



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 18 de Mayo de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Juan Sebastián Quevedo Cerón, con C.C. No. 1.080.933.835,

Paula Andrea Vasquez Torres, con C.C. No. 1.075.296.089,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

Titulado “Mejoramiento vial en zona critica de la vereda alto santa Bárbara, k0+000 a k0+150 del municipio de Timaná-Huila por medio de placa huella”

presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de

Ingeniero Civil _____ ;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Juan Sebastian Quevedo Cerón

Firma: Juan Sebastian Quevedo Cerón

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Paula Andrea Vasquez Torres

Firma: Paula Andrea Vasquez Torres

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación de los esfuerzos internos en muros reforzados con llantas recicladas, a partir de modelos en elementos finitos (MEF)

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
QUEVEDO CERON	JUAN SEBASTIAN
VASQUEZ TORRES	PAULA ANDREA

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SERRANO ROJAS	JAIRO ANDRES

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Civil

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 65

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías X Grabaciones en discos X Ilustraciones en general X Grabados ___
Láminas ___ Litografías ___ Mapas X Música impresa ___ Planos X Retratos ___ Sin ilustraciones ___
Tablas o Cuadros X



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Placa Huella</u>	<u>Footprint plate</u>	6. <u>Subrasante</u>	<u>Subgrade</u>
2. <u>CBR</u>	<u>CBR</u>	7. _____	_____
3. <u>Vía terciaria</u>	<u>Tertiary route</u>	8. _____	_____
4. <u>Estudio de suelos</u>	<u>Soil study</u>	9. _____	_____
5. <u>Aforo vehicular</u>	<u>Vehicle capacity</u>	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Con el propósito de mejorar la situación que se vive en el país en cuanto al déficit que tiene en infraestructura vial, se han venido impulsando y desarrollando varios proyectos con el fin de suplir esta necesidad en Colombia.

El proyecto de grado que se plantea, busca ser parte de esa contribución con el diseño de una placa huella para el tramo entre la vereda Alto Santa Bárbara y el municipio de Timaná en el departamento del Huila, que corresponde a K 0+000 a K 0+150, que a su vez se considera un tramo crítico de la vía en cuestión.

El principal objetivo es brindar una solución con diseño de una Placa Huella para este tramo, empleando los conocimientos inculcados por parte del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Surcolombiana de Neiva durante los años de estudios pertinentes.

Para llegar a este objetivo es necesario cumplir con un procedimiento que involucra investigación de la zona en la que se solicite el mejoramiento vial, esto incluye estudios tanto de suelos, como de la temperatura del ambiente, factores como precipitaciones, distancias para transporte de materiales, etc. Con un buen trabajo de investigación es posible trazar la principal problemática de la zona, y plantear soluciones a los principales inconvenientes que puedan surgir en la implementación del diseño de la Placa-Huella para el tramo que se solicita.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In order to improve the situation in the country in terms of the deficit it has in road infrastructure, several projects have been promoted and developed in order to meet this need in Colombia.

The degree project that is proposed seeks to be part of that contribution with the design of a footprint plate for the section between the Alto Santa Barbara village and the municipality of Timaná in the department of Huila, which corresponds to K 0 + 00 to K0+000 + K0+150, which in turn is considered a critical section of the road in question.

The main objective is to provide a solution with the design of a Footprint Plate for this section, using the knowledge instilled by the Civil Engineering program of the Surcolombiana University of Neiva during the years of pertinent studies.

To reach this objective, it is necessary to comply with a procedure that involves investigation of the area in which road improvement is requested, this includes studies of both soils and ambient temperature, factors such as rainfall, distances for transporting materials, etc. With a good research work, it is possible to trace the main problems in the area, and propose solutions to the main problems that may arise in the implementation of the design of the Footprint-Plate for the section that is requested.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Wilson Yamel Pérez Quemba

Firma:  WILSON YAMEL PEREZ QUEMBA
Firmado digitalmente por WILSON YAMEL PEREZ QUEMBA
Fecha: 2022.05.18 11:20:57 -05'00'

Nombre Jurado: Jackson Andrés Gil Hernández

Firma:





Mejoramiento vial en zona crítica de la vereda alto santa Bárbara, k0+000 a k0+150 del municipio de Timaná-Huila por medio de placa huella

Juan Sebastián Quevedo Cerón

Paula Andrea Vásquez Torres

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2021

Mejoramiento vial en zona crítica de la vereda alto santa Bárbara, k0+000 a k0+150 del municipio de Timaná-Huila por medio de placa huella

Juan Sebastián Quevedo Cerón

Paula Andrea Vásquez Torres

Proyecto de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero(a) Civil

Director (a):

Ing. Jairo Andrés Serrano Rojas

Línea de Investigación:

Vías - Mejoramiento vial (Placa Huella)

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2021

*Que logremos transmitir a nuestros
hijos esta gracia de ser
sencillamente hombres y mujeres
"todo terreno", ciudadanos del
mundo.*

Jaime Borrás

Agradecimientos

A Dios y a mi familia. Así como a los docentes que fueron participes del proceso educativo, que además de enseñar lo académico, se preocuparon por más que las notas.

Paula Andrea

A Dios que siempre ha estado de mi lado dándome fuerza y bendiciendo todos los días de mi vida en mi camino hacia cumplir mis metas y sueños; a mi madre Elcira Ceron, quien es mi más grande motivación para salir adelante y poder llenar de orgullo; a Sayra Jara, quien fue mi apoyo en gran parte de mi carrera, siempre confiando en mis capacidades y motivándome a seguir luchando por mis sueños; a mi compañera Paula Vásquez, con quien llevamos a cabo este proyecto de grado; a todas las personas que fueron de apoyo en todo mi proceso. Finalmente quiero agradecerme a mí, por nunca soltar la toalla y por siempre creer que puedo lograr todo lo que me propongo, a pesar de las dificultades que se puedan presentar.

Juan Sebastian

Resumen

Con el propósito de mejorar la situación que se vive en el país en cuanto al déficit que tiene en infraestructura vial, se han venido impulsando y desarrollando varios proyectos con el fin de suplir esta necesidad en Colombia.

El proyecto de grado que se plantea, busca ser parte de esa contribución con el diseño de una placa huella para el tramo entre la vereda Alto Santa Bárbara y el municipio de Timaná en el departamento del Huila, que corresponde a K 0+000 a K 0+150, que a su vez se considera un tramo crítico de la vía en cuestión.

El principal objetivo es brindar una solución con diseño de una Placa Huella para este tramo, empleando los conocimientos inculcados por parte del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Surcolombiana de Neiva durante los años de estudios pertinentes.

Para llegar a este objetivo es necesario cumplir con un procedimiento que involucra investigación de la zona en la que se solicite el mejoramiento vial, esto incluye estudios tanto de suelos, como de la temperatura del ambiente, factores como precipitaciones, distancias para transporte de materiales, etc. Con un buen trabajo de investigación es posible trazar la principal problemática de la zona, y plantear soluciones a los principales inconvenientes que puedan surgir en la implementación del diseño de la Placa-Huella para el tramo que se solicita.

Palabras clave: Placa Huella, CBR, vía terciaria, estudio de suelos, aforo vehicular, subrasante.

Abstract

In order to improve the situation in the country in terms of the deficit it has in road infrastructure, several projects have been promoted and developed in order to meet this need in Colombia.

The degree project that is proposed seeks to be part of that contribution with the design of a footprint plate for the section between the Alto Santa Barbara village and the municipality of Timaná in the department of Huila, which corresponds to K 0 + 00 to K0+000 + K0+150, which in turn is considered a critical section of the road in question.

The main objective is to provide a solution with the design of a Footprint Plate for this section, using the knowledge instilled by the Civil Engineering program of the Surcolombiana University of Neiva during the years of pertinent studies.

To reach this objective, it is necessary to comply with a procedure that involves investigation of the area in which road improvement is requested, this includes studies of both soils and ambient temperature, factors such as rainfall, distances for transporting materials, etc. With a good research work, it is possible to trace the main problems in the area, and propose solutions to the main problems that may arise in the implementation of the design of the Footprint-Plate for the section that is requested.

Keywords: Footprint plate, CBR, tertiary route, soil study, vehicle capacity, subgrade.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	18
1.1 ANTECEDENTES	19
1.2 JUSTIFICACIÓN	21
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	22
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	22
1.4 ALCANCES	23
1.5 LIMITACIONES	23
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 BASES TEÓRICAS DE SISTEMA DE PAVIMENTO PLACA HUELLA	25
2.1.1. <i>Principales ventajas</i>	25
2.1.2. <i>Principales requisitos</i>	26
2.1.3. <i>Aspectos importantes de la Placa-Huella</i>	26
2.1.4. <i>Elementos que integran el pavimento con Placa-huella y sus funciones</i>	28
2.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LA PCA 84	31
2.3 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	31
2.4 BS-PCA	32
2.5 EVERFE 2.24	32
2.6 CÁLCULO DEL TRÁNSITO	33
2.4.1. <i>Factores para estimar el tránsito de diseño</i>	34
2.4.2. <i>Ley de la cuarta potencia</i>	35
2.7 ESTUDIO GEOTÉCNICO	36
3. METODOLOGÍA	38
3.1 PROPUESTA DE DISEÑO PARA PLACA-HUELLA	39
3.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	39
3.2.1. <i>TPD</i>	39
3.2.1.1. <i>Incidencia de la intensidad y composición del tránsito</i>	40
3.2.1.2. <i>Resultados obtenidos en el conteo</i>	41
3.2.1.3. <i>Estimación del número de ejes equivalentes para diseño</i>	41
3.2.2. <i>Propiedades del subsuelo</i>	44
3.2.2.1. <i>Incidencia de la capacidad de soporte de la subrasante</i>	45
3.2.3. <i>Datos hidrológicos</i>	45
3.2.3.1. <i>Incidencia del clima</i>	45
3.2.4. <i>Procedimiento para evaluar cargas con EverFe 2.24</i>	46

4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
4.1	ANÁLISIS DE MODELO 1	51
4.2	ANÁLISIS DE MODELO 2	53
4.3	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA CON LA METODOLOGÍA PCA.....	54
4.4	PROPUESTA DE PLACA-HUELLA	56
3.3.1.	<i>Características generales del proyecto</i>	<i>56</i>
3.3.1.1.	<i>Generalidades del municipio de Timaná</i>	<i>56</i>
3.3.2.	<i>Criterio de diseño adoptado.....</i>	<i>57</i>
3.3.3.	<i>Características de la mezcla de concreto</i>	<i>58</i>
3.3.4.	<i>Resistencia del acero de refuerzo.....</i>	<i>58</i>
3.3.5.	<i>Placa-Huella en concreto reforzado.....</i>	<i>58</i>
3.3.5.1.	<i>Dimensiones y refuerzo</i>	<i>59</i>
3.3.5.2.	<i>Esquema en planta, perfil y detalles</i>	<i>60</i>
3.3.6.	<i>Riostra.....</i>	<i>62</i>
3.3.6.1.	<i>Dimensiones y refuerzo</i>	<i>62</i>
3.3.6.2.	<i>Esquema en planta, perfil y detalles</i>	<i>63</i>
3.3.7.	<i>Juntas.....</i>	<i>64</i>
3.3.7.1.	<i>Junta Transversal de Construcción de la Placa-huella.....</i>	<i>65</i>
3.3.7.2.	<i>Junta Transversal de Construcción de la Berma – cuneta</i>	<i>65</i>
3.3.7.3.	<i>Junta Transversal de Construcción de la Riostra</i>	<i>66</i>
3.3.7.4.	<i>Junta longitudinal de construcción.....</i>	<i>66</i>
3.3.7.4.1.	<i>Junta entre Placa-huella, Riostra o Berma Cuneta y la Piedra Pegada</i>	<i>66</i>
3.3.8.	<i>Piedra pegada.....</i>	<i>66</i>
3.3.8.1.	<i>Características de los materiales.....</i>	<i>67</i>
3.3.8.2.	<i>Colocación de la piedra pegada</i>	<i>67</i>
3.3.9.	<i>Diseño estructural de la Berma-Cuneta y el Bordillo</i>	<i>68</i>
3.3.9.1.	<i>Esquema en planta, perfil y detalles</i>	<i>68</i>
4.5	ANÁLISIS DE COSTOS	69
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1	CONCLUSIONES.....	71
5.2	RECOMENDACIONES	72

Lista de figuras

Figura 2-1. Vehículo de diseño Camión C-3. Tomado de Manual de Diseño Geométrico INVIAS.....	26
Figura 2-2. Vista en planta y sección en un tramo recto. Tomado de community.secop.gov.co.....	28
Figura 2-3. Clasificación de vehículos. Tomado de Ingeniería de tránsito y transporte (2010).....	34
Figura 3-1. Metodología de propuesta de diseño para Placa-Huella.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3-2. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Colombia, 2008. P. 77.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3-3. Modelo 1 con cargas centro-centro (a), esquina (b) y centro- borde (c).....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3-4. Modelo 2 Semieje Tandem. Tomado de Manual de Diseño Geométrico INVIAS.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4-1. Mapa político Municipio de Timaná. Tomado de Portal web de la Wikipedia y Gobernación del Huila.....	56
Figura 4-2. Mapa satelital de las zonas del proyecto. Tomado de Google Earth.....	57
Figura 4-3. Planta de distribución del refuerzo. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	58
Figura 4-4. Corte transversal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	58
Figura 4-5. Corte longitudinal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	62
Figura 4-6. Vista en planta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	60
Figura 4-7. Corte longitudinal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	63

Figura 4-8. Corte transversal sección en Placa-Huella. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	61
Figura 4-9. Corte transversal sección en piedra pegada. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	62
Figura 4-10. Junta transversal de construcción en la Placa-huella. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	62
Figura 4-11. Junta transversal de construcción en la Berma-cuneta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	65
Figura 4-12. Junta transversal de construcción en la Riostra. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	66
Figura 4-13. Junta longitudinal entre Placa-huella o Berma-cuneta y la Piedra pegada. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	66
Figura 4-14. Planta Berma-cuneta y el bordillo. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	68
Figura 4-15. Corte Berma-cuneta sección en la cuneta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.....	69

Lista de tablas

Tabla 2-1. Factor Direccional. Tomado de Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998.....	34
Tabla 2-2. Cargas de Patrón y Exponenciales. Tomado de Manual de Diseño de Pavimentos de concretos, INVIAS.....	35
Tabla 2-3. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal. Tomado de Ministerio de Transporte, 2010.....	36
Tabla 3-1. Factor Direccional. Tomado de Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3-2. Cargas de Patrón y Exponenciales. Tomado de Manual de Diseño de Pavimentos de concretos, INVIAS.....	39
Tabla 3-3. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal. Tomado de Ministerio de Transporte, 2010	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 3-4. Porcentaje Vehículos obtenidos en el aforo.....	41
Tabla 3-5. Tránsito promedio diario obtenido en Alto Santa Barbara.	41
Tabla 3-6. Parámetros de diseño.....	42
Tabla 3-7. Número de ejes equivalentes.....	43
Tabla 3-8. Valor percentil por nivel de tránsito. Tomado de Instituto del Asfalto, 1991.....	43
Tabla 3-9. % CBR de diseño de la Sub-rasante.....	44
Tabla 3-10. Tabla resumen de datos para evaluar cargas en el sistema de pavimento tipo Placa-Huella.....	49
Tabla 3-11. Tabla resumen de datos para evaluar cargas en el sistema de pavimento tipo Placa-Huella- Modelo 2.....	49
Tabla 3-12. Parámetros para losa de concreto. Fuente: Propia..	49
Tabla 3-13. Parámetros para base granular. Fuente: Propia.....	50
Tabla 3-14. Parámetros para subrasante. Fuente: Propia.....	48

Tabla 4-1. Numero De Repeticiones esperadas para el periodo de diseño.....	54
Tabla 4-2. Tabla resumen despiece de acero para Placa Huella..	50
Tabla 4-3. Tabla resumen despiece de acero para Riostra.....	50
Tabla 4-4. Tabla resumen despiece de acero para Bordillo.....	50

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Descripción
γ_n	Peso húmedo del suelo
γ_c	Peso específico del concreto
ϕ	Ángulo de fricción
c	Cohesión
E	Módulo de elasticidad
E_c	Módulo de elasticidad del concreto
ψ	Ángulo de dilatancia
μ	Relación de Poisson
n	Exponente
F_c	Factor camión
P_i	Carga por eje considerada
P_r	Carga patrón
M_a	Número de vehículos comerciales día normal
S_a	Número de vehículos comerciales día mercado
$\%Vk$	Porcentaje de vehículos comerciales
σ	Tensión - esfuerzo
ϵ	Deformación unitaria
t	Tiempo
F_d	Factor direccional
n	Número de valores de CBR
CBR	Valor medio de los valores de CBR (%)
CBR_i	Valor de cada ensayo de CBR (%)
FD_k	Factor daño
SRS	Rueda simple adelante
SDR	Eje simple rueda doble atras

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>TPDS</i>	Transito promedio diario semanal
<i>PCA</i>	Portland Cement Association
<i>INVIAS</i>	Instituto Nacional de Vias
<i>DNP</i>	Departamento Nacional de Planeación

Capítulo 1

1. Introducción

La infraestructura vial es parte del desarrollo de cualquier país, está estrechamente ligada a su crecimiento social y económico debido a su capacidad de conectar distintos puntos de consumo y producción. En Colombia es importante mejorar la infraestructura vial buscando adecuarla tanto a las necesidades nacionales como internacionales, siempre buscando optimizar los recursos, esto con el fin de reducir costos y contribuir a la nación en cada parte de su desarrollo. Así mismo, debe contemplarse la necesidad, no solo de solucionar ese problema, sino también en darle cabida a otros temas importantes y relacionados entre sí, como lo son los medios de transporte que no han sido suficientemente investigados para darles desarrollo según las condiciones que se presentan en las distintas regiones del país, como, por ejemplo, el aprovechamiento de las redes fluviales o férreas. Todo esto, con el fin de encontrar más de una solución al problema que se presenta actualmente con el déficit vial.

Al existir el problema de comunicación vía terrestre entre la población rural de la vereda Alto Santa Bárbara del municipio de Timaná, especialmente en época invernal, dónde puede, ocasionalmente, quedar intransitable y por ende, se perjudican los comercios que no pueden transportar los productos que son el sustento de muchos habitantes en la zona. El tramo en cuestión representa un desafío debido a que su topografía es compleja, existen tramos con pendientes que superan el 20% de desnivel, estos puntos críticos no se han trabajado de forma idónea, por estas razón se considera una vía con muchas deficiencias, y en este caso se presenta una alternativa que busca solucionar ese servicio de infraestructura vial terciaria con la implementación de una Placa

Huella, para mejorar, no solo la calidad de la vía, sino la calidad de vida de quienes solicitan su uso.

1.1 Antecedentes

En los últimos años se ha evidenciado un detrimento prematuro de la red vial debido a la falta de inversión y mantenimiento en la infraestructura. Un artículo presentado por la Universidad de los Andes menciona que el mayor porcentaje de vías (69,4%) corresponden a la red vial de tercer orden, a las cuales no se les atribuye la importancia que merecen, aun cuando estas inciden de manera directa en el desarrollo económico del País. [31]

De acuerdo con lo anterior, en el País se ha desarrollado una técnica para mejorar la superficie de rodadura, denominada Placa Huella, la cual se utiliza para rehabilitar vías terciarias; la función principal de esta estructura es permitir un tránsito seguro evitando que los vehículos pierdan adherencia en las pendientes, esto ocurre, en su mayoría, en épocas de invierno, logrando este beneficio con un costo más bajo que cualquier otro modelo de pavimento.

En el año 2015, el ingeniero civil José Daniel Ordoñez Valencia, realizó un diseño de pavimentación por medio del método de losas cortas presentado en la Universidad Militar Nueva Granada, un método que, de acuerdo con el análisis que se plantea en el presentado, supera, tanto económicamente como técnicamente, las bondades de alternativas de diseños ampliamente utilizadas en el país, tales como: placa huella, suelo cemento y afirmado, de igual manera los pavimentos con losas cortas permiten reducir de manera significativa los espesores de diseño y el mejoramiento de la geometría de las mismas integrando para su modelación los parámetros de la guía de diseño AASTHO 2007. [20]

Los resultados obtenidos en su investigación demostraron que, en comparación económica con las metodologías tradicionales, presenta una gran diferencia debido a la disminución de los espesores, dependiendo los resultados de los ensayos de CBR%, brindando también versatilidad en su construcción.

En la misma universidad, el ingeniero Diego Fernando Arellano, presenta un documento en el cual, hace resaltar las principales

características constructivas y de diseño para el mejoramiento y rehabilitación de vías terciarias por el sistema de placa con el fin de alinear dichas características constructivas y de diseño del sistema en mención con los manuales de diseño y construcción vigentes en el país de Colombia. Realiza las comparaciones de un caso específico que representa la tendencia para los procesos de contratación en el resto del país, su fin principal fue hacer las correcciones pertinentes para la mejora de los requisitos técnicos requeridos en futuros pliegos de condiciones de contratación de vías terciarias. Como resultado determinó que el pliego de condiciones, junto con los estudios previos para la contratación de ese proyecto, no profundizó en las especificaciones de diseño sobre este sistema de pavimentación, por el contrario, las especificaciones de construcción y de materiales que prevalecen son las del instituto nacional de vías, encontrándose ambigüedades en las especificaciones del concreto utilizado. [19]

Existen varios estudios publicados sobre el diseño de placa huella para la implementación en Colombia. Armando Orobio, en el (2017), realizó uno de ellos y publicó un artículo sobre las recomendaciones de diseño y construcción de pavimentos en placa huella de concreto reforzado, para esta investigación realizó un análisis de los pavimentos en placa huella, y dio recomendaciones de diseño y construcción de este tipo de pavimentos, considerando las condiciones de uso actual, las cargas esperadas, las características de suelo de soporte y las calidades de los materiales. [32]

Por otra parte, el Ing. Armando Orobio en colaboración con Juan Carlos Orobio en (2016), realizaron un estudio acerca de los pavimentos con placa huella de concreto simple y su análisis con elementos finitos 3D para estudiar el comportamiento de los pavimentos con placa huella ante diferentes condiciones de carga y soporte, se emplearon cargas de camión C3 con periodo de diseño de 20 años. Dónde se encontró que, desde el punto de vista del criterio de fatiga, esto sería evaluable, pero el comportamiento por erosión de estos pavimentos es incierto, esto debido a que, en la actualidad, no existe suficiente información para calibrar un modelo que permita realizar la evaluación por este criterio. [22]

En un artículo publicado por la Revista Politécnica (Quito, Chile), en el 2019 por Mauricio Pradena y Boris Chaparro, buscaron

determinar en qué condiciones es mejor emplear las losas cortas, pues si bien reducen costos y trabajan bien en ciertos escenarios, no para todos los casos se recomienda su uso. En los resultados de los estudios que realizaron, se pudo evidenciar que es una alternativa útil cuando se trata de tráfico liviano, por lo que es indispensable definir el vehículo de diseño para evaluar si soportará los esfuerzos que transmiten los vehículos, así como la importancia de mantener una geometría que permita que las franjas de las losas sean realmente las zonas que estarán en contacto con las ruedas de los vehículos.[26]

Y al igual que en el estudio realizado María Cogollo y Angie Silva en su trabajo de tesis en la Universidad Católica de Colombia (2018), se pudo determinar que la losa corta, con hasta un metro de longitud, no presenta problemas por condiciones ambientales como alabeo y la transferencia de carga aumenta en comparación a las losas convencionales de mayor longitud.[3]

Dónde también determinaron que se reduce considerablemente la tensión máxima al reducir su longitud.

También es importante resaltar que el diseño de Placa huella en Colombia se inició con base en la especificación 500-1P INVIAS, esta referencia presenta un diseño general, del cual se desconocen los criterios tenidos en cuenta en su elaboración, lo que genera muchas dudas para su uso en diferentes proyectos, seguidamente el INVIAS publicó una Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella, la cual es la implementada actualmente.[36]

1.2 Justificación

En el país se vienen desarrollando distintos proyectos para mejorar la infraestructura vial a nivel nacional, las vías terciarias suelen ser utilizadas por productores piscícolas y agrícolas que deben distribuir su producción a distintos destinos.

Es por esto que las vías terciarias representan una utilidad significativa y su estado óptimo garantiza que se ejecuten los viajes en los tiempos que se necesitan.

Un artículo presentado por la Universidad de los Andes (*Revista de Ingeniería n° 45, 2017, 64-71. El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país*), se menciona que el 67% de las vías corresponden a una red vial de tercer orden, y son así mismo las que menos intervención tienen a pesar de ser tan importantes para el desarrollo económico del país.

Es por esto que en Colombia se ha venido implementando una técnica para mejorar la superficie de rodadura, conocida como Paca Huella, se utiliza para rehabilitar vías terciarias, y su principal función es permitir el tránsito seguro evitando que los vehículos patinen en pendientes, especialmente en épocas de invierno cuando se agrava el estado de la vía, esto con el beneficio que proporciona la estructura que es una reducción de costos en comparación con las alternativas que existen.

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

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer un diseño de la estructura de Placa Huella, del K0+000 al K0+150, y las Obras de Arte para la vía terciaria que comunican a la vereda Alto Santa Bárbara con el resto del Municipio de Timaná.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar y analizar la problemática que se presenta en el tramo de estudio, con el fin de definir los parámetros esenciales para el desarrollo del diseño. Para eso es necesario evaluar el estado de las obras de arte y de la vía existente, mediante una recopilación de información que pueda aportar el ambiente, las condiciones en las que se encuentra el estado de la vía actual y otros factores que deban considerarse para determinar la viabilidad del proyecto.
- Determinar la cantidad y el tipo de vehículos que transitan en la parte más crítica en la vía terciaria que comunica a las veredas Alto Santa Barbara con el Municipio de Timaná.

Estudio que se realiza con un conteo de vehículos que transitan la vía dónde se considera un día de mayor afluencia de vehículos y un día entre semana normal.

- Recopilar y analizar información útil para el proyecto de mejoramiento vial, así como los estudios de suelos proporcionados por la administración municipal para determinar la capacidad de soporte de la subrasante de la vía.
- Realizar un diseño que cumpla con la demanda y las necesidades que arrojó el análisis de la información que se obtuvo de los estudios proporcionados por la administración municipal y la información recopilada.
- Presentar un presupuesto estimado para la ejecución del proyecto.

1.4 Alcances

El tramo vial se encuentra ubicado en la vereda alto santa bárbara del municipio de Timaná-Huila, en el hito kilómetro 0+000 las coordenadas geográficas Latitud: $1^{\circ} 52' 43.804''$ - Longitud: $-75^{\circ} 57' 31.308''$ del sistema de referencia MAGNA SIRGAS -ORIGEN OESTE y finaliza en las coordenadas geográficas Latitud: $1^{\circ} 52' 45.339''$ - Longitud: $-75^{\circ} 57' 33.726''$ en el hito kilómetro +0.150 del tramo a intervenir.

Aplicamos conocimientos obtenidos en lo cursado del pregrado de Ingeniería Civil, y adquirimos nuevos conocimientos acerca del diseño de una placa huella tipo que se pueda utilizar, en cualquier caso.

Realizamos una propuesta de diseño que puede llevar a la solución de una problemática de municipio de Timaná y sus habitantes, que, en su mayoría, son personas de la zona rural, lo cual posibilita el crecimiento de la parte agrícola y pecuaria.

1.5 Limitaciones

La contingencia a nivel mundial dada por la propagación de COVID-19 conlleva limitaciones para solicitar información a la Alcaldía municipal, debido a que el personal debe dar atención al público

con horario de pico y cédula dependiendo de los días y cada solicitud se responde con 15 días hábiles, lo cual retrasa el acceso a la información del municipio, específicamente de la vereda Alto Santa Bárbara.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 Bases teóricas de sistema de pavimento Placa Huella

La placa-huella es un sistema que se emplea para vías que tienen un bajo volumen de tránsito, principalmente vías terciarias. Se construye con pavimento en concreto y refuerzo continuo en dos franjas que corresponden a la zona de la vía por dónde circularán las ruedas de los vehículos. Los espacios que se encuentran entre las placa-huella se rellenan con concreto ciclópeo del mismo espesor de la placa huella, y quien se encarga de unir las placas, es una riostra en concreto reforzado que a su vez une las bermas-cunetas con el objetivo de que estas funcionen monolíticamente.

El tipo de Placa-Huella que más se implementa debido a la disposición de información que existe en ese modelo, es la especificación 500-1P, que se encuentra descrita en la guía del INVIAS de diseño de pavimento. [36]

2.1.1. Principales ventajas

Se considera una alternativa que involucra menos costos en su construcción, además que brinda una utilidad por un periodo de diseño de 20 años.

Adicional a esto no requiere mantenimiento, o limpieza de obras de drenaje, no necesita mayores cambios en cuanto a la geometría de la vía existente. Por lo que resulta ser un recurso aprovechable para el déficit que tiene el país en infraestructura vial.

2.1.2. Principales requisitos

El principal enemigo de cualquier sistema de pavimento, es el agua, por lo que es primordial proporcionar manejo a las precipitaciones, y en estas estructuras se controlan con un buen diseño de obras de drenaje.

Para determinar su viabilidad también es fundamental considerar como vehículo de diseño un camión C-3, ya que cumple con los mínimos y máximos requerimientos que se consideran para el uso vial. [12]

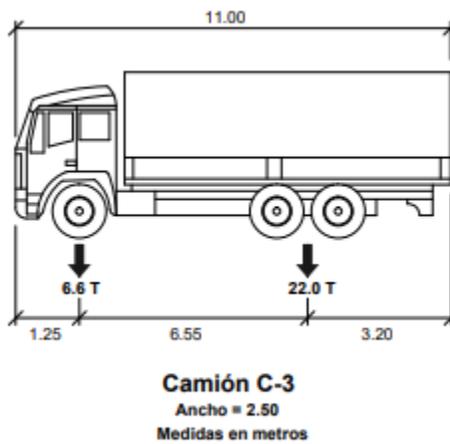


Figura 2-1. Vehículo de diseño Camión C-3. Tomado de Manual de Diseño Geométrico INVIAS

En el capítulo 1 de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella, se encuentran los aspectos más importantes a considerar para la Placa Huella, algunos aplicables para cualquier diseño.

2.1.3. Aspectos importantes de la Placa-Huella

En el capítulo dos de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella, presentada por el instituto nacional de vías (INVIAS), se encuentran los aspectos más importantes a considerar para la Placa Huella, en su mayoría, aplicables para cualquier diseño. [12]

En la mayoría de los casos se manejan dimensiones similares, como es el caso del espesor único de subbase de 15 cm, exceptuando, suelos con valores de CBR inferiores al 3%, ya que estos se consideran suelos de comportamiento complejo y se necesita

usualmente un procedimiento para el mejoramiento de este. Así mismo, se estipula un espesor de concreto de 15 cm por practicidad para considerar una duración de un periodo de al menos 20 años.

En cuanto a la sección transversal en tangente lo más recomendable es no manejar un ancho superior o inferior a los 5 m, esto puede incurrir en daños en la estructura, pues en términos generales debe impedirse que el tráfico use la sección de piedra pegada, ya que es la placa huella la que cumple con la función de resistir los esfuerzos producidos por el tránsito de vehículos. En caso de solicitarse una ampliación o reducción en el ancho, puede modificarse cambiando el ancho de las franjas exteriores de piedra pegada y el ancho de la berma cunetas.

