño es necesario realizar un análisis de la red hídrica para lo cual se usara el método racional en el cual es necesario conocer los siguientes parámetros.

- Tiempo mínimo de concentración (T_c).
- Periodo de retorno (T_r).
- Intensidad de diseño (i).
- Coeficiente de escorrentía (C).
- Área de la cuenca.

6.4.1 Método racional clásico.

La expresión genérica para el caudal de proyecto QT que descarga una cuenca, medido en el punto de intersección del su cauce principal con el camino, o punto de control es la siguiente:

$$Q = C * i * A$$

Donde:

Q= Caudal o descarga, en m³/s

C= Coeficiente medio de escorrentía de la cuenca

A= Área de la cuenca, en hectáreas (Ha)

i= Intensidad en mm/hora; es la máxima precipitación media correspondiente al periodo de retorno e intervalo de tiempo más desfavorable (tiempo de concentración).

Este método resulta apropiado para cuencas que cuenten con un área no mayor a 2,5 km²

6.4.2 Hoya hidrográfica y características físicas.

- Área de la cuenca: Se realizó la delimitación de la hoya con el uso del programa Autocad teniendo en cuenta la ubicación de la vía, y el cruce de la quebrada, La superficie delimitada por la divisoria de aguas para la zona de estudio es de 1.393 km², 139,3 Ha.
- Perímetro: la línea formada por la divisoria de la cuenca de estudio es de 4,6 km.
- 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 el cual es de 1.625 km
- Pendiente de la corriente principal: es el índice que representa el desarrollo del perfil del cauce principal. $(2430-1975)/1625 = 27\%$
- Tiempo de concentración: Tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma.

Existe gran número de ecuaciones para el cálculo de concentración (T_c) en la hoya a continuación se presentan las ecuaciones usadas en el caso de estudio.

Figura 17. Ecuaciones empleadas para la determinación del tiempo de concentración.

Ecuación de Kirpich $T_c = 0.06628 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$	Ecuación de Témez $T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$
Ecuación de Johnstone y Cross $T_c = 2.6 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.5}$	Ecuación de Giandotti $T_c = \frac{4 A^{0.5} + 1.50 L}{25.3 (L S)^{0.5}}$
Ecuación de SCS – Ranser $T_c = 0.947 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$	Ecuación de Ventura - Heras $T_c = 0.30 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75}$
Ecuación de V.T. Chow $T_c = 0.273 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$	Ecuación de Hathaway $T_c = \frac{36.36 (L n)^{0.467}}{S^{0.234}}$
Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos $T_c = 0.28 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad [2.9]$	

Fuente. Manual drenaje para carreteras, INVIAS (2009)

Los resultados obtenidos para las ecuaciones fueron los siguientes:

Tabla 13. Resultados de tiempos de concentración por medio de las diferentes ecuaciones

	Tiempo	Unidad	Tiempo (minutos)
Ecuacion de Kirpich	0,16	Hora	9,4
Ecuacion de Temez	0,23	Hora	13,8
Ecuación de Johnstone y Cross	0,81	Hora	48,6
Ecuación de Giandotti	0,42	Hora	25,2
Ecuación de SCS – Ranser	0,16	Hora	9,4
Ecuación de Ventura - Heras	0,23	Hora	13,9
Ecuación de V.T. Chow	0,56	Hora	33,6
Ecuación del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos	0,70	Hora	42,0
Ecuación de Hathaway	40,05	Min	40,1

Fuente. Autores.

Como se evidencia en la tabla los resultados del tiempo de concentración en algunos casos muestran gran diferencia entre sí, por lo cual se estimara un valor calculando un valor medio de los resultados más parecidos, eliminando los valores extremos.

Para lo cual se promedian los resultados de las ecuaciones más próximos y se obtiene el tiempo de concentración de 33 minutos.

6.4.2.1 Periodo de retorno (T_r)

Según el manual de drenaje del INVIAS (2011) para obras de drenaje vial sugiere.

Tabla 14. Periodo de retorno según el tipo de obra.

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

Fuente. Manual de drenaje para carreteras, INVIAS (2009)

En este proyecto se toma el periodo de retorno de 25 años.

6.4.2.2 Coeficiente de escorrentía (C).

El coeficiente de escorrentía es la fracción de agua del total de lluvia precipitada que genera escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo.

Se presenta a continuación una tabla expuesta en el manual de drenaje del INVIAS la cual propone valores de coeficiente de escorrentía para áreas rurales.

Tabla 15. Coeficiente de escorrentía según la vegetación y topografía de la zona

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO 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

Fuente. Manual de drenaje para carreteras, INVIAS (2009)

Se adopta el valor para C de 0,57 justificando la zona como una zona de pastos y tierras cultivadas que se encuentran en zona montañosa.

6.4.2.3 Intensidad.

El método para el cálculo de la intensidad es una ecuación simplificada de deducción de las curvas intensidad – duración – frecuencia propuesta por el Instituto Nacional de Vías (2009), ésta se debe llevar a cabo siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración

La expresión está dada por:

$$i = \frac{a \times T^b \times M^c}{(t/60)^d}$$

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, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados

Los valores dados para los parámetros de la ecuación de intensidad se encuentran divididos en 4 zonas.

Tabla 16. Parámetros de ajuste de regresión, para cálculo de intensidad

Región	a	b	c	d
Andina	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente. Manual de drenaje para carreteras, INVIAS (2009)

La ubicación del proyecto se encuentra en la zona R1 de la región andina, por lo cual los parámetros de ajustes quedan de la siguiente forma.

a= 0,94, b= 0.18, c= 0.66, d= 0.83.

La ecuación en función de los parámetros es la siguiente:

$$i = \frac{0,94 * T^{0,18} * M^{0,83}}{\frac{t^{0,66}}{60}}$$

Se cuenta con los datos de la estación hidrológica cercana, estos datos fueron suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM

Tabla 17. Valores máximos diarios mensuales de lluvias, estación hidrológica

I	D	E	A	M	-	INSTITUTO	DE	HIDROLOGIA,	METEOROLOGIA	Y	ESTUDIOS	AMBIENTALES
SISTEMA	DE	INFORMACION										
VALORES	MAXIMOS	MENSUALES DE		PRECIPITACION	(mms)	NACIONAL	AMBIENTAL					
EN	24 HORAS											
FECHA	DE	PROCESO	:	14/03/2018	ESTACION	:	21190310	PINAR	EL			
LATITUD	423 N	TIPO		EST	PM	DEPTO	CUNDINAMARCA			FECHA-INSTALACION	1980-AGO	
LONGITUD	7419 W	ENTIDAD			1 IDEAM	MUNICIPIO	FUSAGASUG/ FECHA-SUSPENSION					
ELEVACION	1900 m.s.n.m	REGIONAL			11 BOGOTA	CORRIENTE	BLANCO					

AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VR ANUAL
2007	1	1	40.5	19.8	29.7	59.4	15.6	20.0	8.1	25.3	9.7	67.0	15.2	57.6	67.0
2008	1	1	34.5	65.0	67.9	37.0	30.0	11.4	18.2	*	14.5	46.8	*	42.0	67.9
2009	1	1	28.4	78.0	55.5	46.7	13.0	12.9	20.0	10.9	28.9	57.8	31.2	*	78.0
2010	1	1	8.0	40.6	8.0	49.4	56.3	19.1	38.0	18.1	47.8	57.1	47.2	*	57.1
2011	1	1	11.3	66.0	*	48.6	30.5	14.8	37.3	22.9	19.2	46.7	39.5	39.6	66.0
2012	1	1	57.5	24.5	36.5	58.6	15.2	9.4	42.9	13.1	7.6	40.2	*	*	58.6
2013	1	1	*	80.5	45.0	61.0	*	16.7	20.1	22.2	18.4	20.5	84.0	56.0	84.0
2014	1	1	*	42.5	32.4	48.7	56.5	8.6	8.1	11.6	9.3	45.6	28.5	44.5	56.5
2015	1	1	25.6	58.1	63.5	44.5	12.5	13.2	16.1	12.0	29.8	33.8	48.7	4.3	63.5
2016	1	1	26.7	75.3	33.7	32.8	14.1	12.4	26.0	13.5	29.1	34.5	75.5	19.8	75.5
2017	1	1	40.7	27.2	31.5	50.0	44.8	12.8	*	8.3	*	*	*	*	50.0
MEDIOS			36.3	39.2	46.1	44.6	30.5	17.4	18.6	15.3	23.0	45.7	45.1	37.1	33.2
MAXIMOS			92.3	80.5	103.4	92.0	64.3	61.1	42.9	30.6	78.3	221.9	84.0	130.4	221.9
MINIMOS			3.5	11.1	5.4	8.8	12.5	3.4	8.0	4.4	5.0	20.5	12.9	4.3	3.4

Fuente. Suministrada por el IDEAM.

Tabla 18 Valores máximos anuales

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA ORDINARIA EL PINAR (SILVANIA) PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL HISTÓRICA EN 24 HORAS	
AÑO	PRECIPITACION (mm)
2007	67
2008	67,9
2009	78
2010	57,1
2011	66
2012	58,6
2013	84
2014	56,5
2015	63,5
2016	75,5
2017	50
Numero de Datos	11
Media	65,83

Fuente. Autores.

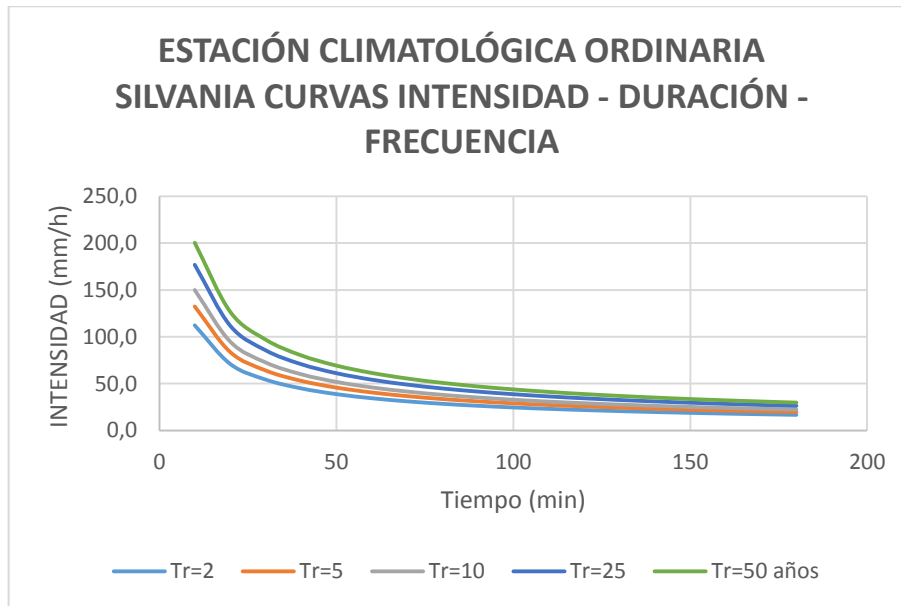
Aplicando los valores del Periodo de Retorno (T_r), y la duración (t) se obtiene la siguiente tabla con los valores de la Intensidad (i) con los cuales se pueden configurar las curvas I-D-F.

Tabla 19. Valores para configuración curvas IDF.