En cuanto a las dimensiones de las Placa-Huellas, tienen anchos y largos estipulados, la propuesta de la guía de construcción contempla un sistema armable usando "fichas", como un juego de lego, donde estas corresponden a placa-huella de forma rectangular o ligeramente trapezoidal de anchos preestablecidos y longitudes entre 1 m y 2.8 m

La cuantía de acero requerida está en función del largo de la placa huella, se sugiere actuar con base en la longitud de 2.8 m, ya que esta sección, se considera la más crítica, en cuanto al acero de las riostras no están en función de la longitud. La longitud de la riostra varia y se ajusta al ancho de la sección transversal y su ancho se estipula de 20 cm.

La piedra pegada se utiliza para disminuir costos en construcción del pavimento, por eso se utiliza para los espacios en los que no existirá el peso del vehículo que transite. Ya que los elementos que soportan los esfuerzos producidos por el paso de vehículos son las Placa-huella. En cuanto a su composición, se recomienda emplear canto rodado ya que presentan mayor resistencia al desgaste.

Los elementos de drenaje superficial se funden monolíticamente y articulados estructuralmente con la riostra, esto con el fin de evitar la junta que provocaría división entre ambos elementos, lo que podría traducirse en infiltraciones de agua.

Para garantizar la calidad aceptable para el pavimento de concreto debe cumplirse la compresión a los 28 días de $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

2.1.4. Elementos que integran el pavimento con Placa-huella y sus funciones

- Subrasante

Usualmente está constituida por suelo natural con una capa de material de afirmado de espesor variable. La recomendación general es no desestabilizar la superficie existente.

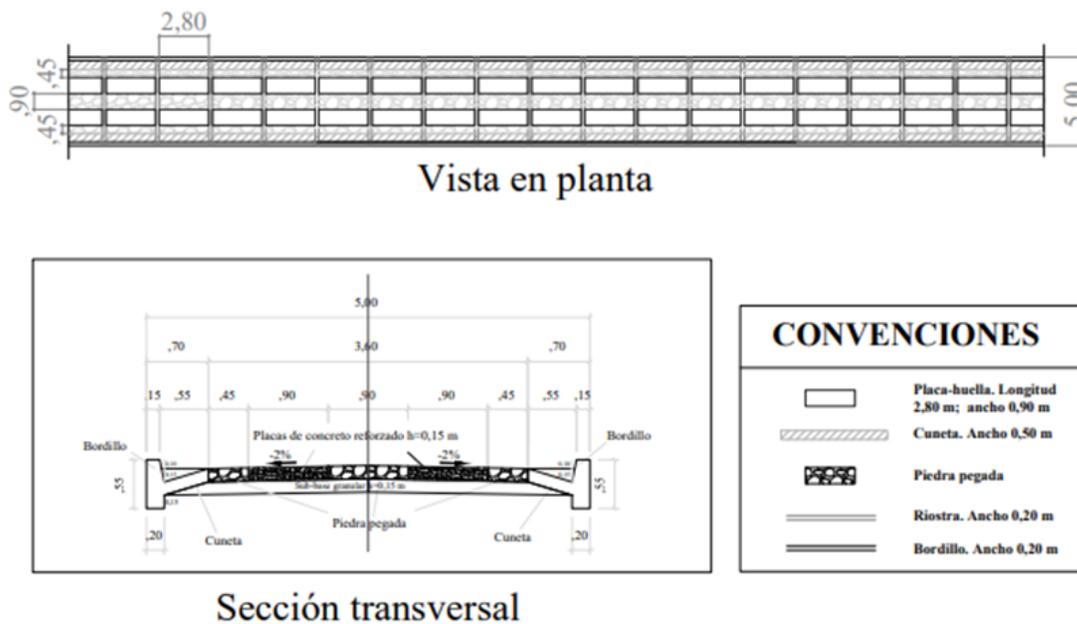


Figura 2-2. Vista en planta y sección en un tramo recto. Tomado de community.secop.gov.co

Debe obtenerse un perfil longitudinal que solicite pocas correcciones, con el propósito de mejorar curvas verticales cóncavas demasiado pronunciadas.

El estrato subyacente al afirmado es la subrasante que se evalúa para determinar la capacidad de soporte. El aporte de la capa de afirmado que pueda existir solo se toma como un factor de seguridad.

- Subbase

Una vez en la superficie se corrija el perfil longitudinal, y esté debidamente compactado, se deberá colocar y compactar una capa de subbase que cumpla la especificación general vigente en el INVIAS.

Si la superficie existente no permitió configurar el bombeo en las tangentes -2% y el peralte y su transición en las curvas 2%, esto se hace en el momento de construir la subbase.

Por lo que la subbase tendría la calzada espesor superior al mínimo de 15 cm.

- Placa Huella y riostra

- Placa huella

La longitud máxima de la placa-huella es de 2.8m, La longitud máxima de un módulo es de 3m y corresponde a la longitud del módulo en tangente.

- En las curvas horizontales la longitud de la placa-huella puede variar, entre 1m y 2.8m.
- El ancho de la placa-huella en tangente es de 0.9m.
- Según la deflexión y radio de curvatura de las curvas horizontales pueden necesitarse placa-huella de anchos mayores. (en curva se consideran tres valores, 0.9m, 1.35m, 1.8m)
- El espesor de la placa-huella es de 0.15m
- Debe soportar los esfuerzos que se producen por el paso de los ejes de los vehículos.

- Riostra

Es una viga transversal de concreto reforzado en la que el acero de refuerzo se entrecruza con el de la placa huella del módulo anterior y el acero de refuerzo de la placa huella siguiente.

- Ancho de 20 cm.
- El peralte de la riostra es de 30 cm, se apoya sobre la superficie sobre la que se construye la subbase, que se ubica antes del solado de limpieza de 3 cm de espesor.

Por lo que requiere:

- Excavar en la subbase, una zanja transversal de 20cm de ancho y 18 cm de profundidad en la sección dónde se construirá la riostra.

- Se debe compensar la diferencia entre el peralte de la riostra+ el solado de limpieza y el espesor de la placa huella ($0.3+0.03-0.15=0.18\text{m}$)
- La subbase se extiende de forma compacta en toda su longitud, ancho y posteriormente se construyen zanjas transversales para alojar riostras.
- La longitud de la riostra varia, y se ajusta al ancho de la sección transversal, sea en tangente, curva o en transición del sobreebancho o en zona de cruce.
- La función es confinamiento transversal y longitudinal de elementos del pavimento.

- Piedra pegada

Es una capa de concreto ciclópeo con espesor de 0.15m.

Funciones:

- Disminuir costos en construcción del pavimento,
- Busca que los conductores no circulen por fuera de las placas huellas, son los elementos que realmente soportan los esfuerzos producidos por el paso de vehículos.
- Contribuir a la estética del camino.

- Berma-cuneta y bordillo

Elementos de drenaje superficial es concreto reforzado, fundidos monolíticamente y articulados estructuralmente con la riostra.

Se funden monolíticamente para evitar la junta que haría división entre ambos elementos, creando una fisura que permita infiltraciones.

Funciones:

- Servir como franja estacionaria temporal en caso de que un vehículo lo solicite, permitiendo el flujo vehicular.
- Permitir recolección de aguas lluvias conducir las a su respectiva evacuación.
- Brindar confinamiento a la subbase.

2.2 Metodología de diseño de la PCA 84

La metodología de diseño de la PCA (Portland Cement Association), se basa en una combinación de estudios teóricos resultado del modelo y prueba de escala real y en experiencias adquiridas del comportamiento de pavimentos en concreto. Este procedimiento fue publicado inicialmente en el año 1961, pero fue revisado en el año 1984.

En este tipo de análisis no se tienen en cuenta los ejes equivalentes sino los tipos de ejes, sencillos, dobles, triples o de diferentes cargas, lo cual refleja un análisis más detallado respecto al tipo de ejes presentes en el pavimento.

Como consideraciones de diseño se tienen en cuenta la resistencia del concreto a la flexión, el soporte de la subrasante y la sub-base y las cargas de tránsito.

Los criterios de diseño de la metodología PCA son la erosión de la sub-base, por debajo de la losa y el criterio de fatiga del concreto.

El criterio de falla de esta metodología se asocia a la vida útil de la losa, este llega a su final cuando se presenta la ruptura de la placa de concreto ya sea por fatiga o por erosión, pero hay que tener en cuenta que no se tienen en cuenta criterios importantes como son el servicio de la vía y el coeficiente de drenaje, los cuales generan impacto significativo en el espesor del pavimento a diseñar. (Gonzales y Vanegas, 2016)

2.3 Método de elementos finitos

El método de elementos finitos es un método numérico para la resolución de ecuaciones diferenciales. Las ecuaciones diferenciales rigen el comportamiento de un gran número de fenómenos estudiados, por ejemplo, el comportamiento de flexión de vigas. Estas ecuaciones tienen una forma particular de expresarse pidiendo el dominio que puede ser, por ejemplo, una estructura monolítica en un número finito de partes, de ahí viene el nombre del método, en contraste con el análisis diferencial donde se discretiza el dominio en un número infinito de partes con elementos

infinitesimalmente pequeños. El método de elementos finitos divide el dominio en elementos más grandes.

Una investigación realizada en Colombia presenta una modelación con elementos finitos para estudiar el comportamiento de los pavimentos con placa-huella ante diferentes condiciones de carga y soporte. Se analizó la posibilidad de diseñar pavimentos con placa-huella de concreto simple, para las cargas máximas del camión C3 y con periodo de diseño de 20 años y se encontró que desde el punto de vista del criterio de fatiga esto sería posible, pero el comportamiento por erosión de estos pavimentos es incierto, debido a que en la actualidad no existe suficiente información para calibrar un modelo para realizar la evaluación por este criterio. (Armando y Juan Carlos Orobio, 2016)

2.4 BS-PCA

Es un software de uso libre que agiliza el diseño para pavimentos y minimiza errores que se presentan en el método de diseño de la PCA de 1984, por lo que realiza cálculos para determinar el comportamiento que tendría la estructura por fatiga y erosión.

El programa proporciona un análisis que muestra en graficas el comportamiento de la estructura en función de parámetros como el espesor de la losa, el módulo de rotura de la reacción tanto de la subbase como la subrasante, el módulo de rotura del concreto, considerando un factor de seguridad.

Permite modelar distintas alternativas para el diseño de un pavimento, de una forma más ágil y con menos errores e imprecisiones en la obtención de datos que se obtienen de tablas y nomogramas de tal forma, se convierte en un eficaz método de conseguir los análisis que se obtienen con el método PCA de 1984.

2.5 EverFE 2.24

Es un software libre que emplea un análisis de elementos finitos 3D para pavimentos rígidos, dónde variando distintas condiciones, plasma distintos factores involucrados en el comportamiento de la estructura que se evalúa en un modelo representativo.

El EverFE 2.24 es una herramienta efectiva para analizar los distintos parámetros como la longitud y el espesor de la losa del pavimento rígido, así como el comportamiento que puede manifestarse en factores como alabeo, y en sí, evaluar que soportará las cargas que solicite el tránsito de vehículos en la vía correspondiente al estudio.

El fin de esta herramienta es brindar un análisis más detallado, simular las condiciones que se soliciten para obtener un resultado que garantice el periodo para el que se diseña la estructura de pavimento, y de esta forma, verificar las dimensiones que debe tener este para que se sostenga la viabilidad económica del proyecto.

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

2.6 Cálculo del tránsito

Para el diseño de una vía es fundamental conocer y estimar las fuerzas que debe soportar el sistema de pavimento que se solicite, esto se puede calcular según el volumen de tránsito que circulará durante un intervalo de tiempo determinado, así como su variación, su composición y su tasa de crecimiento.

A continuación, se plasma información que se proporcionó por la alcaldía de Timaná y que se realizó en conjunto con los exponentes de este proyecto de grado, esto se puede encontrar en el ANEXO A, donde se encuentra el informe detallado del estudio de tránsito. Para estimar el volumen de tránsito se realiza un conteo, que consiste en cuantificar el número e identificar el tipo de vehículos que pasan en determinado intervalo de tiempo.

Para el conteo se consideraron los siguientes tipos de vehículos para la estimación de Tránsito Promedio Diario (TPD).

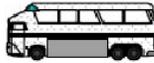
Autos	
Bus	
Busetas	
Camión C2	
Camión C3	

Figura 2-3. Clasificación de vehículos. Tomado de Ingeniería de tránsito y transporte (2010)

2.4.1. Factores para estimar el tránsito de diseño

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

- Distribución direccional

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	Fd
Menos de 5 m	Total, en los dos sentidos	1,0
Igual o mayor de 5m y menor de 6 m	3/4 de total en los dos sentidos	0,75
Igual o mayor de 6 m	1/2 del total en los dos sentidos	0,50

Tabla 2-1. Factor Direccional. Tomado de Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998.

- Factor camión o factor daño

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

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

Tabla 2-2. Cargas de Patrón y Exponenciales. Tomado de Manual de Diseño de Pavimentos de concretos, INVIAS.

2.4.2. Ley de la cuarta potencia

$$FC = \left[\frac{P_i}{P_r} \right]^n \quad (1)$$

Dónde:

Fc: Factor camión

Pi: Carga por eje considerada

Pr: Carga patrón

n: Exponente

- Tasa de crecimiento anual

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

- Tránsito atraído

El tránsito atraído se considera al volumen de vehículos que circulará por la nueva vía, se determina según la economía de tiempo y/o en función de la calidad que se consigue con el nuevo servicio.

- Tránsito generado

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

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

Tabla 2-3. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal. Tomado de Ministerio de Transporte, 2010

2.7 Estudio geotécnico

- Estudio de campo

Para el desarrollo del proyecto es necesario la caracterización del subsuelo de la zona con el fin de estimar los parámetros de diseño para la ejecución del mismo. Para ello se lleva a cabo una exploración por medio de dos apiques por cada localización específica. En los apiques realizados se obtuvieron muestras alteradas y a las cuales se le realizaron ensayos de: Límites de Atterberg, humedad natural y granulometría para la muestra que lo ameritara. La recopilación de esta información se encuentra en el ANEXO C.

- Características geotécnicas de la subrasante

Para hacer un análisis de las características geo-mecánicas debe considerarse el reconocimiento de campo, la estratigráfica de la zona y los resultados de ensayos de laboratorio, las condiciones de estabilidad de la vía y los parámetros geotécnicos para el diseño. Uno de estos parámetros es el valor de CBR, ya que brinda información sobre las condiciones existentes del suelo.

Se realizó el cálculo de la resistencia del suelo por medio del equipo de PDC, en los anexos se presentan los datos obtenidos en campo por medio de un cuadro donde se indica la profundidad, golpes realizados, golpes acumulados, índice de penetración. A partir de las correlaciones del PDC para determinar el CBR propuestas por el INVIAS en la norma I.N.V. E-172-07.

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

Capítulo 3

3. Metodología

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto "MEJORAMIENTO VIAL EN ZONA CRITICA DE LA VEREDA ALTO SANTA BARBARA, K0+000 A K0+150 DEL MUNICIPIO DE TIMANÁ-HUILA POR MEDIO DE PLACA HUELLA" consta de dos principales fases, la primera es la fase de planeación del proyecto, se realiza una visita de campo para realizar un diagnóstico actual de la vía, señalando ubicación y posibles inconvenientes que puedan surgir, también se busca recopilar información suficiente de la zona, lo que implica el tipo de mejoramiento vial, la demanda de la vía, las condiciones del medio, etc.

En la fase dos se contempla todo lo que tiene que ver con el desarrollo del proyecto, donde se considera solicitar información requerida a la administración municipal, para analizarla en conjunto con la obtenida de la visita de campo, esta información consiste básicamente en estudios de tránsito, análisis de registros hidrológicos, geotécnicos, geométricos, las obras de arte, etc.

Este análisis permite arrojar un diseño que busque cumplir con los diferentes factores que se consideran en el mejoramiento vial que se plantea, dónde es posible determinar también el presupuesto y por ende la viabilidad del proyecto.



Figura 3-1. Metodología de propuesta de diseño para Placa-Huella.

3.1 Propuesta de diseño para Placa-Huella

Será el resultado obtenido con la recolección de datos correspondientes al ambiente, las características del suelo, las condiciones hidrológicas que se tienen en la zona, las principales limitaciones y todo aspecto a considerar para la elaboración de un diseño que pueda suplir con los requerimientos sobre los que se plantea el proyecto.

3.2 Recopilación de información

3.2.1. TPD

El tránsito promedio diario es el volumen vehicular que representa el volumen calculado en uno o más días.

El volumen vehicular se obtiene con un conteo y clasificación de vehículos que transitan por un tramo correspondientes a un día.

3.2.1.1. Incidencia de la intensidad y composición del tránsito

Si ningún vehículo que pueda circular por el pavimento con Placa-huella, de menor peso que el camión C-3, le produce falla a la placa-huella reforzada resulta innecesario efectuar estudios de tránsito (conteos, proyecciones, etc.). La única razón para realizar estudios de tránsito sería establecer si la vía demandaría la circulación de vehículos con dimensiones y peso mayores que los del C-3 durante el periodo de diseño.

En caso de identificarse la necesidad que durante la vida útil del pavimento a construir deban transitar por él vehículos de dimensiones y peso superiores a las del C-3, la construcción del pavimento con Placa-huella reforzada no sería viable según la guía.

Para realizar el cálculo del volumen y tránsito promedio diario que transita por las vías a intervenir, se tomaron dos días de la semana para realizar el aforo vehicular: sábado 15 de Julio del 2021 (día en que la población realiza mercado), y el día miércoles 19 de Julio este conteo se realizó continuamente de 6 a.m. a 6 p.m. totalizando en intervalos de 1 hora. Con equipo de una persona.

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

- Distribución direccional

Para la vía Alto Santa Barbara se considera que la circulación va en las dos direcciones con un ancho de la calzada crítico de 5 m, lo que da una distribución direccional de uno (1), valor que se muestra en la Tabla 2-1.

- Factor camión o factor daño

Para la estimación de los ejes equivalentes se realizó el cálculo teniendo en cuenta la ley de la cuarta potencia utilizando las cargas patrón y exponenciales propuestas por el INVIAS en el Manual de Diseño de pavimentos de concreto, Tabla 2-2.

Resultados obtenidos en el conteo

ALTO SANTA BARBARA								
	TPD	AUTO	BUSES	C2P(%)	C2G(%)	C3(%)	MOTOS	HORA PICO DIA PICO
VOL MAX	59	10	1	0	0	0	48	FHP=VH/4*QMAXIMO() 0.88
MIERCOLES	100%	17%	2%	0%	0%	0%	81%	
VOL MAX	88	25	3	0	0	0	60	
SABADO	100%	28%	3%	0%	0%	0%	68%	

Tabla 3-1. Porcentaje Vehículos obtenidos en el aforo.

Para plantear un diseño fiable es necesario evaluar ciertos factores que son indispensables a la hora de considerar cualquier diseño o elegir el método correcto.

3.2.2 Estimación del número de ejes equivalentes para diseño

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

Tránsito promedio diario semanal

Cálculo de volumen de vehículos comerciales día en ambas direcciones.

$$TPDS = \frac{M_a * 6 + S_a * 1}{7} \quad (2)$$

Donde:

Ma: Número de vehículos comerciales día normal

Sa: Número de vehículos comerciales día mercado

	ALTO SANTA BARBARA
TPS	63.14

Tabla 3-2. Tránsito promedio diario obtenido en Alto Santa Barbara.

Basado en los resultados anteriores tomamos como guía de diseño los resultados obtenidos para el sector Alto Naranjal, el cual maneja un Flujo vehicular más alto lo que de termina un mejor diseño de la estructura.

- Parámetros de diseño

Período de diseño (años)	20
Tasa de crecimiento anual (r)	3%
Ancho de la calzada Crítico	5
Factor direccional (Fd)	1
Confiabilidad	85%

Tabla 3-3. Parámetros de diseño.

Calculo TPD

Número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

N_{80KN} carril diseño (normal) Año base

$$= 365 \left[\sum_{i=1}^k (\text{Veh. comerciales}_{\text{día 2 direcciones}} * \%V_k * FD_k) \right] \quad (3)$$

Donde:

% V_k: Porcentaje de vehículos comerciales.

FD_k: Factor daño

F_d: Factor direccional

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

$$N_{80KN} \text{ Carril diseño(normal)acum.} = N_{80KN} \text{ Carril diseño(normal), Año base} * \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (4)$$

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

$$N'_{80KN} \text{ Carril diseño(normal)} = N_{80KN} \text{ Carril diseño(normal)acum.} * (10^{0.05 * Zr}) \quad (5)$$

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

$$N_{80KN} = N'_{80kN \text{ Carril diseño (normal)}} + (N'_{80kN \text{ Carril diseño (normal)}} * 0.1) + (N'_{80kN \text{ Carril diseño (normal)}} * 0.025) \quad (6)$$

Descripción	Total
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño.	151.859
Número acumulado de ejes equivalentes en el carril de diseño para el periodo de diseño.	4.073.261
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado	4.589.485
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado y el tránsito atraído y generado.	5.163.170

Tabla 3-4. Número de ejes equivalentes.

- Percentil estadístico:

El número de ejes equivalentes calculado en el capítulo de análisis de tránsito para el presente proyecto es de 4.561.828, lo que indica un percentil de 87.5%.

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

Tabla 3-5. Valor percentil por nivel de tránsito. Tomado de Instituto del Asfalto, 1991.

- Desviación estándar de los valores de CBR

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (CBR - CBR_i)^2}{n-1}} \quad (7)$$

Donde:

CBR_i: Valor de cada ensayo de CBR (%)

n : Número de valores de CBR

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

- Desviación estándar normal (Z).

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

- CBR de diseño

$$CBR_{diseño} = CBR - (Z * \sigma) \quad (8)$$

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

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

Tabla 3-6. % CBR de diseño de la Sub-rasante.

3.3. Propiedades del subsuelo

Para la obtención del valor de CBR in situ, se realizó un ensayo con el equipo PDC, propuesto en la norma I.N.V.E-172-07.

Este ensayo consiste en emplear un penetrómetro dinámico de cono, este consta de una varilla de acero que se introduce en la muestra del suelo y un martillo deslizante que se sitúa a determinada altura y se deja caer para leer la medición en una regla que viene incorporada en el dispositivo.

En cuanto al proceso de obtención de datos, consiste básicamente en levantar el martillo y dejarlo caer desde la altura ya preestablecida, cuidando que no entre en contacto con la parte superior del PDC ni que se emplee una fuerza sobre el martillo adicional.

Se repite la misma dinámica varias veces, para así recopilar y registrar la penetración total, que queda en términos de milímetros por golpe, estos valores se emplean para estimar un CBR a través de unas formulas propuestas por la misma normativa, y este cálculo se realiza para cada PDC obtenido en el laboratorio, de tal forma

en que pueda obtenerse el valor promedio del CBR in situ. Se adjunta informe Geotécnico, ANEXO C.

3.3.1.1. Incidencia de la capacidad de soporte de la subrasante

La capacidad de soporte de la subrasante es importante en la rigidez de la subrasante y subbase, este conjunto es el apoyo sobre el que se construyen los elementos estructurales, como las placas-huellas, las riostras, la piedra pegada, bermas-cunetas y bordillos.

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

Por lo anterior se encuentra que CBR de diseño tiene buenas características y es un suelo que no necesita mejoramiento.

CBR: 3% < 7.4%

3.4. Datos hidrológicos

Los datos hidrológicos relevantes para el proyecto contemplan los principales agentes como son las precipitaciones, posible incremento de caudales de escorrentía superficial, etc. Para esto es necesario conocer los meses más lluviosos, los sectores donde se concentran los valores más significativos de precipitación en la zona de estudio.

3.4.1.1. Incidencia del clima

La temperatura y la precipitación son dos variables climáticas que ejercen influencia en el comportamiento de los pavimentos.

La temperatura influye específicamente en las losas de concreto produciendo esfuerzos por alabeo que son consecuencia de gradientes térmicos. Dado que el acero de refuerzo de las placa-huellas absorbe estos esfuerzos la caracterización de la temperatura en la zona del proyecto es irrelevante.

La precipitación máxima absoluta en 24 horas es de 105 mm con una desviación estándar de 17.56 y una media de 76.6. (ver ANEXO 3)

3.5. Procedimiento para evaluar cargas con EverFe 2.24

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

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

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante se realizó una correlación con el valor del **CBR** calculado anteriormente **(7.4%)**; según lo mencionado del método PCA el valor de K para la subrasante en estudio es de 49 MPa/m. (Figura 3-2).

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

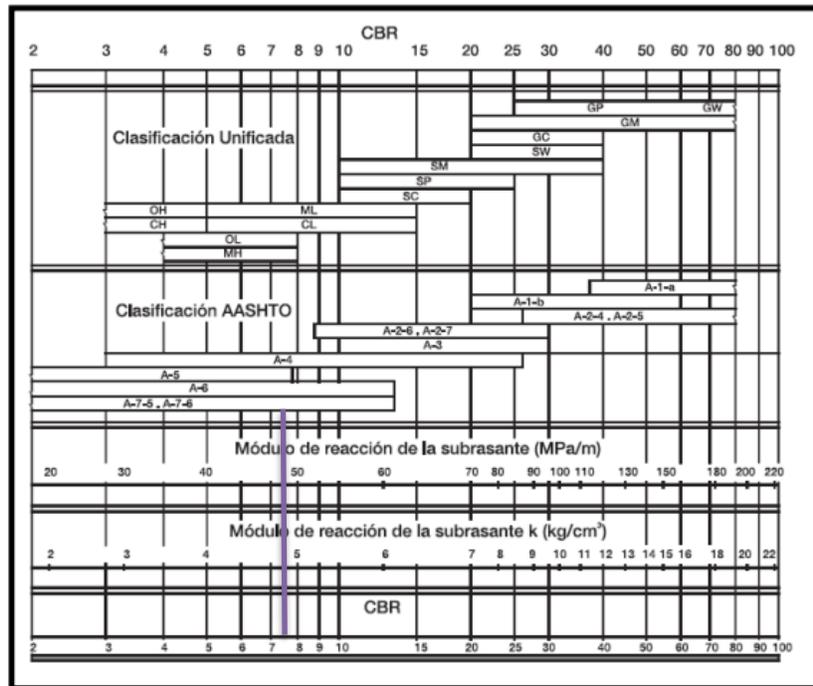


Figura 3-2. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Colombia, 2008. P. 77.

Modelo 1

Se emplea el modelo propuesto por la guía de diseño de pavimentos tipo placa huella del INVIAS, el cual consiste en evaluar el comportamiento que se producirá en las losas, producto de las cargas ejercidas por el vehículo diseño, esto se determina ubicando las ruedas del vehículo en la mitad de la losa, centro borde, y esquina, para esto se emplea una carga de un semieje simple de rueda doble de 40 kN, correspondiente a un eje estándar de 80 kN, con separación entre ruedas de 0.24m.

Se realizan dos tipos de variaciones, la primera consiste en ingresar distintas longitudes y la segunda en variar espesores, esto con el fin de determinar el esfuerzo máximo de tensión, en las diferentes posiciones de carga, los resultados arrojan que el esfuerzo máximo de tensión se produce en la losa de 1.5 m de longitud con espesor de 0.15 m, así como es posible evidenciar en que el Centro- Borde es la posición más crítica en todos los casos.

En cuanto a las características de la losa, se observa que, en todas las longitudes, el esfuerzo disminuye cuando el espesor de la placa aumenta, y al variar las longitudes en todos los

espesores, se observó que, a menor longitud, menor es el esfuerzo máximo de tensión.

VARIABLES	VALORES	UND
Ancho Placa-Huella	1	mts
Longitud Placa-Huella	1- 2	mts
Espesor Placa-Huella	0.15- 0.2	mts
Capa granular	0.15	mts
Modulo	200	Mpa
Modulo Resiliente	24.1	MPa
Carga Semi Eje Simple	40	KN
Carga Eje estandar	80	KN
Separación de ruedas	0.324	mts

Tabla 3-7. Tabla resumen de datos para evaluar cargas en el sistema de pavimento tipo Placa-Huella

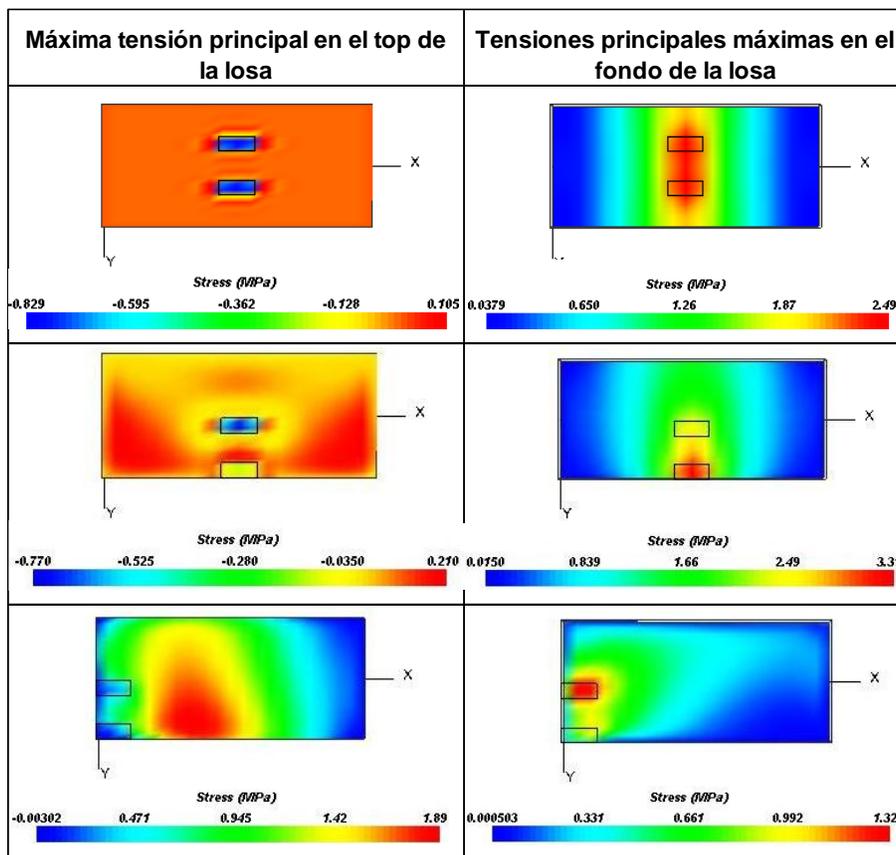


Figura 3-4. Tensiones principales en la parte superior y en el fondo de la losa para diferentes posiciones de carga. Fuente: Propia.

Modelo 2

Este modelo consistió en evaluar tres Placa Huella de concreto donde se evalúa el comportamiento según la longitud de las losas, para esto se empleó una losa de 0.9 m de ancho y 1 m de longitud, la carga que se empleó para evaluar el comportamiento de la losa es la de un semieje tándem de 100 KN, 50 KN en cada rueda doble del semieje tándem, el procedimiento de este ejercicio consiste en ubicar uno de los eje tándem en Centro Borde, ya que el resultado del "Modelo 1" arrojó se trata de la posición más crítica, y en otro eje del tándem se ubica en la placa adyacente, esto empleando diferentes espesores de placa.

VARIABLES	VALORES	UND
Ancho Placa-Huella	0.9	mts
Longitud Placa-Huella	1	mts
Carga semi Eje Tandem	100	KN

Tabla 3-9. Tabla resumen de datos para evaluar cargas en el sistema de pavimento tipo Placa-Huella- Modelo 2

Para este análisis se realizaron ensayos con diferentes dimensiones de losas (longitudes de 1 m, 1.5 m y 2m), y distintos espesores (0.15m y 0.20 m), en cuanto a las características definidas de la losa de concreto que se emplearon, son las siguientes:

Módulo de elasticidad	21000 Mpa
Coefficiente de Poisson	0.15
Coefficiente de expansión térmica (α):	1.1x 10 ⁻⁵
densidad de la losa:	24000 Kg/m ³

Tabla 3-10. Datos ingresados para la evaluación del modelo 2 en EverFE 2.24.

Parámetros para losa de concreto		
v	Coefficiente de poisson	0.15
d	Densidad de la losa	2400 kg/m ³
E	Módulo de elasticidad	21000 MPa
α	Coefficiente de expansión	1.1X10 ⁻⁵
MR	Modulo de ruptura	3 Mpa

Tabla 3-12. Parámetros para losa de concreto. Fuente: Propia.

Parametros para base granular		
E	Módulo de elasticidad	200 MPa
v	Coefficiente de poisson	0.35
d	Densidad de la losa	1700 kg/m ³

Tabla 3-13. Parámetros para base granular. Fuente: Propia.

Parametros para subrasante		
E	Módulo de elasticidad	24.1 MPa
v	Coefficiente de poisson	0.45
d	Densidad de la losa	1700 kg/m ³

Tabla 3-14. Parámetros para subrasante. Fuente: Propia.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

Con ayuda de los programas EVEFE 2.24 y PCA, encontramos algunos resultados que nos permiten definir la mejor opción de diseño para la construcción de una placa huella como sistema de mejoramiento vial en la vereda Alto de Santa Bárbara del municipio de Timaná según las cargas estimadas y el estudio de TPD.

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

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

4.1 Análisis de modelo 1

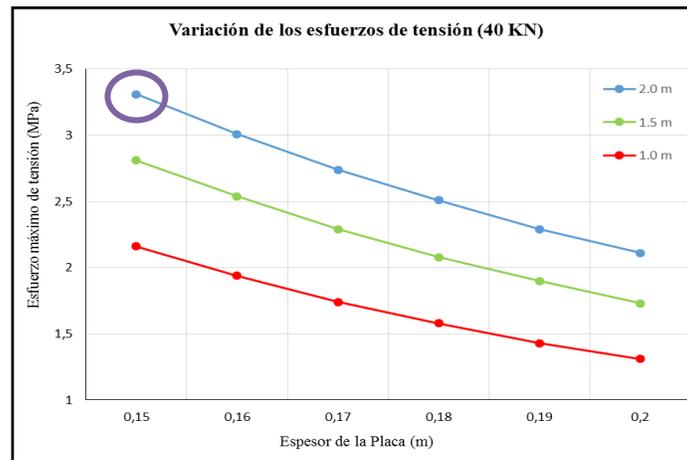


Figura 3-5. Esfuerzos máximos de tensión del modelo 1. Fuente: propia

Observando los resultados se infiere que en todos los casos el esfuerzo máximo de tensión se presenta cuando la carga está ubicada en la posición centro - borde. En cada longitud de Placa Huella evaluada, el esfuerzo disminuye con el incremento del espesor de la placa.

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

Tabla 4-1. Esfuerzo máximo de tensión (MPa) para diferentes posiciones de carga. Fuente: propia

Cuando se comparan los esfuerzos entre las diferentes longitudes, se encuentra que, a menor longitud de la Placa Huella, menor es el esfuerzo máximo de tensión al comparar placas del mismo espesor (15 cm).

2.81 MPa < 3 MPa. CUMPLE

4.2 Análisis de modelo 2

Cabe anotar que el valor del esfuerzo máximo de tensión tomado como referencia para el análisis para falla por carga última los resultan es de 3.0 MPa según la Guía de Diseño. [12]

Al evaluar el modelo 2 con un semieje tándem de 100 kN ubicado en la posición crítica centro - borde y las características propias del terreno de fundación y de los materiales a emplear, se observa que los esfuerzos máximos de tensión en las placas con un espesor entre 15 cm y 19 cm son superiores a 3 MPa, lo que indica que bajo el criterio dado en la Guía la placa fallaría por carga última.

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

15 cm - 19 cm > 15 cm = 3,1 > 3 MPa, NO CUMPLE

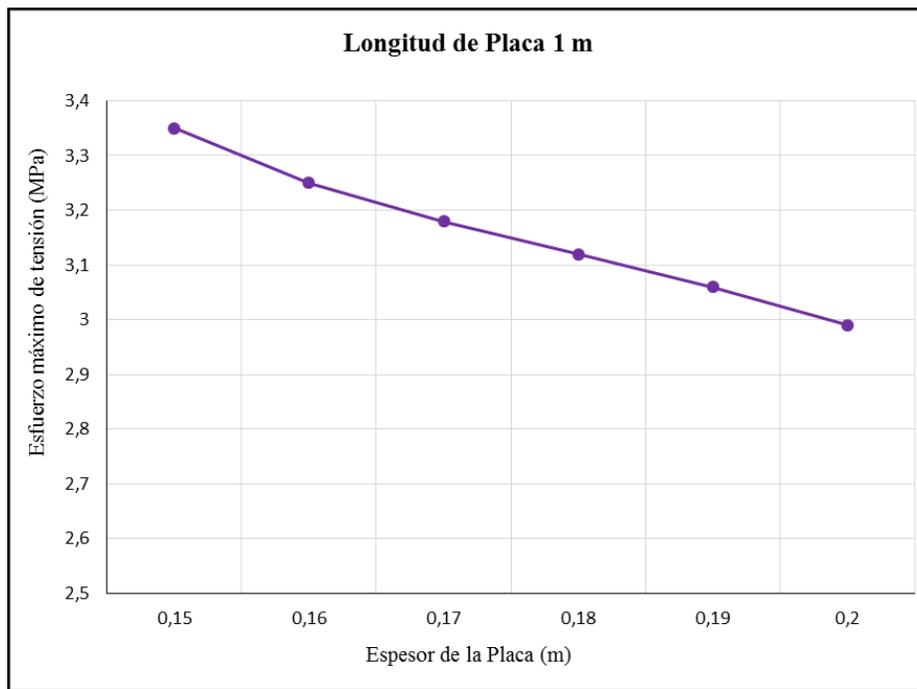


Figura 3-6. Esfuerzos máximos de tensión del modelo 2. Fuente:

4.3 Cálculo de la estructura con la metodología PCA

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

- Repeticiones Esperadas
 - SRS con una configuración de carga de 4 Ton. en cada eje.
 - SRD con una configuración de carga de 4 Ton. y 7 Ton. respectivamente.
 - SRT con una configuración de carga 6 Ton. y 22 Ton. respectivamente.

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

Año	2020	2021	Cargas Por Eje (Ton.)					4 Ton. (SRS)	6 Ton. (SRS)	7 Ton. (SRD)	22 Ton. (SRT)
			1 EJE		2 EJE		Σ				
TPD	449	476	1 EJE		2 EJE		Σ				
A	233	247									
B	2	2	4	SRS	4	SRS	8	4			
C	107	114									
C2P	50	53	4	SRS	4	SRS	8	106			
C2G	55	58	4	SRS	7	SRD	11	58		58	
C3	2	2	6	SRS	22	SRT	28		2		2
Nrep2019-2038								1.679.085	21.121	580.815	21.121

Tabla 4-1. Numero De Repeticiones esperadas para el periodo de diseño.

$$Nrep = N_{rep.día} * \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \quad (9)$$

Módulo de rotura del concreto (MR):	3.8 MPa
Módulo de reacción (KCOMBINADO):	49 Mpa/m
Factor de seguridad de carga (Fsc):	1
Factor de mayoración derepeticiones (Fmr):	1
Berma	NO TIENE
Pasadores	NO TIENE

Tabla 4-2. Tabla resumen datos ingresados en modelo BS-PCA.