DURACION (min)	PERIODO DE RETORNO AÑOS					
	2	5	10	20	25	50
10	112,2	132,4	150,0	169,9	176,9	200,4
20	71,0	83,8	94,9	107,5	111,9	126,8
30	54,4	64,1	72,6	82,3	85,6	97,0
40	45,0	53,0	60,1	68,0	70,8	80,2
50	38,8	45,8	51,8	58,7	61,1	69,3
60	34,4	40,6	46,0	52,1	54,2	61,4
70	31,1	36,6	41,5	47,0	49,0	55,5
80	28,5	33,6	38,0	43,1	44,8	50,8
90	26,3	31,0	35,2	39,8	41,5	47,0
100	24,6	29,0	32,8	37,2	38,7	43,8
110	23,1	27,2	30,8	34,9	36,3	41,2
120	21,8	25,7	29,1	33,0	34,3	38,9
130	20,7	24,4	27,6	31,3	32,5	36,9
140	19,7	23,2	26,3	29,8	31,0	35,1
150	18,8	22,2	25,1	28,4	29,6	33,5
160	18,0	21,2	24,1	27,3	28,4	32,1
170	17,3	20,4	23,1	26,2	27,3	30,9
180	16,7	19,6	22,3	25,2	26,3	29,7

Las curvas IDF quedan de la siguiente configuración.

Figura 18. Curvas IDF



Fuente. Autores.

Tomando un tiempo de concentración de 33 minutos y ubicando la curva de tiempo de retorno igual a 25 años se obtiene un valor de 83 mm/h

6.4.3 Caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial sobre la hoya.

Por medio de la ecuación del método racional se obtiene:

Para cuando A está dado en 139,3 Ha, $i = 83$ mm/h y $C = 0,57$, sustituyendo los valores de área, intensidad y coeficiente de escorrentía se tiene.

$$Q = \frac{0,57 * 83 * 139,3}{360}$$

$$Q = 18,31 m^3/seg$$

7. DISEÑOS.

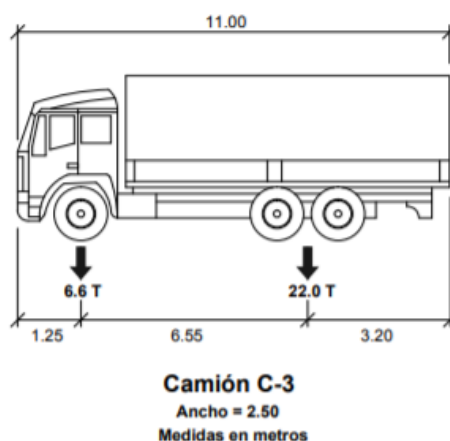
Para el mejoramiento vial del tramo escogido se presentan los diseños de estructura de placa huella, trazado geométrico, obras de drenaje longitudinales, obra de drenaje transversal, como guía se toma la GUIA DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS DE PLACA HUELLA (INVIAS 2009), PROYECTOS TIPO “Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella”(DNP 2016) MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS. (INVIAS 2009).

7.1 Estructura de placa huella

El diseño del pavimento con placa-huella es una estructura de concreto reforzado totalmente apoyada sobre el suelo (en este caso el suelo es la subbase granular) constituida por placas-huella y riostras que trabajan monolíticamente y cuyo mecanismo de falla es por carga última.

La carga de diseño se toma para soportar el desplazamiento de un camión C-3 que cuenta con una carga de eje tandem de 22 toneladas (distribuidas en dos ejes simples de 11 toneladas cada uno separados 1,20 m centro a centro).

Figura 19. Vehículo de diseño. Camión C-3



Fuente. Guía diseño placa huellas *capítulo 1* INVIAS

7.1.1 Subrasante y subbase granular

Del análisis de comportamiento del pavimento con placa huella se pudo concluir que la longitud, cuantía de acero, ancho y espesor tanto de las cintas como de las riostras no son sensibles a la rigidez de la superficie de apoyo de las mismas (subrasante-subbase granular), por dicha razón se adopta un ancho de base granular de 15 cm y que cumpla con la calidad exigida en Especificaciones generales de construcción de carreteras (INVIAS 2014) este espesor sirve de apoyo firme para las placas, al lograr la compactación requerida cuando los suelos de apoyo son de precaria calidad y a disponer de una superficie de trabajo limpia. Como se determinó en el laboratorio y se especifica en el capítulo 6.1 se toma un CBR de 3.9% para la subrasante, por lo cual el terreno actual permite la construcción de la estructura de placa huella sin realizar mejoras de estabilización al suelo.

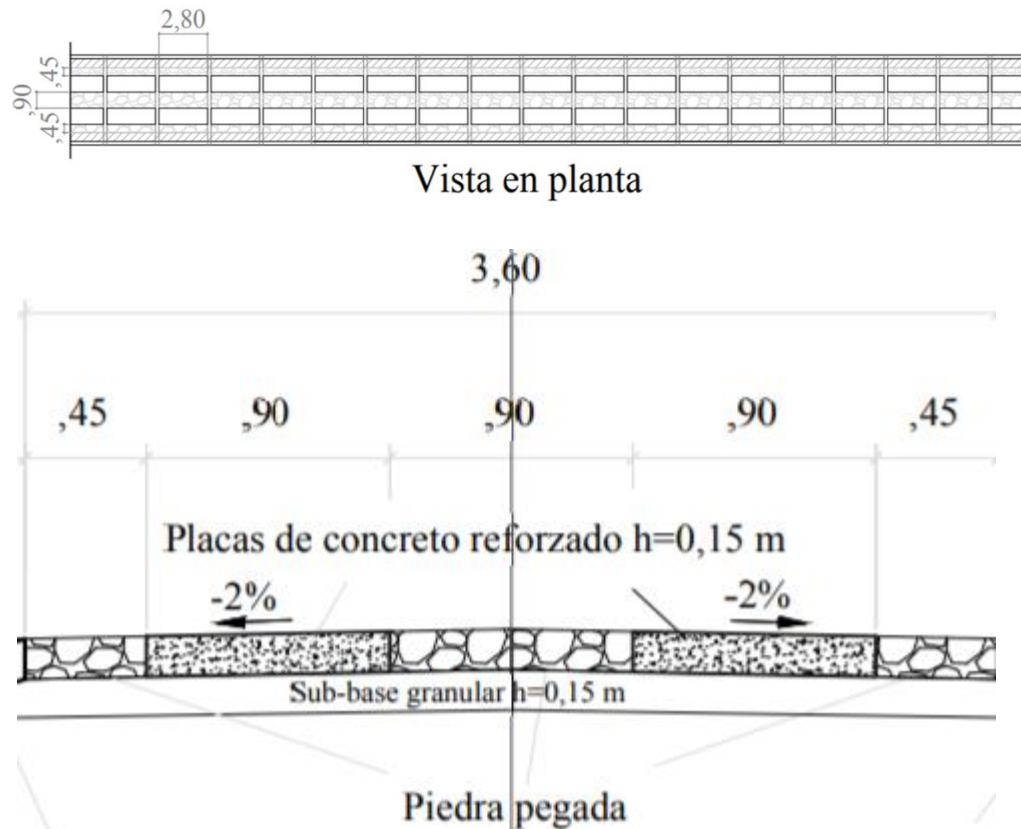
7.1.2 Espesor de la placa huella

El espesor requerido de concreto para soportar los esfuerzos producidos por el eje de diseño (Características de camión C-3) es menor a 15 centímetros, pero por facilidad constructiva y adecuado recubrimiento de la armadura de acero se adoptó un espesor de 15 centímetros.

7.1.3 Características de secciones transversales en tramos tangentes

Para que el vehículo de diseño logre realizar su recorrido con confort y seguridad durante los tramos rectos se adoptan anchos de placa huella de 90 centímetros de ancho que son separadas por una franja de piedra pegada de 90 centímetros teniendo en cuenta que la superficie diseñada para soportar la carga son las placa huella, en el exterior de las placa huellas se dispondrá de un ancho de 45 centímetros a cada lado de piedra pegada que permitirá realizar maniobras en caso de que en la vía se presenten casos de un flujo en doble sentido, teniendo como prioridad el uso de las placa huellas el vehículo más pesado.

Figura 20. Vista en planta y seccion transversal placa huella



Fuente. Guía diseño placa huellas capítulo 1 INVIAS

7.1.4 Características en secciones transversales en la curva

El trazado que realiza el camión de diseño al tomar la curva evidencia que las ruedas traseras abandonan la placa huella transmitiendo las cargas al concreto ciclópeo por lo cual en este proyecto cambiara la configuración de las secciones próximas al pontón que se encuentra en la zona de giro más marcada a lo largo del tramo a mejorar, con el fin de disponer de una sección resistente a los esfuerzos transmitidos por los ejes de los vehículos.

7.2 Trazado geométrico

Se realiza el diseño geométrico del tramo de vía partiendo del levantamiento topográfico realizado en la zona y tomando como datos iniciales basados en el manual de diseño geométrico de INVIAS según la clasificación y aspectos generales de la vía

Tabla 20. Datos iniciales generales de la vía.

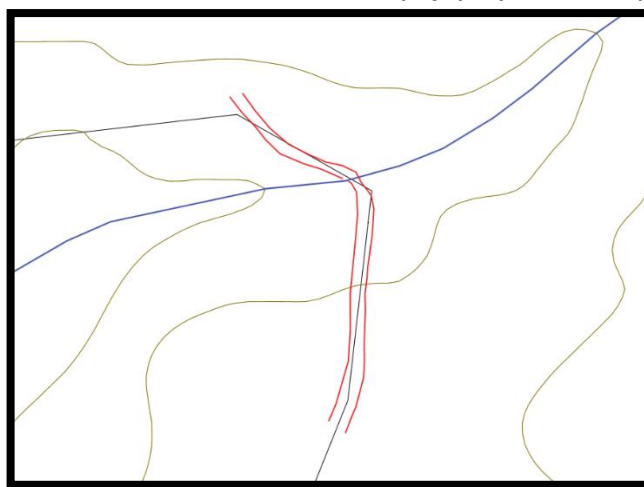
Datos iniciales	
Tipo de terreno	Escarpado
Tipo de vía	Terciaria
Velocidad (VHC)	20 km
Ancho carril (a)	3,6 m
Peralte Máximo (eMáx)	6%
Bombeo Normal(BN)	2%

Fuente. Autores

7.2.1 Diseño en planta del eje de la carretera

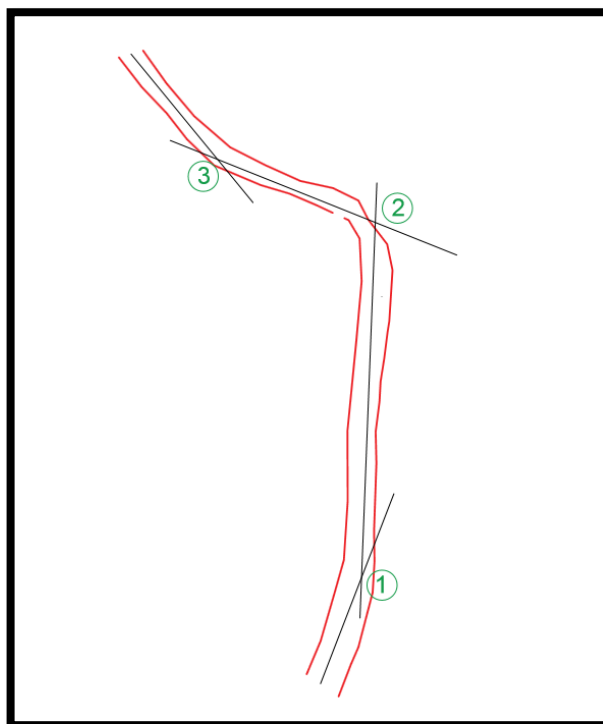
Del levantamiento topográfico se obtiene el trazado de la vía en la cual se observan tres curvas a lo largo del tramo de la vía una de estas está ubicada en el paso de la quebrada lugar en el cual se encuentra la alcantarilla tipo cajón.