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

```

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :
      Resistencia K del Apoyo : 49 Mpa/m
      Espesor Losa : 150 mm
      Modulo de Rotura : 3.8 Mpa
      Bermas : NO
      Pasadores : NO
      Factor de Seguridad Cargas : 1
      Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga      Carga  Repeticiones  Repeticiones  Consumo  Repeticiones  Consumo
Tn         FS     Esperadas     Admisib_Fatiga Fatiga     Admisi_Erosion Erosion
           kN                                     %
-----

EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente: 2,0  Factor Esfuerzo: 0,5322  Factor Erosion: 3,1610

 4,00  39,20  1.679.085  Inf  0,00  Inf  0,00
 6,00  58,80  21.121  Inf  0,00  14.433.295  0,15
 7,00  68,60  580.815  7.128.213  8,15  4.828.105  12,03

EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente: 1,7  Factor Esfuerzo: 0,4509  Factor Erosion: 3,2930

 22,00  215,60  21.121  30.030  70,33  140.603  15,02

EJES TRIDEM

Esfuerzo Equivalente: 1,3  Factor Esfuerzo: 0,3372  Factor Erosion: 3,3330

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

Figura 3-7. Informe del software BS-PCA. Fuente: Propia.

Como resultado de la evaluación en el programa BS-PCA y teniendo en cuenta resultados obtenidos en el análisis realizado con EverFE para la posición más crítica, el espesor de la Placa Huella es de 0.15 m.

4.4 Propuesta de Placa-Huella

Para plantear un diseño fiable es necesario evaluar ciertos factores que son indispensables a la hora de considerar cualquier diseño o elegir el método correcto. (Ver ANEXO E)

4.4.1. Características generales del proyecto

4.4.1.1. Generalidades del municipio de Timaná

a) Localización

El proyecto a desarrollar se encuentra ubicado en el Municipio de Timaná en el departamento del Huila, en la zona sur del departamento, a 467 Km de Bogotá con una altitud de 1.100 msnm y una población de 20,315 habitantes, de la cual alrededor del 64% es rural. El municipio cuenta con 37 veredas y 2 Inspecciones.

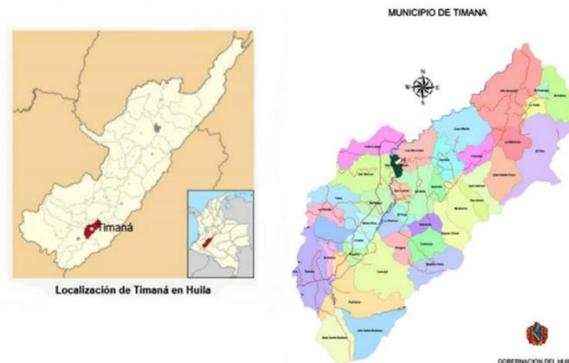


Figura 4-1. Mapa político Municipio de Timaná. Tomado de Portal web de la Wikipedia y Gobernación del Huila.

Alto Santa Bárbara es una de las veredas más alejadas y de difícil acceso del casco urbano del Municipio de Timaná, y por ende la vía destinada para el Proyecto es bastante importante.





Figura 4-2. Mapa satelital de las zonas del proyecto. Tomado de Google Earth.

b) Ge

Timaná y los demás municipios de la cuenca del Magdalena se encuentran en una zona catalogada como de alta amenaza sísmica por la presencia de numerosas fallas geológicas. Esto incurre en liberación y acumulación de energía, así como fracturamientos que implican inestabilidad.

4.4.2. Usos del suelo y actividades económicas

En la agricultura de Timaná predomina la caficultura, para la parte pecuaria se observan tanto el cultivo de praderas mejoradas para ganado doble propósito (carne y leche), como pastos de corte, que sirven de suplemento.

4.4.3. Criterio de diseño adoptado

El criterio adoptado se basa completamente en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella, consiste en diseñar losas (placas-huella) de quince centímetros (0,15 m) de espesor en concreto reforzado totalmente apoyadas sobre la subbase, complementadas con vigas transversales (riostras) también reforzadas, uniformemente espaciadas y totalmente apoyadas que aportan confinamiento a todos los elementos de la sección transversal. El acero de refuerzo de placa-huellas y riostras se entrecruza para hacer que el conjunto trabaje monolíticamente.

El espesor de placa-huella de 0.15 m se definió porque es el mínimo espesor que permite cumplir con el recubrimiento mínimo del acero en losas que están en contacto con el suelo.

Las placas-huella y riostras están diseñadas con capacidad estructural suficiente para que el paso de un camión C-3 con veintidós (22) toneladas en su eje tándem no genere esfuerzos

superiores a los esfuerzos admisibles de la placa-huella reforzada. Lo anterior implica que si un camión C-3 no produce falla tampoco lo harían vehículos de menor peso que el del C-3.

4.4.4. Características de la mezcla de concreto

Consecuentemente con lo expuesto se consideran los siguientes parámetros.

Los de la mezcla deben ser:

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

4.4.5. Resistencia del acero de refuerzo

El acero se define por su resistencia y se contempla mínimo f_y :

4200 Kg/cm² _ f_y _ 5200 Kg/cm² (Fuente: CCP-14).

Independiente del diámetro o varilla a usar en los elementos estructurales. Según las barras de refuerzo corrugado deben ser de acero de baja aleación que cumplan con las Normas

NTC-2289 - (ASTM A706M). No se permite el uso de acero corrugado de refuerzo fabricado bajo la norma NTC 245, ni aceros trabajados en frío o trefilado. Seguir lo indicado en el capítulo C-7 de la Norma NSR-2010.

Cuando sea necesaria ductilidad soldadura, deben especificarse aceros que cumplan con las exigencias de la norma ASTM A 706 "Low Alloy Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement".

El módulo de elasticidad del acero se define $E_s = 200.000 \text{ Mpa}$

4.4.6. Placa-Huella en concreto reforzado

La metodología de diseño consistió en aplicar el Modelo de Elementos Finitos (FEM) para calcular los esfuerzos y deformaciones que se presentarían debido a la aplicación de las cargas vivas y muertas, tanto mayoradas como sin mayorar, en función de las exigencias de los códigos NSR-2010 y CCP-14, con

los resultados obtenidos asociados a momentos, (M), cortantes (V), cargas (P), sea en placas o elementos viga o Beam (Frame), se procede a aplicar la Teoría de Resistencia I propuesta en el CCP-14, incluyendo la metodología de cálculo expuesta en dicho código para el diseño a momento y cortante.

4.4.6.1. Dimensiones y refuerzo

El diseño de la Placa huella reforzada, establece que los efectos derivados de la disminución de la longitud de la placa, mejores condiciones de apoyo o mayor ancho de la huella permiten una leve disminución de los esfuerzos en los elementos, que mejoran las condiciones de seguridad, pero no ameritan el cambio del refuerzo de la misma. Por lo anterior la placa-huella tendrá las siguientes características:

Longitud:

La longitud puede fluctuar entre un valor mínimo de un metro (1,00 m) y un valor máximo de dos metros con ochenta centímetros (2,80 m).

Ancho:

Las placas-huella pueden ser de tres anchos:

- Noventa centímetros (0,90 m).
- Un metro con treinta y cinco centímetros (1,35 m).
- Un metro con ochenta centímetros (1,80 m).

Espesor:

Quince centímetros (0,15 m). El espesor es igual para todos los tamaños de placa-huella.

Refuerzo longitudinal:

Una varilla número 4 cada quince centímetros (1#4@0,15), 960 und.

Refuerzo transversal:

Una varilla número 2 cada treinta centímetros (1#2@0,30), 500 und.

ITEM	PLACA HUELLA	LONGITUD M	CANTIDAD	TOTAL	PESO KG
1	Barra #4	6	960	960	954.24
2	Barra #2	4.5	500	500	280
				TOTAL	1234.24 KG

Tabla 4-3. Tabla resumen despiece de acero para Placa Huella

La longitud de traslape de las varillas longitudinales #4 es de mínimo sesenta (60 cm) centímetros.

Con referencia al refuerzo requerido por las placas-huellas es pertinente manifestar:

- Los mayores esfuerzos se presentan en la placa-huella de dos metros con ochenta centímetros (2,80 m) de longitud y noventa centímetros de ancho (0,90 m). A medida que la longitud disminuye o el ancho aumenta los esfuerzos tienden a ser menores. Sin embargo, la disminución de los esfuerzos, y por consiguiente del requerimiento de refuerzo, no es lo suficientemente sensible como para justificar, desde los puntos de vista constructivo y económico, proponer diseños diferenciales.

- El refuerzo arriba indicado es el resultado del análisis estructural del caso crítico y por lo expuesto en el párrafo anterior también se debe usar para todas las placas-huella independientemente de su forma y dimensiones. Se menciona la forma porque en las curvas horizontales resultan placas-huella ligeramente trapezoidales debido a que las riostras no son totalmente paralelas y a que en la transición del sobreancho también algunas placa-huellas tienen forma trapezoidal.

4.4.6.2. Esquema en planta, perfil y detalles

El acero de refuerzo se debe colocar en la mitad del espesor de la placa-huella, lo que implica un recubrimiento de siete y medio centímetros (0,075 m) tanto en la cara superior como en la inferior.

Colocar el acero en la mitad del espesor parece improcedente ya que allí está el eje neutro. Sin embargo, los cálculos estructurales de la placa-huella, en la presente Guía, parten

de que el acero está en el centro del espesor, posición que es beneficiosa ya que ésta única parrilla de refuerzo sirve para absorber esfuerzos tanto positivos como negativos que se producen por el desplazamiento de las cargas móviles. Además, permite cumplir con el recubrimiento mínimo establecido por el Código.

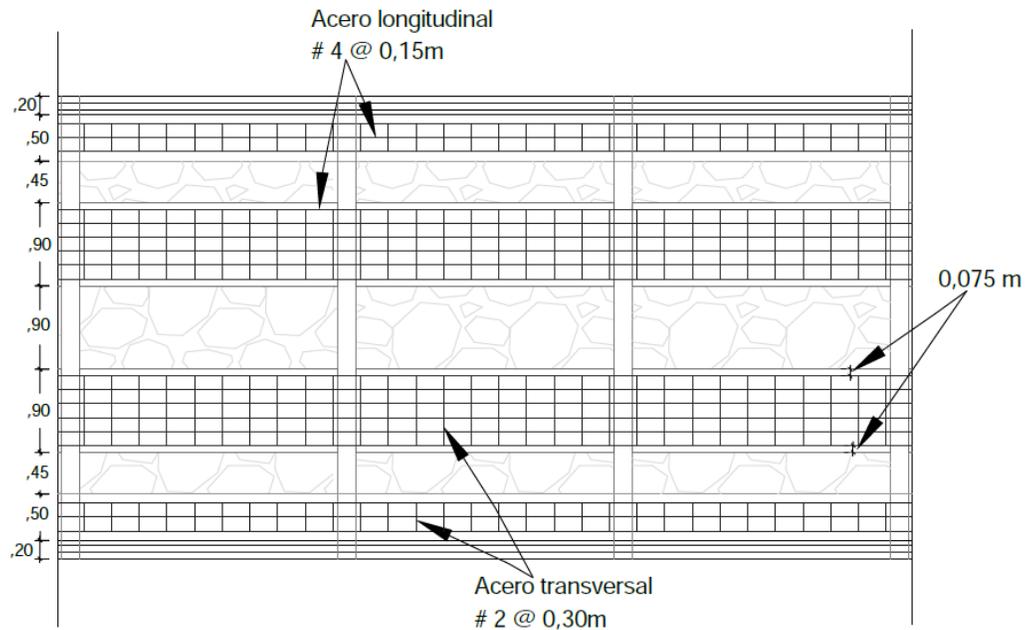


Figura 4-3. Planta de distribución del refuerzo. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

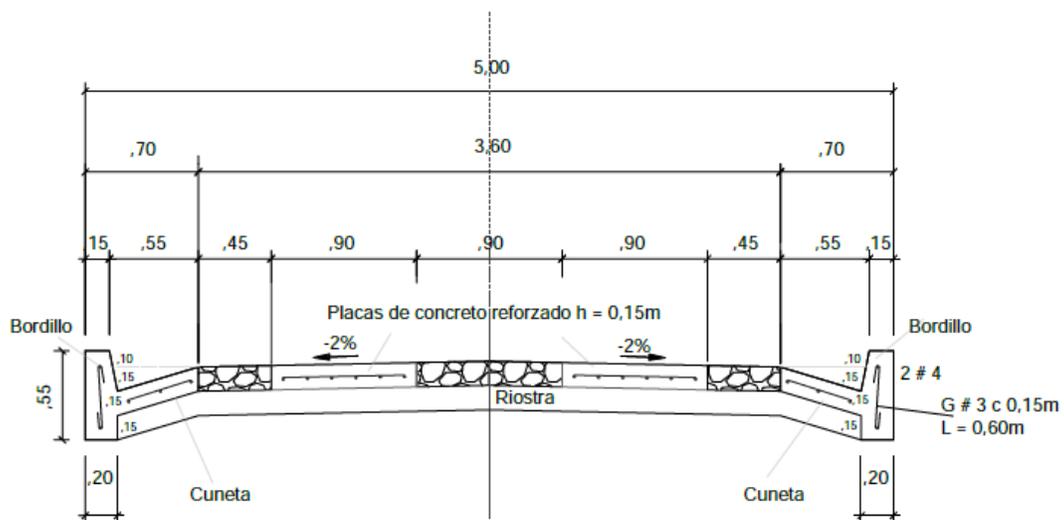


Figura 4-4. Corte transversal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

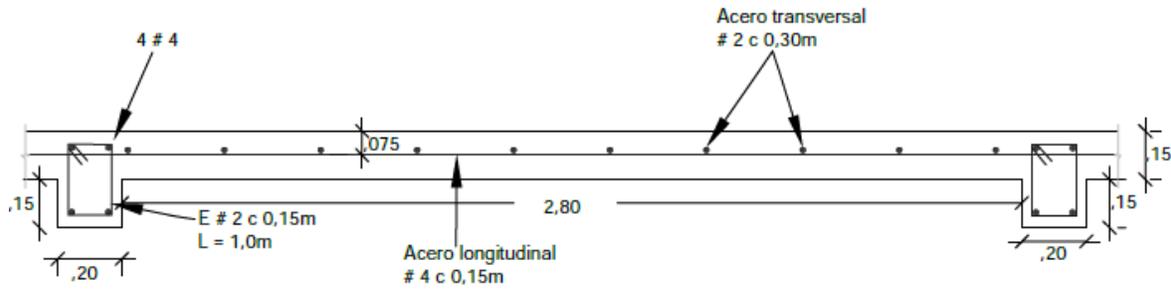


Figura 4-3. Corte longitudinal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.7. Riostra

En cuanto a sus dimensiones y refuerzo, el modelo de Elementos Finitos desarrollado también permitió determinar los esfuerzos y deformaciones generados en la riostra a partir de los cuales se elaboró el diseño estructural de este elemento.

4.4.7.1. Dimensiones y refuerzo

Longitud máxima: 6,80 metros.

Ancho de la Riostra: 0,20 metros.

Peralte de la Riostra: 0,30 metros.

Refuerzo Longitudinal: Cuatro varillas número 4 (4#4).

Estribos: Una varilla número 2 cada 15 centímetros (1#2@0,15).

La longitud de traslape de las varillas longitudinales #4 es de mínimo sesenta (60,0 cms) centímetros.

El recubrimiento de las varillas longitudinales #4 es de siete comas cinco (0,075 m) centímetros en la parte inferior y de cuatro (0,04 m) centímetros en la parte superior.

ITEM	RIOSTRA	LONGITUD M	CANTIDAD	N RIOSTRAS	TOTAL	PESO KG
1	Barra #4	1.4	2	96	192	267.1872
2	Barra #4	4.6	2	96	192	877.9008
3	Barra #4	5.2	2	96	192	992.4096
4	Fleje #2 10x19 cms	1	42	96	4032	1008
					TOTAL	3145.4976 KG

Tabla 4-4. Tabla resumen despiece de acero para Riostra.

4.4.7.2. Esquema en planta, perfil y detalles

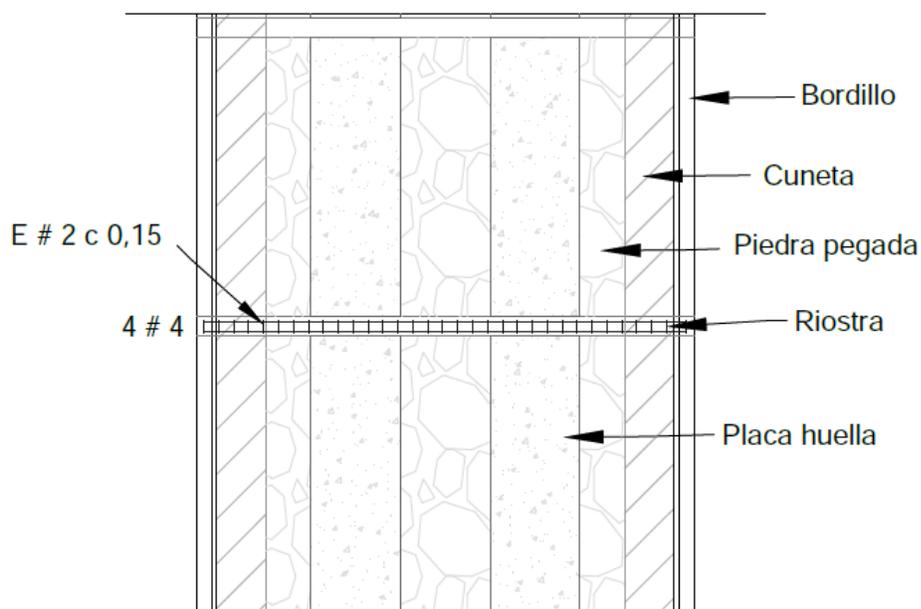


Figura 4-4. Vista en planta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

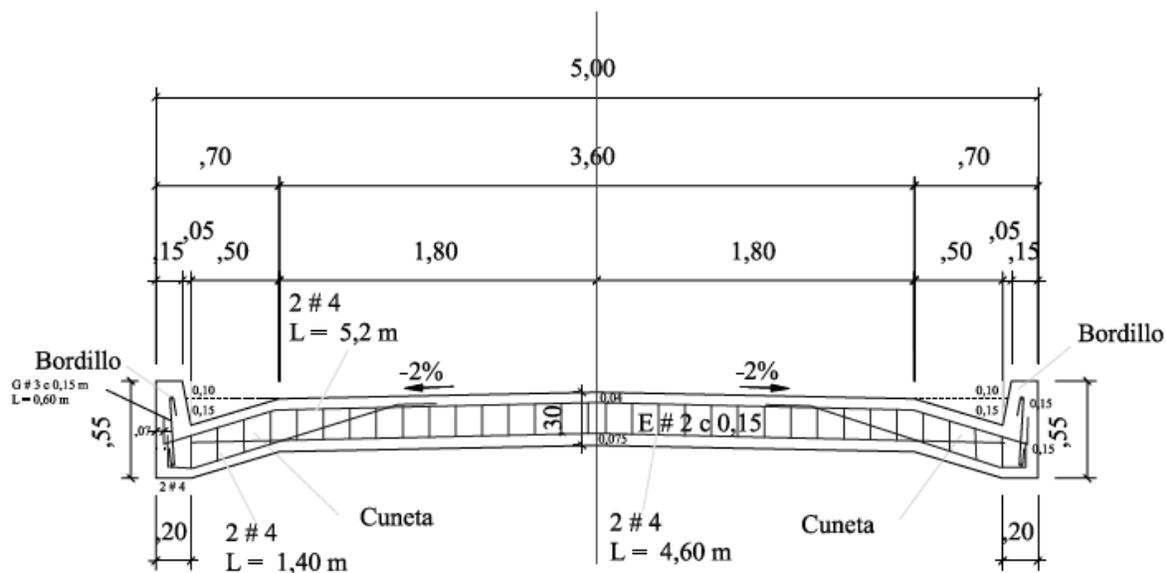


Figura 4-5. Corte longitudinal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

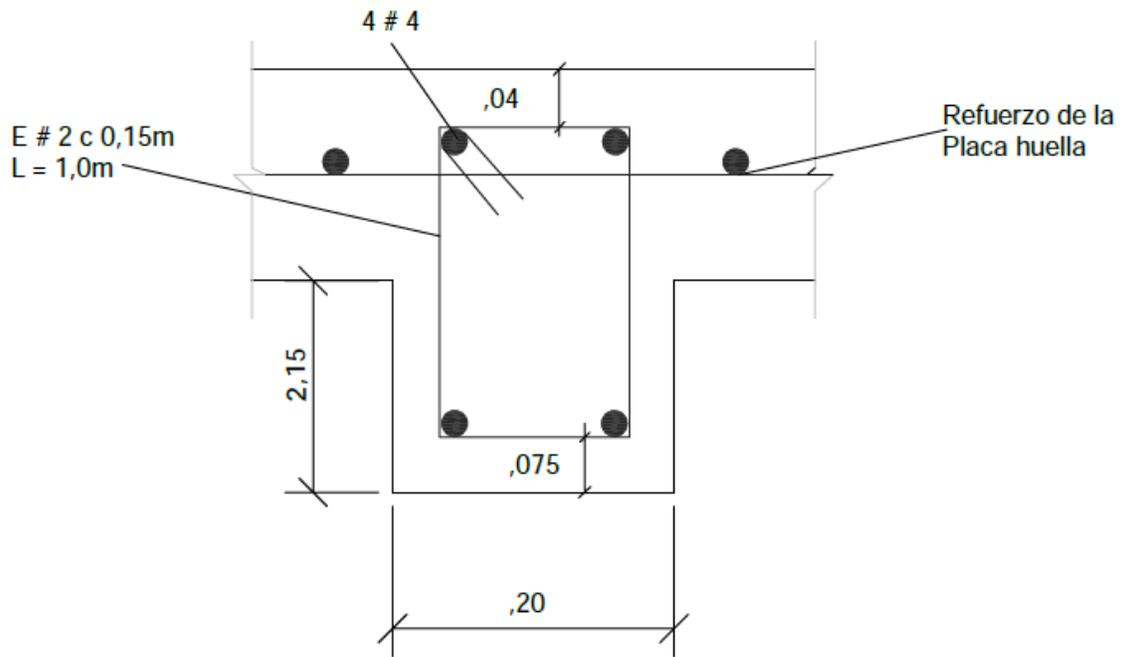


Figura 4-6. Corte transversal sección en Placa-Huella. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

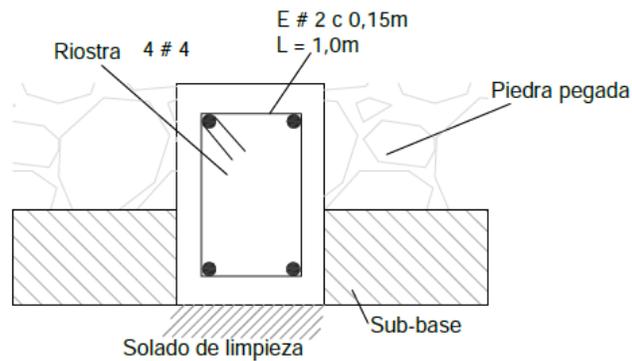


Figura 4-7. Corte transversal sección en piedra pegada. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.8. Juntas

El modelo consideró los elementos estructurales del pavimento en Placa-huella como una estructura monolítica, por ende, el proceso constructivo debe garantizar la transmisión de los

esfuerzos y deformaciones de estos elementos, a continuación, se muestran los detalles de las diferentes juntas de construcción.

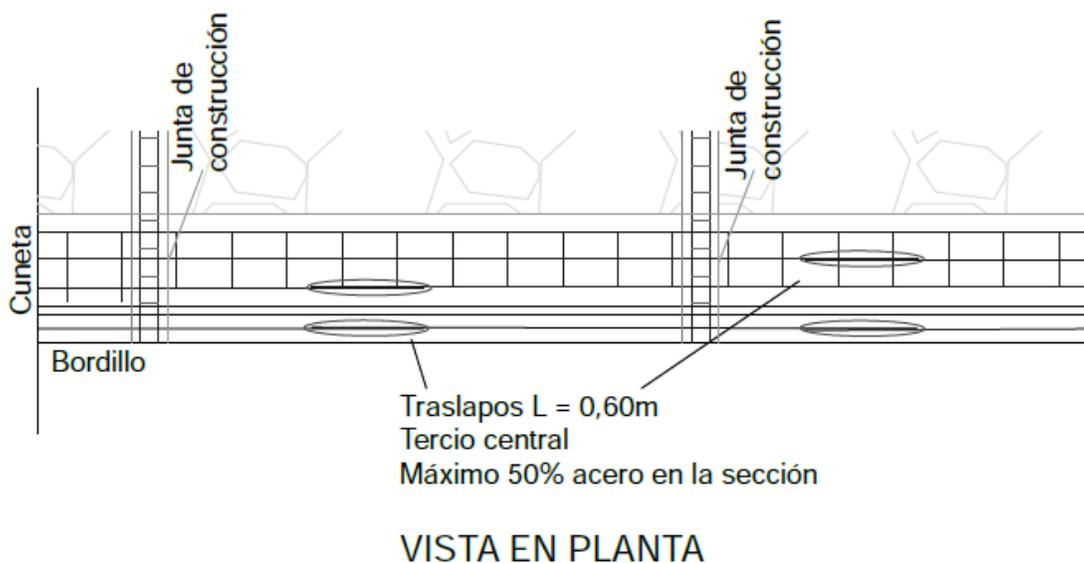
4.4.8.1. Junta Transversal de Construcción de la Placa-huella



VISTA EN PLANTA

Figura 4-8. Junta transversal de construcción en la Placa-huella. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.8.2. Junta Transversal de Construcción de la Berma - cuneta



VISTA EN PLANTA

Figura 4-9. Junta transversal de construcción en la Berma-cuneta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.8.3. Junta Transversal de Construcción de la Riostra

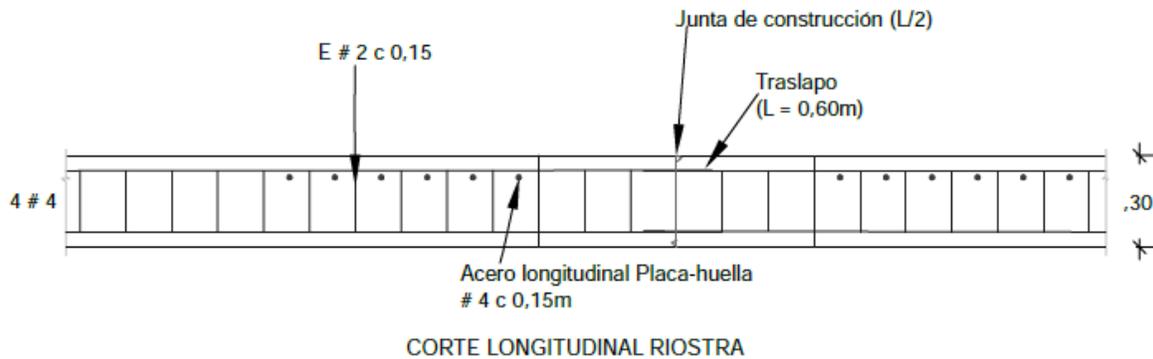


Figura 4-10. Junta transversal de construcción en la Riostra. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.8.4. Junta longitudinal de construcción

4.4.8.4.1. Junta entre Placa-huella, Riostra o Berma Cuneta y la Piedra Pegada

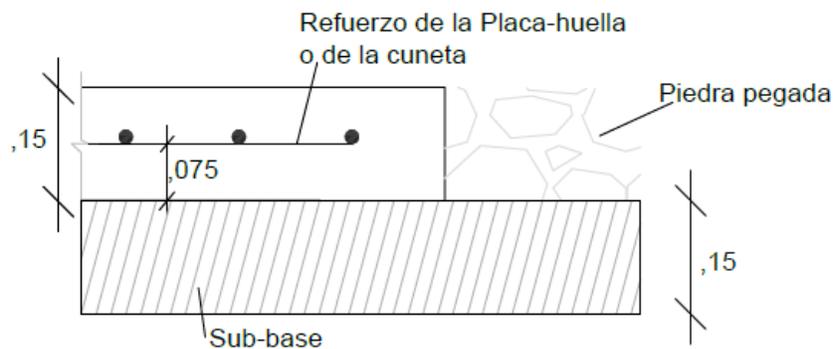


Figura 4-11. Junta longitudinal entre Placa-huella o Berma-cuneta y la Piedra pegada. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.9. Piedra pegada

La principal función de la piedra pegada es la disminución de costos en la construcción de pavimentos con placa-huella

reforzada, por ende, ésta no tiene capacidad estructural y por lo tanto no requiere mecanismo de transmisión de esfuerzos con los otros elementos del pavimento con placa-huella.

4.4.9.1. Características de los materiales

La piedra pegada conformada por un concreto ciclópeo, compuesto por 60% de concreto simple y 40% de agregado ciclópeo, con las siguientes características:

Características del concreto simple:

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

Características del Agregado Ciclópeo:

- Tamaño máximo del agregado $T_{\text{máx.}} =$ entre ocho (0,08 m) y doce (0,12 m) centímetros.
- Deben ser cantos rodados.

Las demás características de los materiales deben cumplir con la Especificación 630-13 del Instituto Nacional de Vías.

4.4.9.2. Colocación de la piedra pegada

fraguada la placa-huella, la riostra y la berma-cuneta circundante.

Se colocará una capa de concreto simple de cinco centímetros (0,05 m) de espesor directamente sobre la subbase para luego colocar manualmente el agregado ciclópeo distribuyéndolo uniformemente. Después, el resto del concreto simple y finalmente se completará el agregado ciclópeo. En todo caso se deberá cumplir con la relación de 60% de concreto simple y 40% de agregado ciclópeo y buscar siempre que la capa quede lo más uniforme posible.

4.4.10. Diseño estructural de la Berma-Cuneta y el Bordillo

La berma-cuneta debe poder soportar los esfuerzos producidos por el vehículo de diseño y, por ende, el espesor, el refuerzo requerido y las características de los materiales deben ser similares a los utilizados en la placa-huella. La berma-cuneta tiene adosado el bordillo de confinamiento por lo que su geometría es sustancialmente diferente a la de la placa-huella.

A continuación, se presentan los detalles de la berma-cuneta y el bordillo.

4.4.10.1. Esquema en planta, perfil y detalles

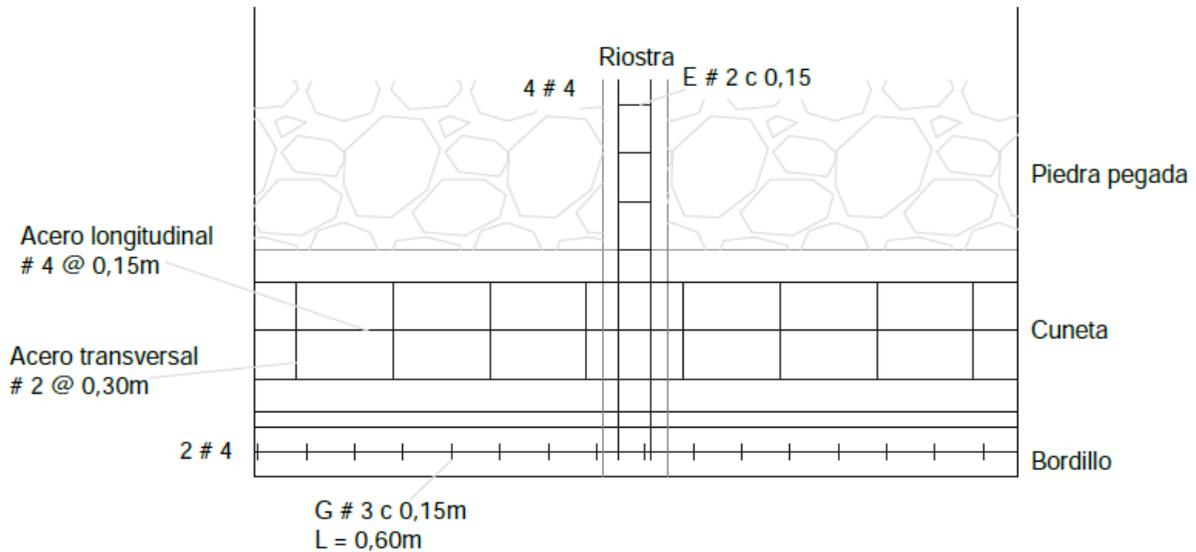


Figura 4-12. Planta Berma-cuneta y el bordillo. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

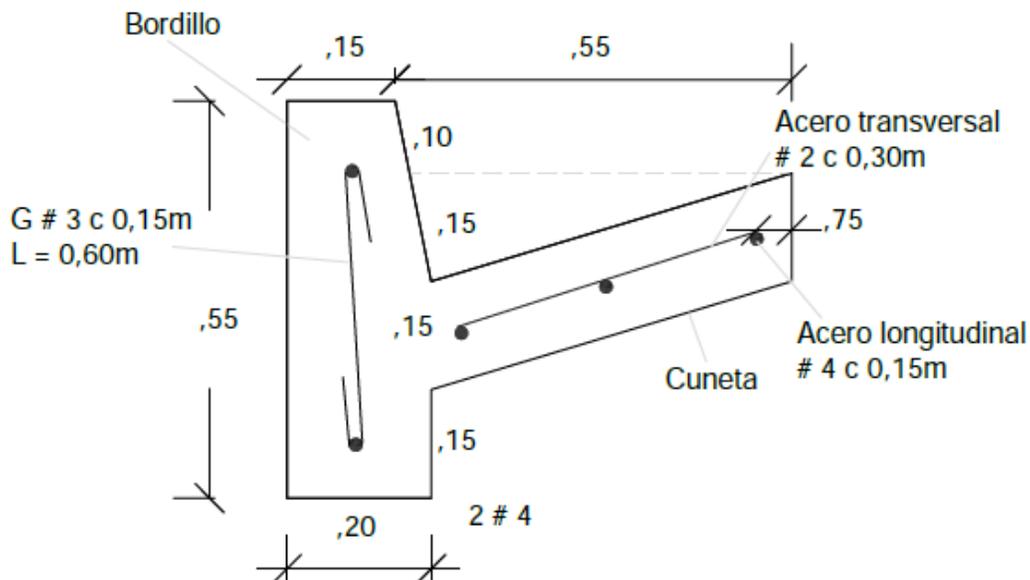


Figura 4-13. Corte Berma-cuneta sección en la cuneta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

ITEM	BORDILLO	LONGITUD M	CANTIDAD	TOTAL	PESO KG
1	Barra #4	6	32	128	127.232
2	Ganchos en S #3	0.6	1000	2000	1120
1	Barra #4	6	298.666667	1194.666667	1187.49867
2	Barra #2	0.7	500	1000	560
TOTAL				1247.232 KG	

Tabla 4-5. Tabla resumen despiece de acero para Bordillo.

4.5 Análisis de costos

El análisis de costos para la Placa Huella Alto Santa Barbara consiste en las actividades preliminares, las obras correspondientes a la Placa-Huella y a su vez, las obras de drenaje que como se han mencionado antes, deben construirse monolíticamente para evitar juntas no previstas y por ende infiltraciones, además es como se considera su diseño.

Para hallar el costo que tendrá este proyecto, se realiza el análisis de precios unitarios, en consideración con la base de datos de la Alcaldía de Timaná, con precios de materiales y mano de obra en el municipio, y se realiza un presupuesto general con

un costo de CIENTO SESENTA MILLONES NOVECIENTOS NOVENTA MIL SETECIENTOS CUARENTA PESOS. Un valor estimado y sujeto a posibles variaciones por disponibilidad, demanda y fecha de ejecución del proyecto.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

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

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

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

Así mismo, los diseños de la Placa Huella fueron propuestos teniendo en cuenta un análisis de los esfuerzos a los que son sometidos las losas de cierta longitud con las características de la subrasante y las cargas que transitan por la vía, de esta manera se recomienda una losa de 1 m de ancho con una longitud de 1.5 m, con una viga riostra cada 3 m

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

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

El presupuesto del proyecto se evaluó a partir precios unitarios del INVIAS para el Huila y la base de datos del municipio de Timaná. Como resultado se obtuvo que el costo de la Placa Huella de un ancho de 5 m y una longitud 150 m es variable dependiendo de la zona (ver anexo).

5.2 Recomendaciones

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

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

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

Por otro lado, es importante resaltar los pocos estudios que se han realizado para determinar con mayor precisión ciertos comportamientos que se consideran importantes para a la realización de una placa- huella, como ocurre para la estimación del criterio por erosión.

Aún se sigue implementando la opción de placa-huella en el país como opción para zonas rurales, por lo que debería impulsarse de cierta forma, la investigación sobre esta estructura, de tal forma que se permitan conocer mejor los comportamientos considerando variar distintos factores.

A. Anexo: Estudio de Transito

-Se encuentra en medio magnético, Anexo A. Estudio de tránsito

B. Anexo: Diseño hidráulico

-Se encuentra en medio magnético, Anexo B. Diseño Hidráulico

C. Anexo: Estudio Geotécnico

-Se encuentra en medio magnético, Anexo C. Estudio Geotécnico

D. Anexo: Presupuesto y Memorias de Cálculo

-Se encuentra en medio magnético, Anexo D. Presupuesto y Memorias de Cálculo

E. Anexo: Plano de Placa Huella y Detalles

-Se encuentra en medio magnético, Anexo E. Plano Placa Huella y Detalles

Bibliografía

- [1] AASHTO, 1993, Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento. Recuperado el 11 de marzo de 2018.
- [2] Arellano Murcia, D. F. (2015). Rehabilitación de vías terciarias con el sistema de placa huella. Universidad Militar Nueva Granada
- [3] Cogollo F. Maria y Silva B. Angie, 2018. Modelación numérica de pavimento rígidos mediante modulación convencional y de las losas cortas, Universidad Católica de Colombia.
- [4] Chavarro Acuña W., Molina Pinzón C, (2015), Evaluación de alternativas de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito. Recuperado de: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2617/1/Evaluaci%C3%B3n-alternativas-pavimentaci%C3%B3n-v%C3%ADas-bajos-vol%C3%BAmenes-de-tr%C3%A1nsito.pdf>
- [5] CONPES 3857, 2016, Lineamientos de política para la gestión de la red terciaria.
- [6] Contreras F. □ Muñoz J., 2015, Placa huellas para red terciaria un acercamiento para el diseño y construcción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [7] Correa E.,2017, El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país. Revista de Ingeniería, n° 45, 2017 pp 64-71.
- [8] Cosanher, 2015. Drenaje en carreteras. Recuperado de: <http://www.cosanher.com/single-post/2015/05/27/drenaje-en-carreteras>
- [9] Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas. (2016),Recuperado de: <https://proyectotipo.dnp.gov.co/images/pdf/placahuella/ptplacahuella.pdf>, Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella.
- [10] Durán L & Salas B., 2017. Análisis comparativo de espesores de losas de concreto para troncales de Transmilenio en configuraciones alternativas de ejes de buses articulados.

- [11] Figueroa Infante, A. S. y otros, 2008. En: Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado). Bogotá: Ministerio de Transporte. Pp 1-76.
- [12] Guía de diseño de Pavimentos con Placa-Huella. Ministerio de transporte. INVIAS, Instituto Nacional de Vías.
- [13] González, Alba, 2006, Infraestructura vial en Colombia: un análisis económico como aporte al desarrollo de las regiones 1994-2004, Recuperado de:
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/12066/T10.06%20G589in.pdf?sequence=1>.
- [14] Gonzalez Gisela y Vanegas Emiro F., 2016, Comparación de las metodologías AASHTO y PCA para el diseño de pavimento rígido.
- [15] Higuera C., 2011, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Principios fundamentales, el tránsito, factores climáticos y geotecnia vial. Volumen I.
- [16] Higuera C., 2011, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Teoría, Métodos de diseño y ejemplos de aplicación. Volumen II.
- [17] Instituto Nacional de Vías, 2009, Manual de drenaje para carreteras. Subdirección de apoyo técnico
- [18] Instituto Nacional de Vías, 2015, Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella. Subdirección de estudios e innovación.
- [19] Linda Y. Castro G. Deisy Sabogal R., 2018, Pre-Diseño Estructural de Placa-Huella y Obras de arte para la vía terciaria entre Fomeque y la vereda Lavadero, Universidad Santo Tomas.
- [20] Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008. INVIAS, Instituto Nacional de Vías.
- [21] Murcia Arellano, D. F. (2015). Rehabilitación de vías terciarias con el sistema de placa huella.
- [22] Orobio Armando & Orobio J. Carlos (Julio, 2016), Plain-concrete strip road pavements: 3D finite element analisis. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

- [23] Ordoñez Valencia, J. D. (2015). Pavimentos de losas cortas de concreto para vías terciarias en Colombia. Universidad Militar Nueva Granada.
- [24] OSORIO M. JOSE □ CASAS G. ANA, 2011, Correlación P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba. Monografía, Universidad Militar Nueva Granada.
- [25] Ospina G., 2016, El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. Revista de Ingeniería n° 44, 2016 pp 20-27.
- [26] Otálvaro M., 2016, consideraciones generales para realizar el diseño hidrológico e hidráulico de obras de drenaje para vías de bajos volúmenes de tránsito. Caso de estudio pista de prueba Urrao-Antioquia.
- [27] Pachón Á; Ramírez M, 2005, La infraestructura de transporte en Colombia durante el siglo XX: una descripción desde el punto de vista económico”, en imprenta, ed. FCE-BR, Bogotá.
- [28] Pradena Mauricio y Chaparro Boris, (2019). Análisis estructural de pavimentos de Hormigon: Losas cortas en pisos industriales. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de concepción, Concepción, Chile. Revista Politécnica (Quito) vol. 43 No. 2.
- [29] Ramírez Mario G, 2021. “Elaboración de una metodología preliminar para definir intervenciones técnicas para la conservación de vías terciarias de Colombia”: Universidad de los Andes, pp. 5. Bogotá
- [30] RAS-2000 Título D, 2016, Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias.
- [31] Rodríguez M. Genny □ Romero G. Diana, 2007, optimización técnica y operativa para la planta de tratamiento de residuos sólidos del Municipio de Fómeque Cundinamarca, Universidad de la Salle.
- [32] Romero A., Paredes Y., 2016, Proceso constructivo y presupuesto para un kilómetro de plaza huella en la vía Acolsure – Buenavista km 2.
- [33] Sanchez F, 2009... Evaluación de la Subrasante recuperado de:
[http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%206.pp t](http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%206.pp_t)
- [34] Scribd.com, “Especificación 500-1P placa-huella en concreto,” [En línea]. Available: <https://www.scribd.com/book/72919706/Diseno-Huellas-en-Concreto>. [Último acceso: 9 Marzo 2016].

- [35] Suárez, J. (2001): Control de erosión en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos e Ingeniería de Suelos Ltda.
- [36] Vélez Upegui, J. J. y otros, 2013. En: Diseño hidrológico e hidráulico de obras de ingeniería para proyectos viales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, pp. 0-220.
- [37] Zea J, Ortiz G, □ Zamudio P., 2009 Diagnóstico de la vía actual y propuesta de diseño geométrico del tramo comprendido entre el K0+000 hasta el k3+000 de la vía municipio de Tena-Los Alpes Cundinamarca.



Mejoramiento vial en zona crítica de la vereda alto santa Bárbara, k0+000 a k0+150 del municipio de Timaná-Huila por medio de placa huella

Juan Sebastián Quevedo Cerón

Paula Andrea Vásquez Torres

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2021

Mejoramiento vial en zona crítica de la vereda alto santa Bárbara, k0+000 a k0+150 del municipio de Timaná-Huila por medio de placa huella

Juan Sebastián Quevedo Cerón

Paula Andrea Vásquez Torres

Proyecto de grado presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero(a) Civil

Director (a):

Ing. Jairo Andrés Serrano Rojas

Línea de Investigación:

Vías – Mejoramiento vial (Placa Huella)

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2021

*Que logremos transmitir a nuestros hijos esta
gracia de ser sencillamente hombres y mujeres
“todo terreno”, ciudadanos del mundo.*

Jaime Borrás

Agradecimientos

A Dios y a mi familia. Así como a los docentes que fueron partícipes del proceso educativo, que además de enseñar lo académico, se preocuparon por más que las notas.

Paula Andrea

A Dios que siempre ha estado de mi lado dándome fuerza y bendiciendo todos los días de mi vida en mi camino hacia cumplir mis metas y sueños; a mi madre Elcira Ceron, quien es mi más grande motivación para salir adelante y poder llenar de orgullo; a Sayra Jara, quien fue mi apoyo en gran parte de mi carrera, siempre confiando en mis capacidades y motivándome a seguir luchando por mis sueños; a mi compañera Paula Vásquez, con quien llevamos a cabo este proyecto de grado; a todas las personas que fueron de apoyo en todo mi proceso. Finalmente quiero agradecerme a mí, por nunca soltar la toalla y por siempre creer que puedo lograr todo lo que me propongo, a pesar de las dificultades que se puedan presentar.

Juan Sebastian

Resumen

Con el propósito de mejorar la situación que se vive en el país en cuanto al déficit que tiene en infraestructura vial, se han venido impulsando y desarrollando varios proyectos con el fin de suplir esta necesidad en Colombia.

El proyecto de grado que se plantea, busca ser parte de esa contribución con el diseño de una placa huella para el tramo entre la vereda Alto Santa Bárbara y el municipio de Timaná en el departamento del Huila, que corresponde a K 0+000 a K 0+150, que a su vez se considera un tramo crítico de la vía en cuestión.

El principal objetivo es brindar una solución con diseño de una Placa Huella para este tramo, empleando los conocimientos inculcados por parte del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Surcolombiana de Neiva durante los años de estudios pertinentes.

Para llegar a este objetivo es necesario cumplir con un procedimiento que involucra investigación de la zona en la que se solicite el mejoramiento vial, esto incluye estudios tanto de suelos, como de la temperatura del ambiente, factores como precipitaciones, distancias para transporte de materiales, etc. Con un buen trabajo de investigación es posible trazar la principal problemática de la zona, y plantear soluciones a los principales inconvenientes que puedan surgir en la implementación del diseño de la Placa-Huella para el tramo que se solicita.

Palabras clave: Placa Huella, CBR, vía terciaria, estudio de suelos, aforo vehicular, subrasante.

Abstract

In order to improve the situation in the country in terms of the deficit it has in road infrastructure, several projects have been promoted and developed in order to meet this need in Colombia.

The degree project that is proposed seeks to be part of that contribution with the design of a footprint plate for the section between the Alto Santa Barbara village and the municipality of Timaná in the department of Huila, which corresponds to K 0 + 00 to K0+000 + K0+150, which in turn is considered a critical section of the road in question.

The main objective is to provide a solution with the design of a Footprint Plate for this section, using the knowledge instilled by the Civil Engineering program of the Surcolombiana University of Neiva during the years of pertinent studies.

To reach this objective, it is necessary to comply with a procedure that involves investigation of the area in which road improvement is requested, this includes studies of both soils and ambient temperature, factors such as rainfall, distances for transporting materials, etc. With a good research work, it is possible to trace the main problems in the area, and propose solutions to the main problems that may arise in the implementation of the design of the Footprint-Plate for the section that is requested.

Keywords: Footprint plate, CBR, tertiary route, soil study, vehicle capacity, subgrade.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	19
1.1 ANTECEDENTES.....	20
1.2 JUSTIFICACIÓN	22
1.3 OBJETIVOS	23
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	23
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	23
1.4 ALCANCES.....	24
1.5 LIMITACIONES.....	24
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 BASES TEÓRICAS DE SISTEMA DE PAVIMENTO PLACA HUELLA.....	25
2.1.1. <i>Principales ventajas</i>	25
2.1.2. <i>Principales requisitos</i>	26
2.1.3. <i>Aspectos importantes de la Placa-Huella</i>	26
2.1.4. <i>Elementos que integran el pavimento con Placa-huella y sus funciones</i>	28
2.2 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE LA PCA 84	30
2.3 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	31
2.4 BS-PCA.....	32
2.5 EVERFE 2.24	32
2.6 CÁLCULO DEL TRÁNSITO.....	33
2.4.1. <i>Factores para estimar el tránsito de diseño</i>	34
2.4.2. <i>Ley de la cuarta potencia</i>	34
2.7 ESTUDIO GEOTÉCNICO	35
3. METODOLOGÍA.....	37
3.1 PROPUESTA DE DISEÑO PARA PLACA-HUELLA.....	38
3.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	38
3.2.1. <i>TPD</i>	38
3.2.1.1. <i>Incidencia de la intensidad y composición del tránsito</i>	39
3.2.1.2. <i>Resultados obtenidos en el conteo</i>	40
3.2.1.3. <i>Estimación del número de ejes equivalentes para diseño</i>	40
3.2.2. <i>Propiedades del subsuelo</i>	43
3.2.2.1. <i>Incidencia de la capacidad de soporte de la subrasante</i>	44
3.2.3. <i>Datos hidrológicos</i>	44
3.2.3.1. <i>Incidencia del clima</i>	44

3.2.4.	<i>Procedimiento para evaluar cargas con EverFe 2.24</i>	45
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	50
4.1	ANÁLISIS DE MODELO 1	50
4.2	ANÁLISIS DE MODELO 2	52
4.3	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA CON LA METODOLOGÍA PCA.....	53
4.4	PROPUESTA DE PLACA-HUELLA	55
3.3.1.	<i>Características generales del proyecto</i>	56
3.3.1.1.	<i>Generalidades del municipio de Timaná</i>	56
3.3.2.	<i>Criterio de diseño adoptado</i>	57
3.3.3.	<i>Características de la mezcla de concreto</i>	57
3.3.4.	<i>Resistencia del acero de refuerzo</i>	58
3.3.5.	<i>Placa-Huella en concreto reforzado</i>	58
3.3.5.1.	<i>Dimensiones y refuerzo</i>	59
3.3.5.2.	<i>Esquema en planta, perfil y detalles</i>	60
3.3.6.	<i>Riostra</i>	62
3.3.6.1.	<i>Dimensiones y refuerzo</i>	62
3.3.6.2.	<i>Esquema en planta, perfil y detalles</i>	63
3.3.7.	<i>Juntas</i>	65
3.3.7.1.	<i>Junta Transversal de Construcción de la Placa-huella</i>	65
3.3.7.2.	<i>Junta Transversal de Construcción de la Berma – cuneta</i>	66
3.3.7.3.	<i>Junta Transversal de Construcción de la Riostra</i>	66
3.3.7.4.	<i>Junta longitudinal de construcción</i>	67
3.3.7.4.1.	<i>Junta entre Placa-huella, Riostra o Berma Cuneta y la Piedra Pegada</i>	67
3.3.8.	<i>Piedra pegada</i>	67
3.3.8.1.	<i>Características de los materiales</i>	67
3.3.8.2.	<i>Colocación de la piedra pegada</i>	68
3.3.9.	<i>Diseño estructural de la Berma-Cuneta y el Bordillo</i>	68
3.3.9.1.	<i>Esquema en planta, perfil y detalles</i>	69
4.5	ANÁLISIS DE COSTOS	70
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1	CONCLUSIONES	71
5.2	RECOMENDACIONES	72

Lista de figuras

Figura 2-1. Vehículo de diseño Camión C-3. Tomado de Manual de Diseño Geométrico INVIAS	26
Figura 2-2. Vista en planta y sección en un tramo recto. Tomado de community.secop.gov.co	28
Figura 2-3. Clasificación de vehículos. Tomado de Ingeniería de tránsito y transporte (2010)	33
Figura 3-1. Metodología de propuesta de diseño para Placa-Huella. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 3-2. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Colombia, 2008. P. 77	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3-3. Modelo 1 con cargas centro-centro (a), esquina (b) y centro- borde (c)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3-4. Modelo 2 Semieje Tandem. Tomado de Manual de Diseño Geométrico INVIAS	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4-1. Mapa político Municipio de Timaná. Tomado de Portal web de la Wikipedia y Gobernación del Huila.	56
Figura 4-2. Mapa satelital de las zonas del proyecto. Tomado de Google Earth.....	56
Figura 4-3. Planta de distribución del refuerzo. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	58
Figura 4-4. Corte transversal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	58

Figura 4-5. Corte longitudinal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	62
Figura 4-6. Vista en planta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	60
Figura 4-7. Corte longitudinal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	64
Figura 4-8. Corte transversal sección en Placa-Huella. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	61
Figura 4-9. Corte transversal sección en piedra pegada. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	62
Figura 4-10. Junta transversal de construcción en la Placa-huella. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	62
Figura 4-11. Junta transversal de construcción en la Berma-cuneta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	66
Figura 4-12. Junta transversal de construcción en la Riostra. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	66
Figura 4-13. Junta longitudinal entre Placa-huella o Berma-cuneta y la Piedra pegada. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	67
Figura 4-14. Planta Berma-cuneta y el bordillo. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	69
Figura 4-15. Corte Berma-cuneta sección en la cuneta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.	69

Lista de tablas

Tabla 2-1. Factor Direccional. Tomado de Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998.	34
Tabla 2-2. Cargas de Patrón y Exponenciales. Tomado de Manual de Diseño de Pavimentos de concretos, INVIAS.....	34
Tabla 2-3. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal. Tomado de Ministerio de Transporte, 2010.....	35
Tabla 3-1. Factor Direccional. Tomado de Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998. .. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 3-2. Cargas de Patrón y Exponenciales. Tomado de Manual de Diseño de Pavimentos de concretos, INVIAS.....	39
Tabla 3-3. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal. Tomado de Ministerio de Transporte, 2010..... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 3-4. Porcentaje Vehículos obtenidos en el aforo.	40
Tabla 3-5. Tránsito promedio diario obtenido en Alto Santa Barbara.	40
Tabla 3-6. Parámetros de diseño.....	41
Tabla 3-7. Número de ejes equivalentes.	42
Tabla 3-8. Valor percentil por nivel de tránsito. Tomado de Instituto del Asfalto, 1991.	42
Tabla 3-9. % CBR de diseño de la Sub-rasante.....	43
Tabla 3-10. Tabla resumen de datos para evaluar cargas en el sistema de pavimento tipo Placa-Huella.	48
Tabla 3-11. Tabla resumen de datos para evaluar cargas en el sistema de pavimento tipo Placa-Huella- Modelo 2.....	48

Tabla 3-12. Parámetros para losa de concreto. Fuente: Propia.....	48
Tabla 3-13. Parámetros para base granular. Fuente: Propia.....	49
Tabla 3-14. Parámetros para subrasante. Fuente: Propia.....	48
Tabla 4-1. Numero De Repeticiones esperadas para el periodo de diseño.....	53
Tabla 4-2. Tabla resumen despiece de acero para Placa Huella.	49
Tabla 4-3. Tabla resumen despiece de acero para Riostra.....	49
Tabla 4-4. Tabla resumen despiece de acero para Bordillo.....	49

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Descripción
γ_n	Peso húmedo del suelo
γ_c	Peso específico del concreto
ϕ	Ángulo de fricción
c	Cohesión
E	Módulo de elasticidad
E_c	Módulo de elasticidad del concreto
ψ	Ángulo de dilatación
μ	Relación de Poisson
n	Exponente
F_c	Factor camión
P_i	Carga por eje considerada
P_r	Carga patrón
M_a	Número de vehículos comerciales día normal
S_a	Número de vehículos comerciales día mercado
$\%Vk$	Porcentaje de vehículos comerciales
σ	Tensión – esfuerzo
ε	Deformación unitaria
t	Tiempo
F_d	Factor direccional

Símbolo	Descripción
n	Número de valores de CBR
CBR	Valor medio de los valores de CBR (%)
CBR_i	Valor de cada ensayo de CBR (%)
FDk	Factor daño
SRS	Rueda simple adelante
SDR	Eje simple rueda doble atras

Abreviaturas

Abreviatura	Término
$TPDS$	Transito promedio diario semanal
PCA	Portland Cement Association
$INVIAS$	Instituto Nacional de Vias
DNP	Departamento Nacional de Planeación

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Capítulo 1

1. Introducción

La infraestructura vial es parte del desarrollo de cualquier país, está estrechamente ligada a su crecimiento social y económico debido a su capacidad de conectar distintos puntos de consumo y producción. En Colombia es importante mejorar la infraestructura vial buscando adecuarla tanto a las necesidades nacionales como internacionales, siempre buscando optimizar los recursos, esto con el fin de reducir costos y contribuir a la nación en cada parte de su desarrollo. Así mismo, debe contemplarse la necesidad, no solo de solucionar ese problema, sino también en darle cabida a otros temas importantes y relacionados entre sí, como lo son los medios de transporte que no han sido suficientemente investigados para darles desarrollo según las condiciones que se presentan en las distintas regiones del país, como, por ejemplo, el aprovechamiento de las redes fluviales o férreas. Todo esto, con el fin de encontrar más de una solución al problema que se presenta actualmente con el déficit vial.

Al existir el problema de comunicación vía terrestre entre la población rural de la vereda Alto Santa Bárbara del municipio de Timaná, especialmente en época invernal, donde puede, ocasionalmente, quedar intransitable y por ende, se perjudican los comercios que no pueden transportar los productos que son el sustento de muchos habitantes en la zona. El tramo en cuestión representa un desafío debido a que su topografía es compleja, existen tramos con pendientes que superan el 20% de desnivel, estos puntos críticos no se han trabajado de forma idónea, por estas razones se considera una vía con muchas deficiencias, y en este caso se presenta una alternativa que busca solucionar ese servicio de infraestructura vial terciaria con la implementación de una Placa Huella, para mejorar, no solo la calidad de la vía, sino la calidad de vida de quienes solicitan su uso.

1.1 Antecedentes

En los últimos años se ha evidenciado un detrimento prematuro de la red vial debido a la falta de inversión y mantenimiento en la infraestructura. Un artículo presentado por la Universidad de los Andes menciona que el mayor porcentaje de vías (69,4%) corresponden a la red vial de tercer orden, a las cuales no se les atribuye la importancia que merecen, aun cuando estas inciden de manera directa en el desarrollo económico del País. [31]

De acuerdo con lo anterior, en el País se ha desarrollado una técnica para mejorar la superficie de rodadura, denominada Placa Huella, la cual se utiliza para rehabilitar vías terciarias; la función principal de esta estructura es permitir un tránsito seguro evitando que los vehículos pierdan adherencia en las pendientes, esto ocurre, en su mayoría, en épocas de invierno, logrando este beneficio con un costo más bajo que cualquier otro modelo de pavimento.

En el año 2015, el ingeniero civil José Daniel Ordoñez Valencia, realizó un diseño de pavimentación por medio del método de losas cortas presentado en la Universidad Militar Nueva Granada, un método que, de acuerdo con el análisis que se plantea en el presentado, supera, tanto económicamente como técnicamente, las bondades de alternativas de diseños ampliamente utilizadas en el país, tales como: placa huella, suelo cemento y afirmado, de igual manera los pavimentos con losas cortas permiten reducir de manera significativa los espesores de diseño y el mejoramiento de la geometría de las mismas integrando para su modelación los parámetros de la guía de diseño AASTHO 2007. [20]

Los resultados obtenidos en su investigación demostraron que, en comparación económica con las metodologías tradicionales, presenta una gran diferencia debido a la disminución de los espesores, dependiendo los resultados de los ensayos de CBR%, brindando también versatilidad en su construcción.

En la misma universidad, el ingeniero Diego Fernando Arellano, presenta un documento en el cual, hace resaltar las principales características constructivas y de diseño para el mejoramiento y rehabilitación de vías terciarias por el sistema de placa con el fin de alinear dichas características constructivas y de diseño del sistema en mención con los manuales de diseño y construcción vigentes en el país de Colombia. Realiza las comparaciones de un caso específico que representa la tendencia para los procesos de contratación en el resto del país, su fin principal fue hacer las correcciones pertinentes

para la mejora de los requisitos técnicos requeridos en futuros pliegos de condiciones de contratación de vías terciarias. Como resultado determinó que el pliego de condiciones, junto con los estudios previos para la contratación de ese proyecto, no profundizó en las especificaciones de diseño sobre este sistema de pavimentación, por el contrario, las especificaciones de construcción y de materiales que prevalecen son las del instituto nacional de vías, encontrándose ambigüedades en las especificaciones del concreto utilizado. [19]

Existen varios estudios publicados sobre el diseño de placa huella para la implementación en Colombia. Armando Orobio, en el (2017), realizó uno de ellos y publicó un artículo sobre las recomendaciones de diseño y construcción de pavimentos en placa huella de concreto reforzado, para esta investigación realizó un análisis de los pavimentos en placa huella, y dio recomendaciones de diseño y construcción de este tipo de pavimentos, considerando las condiciones de uso actual, las cargas esperadas, las características de suelo de soporte y las calidades de los materiales. [32]

Por otra parte, el Ing. Armando Orobio en colaboración con Juan Carlos Orobio en (2016), realizaron un estudio acerca de los pavimentos con placa huella de concreto simple y su análisis con elementos finitos 3D para estudiar el comportamiento de los pavimentos con placa huella ante diferentes condiciones de carga y soporte, se emplearon cargas de camión C3 con periodo de diseño de 20 años. Dónde se encontró que, desde el punto de vista del criterio de fatiga, esto sería evaluable, pero el comportamiento por erosión de estos pavimentos es incierto, esto debido a que, en la actualidad, no existe suficiente información para calibrar un modelo que permita realizar la evaluación por este criterio. [22]

En un artículo publicado por la Revista Politécnica (Quito, Chile), en el 2019 por Mauricio Pradena y Boris Chaparro, buscaron determinar en qué condiciones es mejor emplear las losas cortas, pues si bien reducen costos y trabajan bien en ciertos escenarios, no para todos los casos se recomienda su uso. En los resultados de los estudios que realizaron, se puede evidenciar que es una alternativa útil cuando se trata de tráfico liviano, por lo que es indispensable definir el vehículo de diseño para evaluar si soportará los esfuerzos que transmiten los vehículos, así como la importancia de mantener una geometría que permita

que las franjas de las losas sean realmente las zonas que estarán en contacto con las ruedas de los vehículos.[26]

Y al igual que en el estudio realizado María Cogollo y Angie Silva en su trabajo de tesis en la Universidad Católica de Colombia (2018), se pudo determinar que la losa corta, con hasta un metro de longitud, no presenta problemas por condiciones ambientales como alabeo y la transferencia de carga aumenta en comparación a las losas convencionales de mayor longitud. [3]

Dónde también determinaron que se reduce considerablemente la tensión máxima al reducir su longitud.

También es importante resaltar que el diseño de Placa huella en Colombia se inició con base en la especificación 500-1P INVIAS, esta referencia presenta un diseño general, del cual se desconocen los criterios tenidos en cuenta en su elaboración, lo que genera muchas dudas para su uso en diferentes proyectos, seguidamente el INVIAS publicó una Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella, la cual es la implementada actualmente. [36]

1.2 Justificación

En el país se vienen desarrollando distintos proyectos para mejorar la infraestructura vial a nivel nacional, las vías terciarias suelen ser utilizadas por productores piscícolas y agrícolas que deben distribuir su producción a distintos destinos.

Es por esto que las vías terciarias representan una utilidad significativa y su estado óptimo garantiza que se ejecuten los viajes en los tiempos que se necesitan.

Un artículo presentado por la Universidad de los Andes (*Revista de Ingeniería n° 45, 2017, 64-71. El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país*), se menciona que el 67% de las vías corresponden a una red vial de tercer orden, y son así mismo las que menos intervención tienen a pesar de ser tan importantes para el desarrollo económico del país.

Es por esto que en Colombia se ha venido implementando una técnica para mejorar la superficie de rodadura, conocida como Paca Huella, se utiliza para rehabilitar vías terciarias, y su principal función es permitir el tránsito seguro evitando que los vehículos

patinen en pendientes, especialmente en épocas de invierno cuando se agrava el estado de la vía, esto con el beneficio que proporciona la estructura que es una reducción de costos en comparación con las alternativas que existen.

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

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer un diseño de la estructura de Placa Huella, del K0+000 al K0+150, y las Obras de Arte para la vía terciaria que comunican a la vereda Alto Santa Bárbara con el resto del Municipio de Timaná.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar y analizar la problemática que se presenta en el tramo de estudio, con el fin de definir los parámetros esenciales para el desarrollo del diseño. Para eso es necesario evaluar el estado de las obras de arte y de la vía existente, mediante una recopilación de información que pueda aportar el ambiente, las condiciones en las que se encuentra el estado de la vía actual y otros factores que deban considerarse para determinar la viabilidad del proyecto.
- Determinar la cantidad y el tipo de vehículos que transitan en la parte más crítica en la vía terciaria que comunica a las veredas Alto Santa Barbara con el Municipio de Timaná. Estudio que se realiza con un conteo de vehículos que transitan la vía dónde se considera un día de mayor afluencia de vehículos y un día entre semana normal.
- Recopilar y analizar información útil para el proyecto de mejoramiento vial, así como los estudios de suelos proporcionados por la administración municipal para determinar la capacidad de soporte de la subrasante de la vía.

- Realizar un diseño que cumpla con la demanda y las necesidades que arrojó el análisis de la información que se obtuvo de los estudios proporcionados por la administración municipal y la información recopilada.
- Presentar un presupuesto estimado para la ejecución del proyecto.

1.4 Alcances

El tramo vial se encuentra ubicado en la vereda alto santa bárbara del municipio de Timaná-Huila, en el hito kilómetro 0+000 las coordenadas geográficas Latitud: $1^{\circ} 52' 43.804''$ - Longitud: $-75^{\circ} 57' 31.308''$ del sistema de referencia MAGNA SIRGAS - ORIGEN OESTE y finaliza en las coordenadas geográficas Latitud: $1^{\circ} 52' 45.339''$ - Longitud: $-75^{\circ} 57' 33.726''$ en el hito kilómetro +0.150 del tramo a intervenir.

Aplicamos conocimientos obtenidos en lo cursado del pregrado de Ingeniería Civil, y adquirimos nuevos conocimientos acerca del diseño de una placa huella tipo que se pueda utilizar, en cualquier caso.

Realizamos una propuesta de diseño que puede llevar a la solución de una problemática de municipio de Timaná y sus habitantes, que, en su mayoría, son personas de la zona rural, lo cual posibilita el crecimiento de la parte agrícola y pecuaria.

1.5 Limitaciones

La contingencia a nivel mundial dada por la propagación de COVID-19 conlleva limitaciones para solicitar información a la Alcaldía municipal, debido a que el personal debe dar atención al público con horario de pico y cédula dependiendo de los días y cada solicitud se responde con 15 días hábiles, lo cual retrasa el acceso a la información del municipio, específicamente de la vereda Alto Santa Bárbara.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 Bases teóricas de sistema de pavimento Placa Huella

La placa-huella es un sistema que se emplea para vías que tienen un bajo volumen de tránsito, principalmente vías terciarias. Se construye con pavimento en concreto y refuerzo continuo en dos franjas que corresponden a la zona de la vía por donde circularán las ruedas de los vehículos. Los espacios que se encuentran entre las placa-huella se rellenan con concreto ciclópeo del mismo espesor de la placa huella, y quien se encarga de unir las placas, es una riostra en concreto reforzado que a su vez une las bermas-cunetas con el objetivo de que estas funcionen monolíticamente.

El tipo de Placa-Huella que más se implementa debido a la disposición de información que existe en ese modelo, es la especificación 500-1P, que se encuentra descrita en la guía del INVIAS de diseño de pavimento. [36]

2.1.1. Principales ventajas

Se considera una alternativa que involucra menos costos en su construcción, además que brinda una utilidad por un periodo de diseño de 20 años.

Adicional a esto no requiere mantenimiento, o limpieza de obras de drenaje, no necesita mayores cambios en cuanto a la geometría de la vía existente. Por lo que resulta ser un recurso aprovechable para el déficit que tiene el país en infraestructura vial.

2.1.2. Principales requisitos

El principal enemigo de cualquier sistema de pavimento, es el agua, por lo que es primordial proporcionar manejo a las precipitaciones, y en estas estructuras se controlan con un buen diseño de obras de drenaje.

Para determinar su viabilidad también es fundamental considerar como vehículo de diseño un camión C-3, ya que cumple con los mínimos y máximos requerimientos que se consideran para el uso vial. [12]

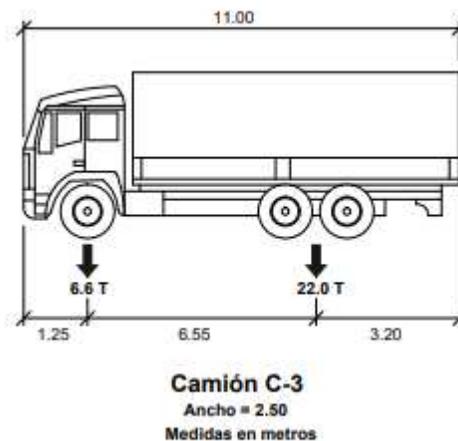


Figura 2-1. Vehículo de diseño Camión C-3. Tomado de Manual de Diseño Geométrico INVIAS

En el capítulo 1 de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella, se encuentran los aspectos más importantes a considerar para la Placa Huella, algunos aplicables para cualquier diseño.

2.1.3. Aspectos importantes de la Placa-Huella

En el capítulo dos de la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella, presentada por el instituto nacional de vías (INVIAS), se encuentran los aspectos más importantes a considerar para la Placa Huella, en su mayoría, aplicables para cualquier diseño. [12]

En la mayoría de los casos se manejan dimensiones similares, como es el caso del espesor único de subbase de 15 cm, exceptuando, suelos con valores de CBR inferiores al 3%, ya que estos se consideran suelos de comportamiento complejo y se necesita usualmente un

procedimiento para el mejoramiento de este. Así mismo, se estipula un espesor de concreto de 15 cm por practicidad para considerar una duración de un periodo de al menos 20 años.

En cuanto a la sección transversal en tangente lo más recomendable es no manejar un ancho superior o inferior a los 5 m, esto puede incurrir en daños en la estructura, pues en términos generales debe impedirse que el tráfico use la sección de piedra pegada, ya que es la placa huella la que cumple con la función de resistir los esfuerzos producidos por el tránsito de vehículos. En caso de solicitarse una ampliación o reducción en el ancho, puede modificarse cambiando el ancho de las franjas exteriores de piedra pegada y el ancho de la berma cunetas.

En cuanto a las dimensiones de las Placa-Huellas, tienen anchos y largos estipulados, la propuesta de la guía de construcción contempla un sistema armable usando “fichas”, como un juego de lego, donde estas corresponden a placa-huella de forma rectangular o ligeramente trapezoidal de anchos preestablecidos y longitudes entre 1 m y 2.8 m

La cuantía de acero requerida está en función del largo de la placa huella, se sugiere actuar con base en la longitud de 2.8 m, ya que esta sección, se considera la más crítica, en cuanto al acero de las riostras no están en función de la longitud. La longitud de la riostra varia y se ajusta al ancho de la sección transversal y su ancho se estipula de 20 cm.

La piedra pegada se utiliza para disminuir costos en construcción del pavimento, por eso se utiliza para los espacios en los que no existirá el peso del vehículo que transite. Ya que los elementos que soportan los esfuerzos producidos por el paso de vehículos son las Placa-huella. En cuanto a su composición, se recomienda emplear canto rodado ya que presentan mayor resistencia al desgaste.

Los elementos de drenaje superficial se funden monolíticamente y articulados estructuralmente con la riostra, esto con el fin de evitar la junta que provocaría división entre ambos elementos, lo que podría traducirse en infiltraciones de agua.

Para garantizar la calidad aceptable para el pavimento de concreto debe cumplirse la compresión a los 28 días de $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

Si la superficie existente no permitió configurar el bombeo en las tangentes -2% y el peralte y su transición en las curvas 2%, esto se hace en el momento de construir la subbase.

Por lo que la subbase tendría la calzada espesor superior al mínimo de 15 cm.

- Placa Huella y riostra

- Placa huella

La longitud máxima de la placa-huella es de 2.8m, La longitud máxima de un módulo es de 3m y corresponde a la longitud del módulo en tangente.

- En las curvas horizontales la longitud de la placa-huella puede variar, entre 1m y 2.8m.
- El ancho de la placa-huella en tangente es de 0.9m.
- Según la deflexión y radio de curvatura de las curvas horizontales pueden necesitarse placa-huella de anchos mayores. (en curva se consideran tres valores, 0.9m, 1.35m, 1.8m)
- El espesor de la placa-huella es de 0.15m
- Debe soportar los esfuerzos que se producen por el paso de los ejes de los vehículos.

- Riostra

Es una viga transversal de concreto reforzado en la que el acero de refuerzo se entrecruza con el de la placa huella del módulo anterior y el acero de refuerzo de la placa huella siguiente.

- Ancho de 20 cm.
- El peralte de la riostra es de 30 cm, se apoya sobre la superficie sobre la que se construye la subbase, que se ubica antes del solado de limpieza de 3 cm de espesor.

Por lo que requiere:

- Excavar en la subbase, una zanja transversal de 20cm de ancho y 18 cm de profundidad en la sección dónde se construirá la riostra.
- Se debe compensar la diferencia entre el peralte de la riostra+ el solado de limpieza y el espesor de la placa huella ($0.3+0.03-0.15=0.18\text{m}$)

- La subbase se extiende de forma compacta en toda su longitud, ancho y posteriormente se construyen zanjas transversales para alojar riostras.
 - La longitud de la riostra varia, y se ajusta al ancho de la sección transversal, sea en tangente, curva o en transición del sobreebanco o en zona de cruce.
 - La función es confinamiento transversal y longitudinal de elementos del pavimento.
- Piedra pegada

Es una capa de concreto ciclópeo con espesor de 0.15m.

Funciones:

- Disminuir costos en construcción del pavimento,
 - Busca que los conductores no circulen por fuera de las placas huellas, son los elementos que realmente soportan los esfuerzos producidos por el paso de vehículos.
 - Contribuir a la estética del camino.
- Berma-cuneta y bordillo

Elementos de drenaje superficial es concreto reforzado, fundidos monolíticamente y articulados estructuralmente con la riostra.

Se funden monolíticamente para evitar la junta que haría división entre ambos elementos, creando una fisura que permita infiltraciones.

Funciones:

- Servir como franja estacionaria temporal en caso de que un vehículo lo solicite, permitiendo el flujo vehicular.
- Permitir recolección de aguas lluvias conducir las a su respectiva evacuación.
- Brindar confinamiento a la subbase.

2.2 Metodología de diseño de la PCA 84

La metodología de diseño de la PCA (Portland Cement Association), se basa en una combinación de estudios teóricos resultado del modelo y prueba de escala real y en experiencias adquiridas del comportamiento de pavimentos en concreto. Este procedimiento fue publicado inicialmente en el año 1961, pero fue revisado en el año 1984.

En este tipo de análisis no se tienen en cuenta los ejes equivalentes sino los tipos de ejes, sencillos, dobles, triples o de diferentes cargas, lo cual refleja un análisis más detallado respecto al tipo de ejes presentes en el pavimento.

Como consideraciones de diseño se tienen en cuenta la resistencia del concreto a la flexión, el soporte de la subrasante y la sub-base y las cargas de tránsito.

Los criterios de diseño de la metodología PCA son la erosión de la sub-base, por debajo de la losa y el criterio de fatiga del concreto.

El criterio de falla de esta metodología se asocia a la vida útil de la losa, este llega a su final cuando se presenta la ruptura de la placa de concreto ya sea por fatiga o por erosión, pero hay que tener en cuenta que no se tienen en cuenta criterios importantes como son el servicio de la vía y el coeficiente de drenaje, los cuales generan impacto significativo en el espesor del pavimento a diseñar. (Gonzales y Vanegas, 2016)

2.3 Método de elementos finitos

El método de elementos finitos es un método numérico para la resolución de ecuaciones diferenciales. Las ecuaciones diferenciales rigen el comportamiento de un gran número de fenómenos estudiados, por ejemplo, el comportamiento de flexión de vigas. Estas ecuaciones tienen una forma particular de expresarse pidiendo el dominio que puede ser, por ejemplo, una estructura monolítica en un número finito de partes, de ahí viene el nombre del método, en contraste con el análisis diferencial donde se discretiza el dominio en un número infinito de partes con elementos infinitesimalmente pequeños. El método de elementos finitos divide el dominio en elementos más grandes.

Una investigación realizada en Colombia presenta una modelación con elementos finitos para estudiar el comportamiento de los pavimentos con placa-huella ante diferentes condiciones de carga y soporte. Se analizó la posibilidad de diseñar pavimentos con placa-huella de concreto simple, para las cargas máximas del camión C3 y con periodo de diseño de 20 años y se encontró que desde el punto de vista del criterio de fatiga esto sería posible, pero el comportamiento por erosión de estos pavimentos es incierto, debido a que

en la actualidad no existe suficiente información para calibrar un modelo para realizar la evaluación por este criterio. (Armando y Juan Carlos Orobio, 2016)

2.4 BS-PCA

Es un software de uso libre que agiliza el diseño para pavimentos y minimiza errores que se presentan en el método de diseño de la PCA de 1984, por lo que realiza cálculos para determinar el comportamiento que tendría la estructura por fatiga y erosión.

El programa proporciona un análisis que muestra en graficas el comportamiento de la estructura en función de parámetros como el espesor de la losa, el módulo de rotura de la reacción tanto de la subbase como la subrasante, el módulo de rotura del concreto, considerando un factor de seguridad.

Permite modelar distintas alternativas para el diseño de un pavimento, de una forma más ágil y con menos errores e imprecisiones en la obtención de datos que se obtienen de tablas y nomogramas de tal forma, se convierte en un eficaz método de conseguir los análisis que se obtienen con el método PCA de 1984.

2.5 EverFE 2.24

Es un software libre que emplea un análisis de elementos finitos 3D para pavimentos rígidos, dónde variando distintas condiciones, plasma distintos factores involucrados en el comportamiento de la estructura que se evalúa en un modelo representativo.

El EverFE 2.24 es una herramienta efectiva para analizar los distintos parámetros como la longitud y el espesor de la losa del pavimento rígido, así como el comportamiento que puede manifestarse en factores como alabeo, y en sí, evaluar que soportará las cargas que solicite el tránsito de vehículos en la vía correspondiente al estudio.

El fin de esta herramienta es brindar un análisis más detallado, simular las condiciones que se soliciten para obtener un resultado que garantice el periodo para el que se diseña la estructura de pavimento, y de esta forma, verificar las dimensiones que debe tener este para que se sostenga la viabilidad económica del proyecto.

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

2.6 Cálculo del tránsito

Para el diseño de una vía es fundamental conocer y estimar las fuerzas que debe soportar el sistema de pavimento que se solicite, esto se puede calcular según el volumen de tránsito que circulará durante un intervalo de tiempo determinado, así como su variación, su composición y su tasa de crecimiento.

A continuación, se plasma información que se proporcionó por la alcaldía de Timaná y que se realizó en conjunto con los exponentes de este proyecto de grado, esto se puede encontrar en el ANEXO A, donde se encuentra el informe detallado del estudio de tránsito. Para estimar el volumen de tránsito se realiza un conteo, que consiste en cuantificar el número e identificar el tipo de vehículos que pasan en determinado intervalo de tiempo.

Para el conteo se consideraron los siguientes tipos de vehículos para la estimación de Tránsito Promedio Diario (TPD).

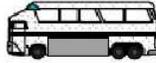
Autos	
Bus	
Busetas	
Camión C2	
Camión C3	

Figura 2-3. Clasificación de vehículos. Tomado de Ingeniería de tránsito y transporte (2010)

2.4.1. Factores para estimar el tránsito de diseño

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

- Distribución direccional

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	Fd
Menos de 5 m	Total, en los dos sentidos	1,0
Igual o mayor de 5m y menor de 6 m	3/4 de total en los dos sentidos	0,75
Igual o mayor de 6 m	1/2 del total en los dos sentidos	0,50

Tabla 2-1. Factor Direccional. Tomado de Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, 1998.

- Factor camión o factor daño

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

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

Tabla 2-2. Cargas de Patrón y Exponenciales. Tomado de Manual de Diseño de Pavimentos de concretos, INVIAS.

2.4.2. Ley de la cuarta potencia

$$FC = \left[\frac{P_i}{P_r} \right]^n \quad (1)$$

Dónde:

Fc: Factor camión

Pi: Carga por eje considerada

Pr: Carga patrón

n: Exponente

- Tasa de crecimiento anual

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

- Tránsito atraído

El tránsito atraído se considera al volumen de vehículos que circulará por la nueva vía, se determina según la economía de tiempo y/o en función de la calidad que se consigue con el nuevo servicio.

- Tránsito generado

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

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

Tabla 2-3. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal. Tomado de Ministerio de Transporte, 2010

2.7 Estudio geotécnico

- Estudio de campo

Para el desarrollo del proyecto es necesario la caracterización del subsuelo de la zona con el fin de estimar los parámetros de diseño para la ejecución del mismo. Para ello se lleva a cabo una exploración por medio de dos apiques por cada localización específica. En los apiques realizados se obtuvieron muestras alteradas y a las cuales se le realizaron ensayos de: Límites de Atterberg, humedad natural y granulometría para la muestra que lo ameritara. La recopilación de esta información se encuentra en el ANEXO C.

- Características geotécnicas de la subrasante

Para hacer un análisis de las características geo-mecánicas debe considerarse el reconocimiento de campo, la estratigráfica de la zona y los resultados de ensayos de laboratorio, las condiciones de estabilidad de la vía y los parámetros geotécnicos para el diseño. Uno de estos parámetros es el valor de CBR, ya que brinda información sobre las condiciones existentes del suelo.

Se realizó el cálculo de la resistencia del suelo por medio del equipo de PDC, en los anexos se presentan los datos obtenidos en campo por medio de un cuadro donde se indica la profundidad, golpes realizados, golpes acumulados, índice de penetración. A partir de las correlaciones del PDC para determinar el CBR propuestas por el INVIAS en la norma I.N.V. E-172-07.

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

Capítulo 3

3. Metodología

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto “MEJORAMIENTO VIAL EN ZONA CRITICA DE LA VEREDA ALTO SANTA BARBARA, K0+000 A K0+150 DEL MUNICIPIO DE TIMANÁ-HUILA POR MEDIO DE PLACA HUELLA” consta de dos principales fases, la primera es la fase de planeación del proyecto, se realiza una visita de campo para realizar un diagnóstico actual de la vía, señalando ubicación y posibles inconvenientes que puedan surgir, también se busca recopilar información suficiente de la zona, lo que implica el tipo de mejoramiento vial, la demanda de la vía, las condiciones del medio, etc.

En la fase dos se contempla todo lo que tiene que ver con el desarrollo del proyecto, donde se considera solicitar información requerida a la administración municipal, para analizarla en conjunto con la obtenida de la visita de campo, esta información consiste básicamente en estudios de tránsito, análisis de registros hidrológicos, geotécnicos, geométricos, las obras de arte, etc.

Este análisis permite arrojar un diseño que busque cumplir con los diferentes factores que se consideran en el mejoramiento vial que se plantea, dónde es posible determinar también el presupuesto y por ende la viabilidad del proyecto.



Figura 3-1. Metodología de propuesta de diseño para Placa-Huella.

3.1 Propuesta de diseño para Placa-Huella

Será el resultado obtenido con la recolección de datos correspondientes al ambiente, las características del suelo, las condiciones hidrológicas que se tienen en la zona, las principales limitaciones y todo aspecto a considerar para la elaboración de un diseño que pueda suplir con los requerimientos sobre los que se plantea el proyecto.

3.2 Recopilación de información

3.2.1. TPD

El tránsito promedio diario es el volumen vehicular que representa el volumen calculado en uno o más días.

El volumen vehicular se obtiene con un conteo y clasificación de vehículos que transitan por un tramo correspondientes a un día.

3.2.1.1. Incidencia de la intensidad y composición del tránsito

Si ningún vehículo que pueda circular por el pavimento con Placa-huella, de menor peso que el camión C-3, le produce falla a la placa-huella reforzada resulta innecesario efectuar estudios de tránsito (conteos, proyecciones, etc.). La única razón para realizar estudios de tránsito sería establecer si la vía demandaría la circulación de vehículos con dimensiones y peso mayores que los del C-3 durante el periodo de diseño.

En caso de identificarse la necesidad que durante la vida útil del pavimento a construir deban transitar por él vehículos de dimensiones y peso superiores a las del C-3, la construcción del pavimento con Placa-huella reforzada no sería viable según la guía.

Para realizar el cálculo del volumen y tránsito promedio diario que transita por las vías a intervenir, se tomaron dos días de la semana para realizar el aforo vehicular: sábado 15 de Julio del 2021 (día en que la población realiza mercado), y el día miércoles 19 de Julio este conteo se realizó continuamente de 6 a.m. a 6 p.m. totalizando en intervalos de 1 hora. Con equipo de una persona.

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

- Distribución direccional

Para la vía Alto Santa Barbara se considera que la circulación va en las dos direcciones con un ancho de la calzada crítico de 5 m, lo que da una distribución direccional de uno (1), valor que se muestra en la Tabla 2-1.

- Factor camión o factor daño

Para la estimación de los ejes equivalentes se realizó el cálculo teniendo en cuenta la ley de la cuarta potencia utilizando las cargas patrón y exponenciales propuestas por el INVIAS en el Manual de Diseño de pavimentos de concreto, Tabla 2-2.

Resultados obtenidos en el conteo

ALTO SANTA BARBARA								
	TPD	AUTO	BUSES	C2P(%)	C2G(%)	C3(%)	MOTOS	HORA PICO DIA PICO
VOL MAX	59	10	1	0	0	0	48	FHP=VH/4*QMAXIMO() 0.88
MIERCOLES	100%	17%	2%	0%	0%	0%	81%	
VOL MAX	88	25	3	0	0	0	60	
SABADO	100%	28%	3%	0%	0%	0%	68%	

Tabla 3-1. Porcentaje Vehículos obtenidos en el aforo.

Para plantear un diseño fiable es necesario evaluar ciertos factores que son indispensables a la hora de considerar cualquier diseño o elegir el método correcto.

3.2.2 Estimación del número de ejes equivalentes para diseño

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

Tránsito promedio diario semanal

Cálculo de volumen de vehículos comerciales día en ambas direcciones.

$$TPDS = \frac{M_a * 6 + S_a * 1}{7} \quad (2)$$

Donde:

Ma: Número de vehículos comerciales día normal

Sa: Número de vehículos comerciales día mercado

ALTO SANTA BARBARA	
TPS	63.14

Tabla 3-2. Tránsito promedio diario obtenido en Alto Santa Barbara.

Basado en los resultados anteriores tomamos como guía de diseño los resultados obtenidos para el sector Alto Naranjal, el cual maneja un Flujo vehicular más alto lo que de termina un mejor diseño de la estructura.

- Parámetros de diseño

Período de diseño (años)	20
Tasa de crecimiento anual (r)	3%
Ancho de la calzada Crítico	5
Factor direccional (Fd)	1
Confiabilidad	85%

Tabla 3-3. Parámetros de diseño.

Calculo TPD

Número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

N_{80KN} carril diseño (normal) Año base

$$= 365 \left[\sum_{i=1}^k (\text{Veh. comerciales}_{\text{día 2 direcciones}} * \%V_k * FD_k) \right] \quad (3)$$

Donde:

% V_k: Porcentaje de vehículos comerciales.

FD_k: Factor daño

Fd: Factor direccional

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

$$N_{80KN} \text{ Carril diseño(normal)acum.} = N_{80KN} \text{ Carril diseño(normal), Año base} * \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (4)$$

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

$$N'_{80KN} \text{ Carril diseño(normal)} = N_{80KN} \text{ Carril diseño(normal)acum.} * (10^{0.05 * Zr}) \quad (5)$$

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

$$N_{80KN} = N'_{80kN \text{ Carril diseño (normal)}} + (N'_{80kN \text{ Carril diseño (normal)}} * 0.1) + (N'_{80kN \text{ Carril diseño (normal)}} * 0.025) \quad (6)$$

Descripción	Total
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño.	151.859
Número acumulado de ejes equivalentes en el carril de diseño para el periodo de diseño.	4.073.261
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado	4.589.485
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño durante el periodo de diseño (tránsito normal) con el nivel de confianza dado y el tránsito atraído y generado.	5.163.170

Tabla 3-4. Número de ejes equivalentes.

- Percentil estadístico:

El número de ejes equivalentes calculado en el capítulo de análisis de tránsito para el presente proyecto es de 4.561.828, lo que indica un percentil de 87.5%.

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

Tabla 3-5. Valor percentil por nivel de tránsito. Tomado de Instituto del Asfalto, 1991.

- Desviación estándar de los valores de CBR

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (CBR - CBR_i)^2}{n-1}} \quad (7)$$

Donde:

CBR_i : Valor de cada ensayo de CBR (%)

n : Número de valores de CBR

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

- Desviación estándar normal (Z).

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

- CBR de diseño

$$CBR_{diseño} = CBR - (Z * \sigma) \quad (8)$$

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

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

Tabla 3-6. % CBR de diseño de la Sub-rasante.

3.3. Propiedades del subsuelo

Para la obtención del valor de CBR in situ, se realizó un ensayo con el equipo PDC, propuesto en la norma I.N.V.E-172-07.

Este ensayo consiste en emplear un penetrómetro dinámico de cono, este consta de una varilla de acero que se introduce en la muestra del suelo y un martillo deslizante que se sitúa a determinada altura y se deja caer para leer la medición en una regla que viene incorporada en el dispositivo.

En cuanto al proceso de obtención de datos, consiste básicamente en levantar el martillo y dejarlo caer desde la altura ya preestablecida, cuidando que no entre en contacto con la parte superior del PDC ni que se emplee una fuerza sobre el martillo adicional.

Se repite la misma dinámica varias veces, para así recopilar y registrar la penetración total, que queda en términos de milímetros por golpe, estos valores se emplean para estimar un CBR a través de unas formulas propuestas por la misma normativa, y este

cálculo se realiza para cada PDC obtenido en el laboratorio, de tal forma en que pueda obtenerse el valor promedio del CBR in situ. Se adjunta informe Geotécnico, ANEXO C.

3.3.1.1. Incidencia de la capacidad de soporte de la subrasante

La capacidad de soporte de la subrasante es importante en la rigidez de la subrasante y subbase, este conjunto es el apoyo sobre el que se construyen los elementos estructurales, como las placas-huellas, las riostras, la piedra pegada, bermas-cunetas y bordillos.

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

Por lo anterior se encuentra que CBR de diseño tiene buenas características y es un suelo que no necesita mejoramiento.

$$\text{CBR: } 3\% < 7.4\%$$

3.4. Datos hidrológicos

Los datos hidrológicos relevantes para el proyecto contemplan los principales agentes como son las precipitaciones, posible incremento de caudales de escorrentía superficial, etc. Para esto es necesario conocer los meses más lluviosos, los sectores donde se concentran los valores más significativos de precipitación en la zona de estudio.

3.4.1.1. Incidencia del clima

La temperatura y la precipitación son dos variables climáticas que ejercen influencia en el comportamiento de los pavimentos.

La temperatura influye específicamente en las losas de concreto produciendo esfuerzos por alabeo que son consecuencia de gradientes térmicos. Dado que el acero

de refuerzo de las placa-huellas absorbe estos esfuerzos la caracterización de la temperatura en la zona del proyecto es irrelevante.

La precipitación máxima absoluta en 24 horas es de 105 mm con una desviación estándar de 17.56 y una media de 76.6. (ver ANEXO 3)

3.5. Procedimiento para evaluar cargas con EverFe 2.24

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

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

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante se realizó una correlación con el valor del **CBR** calculado anteriormente (**7.4%**); según lo mencionado del método PCA el valor de K para la subrasante en estudio es de 49 MPa/m. (Figura 3-2).

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

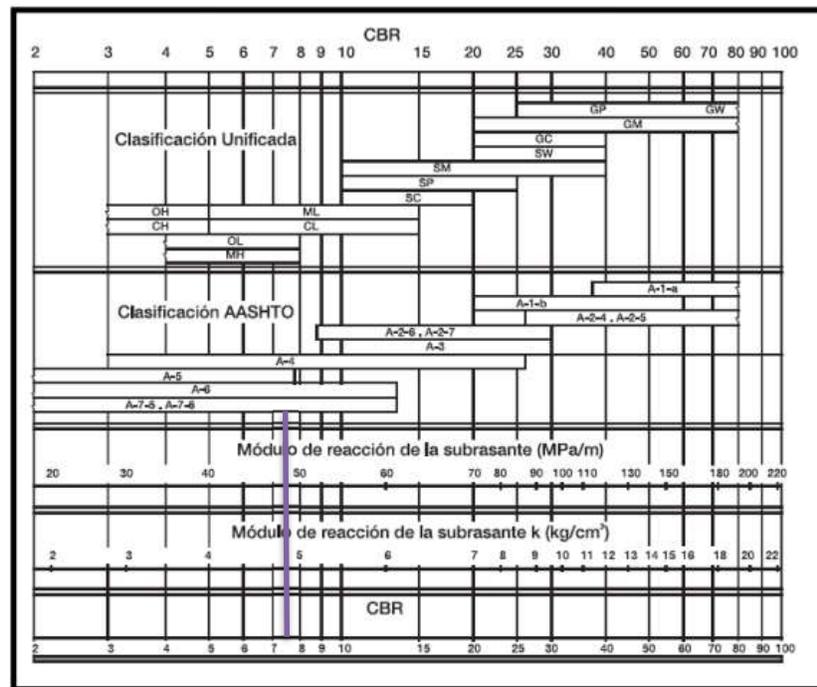


Figura 3-2. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. Fuente: INVIAS. Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito. Colombia, 2008. P. 77.

Modelo 1

Se emplea el modelo propuesto por la guía de diseño de pavimentos tipo placa huella del INVIAS, el cual consiste en evaluar el comportamiento que se producirá en las losas, producto de las cargas ejercidas por el vehículo diseño, esto se determina ubicando las ruedas del vehículo en la mitad de la losa, centro borde, y esquina, para esto se emplea una carga de un semieje simple de rueda doble de 40 kN, correspondiente a un eje estándar de 80 kN, con separación entre ruedas de 0.24m.

Se realizan dos tipos de variaciones, la primera consiste en ingresar distintas longitudes y la segunda en variar espesores, esto con el fin de determinar el esfuerzo máximo de tensión, en las diferentes posiciones de carga, los resultados arrojan que el esfuerzo máximo de tensión se produce en la losa de 1.5 m de longitud con espesor de 0.15 m, así como es posible evidenciar en que el Centro- Borde es la posición más crítica en todos los casos.

En cuanto a las características de la losa, se observa que, en todas las longitudes, el esfuerzo disminuye cuando el espesor de la placa aumenta, y al variar las longitudes en

todos los espesores, se observó que, a menor longitud, menor es el esfuerzo máximo de tensión.

VARIABLES	VALORES	UND
Ancho Placa-Huella	1	mts
Longitud Placa-Huella	1- 2	mts
Espesor Placa-Huella	0.15- 0.2	mts
Capa granular	0.15	mts
Modulo	200	Mpa
Modulo Resiliente	24.1	MPa
Carga Semi Eje Simple	40	KN
Carga Eje estandar	80	KN
Separación de ruedas	0.324	mts

Tabla 3-7. Tabla resumen de datos para evaluar cargas en el sistema de pavimento tipo Placa-Huella

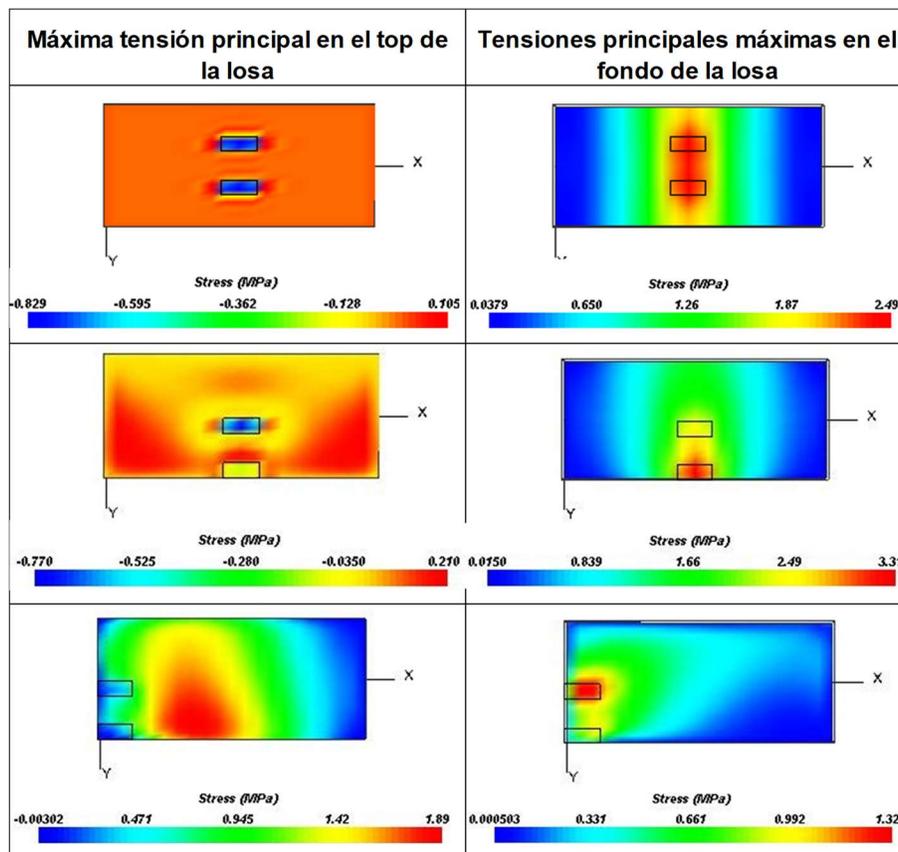


Figura 3-4. Tensiones principales en la parte superior y en el fondo de la losa para diferentes posiciones de carga. Fuente: Propia.

Modelo 2

Este modelo consistió en evaluar tres Placa Huella de concreto donde se evalúa el comportamiento según la longitud de las losas, para esto se empleó una losa de 0.9 m de ancho y 1 m de longitud, la carga que se empleó para evaluar el comportamiento de la losa es la de un semieje tándem de 100 KN, 50 KN en cada rueda doble del semieje tándem, el procedimiento de este ejercicio consiste en ubicar uno de los eje tándem en Centro Borde, ya que el resultado del “Modelo 1” arrojó se trata de la posición más crítica, y en otro eje del tándem se ubica en la placa adyacente, esto empleando diferentes espesores de placa.

VARIABLES	VALORES	UND
Ancho Placa-Huella	0.9	mts
Longitud Placa-Huella	1	mts
Carga semi Eje Tandem	100	KN

Tabla 3-9. Tabla resumen de datos para evaluar cargas en el sistema de pavimento tipo Placa-Huella- Modelo 2

Para este análisis se realizaron ensayos con diferentes dimensiones de losas (longitudes de 1 m, 1.5 m y 2m), y distintos espesores (0.15m y 0.20 m), en cuanto a las características definidas de la losa de concreto que se emplearon, son las siguientes:

Módulo de elasticidad	21000 Mpa
Coefficiente de Poisson	0.15
Coefficiente de expansión térmica (α):	1.1x 10 ⁻⁵
densidad de la losa:	24000 Kg/m ³

Tabla 3-10. Datos ingresados para la evaluación del modelo 2 en EverFE 2.24.

Parámetros para losa de concreto		
v	Coefficiente de poisson	0.15
d	Densidad de la losa	2400 kg/m ³
E	Módulo de elasticidad	21000 MPa
α	Coefficiente de expansión	1.1X10 ⁻⁵
MR	Modulo de ruptura	3 Mpa

Tabla 3-12. Parámetros para losa de concreto. Fuente: Propia.

Parametros para base granular		
E	Módulo de elasticidad	200 MPa
v	Coefficiente de poisson	0.35
d	Densidad de la losa	1700 kg/m3

Tabla 3-13. Parámetros para base granular. Fuente: Propia.

Parametros para subrasante		
E	Módulo de elasticidad	24.1 MPa
v	Coefficiente de poisson	0.45
d	Densidad de la losa	1700 kg/m3

Tabla 3-14. Parámetros para subrasante. Fuente: Propia.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

Con ayuda de los programas EVEFe 2.24 y PCA, encontramos algunos resultados que nos permiten definir la mejor opción de diseño para la construcción de una placa huella como sistema de mejoramiento vial en la vereda Alto de Santa Bárbara del municipio de Timaná según las cargas estimadas y el estudio de TPD.

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

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

4.1 Análisis de modelo 1

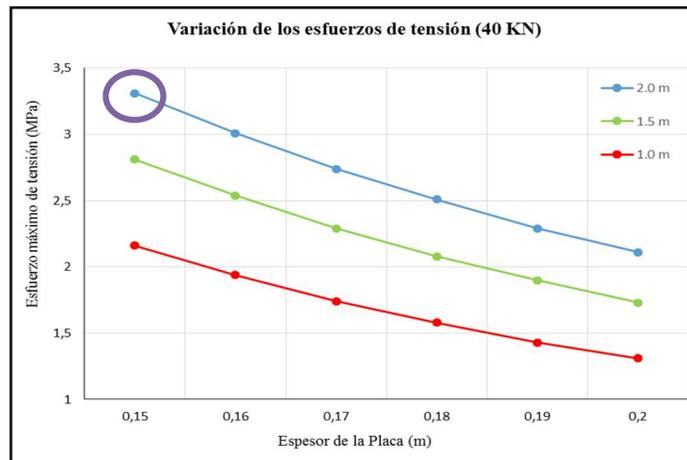


Figura 3-5. Esfuerzos máximos de tensión del modelo 1. Fuente: propia.

Observando los resultados se infiere que en todos los casos el esfuerzo máximo de tensión se presenta cuando la carga está ubicada en la posición centro - borde. En cada longitud de Placa Huella evaluada, el esfuerzo disminuye con el incremento del espesor de la placa.

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

Tabla 4-1. Esfuerzo máximo de tensión (MPa) para diferentes posiciones de carga. Fuente: propia

Cuando se comparan los esfuerzos entre las diferentes longitudes, se encuentra que, a menor longitud de la Placa Huella, menor es el esfuerzo máximo de tensión al comparar placas del mismo espesor (15 cm).

2.81 MPa < 3 MPa. CUMPLE

4.2 Análisis de modelo 2

Cabe anotar que el valor del esfuerzo máximo de tensión tomado como referencia para el análisis para falla por carga última los resultan es de 3.0 MPa según la Guía de Diseño. [12]

Al evaluar el modelo 2 con un semieje tándem de 100 kN ubicado en la posición crítica centro - borde y las características propias del terreno de fundación y de los materiales a emplear, se observa que los esfuerzos máximos de tensión en las placas con un espesor entre 15 cm y 19 cm son superiores a 3 MPa, lo que indica que bajo el criterio dado en la Guía la placa fallaría por carga última.

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

15 cm – 19 cm > 15 cm = 3,1 > 3 MPa, NO CUMPLE

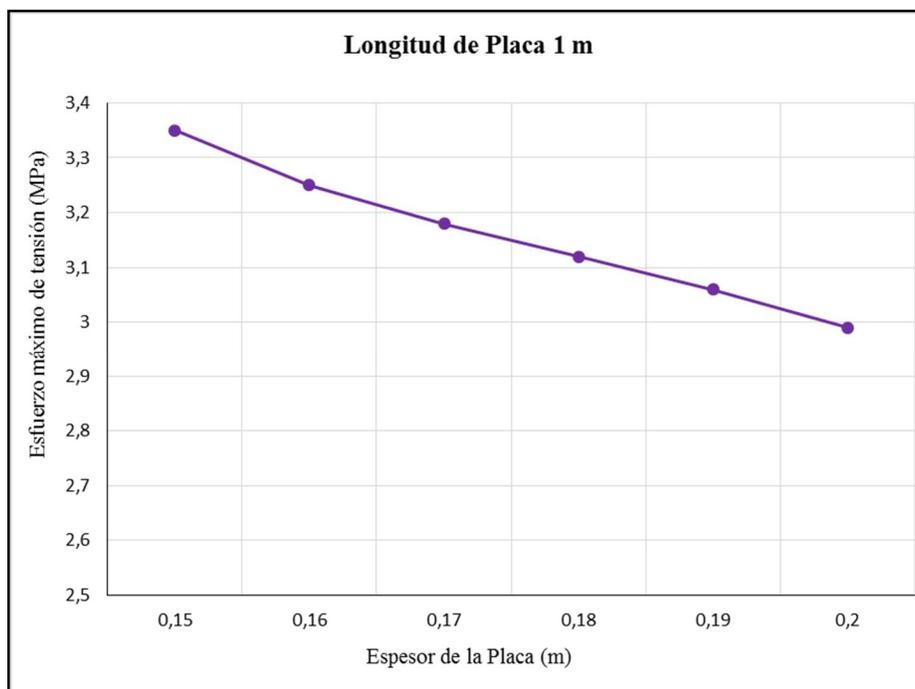


Figura 3-6. Esfuerzos máximos de tensión del modelo 2. Fuente: propia.

4.3 Cálculo de la estructura con la metodología PCA

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

- Repeticiones Esperadas
- SRS con una configuración de carga de 4 Ton. en cada eje.
- SRD con una configuración de carga de 4 Ton. y 7 Ton. respectivamente.
- SRT con una configuración de carga 6 Ton. y 22 Ton. respectivamente.

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

Año	2020	2021	Cargas Por Eje (Ton.)					4 Ton. (SRS)	6 Ton. (SRS)	7 Ton. (SRD)	22 Ton. (SRT)
			1 EJE		2 EJE		Σ				
TPD	449	476	1 EJE		2 EJE		Σ				
A	233	247									
B	2	2	4	SRS	4	SRS	8	4			
C	107	114									
C2P	50	53	4	SRS	4	SRS	8	106			
C2G	55	58	4	SRS	7	SRD	11	58		58	
C3	2	2	6	SRS	22	SRT	28		2		2
Nrep2019-2038								1.679.085	21.121	580.815	21.121

Tabla 4-1. Numero De Repeticiones esperadas para el periodo de diseño.

$$Nrep = N_{rep.día} \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \quad (9)$$

Módulo de rotura del concreto (MR):	3.8 MPa
Módulo de reacción (KCOMBINADO):	49 Mpa/m
Factor de seguridad de carga (Fsc):	1
Factor de mayoración derepeticiones (Fmr):	1
Berma	NO TIENE
Pasadores	NO TIENE

Tabla 4-2. Tabla resumen datos ingresados en modelo BS-PCA.

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