Figura 21. Geometría de la vía (rojo), quebrada (azul).



Fuente. Autores.

Figura 22. Ubicación de las curvas



Fuente. Autores

En la siguiente tabla se detalla la ubicación de los puntos inicial y final de la vía.

Tabla 21 Georreferenciación de los extremos de la vía.

	Punto Inicial	Punto Final
Norte	-74,330480	-74,330223
Este	4,404970	4,404751
Cota (msnm)	1982,8	1977,3
Abscisa (m)	0	89,25

Fuente. Autores

El trazado horizontal de la vía se mantendrá igual al que se encuentra actualmente el cual fue levantado topográficamente y se puede observar detalladamente en los anexos, para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga experimentada por los vehículos al tomar las curvas, se eleva el borde exterior con respecto al interior, a esto se le conoce como peralte y se determinara su desarrollo en cada curva teniendo como valor máximo recomendado por el INVIAS de 6% para vías

terciarias escarpadas con una velocidad de diseño de 20 km/h . Para lo cual es necesario determinar el radio de cada una de las curvas y conocer la longitud de estas.

Tabla 22. Características de las curvas

Curva	Radio (m)	Longitud Lc (m)
1	44	11,3
2	7,5	39,5
3	18	6,2

Fuente. Autores

Tabla 23 Peralte según velocidad y radio de la curva

e (%)	V _{CH} = 20 km/h R (m)	V _{CH} = 30 km/h R (m)	V _{CH} = 40 km/h R (m)	V _{CH} = 50 km/h R (m)	V _{CH} = 60 km/h R (m)
1.5	194	421	738	1050	1440
2.0	138	299	525	750	1030
2.2	122	265	465	668	919
2.4	109	236	415	599	825
2.6	97	212	372	540	746
2.8	87	190	334	488	676
3.0	78	170	300	443	615
3.2	70	152	269	402	561
3.4	61	133	239	364	511
3.6	51	113	206	329	465
3.8	42	96	177	294	422
4.0	36	82	155	261	380
4.2	31	72	136	234	343
4.4	27	63	121	210	311
4.6	24	56	108	190	283
4.8	21	50	97	172	258
5.0	19	45	88	156	235
5.2	17	40	79	142	214
5.4	15	36	71	128	195
5.6	15	32	63	115	176
5.8	15	28	56	102	156
6.0	15	21	43	79	123

Fuente. Autores

Los peraltes deben ser de 3,8%, 6% y 5,2% para las curvas 1, 2 y 3 respectivamente.

Para calcular la Transición requerida para el bombeo N, (m) se usa la ecuación.

$$N = \frac{b * Lt}{e}$$

Siendo:

b= bombeo

Lt= longitud de transición

e= peralte

Para conocer el valor de Lt se usa la fórmula expuesta en el manual de diseño geométrico de vías de Jairo Agudelo adaptado a normas colombianas del cual se extrae la expresión

$$Lt = \frac{e * a}{I}$$

Siendo I Inclinação máxima en rampa de peraltes y a el ancho de la vía.

Figura 23 inclinación máxima en rampa de peraltes según velocidad de diseño

VELOCIDAD ESPECIFICA (Km/h)	PENDIENTE RELATIVA
	Máxima(%)
30	1.28
40	0.96
50	0.77
60	0.64
70	0.55
80	0.50
90	0.48
100	0.45
110	0.42
120	0.40
130	0.40
140	0.40
150	0.40

Fuente JOHN JAIRO AGUDELO OSPINA, DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS,
Ajustado al Manual Colombiano.

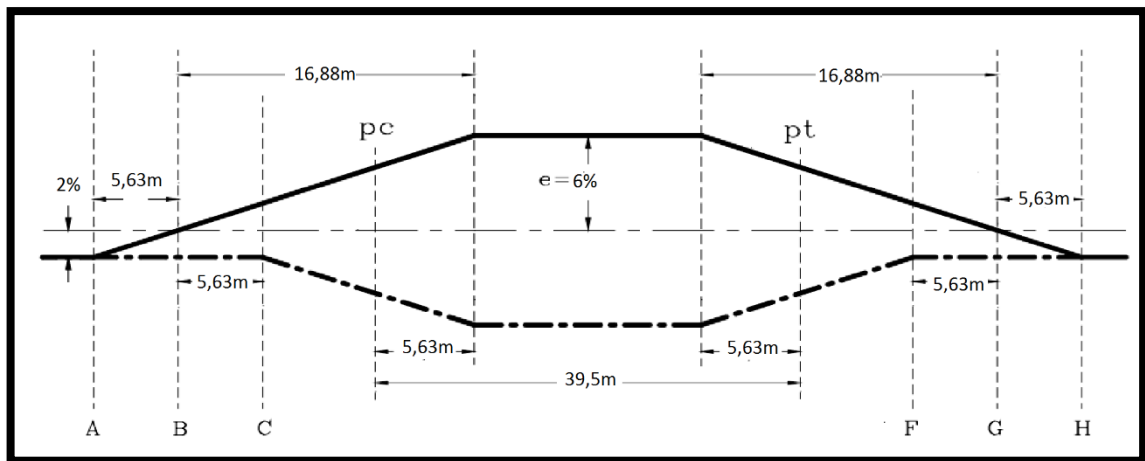
Se detallara disposición del peralte en la curva número 2, teniendo:

$$Lt = \frac{6 * 3,6}{1,28} = 16,88 \text{ m}$$

$$N = \frac{2 * 16,88}{6} = 5,63$$

Debido a los cortos tramos de entretangencia se opta por que el peralte se desarrolle 1/3 de la longitud de transición dentro de la curva, como se muestra en la figura 23.

Figura 24 Desarrollo del peralte, curva 2



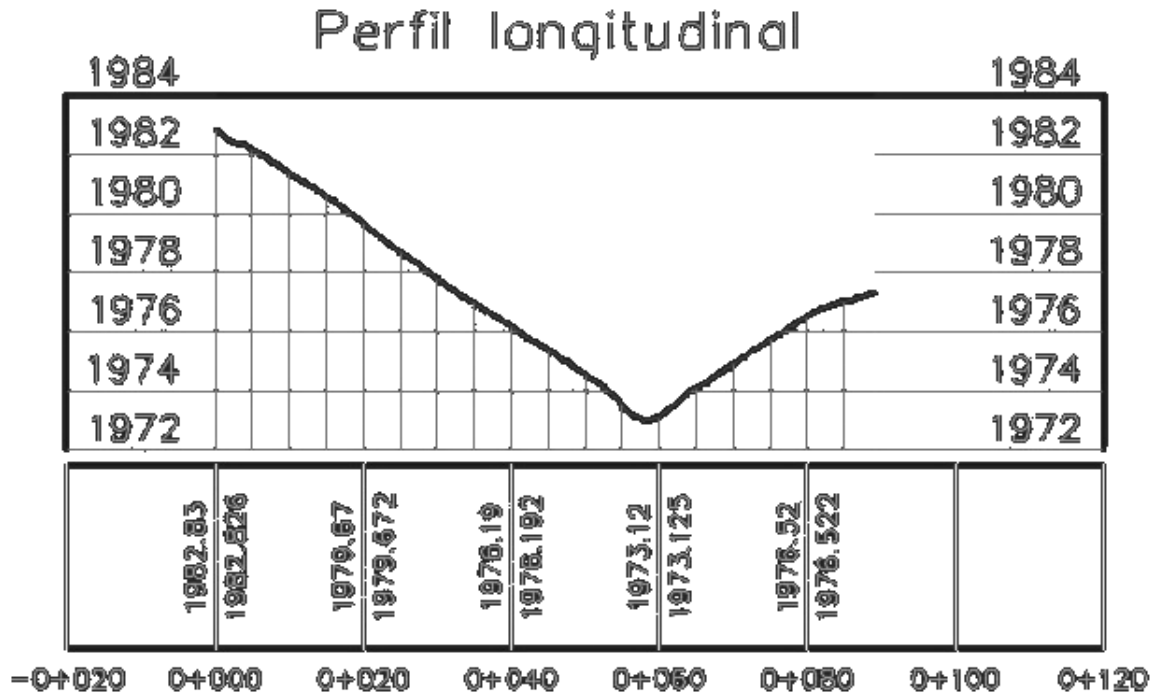
Fuente. Autores

Los demás peraltes pueden verse en los planos anexos.

7.2.2 Diseño en perfil del eje de la vía

Del levantamiento tipográfico realizado se toma la nivelación por el eje de la vía y con ayuda del programa Autocad civil 3D se realiza el perfil longitudinal, la altura del terreno será la subrasante en el proyecto final.

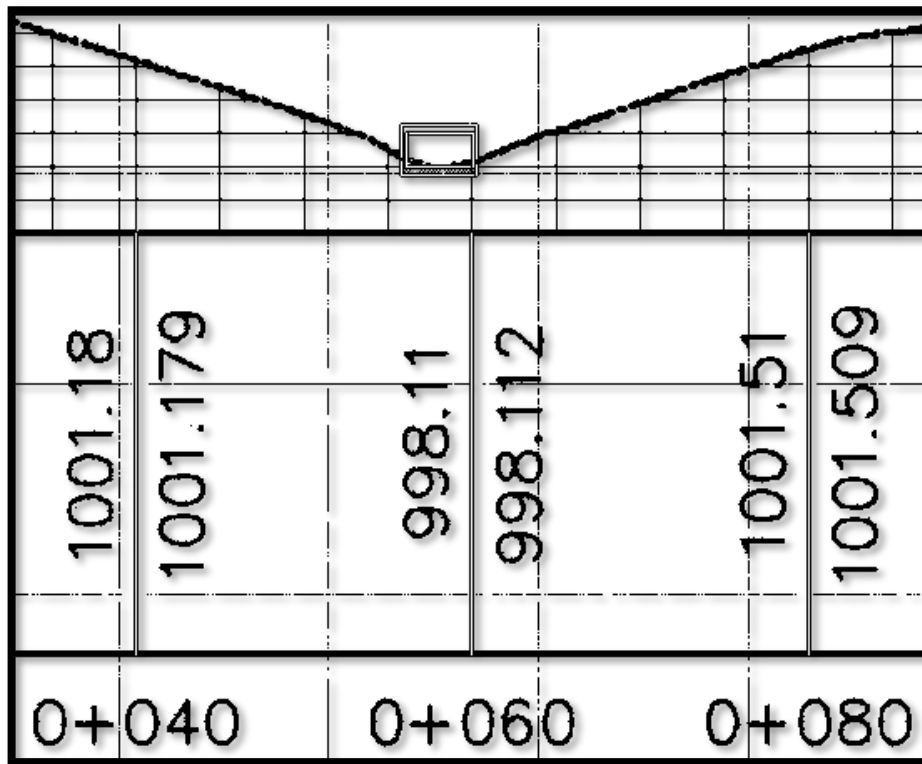
Figura 25 Perfil longitudinal



Fuente. Autores

Como para el mejoramiento vial es necesario incluir una estructura de drenaje en la parte baja del terreno la cual tiene una altura total de 1,3m y estará enterrada a 0,15m los cuales son puntos y alturas obligados para la creación de la rasante y supone que se deban hacer cálculos de relleno y excavaciones.