```

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :
      Resistencia K del Apoyo : 49 Mpa/m
      Espesor Losa : 150 mm
      Modulo de Rotura : 3.8 Mpa
      Bermas : NO
      Pasadores : NO
      Factor de Seguridad Cargas : 1
      Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga      Carga  Repeticiones  Repeticiones  Consumo  Repeticiones  Consumo
Tn         FS      Esperadas     Admisib_Fatiga Fatiga     Admisi_Erosion Erosion
           kN                                     %
EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente: 2,0  Factor Esfuerzo: 0,5322  Factor Erosion: 3,1610

  4,00  39,20    1.679.085          Inf    0,00          Inf    0,00
  6,00  58,80    21.121            Inf    0,00    14.433.295    0,15
  7,00  68,60    580.815    7.128.213    8,15    4.828.105    12,03

EJES TANDEM

Esfuerzo Equivalente: 1,7  Factor Esfuerzo: 0,4509  Factor Erosion: 3,2930

  22,00  215,60    21.121    30.030    70,33    140.603    15,02

EJES TRIDEM

Esfuerzo Equivalente: 1,3  Factor Esfuerzo: 0,3372  Factor Erosion: 3,3330

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

Figura 3-7. Informe del software BS-PCA. Fuente: Propia.

Como resultado de la evaluación en el programa BS-PCA y teniendo en cuenta resultados obtenidos en el análisis realizado con EverFE para la posición más crítica, el espesor de la Placa Huella es de 0.15 m.

4.4 Propuesta de Placa-Huella

Para plantear un diseño fiable es necesario evaluar ciertos factores que son indispensables a la hora de considerar cualquier diseño o elegir el método correcto. (Ver ANEXO E)

4.4.1. Características generales del proyecto

4.4.1.1. Generalidades del municipio de Timaná

a) Localización

El proyecto a desarrollar se encuentra ubicado en el Municipio de Timaná en el departamento del Huila, en la zona sur del departamento, a 467 Km de Bogotá con una altitud de 1.100 msnm y una población de 20,315 habitantes, de la cual alrededor del 64% es rural. El municipio cuenta con 37 veredas y 2 Inspecciones.



Figura 4-1. Mapa político Municipio de Timaná. Tomado de Portal web de la Wikipedia y Gobernación del Huila.

Alto Santa Bárbara es una de las veredas más alejadas y de difícil acceso del casco urbano del Municipio de Timaná, y por ende la vía destinada para el Proyecto es bastante importante.



Figura 4-2. Mapa satelital de las zonas del proyecto. Tomado de Google Earth.

b) Geología

Timaná y los demás municipios de la cuenca del Magdalena se encuentran en una zona catalogada como de alta amenaza sísmica por la presencia de numerosas fallas geológicas. Esto incurre en liberación y acumulación de energía, así como fracturamientos que implican inestabilidad.

4.4.2. Usos del suelo y actividades económicas

En la agricultura de Timaná predomina la caficultura, para la parte pecuaria se observan tanto el cultivo de praderas mejoradas para ganado doble propósito (carne y leche), como pastos de corte, que sirven de suplemento.

4.4.3. Criterio de diseño adoptado

El criterio adoptado se basa completamente en la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella, consiste en diseñar losas (placas-huella) de quince centímetros (0,15 m) de espesor en concreto reforzado totalmente apoyadas sobre la subbase, complementadas con vigas transversales (riostras) también reforzadas, uniformemente espaciadas y totalmente apoyadas que aportan confinamiento a todos los elementos de la sección transversal. El acero de refuerzo de placa-huellas y riostras se entrecruza para hacer que el conjunto trabaje monolíticamente.

El espesor de placa-huella de 0.15 m se definió porque es el mínimo espesor que permite cumplir con el recubrimiento mínimo del acero en losas que están en contacto con el suelo.

Las placas-huella y riostras están diseñadas con capacidad estructural suficiente para que el paso de un camión C-3 con veintidós (22) toneladas en su eje tándem no genere esfuerzos superiores a los esfuerzos admisibles de la placa-huella reforzada. Lo anterior implica que si un camión C-3 no produce falla tampoco lo harían vehículos de menor peso que el del C-3.

4.4.4. Características de la mezcla de concreto

Consecuentemente con lo expuesto se consideran los siguientes parámetros.

Los de la mezcla deben ser:

|

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

4.4.5. Resistencia del acero de refuerzo

El acero se define por su resistencia y se contempla mínimo f_y :

$$4200 \text{ Kg/cm}^2 _ f_y _ 5200 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Fuente: CCP-14).}$$

Independiente del diámetro o varilla a usar en los elementos estructurales. Según las barras de refuerzo corrugado deben ser de acero de baja aleación que cumplan con las Normas NTC-2289 – (ASTM A706M). No se permite el uso de acero corrugado de refuerzo fabricado bajo la norma NTC 245, ni aceros trabajados en frío o trefilado. Seguir lo indicado en el capítulo C-7 de la Norma NSR-2010.

Cuando sea necesaria ductilidad soldadura, deben especificarse aceros que cumplan con las exigencias de la norma ASTM A 706 “Low Alloy Steel Deformed Bars for Concrete Reinforcement”.

El módulo de elasticidad del acero se define $E_s=200.000 \text{ Mpa}$

4.4.6. Placa-Huella en concreto reforzado

La metodología de diseño consistió en aplicar el Modelo de Elementos Finitos (FEM) para calcular los esfuerzos y deformaciones que se presentarían debido a la aplicación de las cargas vivas y muertas, tanto mayoradas como sin mayorar, en función de las exigencias de los códigos NSR-2010 y CCP-14, con los resultados obtenidos asociados a momentos, (M), cortantes (V), cargas (P), sea en placas o elementos viga o Beam (Frame), se procede a aplicar la Teoría de Resistencia I propuesta en el CCP-14, incluyendo la metodología de cálculo expuesta en dicho código para el diseño a momento y cortante.

4.4.6.1. Dimensiones y refuerzo

El diseño de la Placa huella reforzada, establece que los efectos derivados de la disminución de la longitud de la placa, mejores condiciones de apoyo o mayor ancho de la huella permiten una leve disminución de los esfuerzos en los elementos, que mejoran las condiciones de seguridad, pero no ameritan el cambio del refuerzo de la misma. Por lo anterior la placa-huella tendrá las siguientes características:

Longitud:

La longitud puede fluctuar entre un valor mínimo de un metro (1,00 m) y un valor máximo de dos metros con ochenta centímetros (2,80 m).

Ancho:

Las placas-huella pueden ser de tres anchos:

- Noventa centímetros (0,90 m).
- Un metro con treinta y cinco centímetros (1,35 m).
- Un metro con ochenta centímetros (1,80 m).

Espesor:

Quince centímetros (0,15 m). El espesor es igual para todos los tamaños de placa-huella.

Refuerzo longitudinal:

Una varilla número 4 cada quince centímetros (1#4@0,15), 960 und.

Refuerzo transversal:

Una varilla número 2 cada treinta centímetros (1#2@0,30), 500 und.

ITEM	PLACA HUELLA	LONGITUD M	CANTIDAD	TOTAL	PESO KG
1	Barra #4	6	960	960	954.24
2	Barra #2	4.5	500	500	280
				TOTAL	1234.24 KG

Tabla 4-3. Tabla resumen despiece de acero para Placa Huella

La longitud de traslape de las varillas longitudinales #4 es de mínimo sesenta (60 cm) centímetros.

Con referencia al refuerzo requerido por las placas-huellas es pertinente manifestar:

- Los mayores esfuerzos se presentan en la placa-huella de dos metros con ochenta centímetros (2,80 m) de longitud y noventa centímetros de ancho (0,90 m). A medida que la longitud disminuye o el ancho aumenta los esfuerzos tienden a ser menores. Sin embargo, la disminución de los esfuerzos, y por consiguiente del requerimiento de refuerzo, no es lo suficientemente sensible como para justificar, desde los puntos de vista constructivo y económico, proponer diseños diferenciales.
- El refuerzo arriba indicado es el resultado del análisis estructural del caso crítico y por lo expuesto en el párrafo anterior también se debe usar para todas las placas-huella independientemente de su forma y dimensiones. Se menciona la forma porque en las curvas horizontales resultan placas-huella ligeramente trapezoidales debido a que las riostras no son totalmente paralelas y a que en la transición del sobreancho también algunas placa-huellas tienen forma trapezoidal.

4.4.6.2. Esquema en planta, perfil y detalles

El acero de refuerzo se debe colocar en la mitad del espesor de la placa-huella, lo que implica un recubrimiento de siete y medio centímetros (0,075 m) tanto en la cara superior como en la inferior.

Colocar el acero en la mitad del espesor parece improcedente ya que allí está el eje neutro. Sin embargo, los cálculos estructurales de la placa-huella, en la presente Guía, parten de que el acero está en el centro del espesor, posición que es beneficiosa ya que ésta única parrilla de refuerzo sirve para absorber esfuerzos tanto positivos como negativos que se producen por el desplazamiento de las cargas móviles. Además, permite cumplir con el recubrimiento mínimo establecido por el Código.

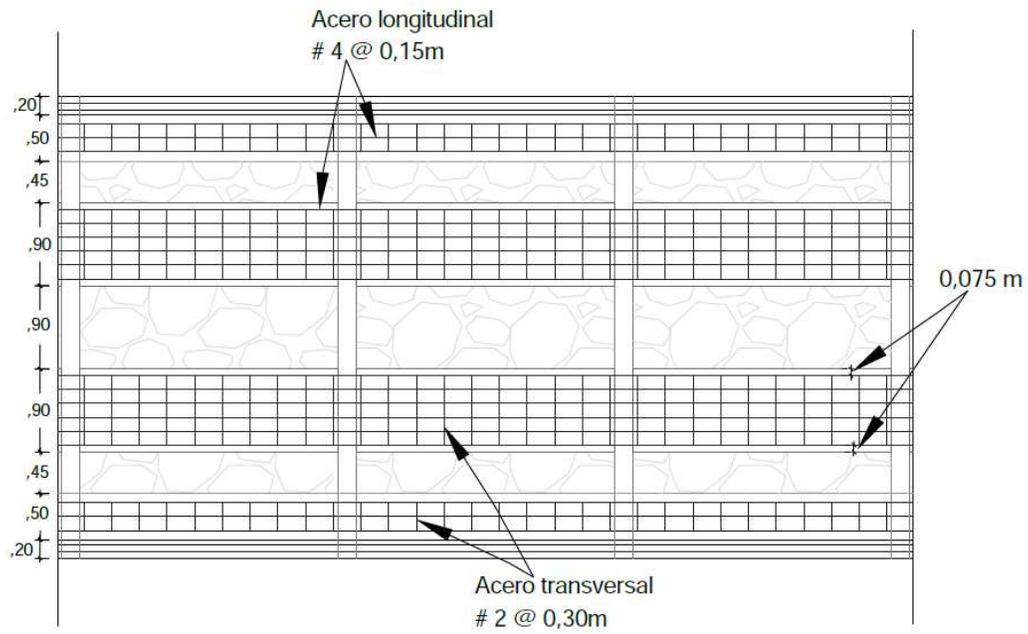


Figura 4-3. Planta de distribución del refuerzo. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

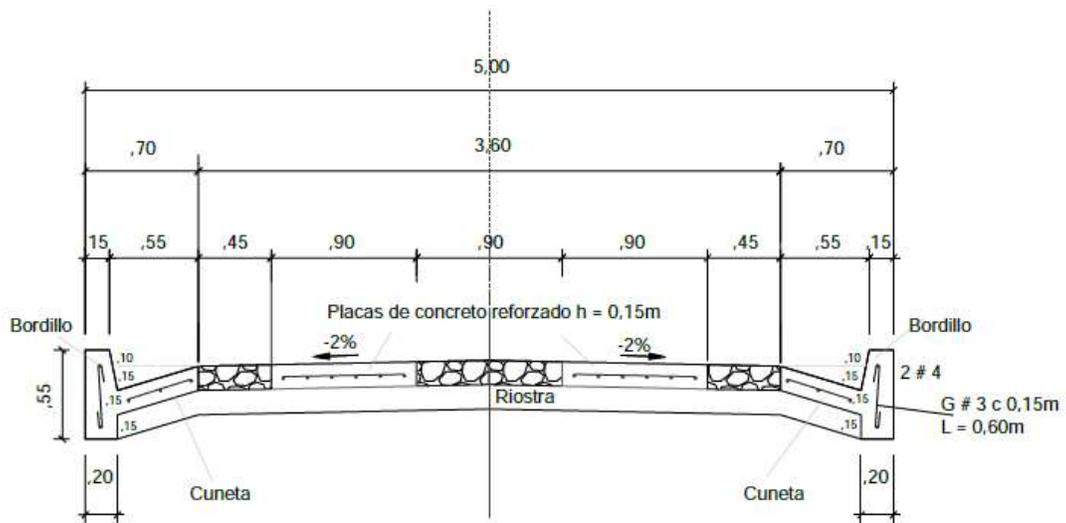


Figura 4-4. Corte transversal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

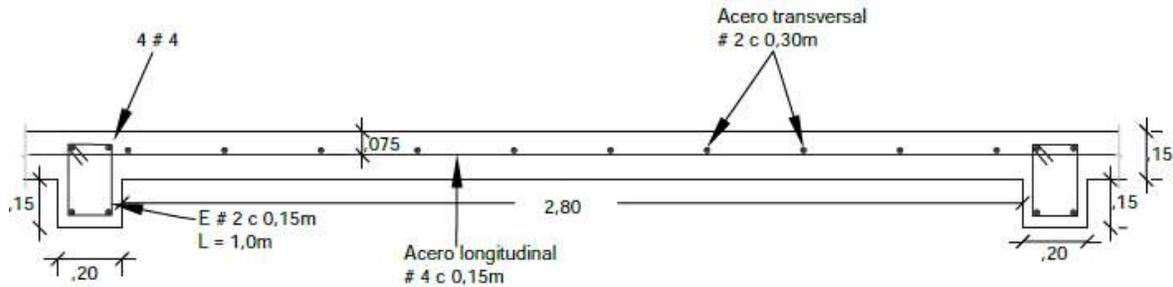


Figura 4-3. Corte longitudinal. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.7. Riostra

En cuanto a sus dimensiones y refuerzo, el modelo de Elementos Finitos desarrollado también permitió determinar los esfuerzos y deformaciones generados en la riostra a partir de los cuales se elaboró el diseño estructural de este elemento.

4.4.7.1. Dimensiones y refuerzo

Longitud máxima: 6,80 metros.

Ancho de la Riostra: 0,20 metros.

Peralte de la Riostra: 0,30 metros.

Refuerzo Longitudinal: Cuatro varillas número 4 (4#4).

Estribos: Una varilla número 2 cada 15 centímetros (1#2@0,15).

La longitud de traslape de las varillas longitudinales #4 es de mínimo sesenta (60,0 cms) centímetros.

El recubrimiento de las varillas longitudinales #4 es de siete comas cinco (0,075 m) centímetros en la parte inferior y de cuatro (0,04 m) centímetros en la parte superior.

ITEM	RIOSTRA	LONGITUD M	CANTIDAD	N RIOSTRAS	TOTAL	PESO KG
1	Barra #4	1.4	2	96	192	267.1872
2	Barra #4	4.6	2	96	192	877.9008
3	Barra #4	5.2	2	96	192	992.4096
4	Fleje #2 10x19 cms	1	42	96	4032	1008
TOTAL						3145.4976 KG

Tabla 4-4. Tabla resumen despiece de acero para Riostra.

4.4.7.2. Esquema en planta, perfil y detalles

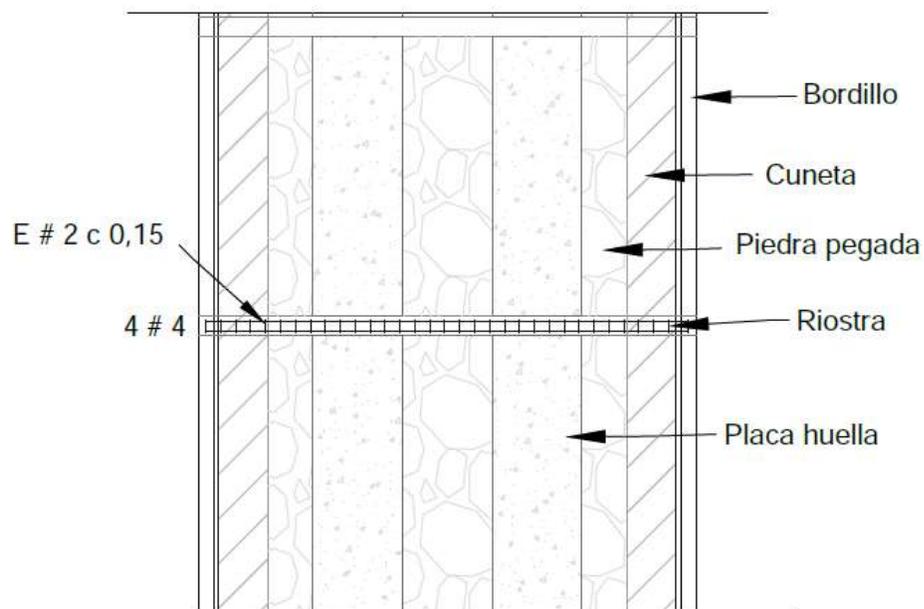


Figura 4-4. Vista en planta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

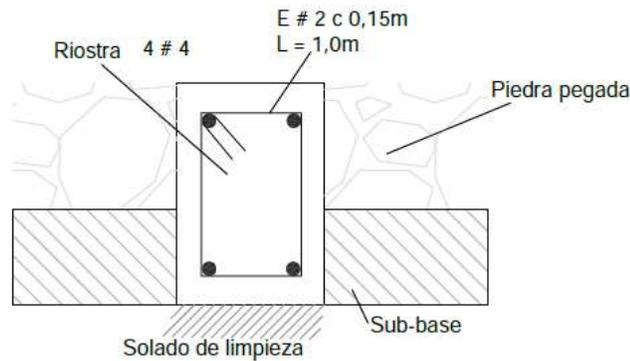


Figura 4-7. Corte transversal sección en piedra pegada. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.8. Juntas

El modelo consideró los elementos estructurales del pavimento en Placa-huella como una estructura monolítica, por ende, el proceso constructivo debe garantizar la transmisión de los esfuerzos y deformaciones de estos elementos, a continuación, se muestran los detalles de las diferentes juntas de construcción.

4.4.8.1. Junta Transversal de Construcción de la Placa-huella



Figura 4-8. Junta transversal de construcción en la Placa-huella. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.8.2. Junta Transversal de Construcción de la Berma - cuneta

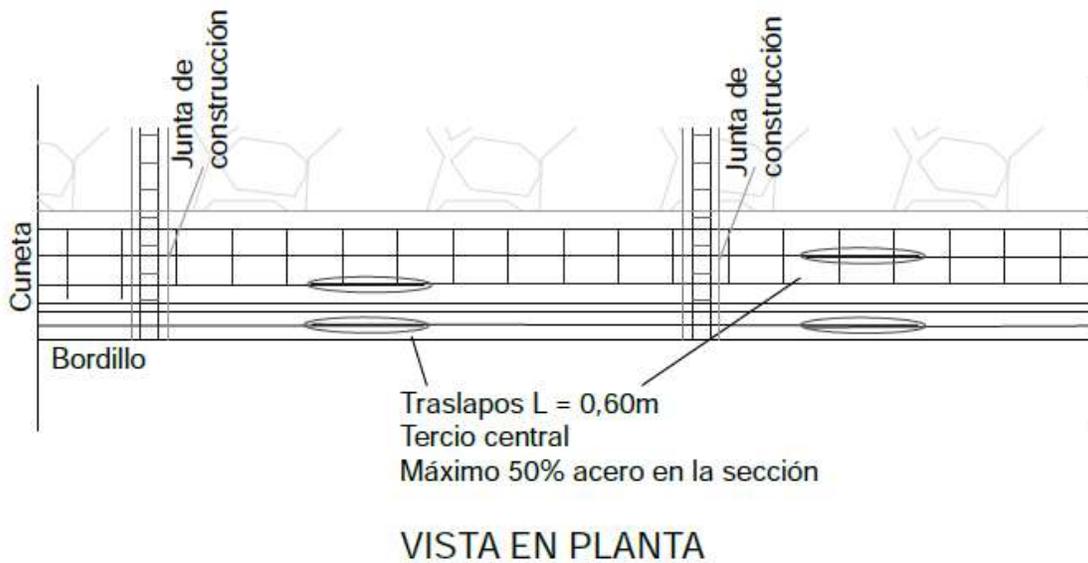


Figura 4-9. Junta transversal de construcción en la Berma-cuneta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.8.3. Junta Transversal de Construcción de la Riostra

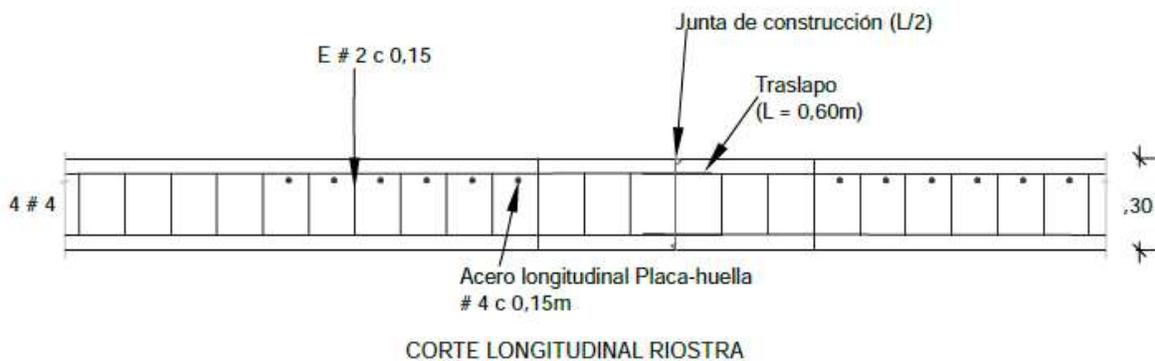


Figura 4-10. Junta transversal de construcción en la Riostra. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.8.4. Junta longitudinal de construcción

4.4.8.4.1. Junta entre Placa-huella, Riostra o Berma Cuneta y la Piedra Pegada

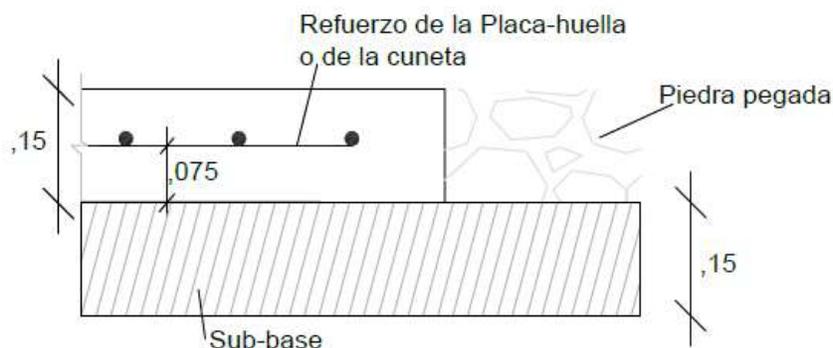


Figura 4-11. Junta longitudinal entre Placa-huella o Berma-cuneta y la Piedra pegada.
Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

4.4.9. Piedra pegada

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

4.4.9.1. Características de los materiales

La piedra pegada conformada por un concreto ciclópeo, compuesto por 60% de concreto simple y 40% de agregado ciclópeo, con las siguientes características:

Características del concreto simple:

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

Características del Agregado Ciclópeo:

- Tamaño máximo del agregado $T_{\text{máx.}}$ = entre ocho (0,08 m) y doce (0,12 m) centímetros.

- Deben ser cantos rodados.

Las demás características de los materiales deben cumplir con la Especificación 630-13 del Instituto Nacional de Vías.

4.4.9.2. Colocación de la piedra pegada

fraguada la placa-huella, la riostra y la berma-cuneta circundante.

Se colocará una capa de concreto simple de cinco centímetros (0,05 m) de espesor directamente sobre la subbase para luego colocar manualmente el agregado ciclópeo distribuyéndolo uniformemente. Después, el resto del concreto simple y finalmente se completará el agregado ciclópeo. En todo caso se deberá cumplir con la relación de 60% de concreto simple y 40% de agregado ciclópeo y buscar siempre que la capa quede lo más uniforme posible.

4.4.10. Diseño estructural de la Berma-Cuneta y el Bordillo

La berma-cuneta debe poder soportar los esfuerzos producidos por el vehículo de diseño y, por ende, el espesor, el refuerzo requerido y las características de los materiales deben ser similares a los utilizados en la placa-huella. La berma-cuneta tiene adosado el bordillo de confinamiento por lo que su geometría es sustancialmente diferente a la de la placa-huella.

A continuación, se presentan los detalles de la berma-cuneta y el bordillo.

4.4.10.1. Esquema en planta, perfil y detalles

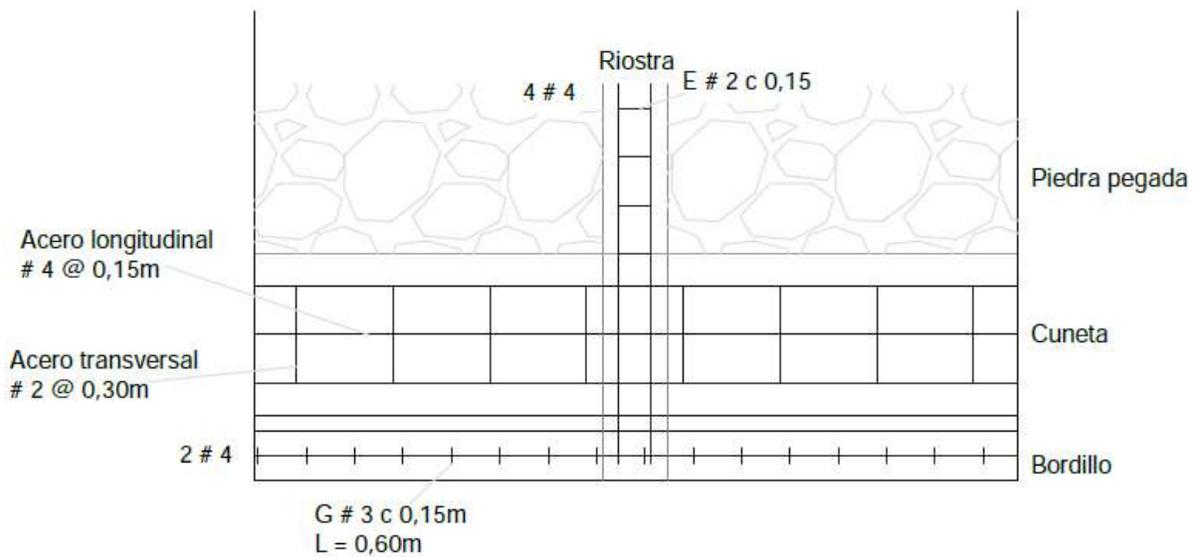


Figura 4-12. Planta Berma-cuneta y el bordillo. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

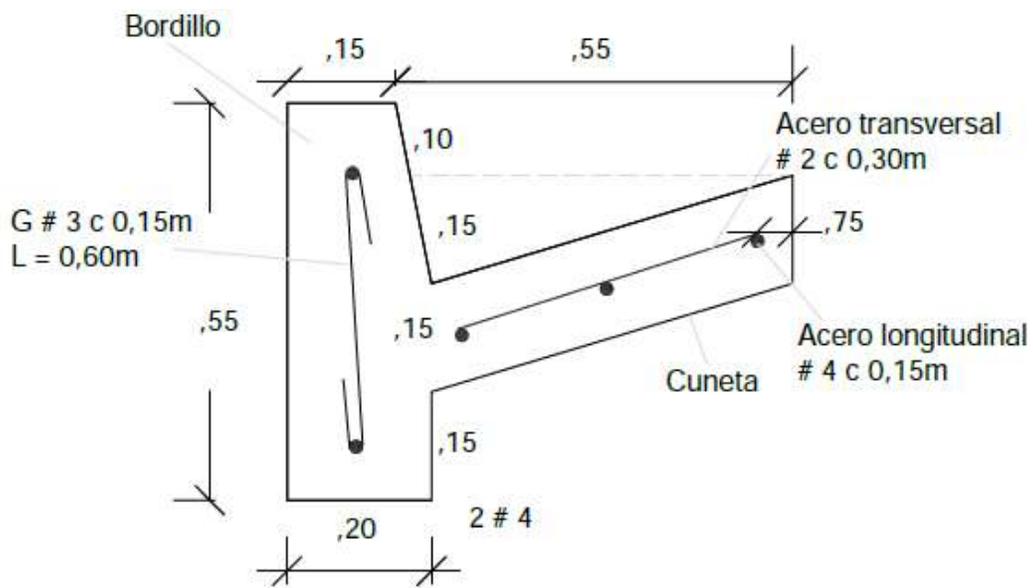


Figura 4-13. Corte Berma-cuneta sección en la cuneta. Tomado de Guía de diseño de pavimentos con Placa Huella INVIAS.

ITEM	BORDILLO	LONGITUD M	CANTIDAD	TOTAL	PESO KG
1	Barra #4	6	32	128	127.232
2	Ganchos en S #3	0.6	1000	2000	1120
1	Barra #4	6	298.666667	1194.66667	1187.49867
2	Barra #2	0.7	500	1000	560
				TOTAL	1247.232 KG

Tabla 4-5. Tabla resumen despiece de acero para Bordillo.

4.5 Análisis de costos

El análisis de costos para la Placa Huella Alto Santa Barbara consiste en las actividades preliminares, las obras correspondientes a la Placa-Huella y a su vez, las obras de drenaje que como se han mencionado antes, deben construirse monolíticamente para evitar juntas no previstas y por ende infiltraciones, además es como se considera su diseño.

Para hallar el costo que tendrá este proyecto, se realiza el análisis de precios unitarios, en consideración con la base de datos de la Alcaldía de Timaná, con precios de materiales y mano de obra en el municipio, y se realiza un presupuesto general con un costo de CIENTO SESENTA MILLONES NOVECIENTOS NOVENTA MIL SETECIENTOS CUARENTA PESOS. Un valor estimado y sujeto a posibles variaciones por disponibilidad, demanda y fecha de ejecución del proyecto.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

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

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

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

Así mismo, los diseños de la Placa Huella fueron propuestos teniendo en cuenta un análisis de los esfuerzos a los que son sometidos las losas de cierta longitud con las características de la subrasante y las cargas que transitan por la vía, de esta manera se recomienda una losa de 1 m de ancho con una longitud de 1.5 m, con una viga riostra cada 3 m

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

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

El presupuesto del proyecto se evaluó a partir precios unitarios del INVIAS para el Huila y la base de datos del municipio de Timaná. Como resultado se obtuvo que el costo de la Placa Huella de un ancho de 5 m y una longitud 150 m es variable dependiendo de la zona (ver anexo).

5.2 Recomendaciones

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

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

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

Por otro lado, es importante resaltar los pocos estudios que se han realizado para determinar con mayor precisión ciertos comportamientos que se consideran importantes para la realización de una placa-huella, como ocurre para la estimación del criterio por erosión.

Aún se sigue implementando la opción de placa-huella en el país como opción para zonas rurales, por lo que debería impulsarse de cierta forma, la investigación sobre esta estructura, de tal forma que se permitan conocer mejor los comportamientos considerando variar distintos factores.

A. Anexo: Estudio de Transito

-Se encuentra en medio magnético, Anexo A. Estudio de tránsito

B. Anexo: Diseño hidráulico

-Se encuentra en medio magnético, Anexo B. Diseño Hidráulico

C. Anexo: Estudio Geotécnico

-Se encuentra en medio magnético, Anexo C. Estudio Geotécnico

D. Anexo: Presupuesto y Memorias de Cálculo

-Se encuentra en medio magnético, Anexo D. Presupuesto y Memorias de
Cálculo

E. Anexo: Plano de Placa Huella y Detalles

-Se encuentra en medio magnético, Anexo E. Plano Placa Huella y Detalles

Bibliografía

- [1] AASHTO, 1993, Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento. Recuperado el 11 de marzo de 2018.
- [2] Arellano Murcia, D. F. (2015). Rehabilitación de vías terciarias con el sistema de placa huella. Universidad Militar Nueva Granada
- [3] Cogollo F. Maria y Silva B. Angie, 2018. Modelación numérica de pavimento rígidos mediante modulación convencional y de las losas cortas, Universidad Católica de Colombia.
- [4] Chavarro Acuña W., Molina Pinzón C, (2015), Evaluación de alternativas de pavimentación para vías de bajos volúmenes de tránsito. Recuperado de: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2617/1/Evaluaci%C3%B3n-alternativas-pavimentaci%C3%B3n-v%C3%ADas-bajos-vol%C3%BAmenes-de-tr%C3%A1nsito.pdf>
- [5] CONPES 3857, 2016, Lineamientos de política para la gestión de la red terciaria.
- [6] Contreras F. □ Muñoz J., 2015, Placa huellas para red terciaria un acercamiento para el diseño y construcción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [7] Correa E.,2017, El rol de las vías terciarias en la construcción de un nuevo país. Revista de Ingeniería, n° 45, 2017 pp 64-71.
- [8] Cosanher, 2015. Drenaje en carreteras. Recuperado de: <http://www.cosanher.com/single-post/2015/05/27/drenaje-en-carreteras>
- [9] Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas. (2016),Recuperado de: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/placahuella/ptplacahuella.pdf>, Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella.
- [10] Durán L & Salas B., 2017. Análisis comparativo de espesores de losas de concreto para troncales de Transmilenio en configuraciones alternativas de ejes de buses articulados.

- [11] Figueroa Infante, A. S. y otros, 2008. En: Manual para el mantenimiento de la red vial secundaria (pavimentada y en afirmado). Bogotá: Ministerio de Transporte. Pp 1-76.
- [12] Guía de diseño de Pavimentos con Placa-Huella. Ministerio de transporte. INVIAS, Instituto Nacional de Vías.
- [13] González, Alba, 2006, Infraestructura vial en Colombia: un análisis económico como aporte al desarrollo de las regiones 1994-2004, Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/12066/T10.06%20G589in.pdf?sequence=1>.
- [14] Gonzalez Gisela y Vanegas Emiro F., 2016, Comparación de las metodologías AASHTO y PCA para el diseño de pavimento rígido.
- [15] Higuera C., 2011, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Principios fundamentales, el tránsito, factores climáticos y geotecnia vial. Volumen I.
- [16] Higuera C., 2011, Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Teoría, Métodos de diseño y ejemplos de aplicación. Volumen II.
- [17] Instituto Nacional de Vías, 2009, Manual de drenaje para carreteras. Subdirección de apoyo técnico
- [18] Instituto Nacional de Vías, 2015, Guía de Diseño de Pavimentos con Placa Huella. Subdirección de estudios e innovación.
- [19] Linda Y. Castro G. Deisy Sabogal R., 2018, Pre-Diseño Estructural de Placa-Huella y Obras de arte para la vía terciaria entre Fomeque y la vereda Lavadero, Universidad Santo Tomas.
- [20] Manual de Diseño Geométrico de Carreteras 2008. INVIAS, Instituto Nacional de Vías.
- [21] Murcia Arellano, D. F. (2015). Rehabilitación de vías terciarias con el sistema de placa huella.
- [22] Orobio Armando & Orobio J. Carlos (Julio, 2016), Plain-concrete strip road pavements: 3D finite element analisis. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

- [23] Ordoñez Valencia, J. D. (2015). Pavimentos de losas cortas de concreto para vías terciarias en Colombia. Universidad Militar Nueva Granada.
- [24] OSORIO M. JOSE □ CASAS G. ANA, 2011, Correlación P.D.C. con C.B.R. para suelos en la localidad de Suba. Monografía, Universidad Militar Nueva Granada.
- [25] Ospina G., 2016, El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. Revista de Ingeniería n° 44, 2016 pp 20-27.
- [26] Otálvaro M., 2016, consideraciones generales para realizar el diseño hidrológico e hidráulico de obras de drenaje para vías de bajos volúmenes de tránsito. Caso de estudio pista de prueba Urrao-Antioquia.
- [27] Pachón Á; Ramírez M, 2005, La infraestructura de transporte en Colombia durante el siglo XX: una descripción desde el punto de vista económico”, en imprenta, ed. FCE-BR, Bogotá.
- [28] Pradena Mauricio y Chaparro Boris, (2019). Análisis estructural de pavimentos de Hormigon: Losas cortas en pisos industriales. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de concepción, Concepción, Chile. Revista Politécnica (Quito) vol. 43 No. 2.
- [29] Ramírez Mario G, 2021. “Elaboración de una metodología preliminar para definir intervenciones técnicas para la conservación de vías terciarias de Colombia”: Universidad de los Andes, pp. 5. Bogotá
- [30] RAS-2000 Título D, 2016, Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias.
- [31] Rodríguez M. Genny □ Romero G. Diana, 2007, optimización técnica y operativa para la planta de tratamiento de residuos sólidos del Municipio de Fómeque Cundinamarca, Universidad de la Salle.
- [32] Romero A., Paredes Y., 2016, Proceso constructivo y presupuesto para un kilómetro de plaza huella en la vía Acolsure – Buenavista km 2.
- [33] Sanchez F, 2009... Evaluación de la Subrasante recuperado de:
http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%206.pp t
- [34] Scribd.com, “Especificación 500-1P placa-huella en concreto,” [En línea]. Available: [https:// www.scribd.com/book/72919706/Diseno-Huellas-en-Concreto](https://www.scribd.com/book/72919706/Diseno-Huellas-en-Concreto). [Último acceso: 9 Marzo 2016].

-
- [35] Suárez, J. (2001): Control de erosión en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos e Ingeniería de Suelos Ltda.
- [36] Vélez Upegui, J. J. y otros, 2013. En: Diseño hidrológico e hidráulico de obras de ingeniería para proyectos viales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, pp. 0-220.
- [37] Zea J, Ortiz G, □ Zamudio P., 2009 Diagnóstico de la vía actual y propuesta de diseño geométrico del tramo comprendido entre el K0+000 hasta el k3+000 de la vía municipio de Tena-Los Alpes Cundinamarca.

1. ESTUDIO DE TRÁNSITO

Para realizar el cálculo del volumen y tránsito promedio diario que transita por las vías a intervenir se tomaron dos días de la semana para realizar el aforo vehicular: sábado 15 de agosto del 2020 (día de mercado), y el día miércoles 19 de agosto este conteo se realizó continuamente de 6 a.m. a 6 p.m. totalizando en intervalos de 1 hora. Con un equipo de una persona por tramo a intervenir.

Para el conteo se consideraron los siguientes tipos de vehículos:

Imagen 10. Clasificación de vehículos

W

Autos	
Bus	
Busetas	
Camión C2	
Camión C3	

Fuente: Ingeniería de tránsito y transporte (2010).

1.2. FACTORES PARA ESTIMAR EL TRÁNSITO DE DISEÑO

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

- Distribución direccional

Para las vías Alto santa Barbara, Alto Naranjal, El Tejar, Cascajal se considera que

la circulación va en las dos direcciones con un ancho de la calzada crítico de 5 m, lo que da una distribución direccional de uno (0.75)

Tabla 7. Factor Direccional

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

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

- Factor camión o factor daño

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

Tabla 8. Cargas de Patrón y Exponenciales

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

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

Ley de la cuarta potencia

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

Donde: *FC*: Factor camión

P_i: Carga por eje considerada

P_r: Carga patrón

n: Exponente

- Tasa de crecimiento anual

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

- Tránsito atraído

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

- Tránsito generado

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

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

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

Fuente: Ministerio de Transporte, 2010

2.2. AFOROS

Resultados obtenidos del conteo

Tabla 10. Porcentaje Vehículos obtenidos en el aforo

ALTO SANTA BARBARA								
	TPD	AUTO	BUSES	C2P(%)	C2G(%)	C3(%)	MOTOS	HORA PICO DIA PICO
VOL MAX	59	10	1	0	0	0	48	FHP=VH/4*QMAXIMO()
MIERCOLES	100%	17%	2%	0%	0%	0%	81%	
VOL MAX	88	25	3	0	0	0	60	
SABADO	100%	28%	3%	0%	0%	0%	68%	
0.88								
ALTO NARANJAL								
	TPD	AUTO	BUSES	C2P(%)	C2G(%)	C3(%)	MOTOS	HORA PICO DIA PICO
VOL MAX	81	20	1	0	0	0	60	FHP=VH/4*QMAXIMO()
MIERCOLES	100%	25%	1%	0%	0%	0%	74%	
VOL MAX	209	45	4	3	2	0	155	
SABADO	100%	22%	2%	1%	1%	0%	74%	
1.161								
CASCAJAL								
	TPD	AUTO	BUSES	C2P(%)	C2G(%)	C3(%)	MOTOS	HORA PICO DIA PICO
VOL MAX	36	5	1	0	0	0	30	FHP=VH/4*QMAXIMO()
MIERCOLES	100%	14%	3%	0%	0%	0%	83%	
VOL MAX	86	10	1	0	0	0	75	
SABADO	100%	12%	1%	0%	0%	0%	87%	
2.15								
EL TEJAR								
	TPD	AUTO	BUSES	C2P(%)	C2G(%)	C3(%)	MOTOS	HORA PICO DIA PICO
VOL MAX	44	3	1	0	0	0	40	FHP=VH/4*QMAXIMO()
MIERCOLES	100%	7%	2%	0%	0%	0%	91%	
VOL MAX	87	6	1	0	0	0	80	
SABADO	100%	7%	1%	0%	0%	0%	92%	
3.625								

Fuente: Propia

2.3. ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES PARA DISEÑO

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

4.3.1. Tránsito promedio diario semanal.

Cálculo de volumen de vehículos comerciales día en ambas direcciones.