Figura 26 Ubicación del Box Culvert



Fuente. Autores

Tabla 24 Ubicación del box Culvert

Ubicación Box Culvert			
Inicio		Fin	
Abscisa	55,70m	Abscisa	60,30m
Cota superior	1974,15	Cota superior	1974,15
Cota Inferior	1972,75	Cota Inferior	1972,75

Fuente. Autores

Para garantizar un confortable tránsito por la vía se diseñara la rasante con los puntos obligados considerados, esto para permitir una transición adecuada entre pendientes, se proyectara la altura del box culvert a 5 metros para cada lado evitando cambios de pendiente sobre la estructura

Tabla 25 Información de la rasante

Punto	Abscisa (metros)	Cota (msnm)
1	0	1982,83
2	50,7	1974,15
3	65,2	1974,15
4	89,25	1977,35

Fuente. Autores

Se calcular la rasante de las curvas verticales ubicadas entre el Punto 1 y el Punto 4 considerando una velocidad de diseño de 20 Km/h.

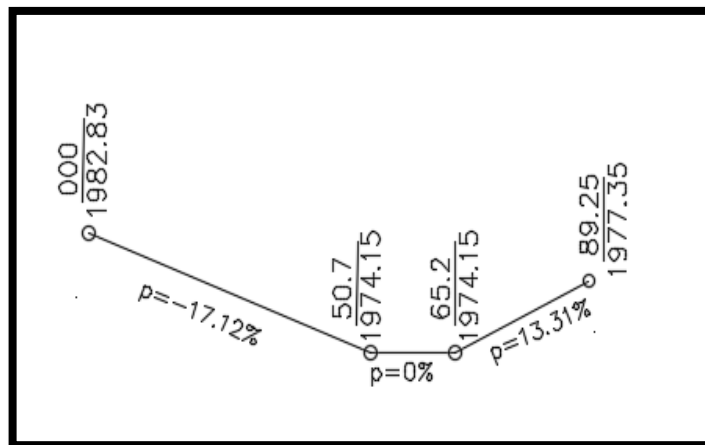
Inicialmente se calcula el valor de las pendientes entre los puntos de quiebre de la rasante:

$$p_{1-2} = \frac{1974,15 - 1982,83}{65,2 - 50,7} * 100 = -17,12\%$$

$$p_{2-3} = \frac{1974,15 - 1974,15}{50,7 - 65,2} * 100 = 0\%$$

$$p_{3-4} = \frac{1977,35 - 1974,15}{65,2 - 89,25} * 100 = 13,31\%$$

Figura 27 Esquema de puntos, rasante



Fuente. Autores

Se tiene entonces que diseñar dos curvas cóncavas que permitan una adecuada aproximación de los tramos de vías al pontón

Como se expresa en el capítulo 4.2.3.2 del manual de diseño geométrico del INVIAS la longitud mínima de la curva vertical con criterio de seguridad se puede calcular de la siguiente forma:

$$Lv = 0,6 * Vc$$

$$Lv = 0,6 * 20 = 12m$$

Se calculan las externas con las pendientes usando la ecuación.

$$E = \frac{(p - q) * Lv}{800}$$

$$E_1 = \frac{(17,12) * 12}{800} = 0,26 \quad ; \quad E_2 = \frac{(13,3) * 12}{800} = 0,20$$

Restando a las abscisas de los puntos de intersección de las rectas tangentes la longitud de curva dividida en dos se puede calcular la abscisa del punto de inicio de la curva, de igual forma sumándole la longitud de la curva dividida en dos se determina el punto final de la curva.

$$PCV = PIV - \frac{Lv}{2} \quad ; \quad PTV = PIV + \frac{Lv}{2}$$

$$PCV_1 = 50,7 - \frac{12}{2} = 44,7m \quad ; \quad PTV_1 = 50,7 + \frac{12}{2} = 56,7m$$

$$PCV_2 = 65,2 - \frac{12}{2} = 59,2m \quad ; \quad PTV_2 = 65,2 + \frac{12}{2} = 71,2m$$

Las cotas de estos puntos son:

$$CPCV = CPIV - p \frac{\left(\frac{Lv}{2}\right)}{100} \quad ; \quad CPTV = CPI + q \frac{\left(\frac{Lv}{2}\right)}{100}$$

$$CPCV_1 = 1974,15 - (-17,12) \frac{6}{100} = 1975,18 \quad ; \quad CPTV_1 = 1974,15 + 0 \frac{6}{100} = 1974,15$$

$$CPCV_2 = 1974,15 - (0) \frac{6}{100} = 1974,15 \quad ; \quad CPTV_2 = 1974,15 + (13,3) \frac{6}{100} = 1974,95$$

Las cotas en la tangente para la curva se calculan a partir de la cota del punto de intersección de las tangentes CPIV teniendo en cuenta las pendientes y distancias hasta el punto

$$CT_i = CPIV - p(\%)Xi/100$$

$$CT_{45,7} = 1974,15 - \frac{(-17,12)(50,7 - 46,7)}{100} = 1975,01 \text{ msnm}$$

$$CT_{46,7} = 1974,15 - \frac{(-17,12)(50,7 - 46,7)}{100} = 1974,83 \text{ msnm}$$

$$CT_{47,7} = 1974,15 - \frac{(-17,12)(50,7 - 47,7)}{100} = 1974,66 \text{ msnm}$$

$$CT_{48,7} = 1974,15 - \frac{(-17,12)(50,7 - 48,7)}{100} = 1974,49 \text{ msnm}$$

$$CT_{49,7} = 1974,15 - \frac{(-17,12)(50,7 - 49,7)}{100} = 1974,32 \text{ msnm}$$

Ahora se calculan las correcciones verticales para las abscisas ubicadas dentro de la curva. Para esto se emplea la ecuación

$$y = E \left[\frac{X}{Lv} \right]^2$$

Para las abscisas ubicadas entre el PCV y PIV la corrección quedaría.

$$y_{46,7} = 0,26 \left[\frac{46,7 - 45,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,007$$

$$y_{47,7} = 0,26 \left[\frac{47,7 - 45,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,029$$

$$y_{48,7} = 0,26 \left[\frac{48,7 - 45,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,064$$

$$y_{49,7} = 0,26 \left[\frac{49,7 - 45,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,114$$

$$y_{50,7} = 0,26 \left[\frac{50,7 - 45,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,178$$

Para las abscisas ubicadas entre el PIV y PTV la corrección quedaría

$$y_{51,7} = 0,26 \left[\frac{56,7 - 51,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,178$$

$$y_{52,7} = 0,26 \left[\frac{56,7 - 52,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,114$$

$$y_{53,7} = 0,26 \left[\frac{56,7 - 53,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,064$$

$$y_{54,7} = 0,26 \left[\frac{56,7 - 54,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,029$$

$$y_{55,7} = 0,26 \left[\frac{56,7 - 55,7}{\frac{12}{2}} \right]^2 = 0,007$$

Finalmente la cota rasante se halla con solo sumar, para cada abscisa, los valores correspondientes de cota tangente (CT) y la corrección vertical (y). $CR = CT + y$

Tabla 26 cuadro final de rasante para la Curva 1

Abscisa	Cota Tangente	Y	Cota Rasante
44,7	1975,177	0,000	1975,177
45,7	1975,006	0,007	1975,013
46,7	1974,835	0,029	1974,863
47,7	1974,664	0,064	1974,728
48,7	1974,492	0,114	1974,607
49,7	1974,321	0,178	1974,500
50,7	1974,150	0,257	1974,407
51,7	1974,150	0,178	1974,328
52,7	1974,150	0,114	1974,264
53,7	1974,150	0,064	1974,214
54,7	1974,150	0,029	1974,179
55,7	1974,150	0,007	1974,157
56,7	1974,150	0,000	1974,150

Fuente. Autores

Se procede de la misma forma para la segunda curva

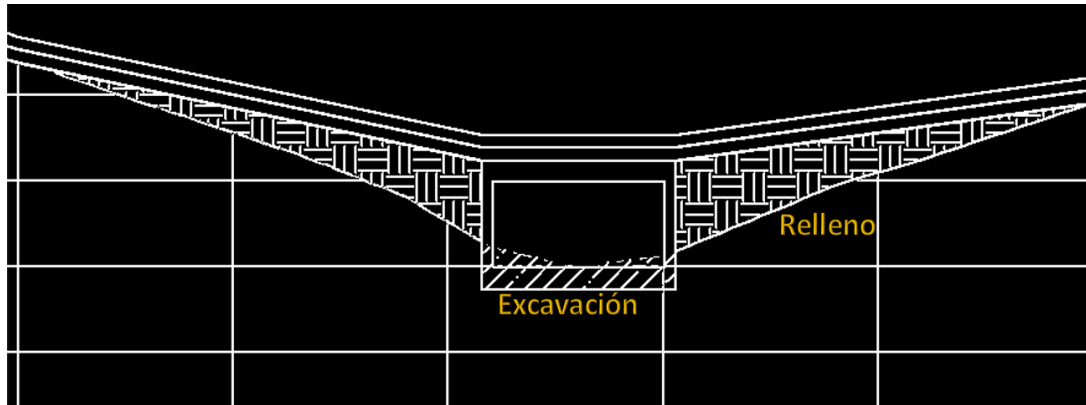
Tabla 27 cuadro final de rasante para la Curva 2

	Abscisa	Cota	Y	Cota Rasante
PCV	59,2	1974,150	0,000	1974,150
	60,2	1974,150	-0,006	1974,144
	61,2	1974,150	-0,022	1974,128
	62,2	1974,150	-0,050	1974,100
	63,2	1974,150	-0,089	1974,061
	64,2	1974,150	-0,139	1974,011
PIV	65,2	1974,150	-0,200	1973,950
	66,2	1974,283	-0,139	1974,144
	67,2	1974,416	-0,089	1974,327
	68,2	1974,549	-0,050	1974,499
	69,2	1974,682	-0,022	1974,660
	70,2	1974,815	-0,006	1974,810
PTV	71,2	1974,948	0,000	1974,948

Fuente. Autores

7.2.3 Movimiento de tierras

Figura 28 Esquema de rellenos y excavación en cercanías del Puente cajón.



Fuente. Autores

Tabla 28 Volúmenes de excavación bajo el box culvert

Calculo de volúmenes de excavación				
Cota de excavación (m)		1972,75		
Ancho de la excavación (m)		4,5		
Abscisa(m)	Cota de terreno actual	Profundidad(m)	Corte(m2)	Excavación(m3)
55,7	1973,25	0,5		
			0,805	3,6225
58	1972,95	0,2		
			0,69	3,105
60,3	1973,15	0,4		
Total excavación				6,7275

Fuente. Autores

Tabla 29 volumen de relleno.

Calculo de volúmenes de relleno				
Ancho del relleno (m)		4,5		
Abscisa(m)	Cota de terreno actual	Cota de relleno	Corte(m2)	Excavación(m3)
50,7	1974,407	1974,407		
			2,25	10,125
55,7	1973,25	1974,150		
60,3	1973,15	1974,150		
			2,5	11,25
65,3	1973,95	1973,95		
Total relleno				21,375

Fuente. Autores

7.3 Obras de drenaje

7.3.1 Obras de drenaje longitudinal

El drenaje de la vía tiene como principal objetivo reducir al máximo posible la cantidad de agua que llega a la vía y darle salida rápida de tal manera que no destruya progresivamente la capa de rodadura de la vía y su cimentación

7.3.1.1 Determinación del caudal

$$Q = 0.280 * C * I * A_v$$

Donde:

Q= caudal de escorrentía en m³/s

C= coeficiente de escorrentía; 0.57 (ver capítulo 6.4.2.2)

I= intensidad para un tiempo de concentración (mm/horas); 83 mm/hora (ver capítulo (6.4.2.3)

A_v= área aferente en Km²

L= longitud de la cuneta

B= ancho impluvium

La longitud de la cuneta y el ancho impluvium (*B*) se hallaron con ayuda de los planos donde se tienen las curvas de nivel. De allí se encontró que el valor del ancho es de 16 metros, pues desde esta distancia se puede asumir que una gota de agua cae y se desplaza hasta llegar a la cuneta. Por otra parte la longitud de la cuneta está dividida en dos, ya que las aguas lluvias llegan por ambos sentidos al pontón, por lo tanto las dos cunetas son diferentes y es necesario diseñar dos tipos de estas cada una a cada extremo del drenaje transversal, por esta razón se tiene que hallar un caudal para cada tipo de cuneta.

L1= 63.30m

L2= 33.60m

$$A_{v1} = B * L_1$$

$$A_{v1} = 0.016 \text{ km} * 0.0633 \text{ km}$$

$$A_{v1} = 0.00101 \text{ km}^2$$

Posteriormente se determina el caudal de la cuneta 1:

$$\begin{aligned}Q_1 &= 0.280 * C * I * A_{\gamma 1} \\Q_1 &= 0.280 * 0.57 * 83 * 0.00101 \\Q &= 0.0134 \text{ m}^3/\text{s} = 13.40 \text{ l/s}\end{aligned}$$

Para la cuneta 2, de nuevo se determina el área aferente $A_{\gamma 2}$.

$$\begin{aligned}A_{\gamma 2} &= B * L_2 \\A_{\gamma 2} &= 0.016 \text{ km} * 0.03360 \text{ km} \\A_{\gamma 2} &= 0.000537 \text{ km}^2\end{aligned}$$

De igual manera el caudal es:

$$\begin{aligned}Q_2 &= 0.280 * C * I * A_{\gamma 2} \\Q_2 &= 0.280 * 0.57 * 83 * 0.000537 \\Q &= 0.00711 \text{ m}^3/\text{s} = 7.11 \text{ l/s}\end{aligned}$$

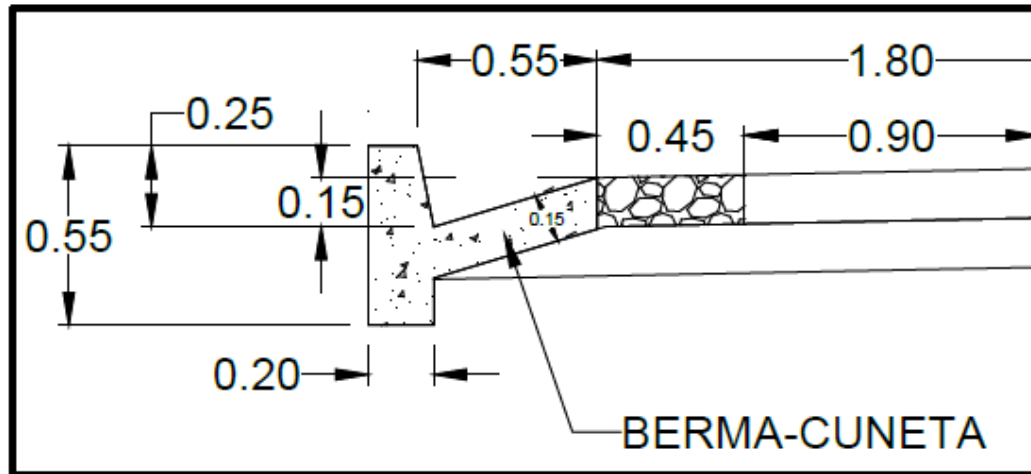
Para el primer tramo, el caudal de diseño de la cuneta es de 13,40 l/s, pues en este, la pendiente es mayor y se requiere de una cuneta de mayor área transversal. Por otra parte, el caudal que viene del otro lado del pontón, es de 7,11 l/s ya que su pendiente y tramo son menores.

No es necesario hacer varias alcantarillas, por lo que el tramo de escorrentía es poco, pues el único drenaje transversal que se encontrará a lo largo de la placa huella es el pontón, y este es suficiente para recoger los volúmenes de agua que descendan aguas arriba.

7.3.1.2 Diseño de la berma-cuneta.

El diseño de este tipo de cuneta, es general para todos los pavimentos con placa-huella, es decir que su forma y sus dimensiones no varían, según la Guía de Pavimentos con Placa-huella del INVIAS. Con base en lo anterior, a continuación se muestra en la figura el modelo de la berma-cuneta.

Figura 29 Berma-cuneta recomendada por el INVIAS.

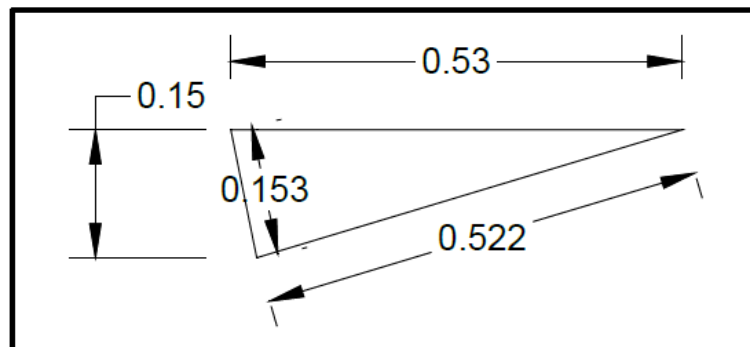


Fuente: Guía de Pavimentos con Placa-huella. (INVIAS)

Para la anterior figura, se puede identificar la lamina de agua critica la cual se va a formar cuando la intensidad de las lluvias es muy alta, es decir que para este caso, el agua que fluye por la cuneta en algún momento tendera a salirse de esta, casi al momento de llegar al drenaje transversal (pontón), pero sin generar riesgo alguno.

A continuación se muestra la lámina que se forma en la berma-cuneta.

Figura 30 Lámina de agua en la berma-cuneta.



Fuente: Guía de Pavimentos con Placa-huella. (INVIAS)

7.3.1.3 Medidas adoptadas para la berma-cuneta.

Profundidad máxima de la lámina de agua= 0,15m

Ancho máximo de la lámina de agua= 0,53m

Área hidráulica:

$$A = \frac{0,522m * 0,153m}{2} = 0,039m^2$$

Perímetro mojado:

$$P_m = 0,522m + 0,53m + 0,153m = 1,205m$$

Radio hidráulico:

$$R = \frac{0,039m^2}{1,205m} = 0,0323m$$

Superficie de la cuneta en concreto.

Coeficiente de maning n=0,014

Pendiente de la cuenta igual a la pendiente de la rasante de la vía= 10%

7.3.1.4 Verificación de la capacidad hidráulica de la estructura vs caudal de diseño

Para el diseño hidráulico de la cuneta, se debe verificar que este cumpla con los criterios de dimensionamiento, es decir, que la capacidad hidráulica de esta, no supere el caudal de diseño calculado en el anterior capítulo.

Esta observación, se realiza de acuerdo a la expresión de Maning:

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

Para este caso, el caudal no es una incógnita, pero si es necesario hallar el valor de (**y**), la cual es la variable que confirma si el dimensionamiento de la cuneta es óptimo y no permita rebosamiento de estas.

Para el primer tramo, es decir para el caso de la cuneta 1, donde el caudal es de $0.0134 \text{ m}^3/\text{s}$, se puede determinar el valor de (**y**) con la siguiente ecuación:

$$0,0134 = \frac{1}{0,014} * \left(\frac{0,522 * y}{2} * \left(\frac{0,522 * y}{2 * (0,522 + 0,53 + y)} \right)^{2/3} * S^{1/2} \right)$$

$$y = 0,045m$$

El valor de (y), se determinó por medio de iteraciones, ya que para el despeje de esta en la ecuación anterior es un poco compleja.

Haciendo este proceso en Microsoft Excel, el valor de (y) es de 0,045m, lo cual afirma que la cuneta es óptima para el caudal que se desplaza por este tramo.

La velocidad del flujo en este tramo se determina con la ecuación de continuidad $Q=V*A$, donde:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,0134 \text{ m}^3/s}{0,039 \text{ m}^2} = 0,34 \text{ m/s}$$

La velocidad media no favorece procesos de sedimentación o de erosión de la cuneta, ya que esta no supera los 0,6 m/s (Manual de Drenaje para Carreteras, 2009), por lo tanto este diseño se considera adecuado.

Para el segundo tramo, es decir para el caso de la cuneta 2, donde el caudal es de $0,00711 \text{ m}^3/s$, se puede determinar el valor de (y) con la misma ecuación:

$$0,00711 = \frac{1}{0,014} * \left(\frac{0,522 * y}{2} * \left(\frac{0,522 * y}{2 * (0,522 + 0,53 + y)} \right)^{2/3} * S^{1/2} \right)$$

$$y = 0,030m$$

El valor de (y), se determinó de igual forma que para el tramo 1, ya que para el despeje de esta en la ecuación anterior es un poco compleja.

Haciendo este proceso en Microsoft Excel, el valor de (y) es de 0,030m, lo cual afirma que la cuneta es óptima para el caudal que se desplaza por este tramo.

La velocidad del flujo en este tramo se determina con la ecuación de continuidad $Q=V*A$, donde:

$$V = \frac{Q}{A}$$
$$V = \frac{0,00722 \text{ m}^3/\text{s}}{0,039 \text{ m}^2} = 0,18 \text{ m/s}$$

La velocidad media no favorece procesos de sedimentación o de erosión de la cuneta, ya que esta no supera los 0,6 m/s (Manual de Drenaje para Carreteras, 2009), por lo tanto este diseño se considera adecuado.

7.3.2 Obra de drenaje transversal

Se realizara el diseño de un Box Culvert como sistema de drenaje transversal que da solución al problema de escorrentía

en la zona más baja del tramo de la vía teniendo en cuenta el caudal máximo calculado en el capítulo 6.4

Se toma como medida inicial el ancho medio del caudal que es de 4m y dadas las condiciones del terreno es posible asignar una pendiente del 2% para permitir la autolimpieza en la estructura y evitar la sedimentación de los materiales de arrastre, con estas condiciones se buscara una altura que garantice el paso total del caudal de diseño.

Para verificar que las dimensiones de la estructura cumplan con los requerimientos se verifica con la ecuación de Manning estimando una altura de 1m.

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

Donde:

Q= Caudal de diseño.

n= Coeficiente de rugosidad de Manning.

S= Pendiente m/m.

R= Radio hidráulico.

$$Q = \frac{1}{0,015} * (0,02)^{\frac{1}{2}} * \frac{1 * 4}{2 * 1 + 4}^{\frac{2}{3}} * (1 * 4)$$

$$Q = 28,78 \text{ m}^3/\text{seg}$$

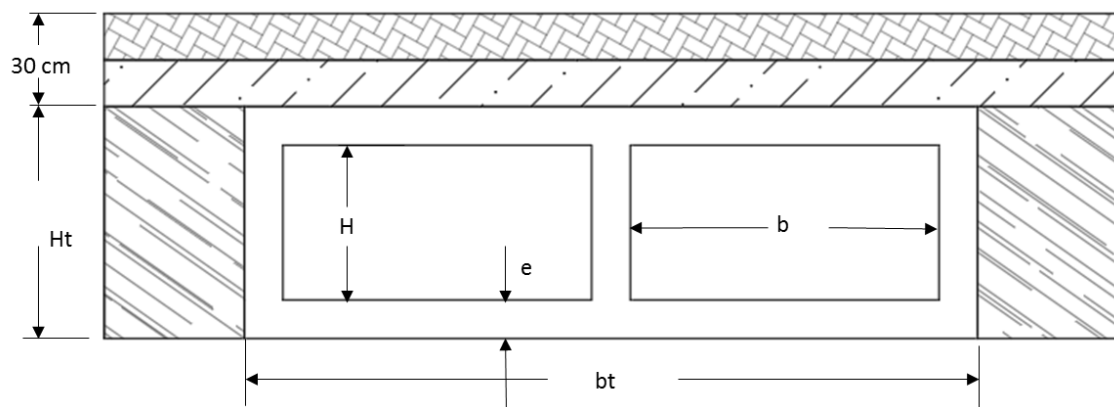
$$\frac{28,78}{18,31} = 1,5$$

Como se observa tomando las dimensiones anteriormente dadas se lograría evacuar 28,78m³/seg teniendo un factor de sobredimensionamiento de 1,5, el cual servirá como seguridad y permitirá el arrastre de sedimentos y que la superficie de rodadura de la vía no se encuentre sumergida.

7.3.2.1 Diseño estructural

Las estructuras enterradas se deberán diseñar para las solicitaciones resultantes de los empujes horizontales y verticales del suelo, la carga del pavimento, la sobrecarga y el incremento por carga dinámica.(sección 12.6, CCP 14)

Figura 31 Características de la sección propuesta



Fuente. Autores

Datos de la geometría de la sección.

- $H = 1\text{m}$
- $e = 20\text{ cm}$ (espesor de las paredes del Box Culvert)
- $H_t = H + 2e = 1,4\text{m}$ (alto total del Box Culvert)
- $b = 2$
- $bt = 2b + 3e = 4,6$ (ancho total del Box Culvert)
- Largo del Box Culvert = $4,5\text{m}$

Tabla 30 Peso propio de la estructura

Peso Propio de la estructura			
Losa superior e inferior		Muros laterales e interior	
Ancho(m)	4,60	Ancho(m)	0,20
Alto(m)	0,20	Alto(m)	1
Peso Específico concreto(kg/m ³)	2400	Peso Específico concreto(kg/m ³)	2400
Losa superior	2208	Muros laterales	960
Losa inferior	2208	Muro interior	480
Peso (kg/m)			5856

Fuente. Autores.

Factor de interacción del suelo F_e

$$F_e = 1 + 0,2 \left(\frac{0,30}{bt} \right)$$

$$F_e = 1 + 0,2 \left(\frac{0,30}{4,75} \right) = 1,01$$

7.3.2.1.1 Carga muerta

Empuje vertical E_v .

$$E_v = (F_e * \gamma_{\text{suelo}} * H_{\text{suelo}}) + (\gamma_{\text{placa huella}} * H_{\text{placa huella}})$$

$$E_v = (1,01 * 1700 * 0,15) + (2400 * 0,15) = 617,55 \text{ kg/m}^2$$

La densidad del suelo de relleno se ha considerado igual a 1700 kg/m^3 teniendo en cuenta que es un material seleccionado y compactado.

Las reacciones del suelo a las cargas verticales aplicadas a la alcantarilla se consideran uniformemente distribuidas en el fondo de la losa.

Empuje Horizontal del terreno E_h .

La teoría de Rankine propone el cálculo de un coeficiente de empuje lateral activo con el uso del ángulo de fricción interna Φ

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2} \right) = 0,33$$

Esfuerzo en la zona superior e inferior del muro por presión lateral del terreno

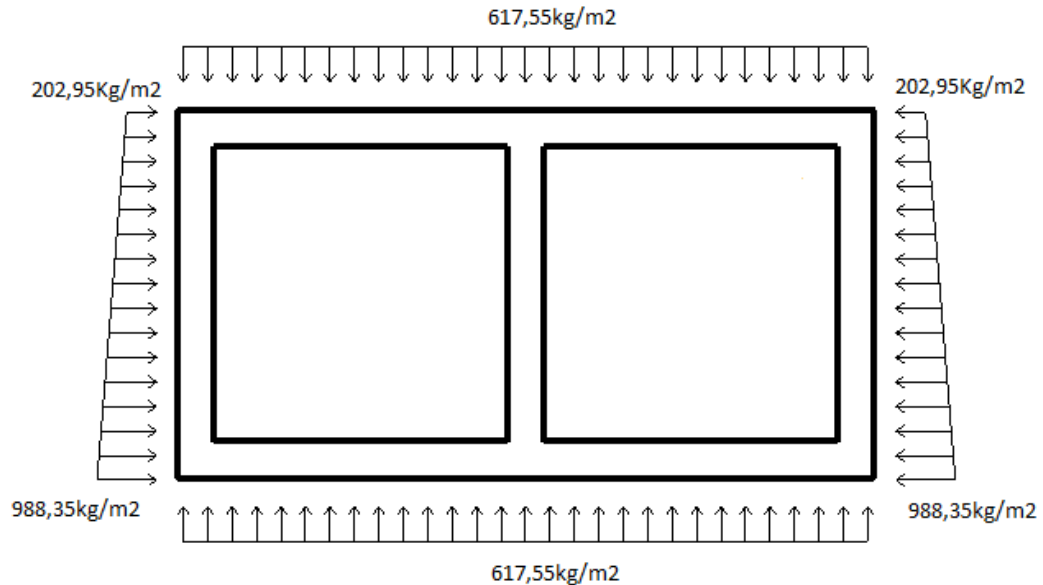
$$Eh_{sup} = K_a * (\gamma_{suelo} * H_{suelo} + \gamma_{placa\ huella} * H_{placa\ huella})$$

$$Eh_{sup} = 0,333 * (1700 * 0,15 + 2400 * 0,15) = 202,95 \text{ kg/m}^2$$

$$Eh_{inf} = K_a * (\gamma_{suelo} * H_{suelo+box} + \gamma_{placa\ huella} * H_{placa\ huella})$$

$$Eh_{sup} = 0,333 * (1700 * 1,55 + 2400 * 0,15) = 988,35 \text{ kg/m}^2$$

Figura 32 Esfuerzo vertical y horizontal del terreno



Fuente. Autores.

7.3.2.1.2 Carga viva

El factor de carga dinámica (IM) para el caso de elementos enterrados que propone la norma AASHTO (3.6.1.3.3, AASHTO LRFD) es:

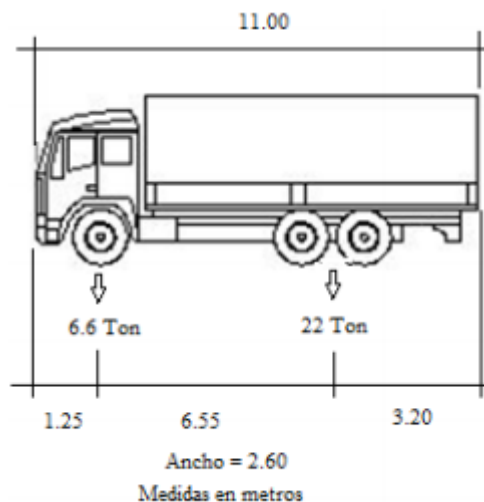
$$IM = 33(1 - 0,41D_E)$$

$$IM = 33(1 - 0,41(0,3)) = 28,94\%$$

Donde D_E es el espesor del relleno por encima del Box Culvert

El Art. 3.6.1.2.6 AASHTO-LRFD indica que si la profundidad del relleno es menor que 0.60m, la sobrecarga se analiza con anchos de franja equivalente, se tomara la configuración del eje tándem del camión C3 que consiste en dos ejes cargados con 110KN espaciados a 1.2m

Figura 33 Pesos y dimensiones del vehículo de diseño C3



Fuente. Guía de diseños de pavimentos con placa huella (INVIAS).

La carga distribuida equivalente está unida a un eje transversal de cargas concentradas con el propósito de modelar el efecto de un congestionamiento vehicular sobre el box, para determinar la carga viva, se usa factores de presencia múltiple (MPF). Un solo carril cargado con un MPF es de 1.20 AASHTO (1996).

Carga por eje

$$p_{lanta} = p * (1 + im)$$

$$p_{eje} = 55000 * (1 + 0,29) = 7100kg$$

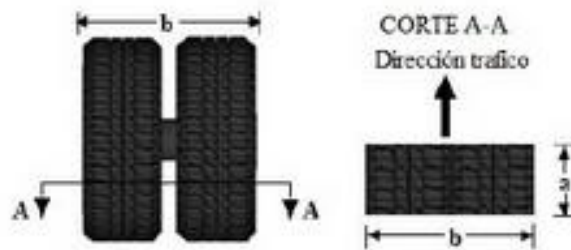
Dimensiones de las areas de propagación de esfuerzo neumático-pavimento

Tabla 31 Ancho de contacto entre el neumático y pavimento

Camión de diseño	Rueda simple (m)	
	a	B
C3	0,2	0,51

Fuente. Guía de diseño de placa huella INVIAS

Figura 34 Ancho de contacto entre el neumático y la superficie de dirección transversal y longitudinal



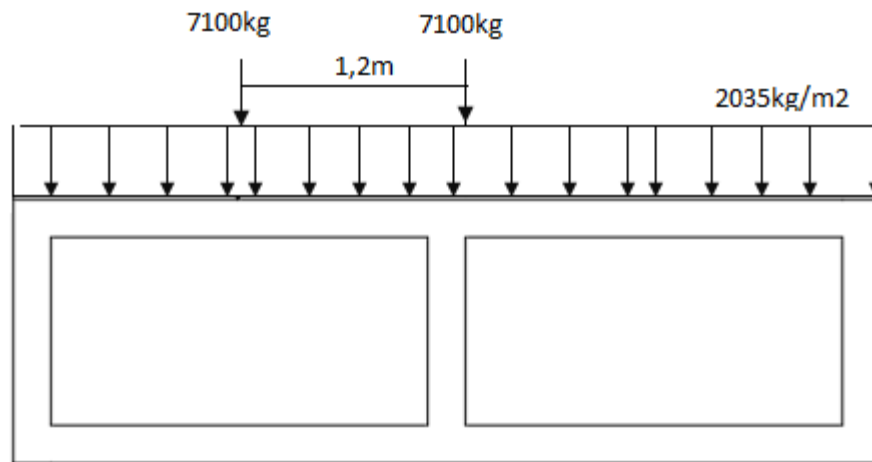
Fuente. <https://es.slideshare.net/LeoOsorio/diseo-de-puentesacklopezacunaaciperu>

Franja de carga vehicular

$$W = \frac{p_{\text{llanta}} * MPF}{\text{area de influencia}}$$

$$W = \frac{7100Kg * 1,2}{(0,2 + 1,219 + 0,3) * (0,51 + 1,219 + 0,3)} = 2035kg/m^2$$

Figura. 35 Solicitaciones por carga viva



Fuente. Autores

7.3.2.1.3 Sobrecarga de vía

En este caso no es aplicable. Las especificaciones AASHTO señalan (3.6.1.3.3), cuando el tramo no excede 4.5m, sólo se aplican las cargas de eje del camión o del tandem

7.3.2.1.4 Carga de agua

Se deben considerar dos situaciones alcantarilla vacía y alcantarilla con un flujo total

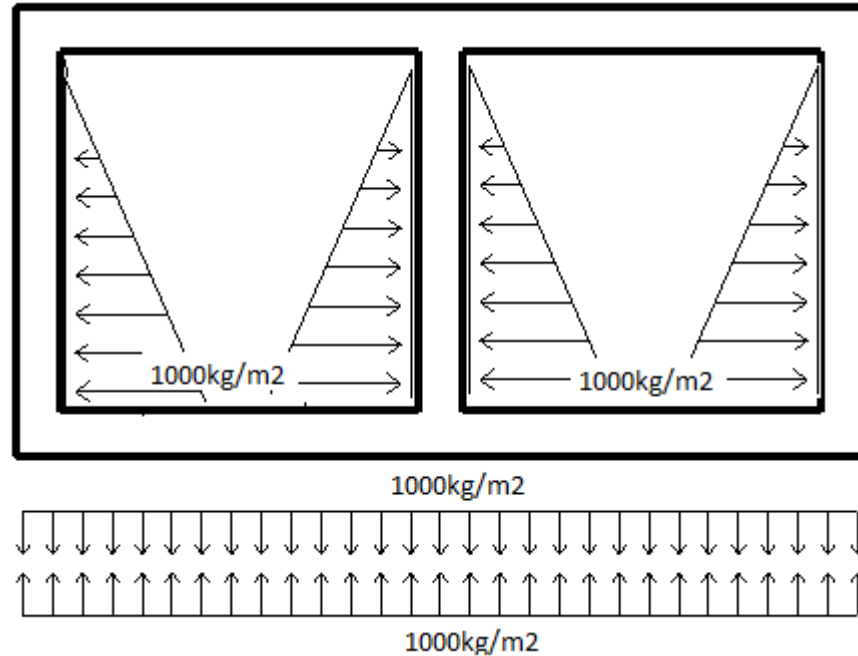
Alcantarilla llena

En la parte superior de la alcantarilla la presión es cero, para calcular la presión en el fondo

$$W_{agua} = \gamma_{agua} * H_{box}$$

$$W_{agua} = 1,000 * 1 = 1000kg/m^2$$

Figura 36 Esfuerzos por empuje del Agua



Fuente. Autores

7.3.2.1.5 Combinaciones de carga

La norma AASHTO presenta la combinación para momento último

$$M_u = 1,3(M_{cm} + 1,67M_{cv} + M_{ca})$$

Donde:

M_{cm} : Momento carga muerta.

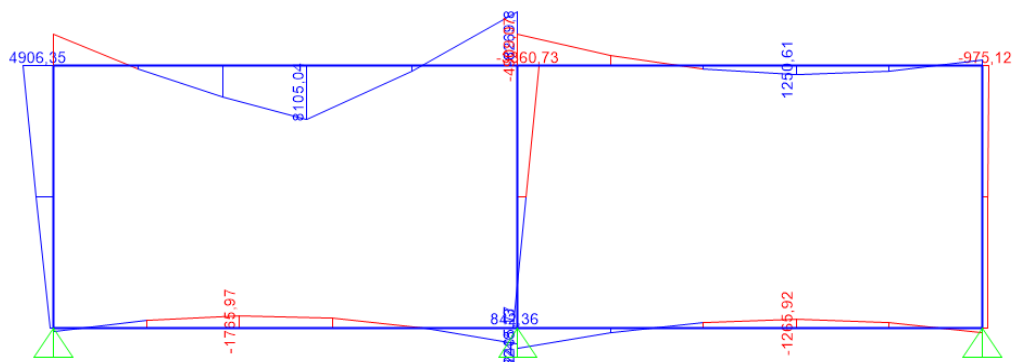
M_{cv} : Momento carga viva.

M_{ca} : Momento carga agua.

Para el respectivo análisis de la estructura se usó el programa SAP2000 adoptando los estados de carga y las combinaciones de las mismas, además considerando que la estructura del suelo es rígida con respecto al fondo de la alcantarilla,

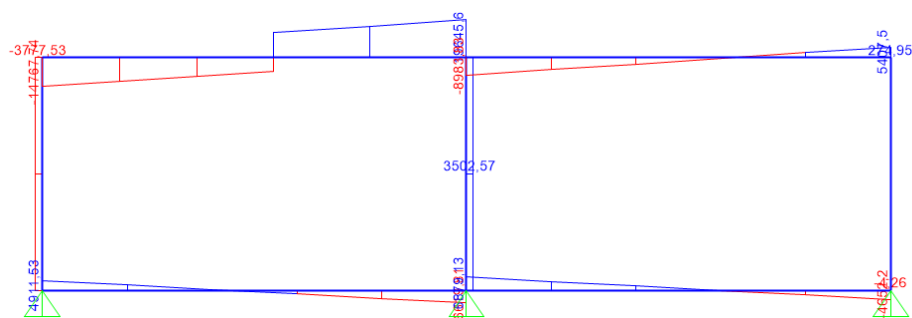
Diagramas de los envoltentes de carga

Figura 37 Momentos últimos de diseño (M_u) SAP2000



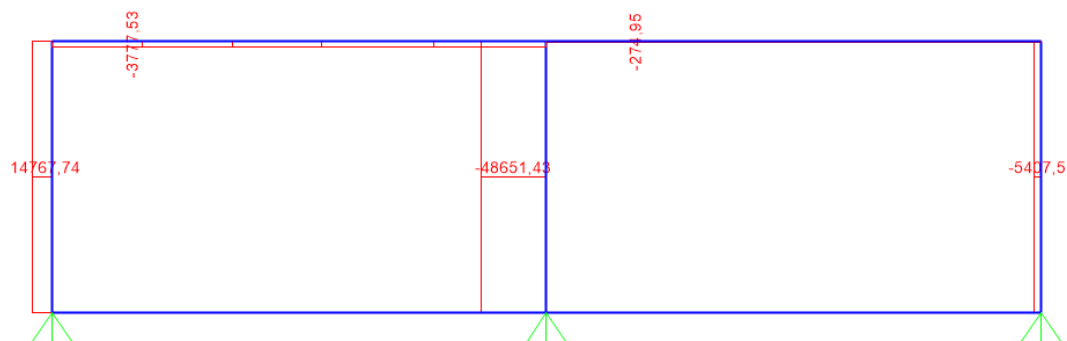
Fuente. Autores

Figura 38 Fuerzas cortantes últimas de diseño (V_u) SAP2000



Fuente. Autores

Figura 39 Fuerzas axiales últimas de diseño (P_u) SAP2000



Fuente. Autores

7.3.2.1.6 Cálculo de acero

Se determinará las cuantías de acero necesarias para soportar los efectos de las cargas calculados por medio del envolvente de cargas

Se expone en este documento el cálculo del acero necesario para la losa superior del Box culvert y se anexará los cálculos para los demás elementos.

7.3.2.1.6.1 Diseño a Flexión.

Acero positivo

Utilizando la combinación de carga anteriormente expuesta se tiene que (+) $M_u = 8,10 \text{ ton-m}$

Utilizando $A_s \text{ } \varnothing 5/8$ y recubrimiento $r = 5 \text{ cm}$

$$z = 5 + \frac{1,587}{2} = 5,79 \text{ cm}$$

$$d = 20 \text{ cm} - 5,79 \text{ cm} = 14,21 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{0,9 f_y (d - \frac{a}{2})} = \frac{8,10 * 10^5}{0,9 * 4200 (14,21 - \frac{a}{2})} = 16,84 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{A_s * 4200}{0,85 * 280 * 100} = 2,97 \text{ cm}$$

La separación está dada por:

$$s = \frac{2}{16,84} = 0,12 \text{ m}$$

Comprobación que la sección está controlada por la tensión.

$$\text{Luego como } c = \frac{a}{\beta} \quad , \quad c = \frac{2,97}{0,85} = 3,5$$

Finalmente la comprobación

$$\frac{c}{d} \leq 0,375$$

$$\frac{3,5}{14,21} = 0,25 \leq 0.375$$

Sección controlada por la tensión

As Mínimo

Como una alcantarilla tipo cajón colado en situ, la cuantía de acero debe ser capaz de resistir el valor de M_{cr} .

$$M_{cr} = 1,1 * fr * S$$

Siendo

- $fr = 2,01\sqrt{f'_c} = 2,01\sqrt{280} = 33,63kg/cm^2$
- $S = \frac{bh^2}{6} = \frac{100*20^2}{6} = 6,67cm^3$

$$M_{cr} = 1,1 * \frac{33,63kg}{cm^2} * 6,67cm^3 = 2,47 Ton - m$$

El acero calculado ($16.84cm^2$) resiste $M_u=8,10 T-m > 2,47 T-m$ CUMPLE

Acero negativo

Se tiene que (-) $M_u=4,91 ton-m$

Utilizando As Ø5/8 y recubrimiento $r=5cm$

$$z = 5 + \frac{1,587}{2} = 5,79cm$$

$$d = 20cm - 5,79cm = 14,21cm$$

$$As = \frac{Mu}{0,9f_y(d - \frac{a}{2})} = \frac{4,91 * 10^5}{0,9 * 4200(14,21 - \frac{a}{2})} = 9,65cm^2$$

$$a = \frac{As * 4200}{0.85 * 280 * 100} = 1,7cm$$

La separación está dada por:

$$s = \frac{2}{9,65} = 0,21m$$

Comprobación que la sección está controlada por la tensión.

$$\text{Luego como } c = \frac{a}{\beta} \quad , \quad c = \frac{1,7}{0,85} = 2$$

Finalmente la comprobación

$$\frac{c}{d} \leq 0.375$$

$$\frac{2}{14,21} = 0,20 \leq 0.375$$

Sección controlada por la tensión

As Mínimo

Como una alcantarilla tipo cajón colado en situ, la cuantía de acero debe ser capaz de resistir el valor de M_{cr} .

$$M_{cr} = 1,1 * fr * S$$

Siendo

$$\bullet \quad fr = 2,01\sqrt{f'_c} = 2,01\sqrt{280} = 33,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bullet \quad S = \frac{bh^2}{6} = \frac{100*20^2}{6} = 6,67 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = 1,1 * \frac{33,63 \text{ kg}}{\text{cm}^2} * 6,67 \text{ cm}^3 = 2,47 \text{ Ton} - \text{m}$$

El acero calculado (16.84 cm^2) resiste $M_u = 4,91 \text{ T-m} > 2,47 \text{ T-m}$ CUMPLE

7.3.2.1.6.2 Chequeo por corte

$$(+) As = 1\emptyset 5/8" \text{ a } 0,15 \text{ m} = \frac{2 \text{ cm}^2}{0,15 \text{ m}} = 13,33 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Con Cortante máximo obtenido en el análisis estructural

$V_u = 19,5 \text{ Ton}$ y momento ultimo asociado al cortante máximo $M_u = 3,4 \text{ Ton-m}$

La resistencia de corte se puede calcular como:

$$V_c = \left(0,568\sqrt{f'_c} + 326,4 \frac{As * V_u * d_e}{b * d_e * M_u} \right) b * d_e \leq 1,06\sqrt{f'_c} b * d_e$$

$$V_c = \left(0,568\sqrt{280} + 326,4 \frac{13,33 * 19500}{100 * 3400 * 0,1421} \right) 100 * 14,21$$

$$\leq 1,06\sqrt{280} * 100 * 14,21$$

$$V_c = 23,05 \text{ Ton} \leq 25,2 \text{ Ton} \quad \text{OK!}$$

Luego: $V_u = \phi V_c = 0,90(23,05) = 20,79$

$$V_u = \phi V_c = 0,9(23,05) = 20,74 \text{ Ton} > 19,5 \text{ Ton}$$

Cuantía de acero y separación adecuada

7.3.2.1.6.3 Chequeo por carga axial

Cuando la carga axial mayorada es menor que el 10% de la capacidad en compresión nominal de la sección, el diseño por flexión se puede realizar ignorando los efectos de carga axial.

Carga axial actuante actuando sobre la losa superior 3,8 Ton

Tomando un factor de resistencia por compresión de 0,70

$$0,10\phi f'_c A_g = 0,10 * 0,70 * \frac{280 \text{ Kg}}{\text{cm}^2} * (100 \text{ cm} * 20 \text{ cm}) = 39 \text{ Ton}$$

Luego $0,10\phi f'_c A_g > 3,8 \text{ Ton}$, se puede ignorar los efectos de carga axial para la losa superior.

7.3.2.1.6.4 Acero por temperatura para todos los elementos

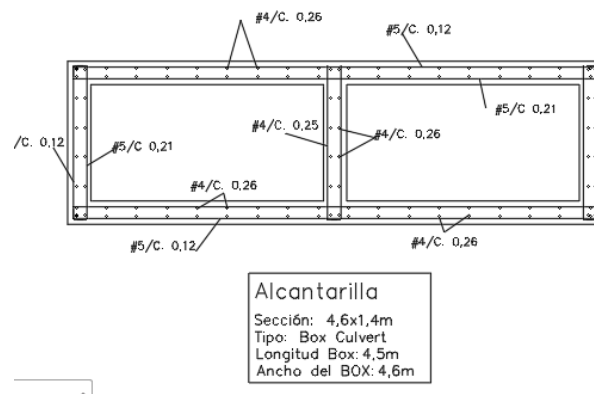
El acero por temperatura se encargara de transmitir las contracciones que produce el concreto en su estado de fraguado y endurecimiento, dado que la expansión y contracción térmica hace que el concreto se agriete.

- Porcentaje por temperatura= 0,0018
- Base= 100cm
- Peralte=Ancho-recubrimiento= 20-5= 15cm
- Área de acero=0,0018*100*15= 2,7cm²
- Acero a usar= #4 ,Área varilla= 1,271cm²
- Separación de barras= $\frac{1,27}{2,7} * 100 = 26 \text{ cm}$

7.3.2.1.7 Configuración de aceros en la estructura

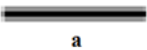
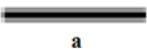
El aspecto estructural se diseñó para resistir flexión, cortante, fuerza axial y acero por temperatura.

Figura 40 Distribución de aceros



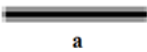
Fuente. Autores

Tabla 32. Hierro para Box Culvert

Box Culvert				
Diámetro	Figura	Longitud (m)	Cantidad	Peso Kg
#4		1,4	36	50
#5		1,4	150	328
#5		4,6	75	538
#5		4,6	43	308
#4		4,5	71	318
#4		4,5	32	145
			Total	1688

Fuente. Autores

Tabla 33. Hierro para placa-huella

placa-huella				
Diametro	Figura	Longitud (m)	Cantidad	Peso Kg
#4		90	16	1440
#4		0,9	1800	1620
			total	3060

Fuente. Autores

Tabla 34. Concreto para Box Culvert

concreto para Box Culvert (M3)				
largo (m)	ancho (m)	espesor (m)	cantidad	total
4,6	4,5	0,2	2	8,28
4,6	1	0,2	2	1,84
			Total	10,12

Fuente. Autores

7.3.3 Estructuras complementarias.

Con el fin de evitar el socavamiento en la salida del box Culvert se dispondrá de una estructura que permita disipar parte de la energía, se escoge una estructura rápida escalonada para que asegure una adecuada entrega a la corriente natural

8. PRESUPUESTO
 Tabla 32 Cuadro de presupuesto

Cuadro de presupuesto					
item	descripcion de la actividad	unidad	cantidad	valor unitario	valor del item
1	PRELIMINARES				\$ 11.158.554,38
1.1	campamento	M2	16	\$ 260.382	\$ 4.166.112,00
1.5	replanteo y localizacion	M2	540	\$ 12.948,97	\$ 6.992.442,38
2	EXPLANACIÓN				\$ 4.401.104,95
2.1	Desmonte y limpieza de zona e=0,10m	M3	45	\$ 97.802,33	\$ 4.401.104,95
3	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				\$ 68.835.000,00
3.1	base granular tipo B600	M3	90	\$ 752.277,78	\$ 67.705.000,00
3.2	compactación base granular tipo B600	M2	450	\$ 2.511,11	\$ 1.130.000,00
4	PAVIMENTO PLACA-HUELLA				\$ 44.541.801,85
4.1	acero de refuerzo #4	Kg	3060	\$ 8.400,89	\$ 25.706.721,87
4.2	concreto ciclopeo	M3	24	\$ 276.796,17	\$ 6.726.146,98
4.3	concreto Placa-huella MR 43	M3	24	\$ 498.310	\$ 12.108.933,00
5	CUNETAS				\$ 33.340.947,21
5.1	excavación red de cunetas	M3	74	\$ 270.794,31	\$ 20.106.477,70
5.2	cuneta tipo berma en concreto de 3000 Psi	M3	15	\$ 381.947,17	\$ 5.671.915,50
5.3	sardinell en concreto de 3000 Psi	M3	20	\$ 381.947,17	\$ 7.562.554,01
6	BOX CULVERT				\$ 28.768.783,60
6.1	excavación	M3	7	\$ 407.949,38	\$ 2.744.479,42
6.2	relleno para estructura Box Culvert	M3	9	\$ 750.000,00	\$ 6.693.750,00
6.3	concreto de 4000 Psi	M3	10	\$ 381.947,17	\$ 3.865.305,38
6.4	acero de refuerzo #4, #5	Kg	1688	\$ 8.400,89	\$ 14.177.248,80
6.5	baranda metalica peatonal	ml	9	\$ 140.000,00	\$ 1.288.000,00
				TOTAL	\$ 191.046.191,99

COSTOS INDIRECTOS			
ADMINISTRACION E IMPREVISTOS	25%	\$	47.761.548,00
UTILIDAD	5%	\$	9.552.309,60
IVA	19%	\$	1.814.938,82
COSTOS DIRECTOS + COSTOS INDIRECTOS		\$	250.174.988,42
INTERVENTORIA		\$	25.017.498,84
COSTO TOTAL		\$	275.192.487,26

Fuente. Autores.

9. RENDIMIENTOS

Tabla 33 Cuadro de rendimientos.

Cuadro De Rendimientos					
Item	Actividad	Unidad	Cantidad	Rendimiento	Días
1	PRELIMINARES				
1.1	campamento	M2	16	16	1
1.5	replanteo y localizacion	M2	540	250	2
2	EXPLANACIÓN				
2.1	Desmonte y limpieza de zona e=0,10m	M3	45	20	2
3	ESTRUCTURA DE PAVIMENTO				
3.1	base granular tipo B600	M3	90	45	2
3.2	compactación base granular tipo B600	M2	450	450	1
4	PAVIMENTO PLACA-HUELLA				
4.1	acero de refuerzo #4	Kg	3060	1000	3
4.2	concreto ciclopeo	M3	24	12	2
4.3	concreto Placa-huella MR 43	M3	24	12	2
5	CUNETAS				
5.1	excavación red de cunetas	M3	74	20	4
5.2	cuneta tipo berma en concreto de 3000 Psi	M3	15	7,5	2
5.3	sardinell en concreto de 3000 Psi	M3	20	10	2
6	BOX CULVERT				
6.1	excavación	M3	7	7	1
6.2	relleno para estructura Box Culvert	M3	9	10	1
6.3	concreto de 4000 Psi	M3	10	10	1
6.4	acero de refuerzo #4, #5	Kg	1688	1000	2
6.5	baranda metalica peatonal	ml	9	10	1
				DURACIÓN	29

Fuente. Autores.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la realización de la propuesta expuesta en este documento se reducirá notablemente los tiempos de recorridos, además de permitir el servicio permanente de la vía suprimiendo los riesgos que implica el cruce de la quebrada en épocas de invierno.

Se presenta una propuesta de diseño geométrico que permite un paso cómodo para el conductor, reduciendo en algunos tramos las pendientes y dando un peralte en las curvas que aumenta la seguridad para los usuarios.

Se deja a consideración la realización de una obra que permita guiar el flujo hacia la alcantarilla evitando la erosión en la entrada de la misma además de reducir las fuerzas de supresión.

El mejoramiento de vías mediante el uso de pavimento con placa huella es una de las mejores alternativas, dado que son bajos sus costos y permite satisfacer los requerimientos de servicio por lo cual se recomienda tener en cuenta esta propuesta como alternativa para mejorar los tramos de vía aledaños.

Es necesario evitar que vehículos más pesados al camión de diseño transiten sobre la vía dado que podrían ocasionar daño sobre las losas del pavimento.

La zona a la cual se le presenta la alternativa se encuentra en una zona rural es por esto que la cartografía encontrada en el IGAC no está actualizada y la vía no se encontró, motivo por el cual para realizar una ubicación global se requirió del uso de una imagen de google maps y la posterior digitalización en ARCGIS.

11. REFERENCIAS

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. (2016). *Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella*. Bogotá.
- Diego, A. (2015). *Especializacion en planeacion ambiental*. Recuperado el 2015, de Especializacion en planeacion ambiental:
<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13145/1/INGENIERIA%20DE%20PAVIMENTOS%20REHABILITACION%20DE%20VIAS%20TERCIARIAS%20CON%20EL%20SISTEMA%20PLACA%20HUELLA.pdf>
- INVIAS. (2015). *GUIA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS CON PLACA HUELLA*. Bogotá.
- OBRECOL S.A.S. (2016). *Construcción y mantenimiento de placa huellas*. Bogotá D.C.
- Oliver. (18 de 09 de 2016). *ANFRIX*. Recuperado el 18 de 09 de 2016, de ANFRIX: <https://www.anfrix.com/2007/12/el-puente-mas-viejo-del-mundo-y-otros-puentes-singulares/>
- Prefabricados en concreto. (2003). *Prefabricados en concreto*. Recuperado el 06 de 04 de 2018, de Prefabricados en concreto:
<http://prefabricadosdeconcreto.blogspot.com.co/p/contactenos.html>
- Restrepo, J. E. (10 de 08 de 2016). *BLOG 360° EN CONCRETO*. Recuperado el 10 de 08 de 2016, de BLOG 360° EN CONCRETO:
<http://blog.360gradosenconcreto.com/hablemos-de-puentes-de-concreto-en-colombia/>
- INVIAS. (2015). *MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS*. Bogotá.
- ICOTEC. (2010) *Diseño parametrizado de alcantarillas cuadradas*
- Msc. Rodríguez, Arturo (2014). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE ALCANTARILLAS TIPO CAJÓN DE CONCRETO ARMADO CON AASHTO 2014*