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

Donde: Ma : Número de vehículos comerciales día normal

Sa : Número de vehículos comerciales día mercado

	ALTO SANTA BARBARA	ALTO NARANJAL	EL TEJAR	CASCAJAL
TPS	63.14	99.29	43.14	50.14

Basado en los resultados anteriores tomamos como Guia de diseño los resultado obtenidos para el sector Alto Naranjal ,el cual maneja un Flujo vehicular mas alto lo que de termina un mejor diseño de la estructura

- Parámetros de diseño

Tabla 11. Parámetros de diseño

Período de diseño (años)	20
Tasa de crecimiento anual (r)	3%
Ancho de la calzada Crítico	5
Factor direccional (Fd)	1
Confiabilidad	85%

Fuente: Propia.

4.3.2. Calculo TPD

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

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

Donde: % V_k : Porcentaje de vehículos comerciales.

FD_k : Factor daño

Fd : Factor direccional

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

um.

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

(17)

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

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

(18)

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

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

(19)

Tabla 12. Número de ejes equivalentes

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

Fuente: Propia.

1. DISEÑO HIDRÁULICO

1.1. HIDROLOGÍA

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

Metodología

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

7.1.1. Precipitación total.

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

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

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

Código estación	21020040
Nombre	EL VISO
Tipo	Convencional
Clase	Meteorológica
Categoría	Pluviométrica
Estado	Activa
Departamento	ELIAS-HUILA
Latitud	2.02
Longitud	-75.91
Altitud	1017
Corriente	Negro
Fecha de Instalación	15/05/1980

Fuente: IDEAM,

2020.

Imagen 26.
del IDEAM cercana

Ubicación de la estación
a la zona del proyecto



Fuente: IDEAM

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

Imagen 29. Precipitación máxima anual histórica en 24 horas

Estación pluviométrica El Viso Huila - precipitación máxima anual histórica en 24 horas	
AÑO	PRECIPITACIÓN (mm)
2000	71
2001	57
2002	88
2003	87
2004	78
2005	105
2006	72

2007	39
2008	87
2009	60
2010	58
2011	69
2012	45
2013	58
2014	62
2015	52
2016	98
2017	85
2018	83
2019	81
2020	57
VER ANEXO (TABLA GENERAL ULTIMOS 20 AÑOS)	

Fuente: IDEAM, 2020

La precipitación máxima absoluta en 24 horas es de 105 mm con una desviación estándar de 17.56 y una media de 76.6

7.1.2. Caudales cuencas menores

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

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

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

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

C : Coeficiente de impermeabilidad

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

A : Área tributaria de drenaje (ha).

7.1.3. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

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

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

- Donde: i : Intensidad de precipitación, $\frac{mm}{h}$
 a, b, c y d : Parámetros de ajuste de la regresión
 T : Periodo de retorno, años
 M : precipitación máxima promedio anual en 24 horas a nivel multianual
 t : Duración de la lluvia, minutos

❖ Parámetros de ajuste de la regresión

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

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

Fuente: Manual de drenaje para carreteras, INVIAS 2009

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

Parámetro	Valor
a	0.94
b	0.18
c	0.66
d	0.83

❖ Expresión para calcular la intensidad de precipitación

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

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

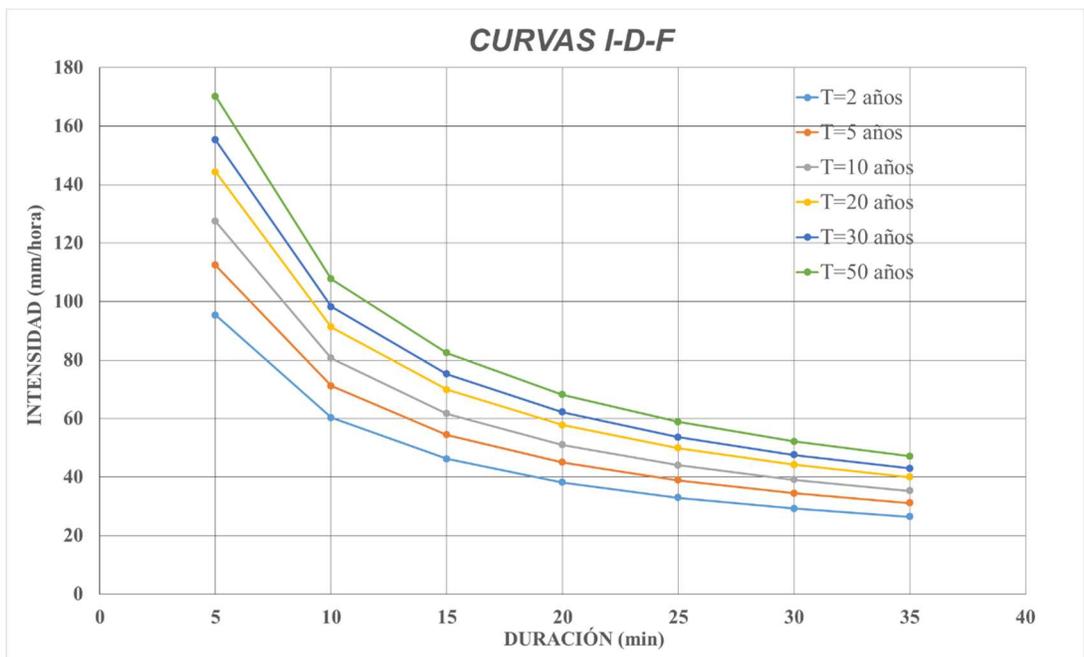
Tabla 22 Valores de las curvas IDF

	PERIODO DE RETORNO (años)
--	---------------------------

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

Fuente: Propia

Imagen 37. Curva Intensidad-duración-frecuencia para la zona de estudio



Fuente: Propia

7.1.4. Área de drenaje

El área de drenaje o tributaria corresponde al área en proyección horizontal aferente a las vías hasta el sitio de cruce con la misma, y se expresará en Ha. En la Tabla 23 se presentan las áreas de drenaje de las micro cuencas aferentes a las vías objeto de estos estudios. Para Este Proyecto tomaremos Solo el Área de la vereda Alto santa bárbara ya que para alto naranjal el drenaje desemboca al sistema de drenaje de la vereda y para los sectores de cascajal y el tejlar desemboca al sistema de drenaje de la vía Nacional Ruta 45

Tabla 23. Parámetros morfométricos de las microcuencas en estudio

Microcuenca No.	Área Cuenca (Ha)	Longitud media del cauce (m)	Coefficiente de Impermeabilidad	Pendiente media del cauce
10	1,87	500	0,42	34%

Fuente: Propia

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

Imagen 29. Microcuencas de la zona de estudio



Fuente: Google Earth.

7.1.5. Coeficiente de escorrentía

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

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

Tabla 24. Coeficientes de Escorrentía Hoya Hidrográfica

Tipo de cobertura	Coeficiente escorrentía
Franco limo arcilloso	0.42

Fuente: Propia

7.1.6. Tiempo de concentración

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

Para el cálculo del tiempo de concentración fueron utilizados los 3 métodos propuestos en el RAS 2000 - Título D y mencionados en el capítulo 1. El tipo de suelo que conforma la superficie de escorrentía es un área cultivada en surcos y en algunas zonas en pastos y patios, de esta forma las constantes α y m varían entre 2 y 2.7 de acuerdo a la microcuenca. La Tabla 25 muestra los resultados obtenidos de todos los métodos.

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

Tabla 25. Valores estimados del tiempo de concentración

Microcuenca No.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (T_c)		
	Administración Federal de Aviación	Soil Conservation Service (SCS)	Kerby
1	200,0	6,9	4,7
2	242,9	6,2	5,1

3	139,4	4,8	4,5
4	52,7	1,4	4,0
5	190,5	6,6	4,0
6	209,0	5,4	5,0
7	281,7	9,8	5,0
8	166,6	5,8	4,6
9	242,9	9,2	4,9
10	101,8	2,3	4,4
11	109,2	4,9	4,3

Fuente: Propia

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

7.1.7. Intensidad de precipitación

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

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

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

Fuente: Propia

1.2. DISEÑO HIDRAULICO ALCANTARILLA

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

Las obras de drenaje superficial propuestas para el proyecto en mención son las cunetas y alcantarillas, que servirán para recoger las aguas procedentes de las partes altas de las laderas o los taludes de corte (denominado comúnmente zanja de coronación), con el fin de evitar la erosión superficial y la infiltración y/o saturación en los taludes. Para el cálculo de estas estructuras se utilizó la fórmula de Manning para flujo uniforme:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (27)$$

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

- Dónde:
- Q: es el caudal (m³ /s)
 - R: es el radio hidráulico (m)
 - S: es la pendiente del canal (m/m)
 - A: es el área de la sección mojada del canal (m²)
 - n: es el coeficiente de rugosidad de Manning.

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

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

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

Por todo lo anterior y debido a que, estas obras fueron construidas por la comunidad de una manera rudimentaria no se contemplaron todas las variables que se tienen en cuenta en el diseño hidrológico, es necesario la Construcción de las alcantarillas en los tramos ya mencionados anteriormente

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

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

La ubicación de las alcantarillas se realiza:

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

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

Capacidad hidráulica (Q_0)

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

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

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

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

Caudal de diseño

El caudal de diseño se determinó mediante el método racional; para un periodo de retorno de 5 años la intensidad de precipitación es de 105mm/h, con un coeficiente de escorrentía de 0.42 para un suelo Franco limo arcilloso y un área aferente según la microcuenca.

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

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

Tabla 27. Relación de caudal para comprobar la capacidad hidráulica de la alcantarilla Sector Santa Barbara

MICROCUENCA	I (MM/H)	Q(L/S)	Qo	Q(L/S)/Qo
1	105	42	2656	0.015813

Fuente: Propia

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

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

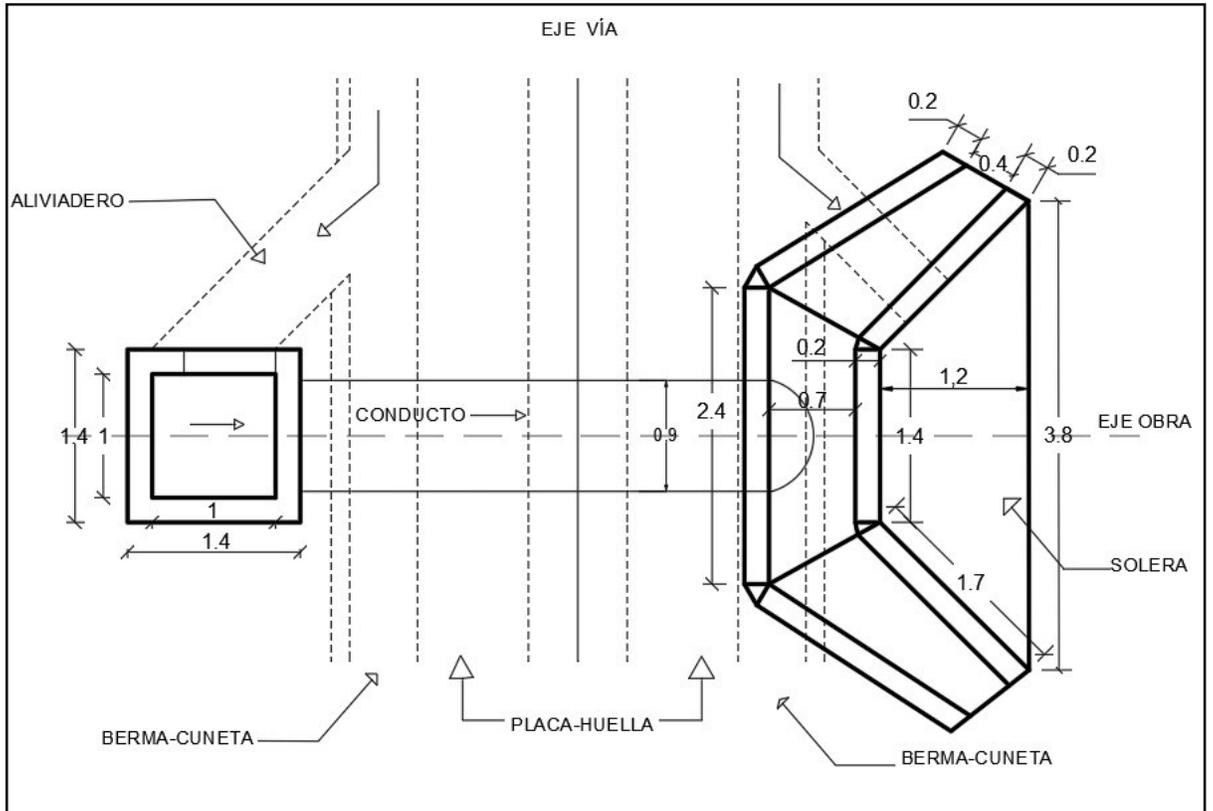
Localización Alto santa Barbara	Pendiente	n Manning	Diámetro (m)
K0 + 95 m	2%	0,013	0,91
K0 + 0 m	2%	0,013	0,91

Localización Alto Naranjal	Pendiente	n Manning	Diámetro (m)
K0 + 10 m	2%	0,013	0,91

Fuente: Propia

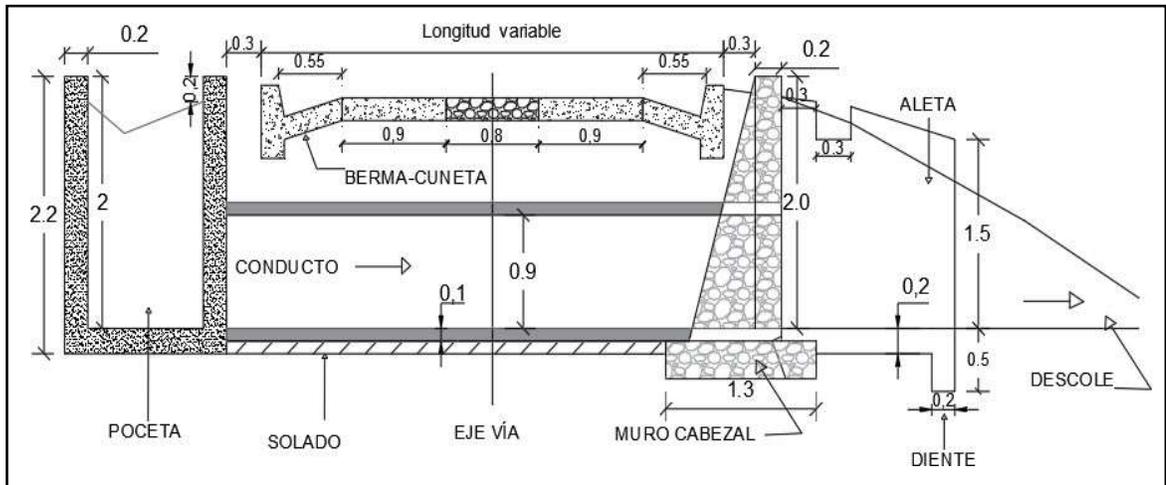
A continuación, se presentan los esquemas con el detalle de la alcantarilla en Planta y Perfil recomendada para el tramo en estudio.

Imagen 30. Planta de Alcantarilla.



Fuente: Propia

Imagen 31. Perfil de Alcantarilla



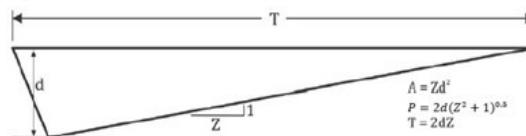
Fuente Propia

1.3. DISEÑO HIDRÁULICO BERMA-CUNETETA

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

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

Imagen 32. Sección típica de cuneta triangular



Fuente: Manual de drenajes para carreteras, 2009

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

Caudal de diseño

La intensidad de diseño estimada a partir de la curva de intensidad-duración-frecuencia característica de la zona es de 105 mm/hora, para un período de retorno de 5 años y una duración de 15 minutos.

De acuerdo a la topografía del terreno y al valor de la intensidad de precipitación asumimos una longitud de cuneta de 150 m y por recomendación del Manual de drenaje del INVIAS un ancho impluvium de 25 m, lo que permite tener una rea aferente para las cunetas de 3750 m².

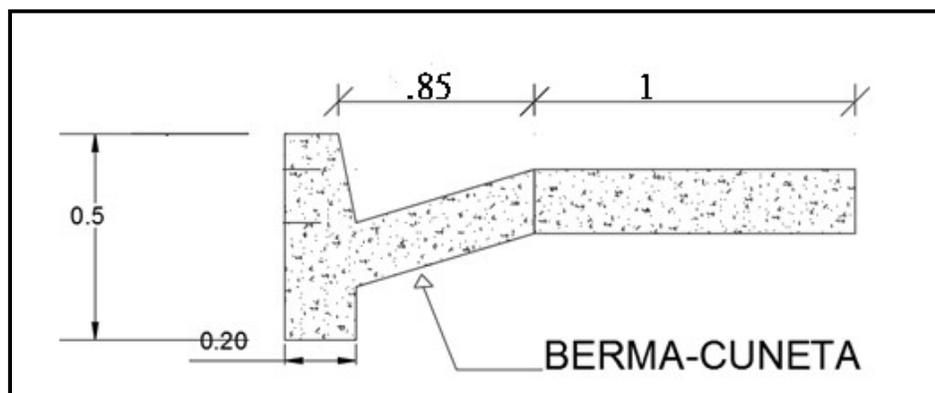
El coeficiente de escorrentía es $C = 0.72$, ya que las intercuenas son tierras cultivadas y se encuentran en terreno montañoso.

$$Q = 2.78 * 0.72 * 105\text{mm/h} * 0.375\text{Ha} \quad (25)$$

$$Q = 79 \text{ l/s}$$

La cuneta es de sección triangular y tiene un ancho de 0.85 m, distribuido 0.83 m al lado de la calzada y 0.02 m del lado del talud y una profundidad de 0.15 m; revestida en concreto, con una rugosidad $n = 0.013$ y una pendiente hacia la calzada de 28.3%, admisible desde el punto de vista de seguridad vial.

Imagen 33. Perfil de la berma cuneta



Fuente: Propia

- Área:
 $A = 0.079 \text{ m}^2$

- Perímetro mojado:
 $P = 1.85 \text{ m}$

- Pendiente:
 $Z = 3.5$

- Radio Hidráulico:
 $R = \frac{A}{P} = 0.043$

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

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

$$79 \text{ l/s} = \frac{1}{0.013} * (3.5 * d^2) * \left(\frac{3.5+d}{2+\sqrt{3.5^2+1}} \right)^{\frac{2}{3}} * 0.12^{\frac{1}{2}}$$

Profundidad del flujo = 0.1 m
Velocidad media del flujo = 2.9 m/s

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

ESTUDIO GEOTÉCNICO

1. ESTUDIO DE CAMPO

Para el desarrollo del proyecto es necesario la caracterización del subsuelo de la zona con el fin de estimar los parámetros de diseño para la ejecución del mismo. Para ello se lleva a cabo una exploración por medio de dos apiques por cada localización específica. En los apiques realizados se obtuvieron muestras alteradas y a las cuales se le realizaron ensayos de: Límites de Atterberg, humedad natural y granulometría para la muestra que lo ameritara. (ver anexos, Informe con sus respectivos resultados de laboratorio, ubicación exacta con sus respectivas coordenadas)

1.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LA SUB-RASANTE

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

Se realizó el cálculo de la resistencia del suelo por medio del equipo de PDC, en los anexos se presentan los datos obtenidos en campo por medio de un cuadro donde se indica la profundidad, golpes realizados, golpes acumulados, índice de penetración.

A partir de las correlaciones del PDC para determinar el CBR propuestas por el INVIAS en la norma I.N.V. E-172-07

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

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

Tabla 18. Valor percentil por nivel de tránsito

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

Fuente: Instituto del Asfalto, 1991

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

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

Donde: CBR_i : valor de cada ensayo de CBR (%)

n : número de valores de CBR

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

- **Desviación estándar normal (Z).**

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

- **CBR de diseño**

$$CBR_{diseño} = CBR - (Z * \sigma)$$

(22)

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

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

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

Fuente: Propia.

**PLACA HUELLA ALTO SANTA BARBARA
PRESUPUESTO**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES					\$ 1,927,098.00
1.1	Localización y replanteo	m ²	762.00	\$ 2,529.00	\$ 1,927,098.00	
2	PLACAHUELLA					\$ 128,205,443.00
2.1	Excavación mecánica en material común a nivel de subrasante (incluye retiro de sobrantes, transporte hasta escombrera y derecho de botadero)	m ³	228.60	\$ 17,060.00	\$ 3,899,916.00	
2.2	Conformación de la subrasante	m ²	762.00	\$ 3,398.00	\$ 2,589,276.00	
2.3	Subbase granular (incluye suministro, extendido, nivelación, humedecido y compactación).	m ³	114.30	\$ 119,471.00	\$ 13,655,535.00	
2.4	Excavación manual H= 0,10 m y 0,20 m para riostras y dentellados (incluye retiro de sobrantes, transporte hasta escombrera y derecho de botadero))	m ³	8.34	\$ 26,653.00	\$ 222,219.00	
2.5	Concreto de 210 kg/cm ² (3.000 psi) espesor 0,15 m - Placas y dentellones	m ³	47.34	\$ 595,731.00	\$ 28,200,416.00	
2.6	Concreto ciclópeo espesor 0,15 m	m ³	22.50	\$ 382,888.00	\$ 8,614,980.00	
2.7	Concreto de 210 kg/cm ² (3.000 psi) para vigas y viguetas de riostras	m ³	15.60	\$ 590,175.00	\$ 9,206,730.00	
2.8	Acero de refuerzo 4.200 kg/cm ² (60.000 psi) para placas, riostras y dentellones	kg	4,965.12	\$ 4,723.00	\$ 23,450,262.00	
2.9	Concreto de 210 kg/cm ² (3.000 psi) cuneta	m ³	51.00	\$ 598,809.00	\$ 30,539,259.00	
2.10	Bordillo de confinamiento 0,15 m * 0,35 m (incluye suministro e instalación)	m	150.00	\$ 52,179.00	\$ 7,826,850.00	
3	OBRAS DE DRENAJE - CAJAS DE RECOLECCIÓN					\$ 8,274,033.00
3.1	Excavación manual para cajas de recolección	m ³	12.38	\$ 26,653.00	\$ 329,831.00	
3.2	Concreto de baja resistencia 140 kg/cm ² (2.000 psi) para solado de cajas de recolección	m ³	0.23	\$ 397,442.00	\$ 89,424.00	
3.3	Concreto para caja, resistencia de 210 kg/cm ² (3.000 psi)	m ³	7.68	\$ 630,198.00	\$ 4,841,126.00	
3.4	Acero figurado de refuerzo de 4200 kg/cm ² (60.000 psi) para caja	kg	638.08	\$ 4,723.00	\$ 3,013,652.00	
4	OBRAS DE DRENAJE - TUBERÍAS Y CABEZALES					\$ 22,584,166.00
4.1	Excavación manual para tubería y cabezal	m ³	44.00	\$ 26,653.00	\$ 1,172,732.00	
4.2	Concreto resistencia 140 kg/cm ² (2.000 psi) para solados en muros y cabezales	m ³	1.35	\$ 397,442.00	\$ 534,877.00	
4.3	Concreto para estructura muros cabezales resistencia de 210 kg/cm ² (3.000 psi)	m ³	7.20	\$ 667,142.00	\$ 4,805,366.00	
4.4	Acero figurado de refuerzo de 4.200 kg/cm ² (60.000 psi) para cabezal	kg	220.08	\$ 4,723.00	\$ 1,039,438.00	
4.5	Tubería de diámetro 36"	m	11.00	\$ 1,366,523.00	\$ 15,031,753.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS						\$ 160,990,740.00

Firma

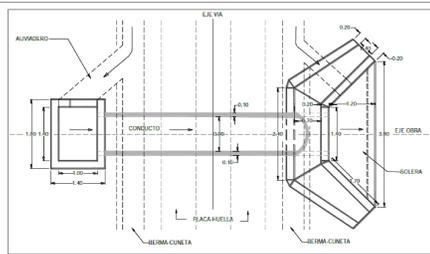


Nom. **ING. JUAN SEBASTIAN QUEVEDO CERON**
Ident. CC. 1.080.933.835

Firma



Nom. **ING. PAULA ANDREA VASQUEZ TORRES**
Ident. CC. 1.075.296.089



Alcantarilla tipo

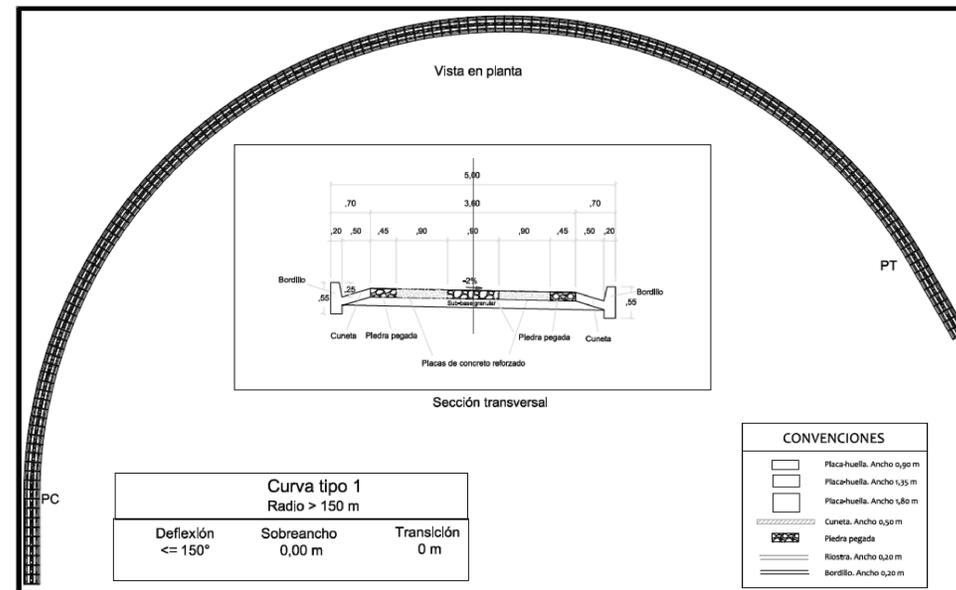
Escala Indefinida

Curva tipo 1



Vista en Planta Placa Huella

Escala 1 : 200

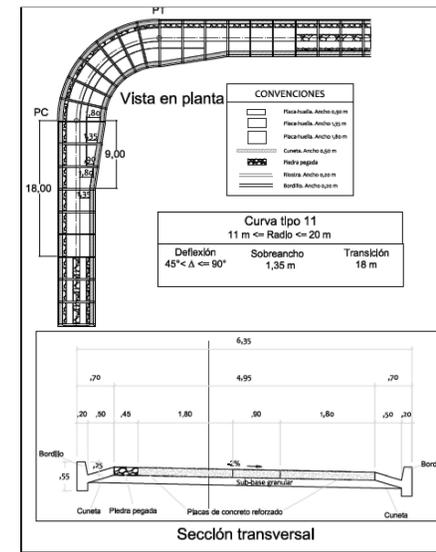


Curva tipo 1		
Radio > 150 m		
Deflexión <= 150°	Sobrecancho 0,00 m	Transición 0 m

CONVENCIONES	
[Symbol]	Placa huella. Ancho 0,90 m
[Symbol]	Placa huella. Ancho 1,35 m
[Symbol]	Placa huella. Ancho 1,80 m
[Symbol]	Cuneta. Ancho 0,30 m
[Symbol]	Piedra pegada
[Symbol]	Riostra. Ancho 0,20 m
[Symbol]	Bordillo. Ancho 0,20 m

Detalle Curva tipo 1

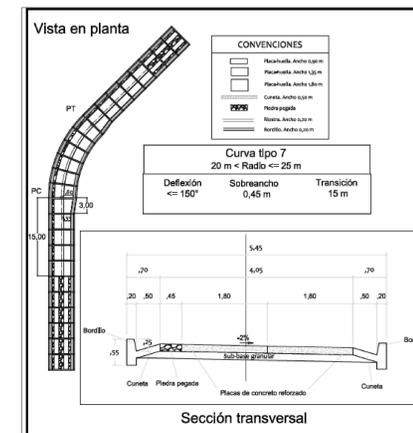
Escala Indefinida



Curva tipo 11		
11 m <= Radio <= 20 m		
Deflexión 45° < Δ <= 90°	Sobrecancho 1,35 m	Transición 18 m

Detalle Curva tipo 11

Escala Indefinida



Curva tipo 7		
20 m <= Radio <= 25 m		
Deflexión <= 150°	Sobrecancho 0,45 m	Transición 15 m

Detalle Curva tipo 7

Escala Indefinida

CALIDAD DE LOS MATERIALES

- CONCRETO REFORZADO (VIGAS RIOSTRAS Y PLACA HUELLA)
- RESISTENCIA A LA COMPRESION, $f'_c = 21 \text{ MPa}$. (3000 psi)
- T.M.A. = 38mm
- ASENTAMIENTO = 5cms

- AGREGADO CICLOPEO
- TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO $Tm\acute{o}x =$ ENTRE 8cms y 12 cms
- DEBEN SER CANTOS RODADOS

- ACERO DE REFUERZO NTC-2289
- ESFUERZO DE FLUENCIA, $f_y = 420 \text{ MPa}$ (60.000 psi)
- TRASLAPOS $L = 0,60m$
- TERCIO CENTRAL
- MÁXIMO 50% ACERO EN LA SECCIÓN

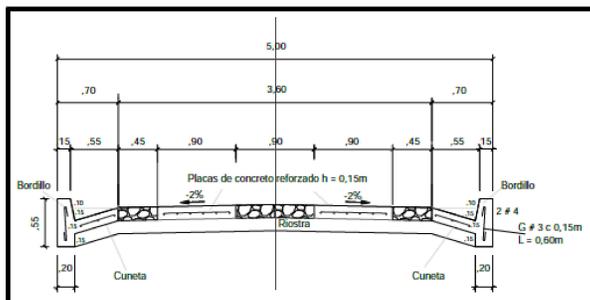
RECOMENDACIONES DE CONSTRUCCION

- LAS DIMENSIONES DE LA PLACA SON $L = 1,5m$ Y ANCHO = $1,0m$
- LA PIEDRA PEGADA SE CONFORMARÁ POR 60% CONCRETO SIMPLE Y 40% DE AGREGADO CICLOPEO.
- LA PIEDRA PEGADA DEBERÁ COLOCARSE SOBRE LA SUBBASE GRANULAR UNA VEZ SE ENCUENTRE FUNDIDA Y FRAGUADA LA PLACA HUELLA, LA RIOSTRA Y LA BERMA-CUNETA CIRCUNDANTE.

NOTA: LAS DIMENSIONES PROPUESTAS EN EL DISEÑO SON VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES, EN LAS CURVAS QUE HAYA LUGAR A MODIFICACIONES SE DEBE TENER EN CUENTA EL PLANO EN PLANTA.

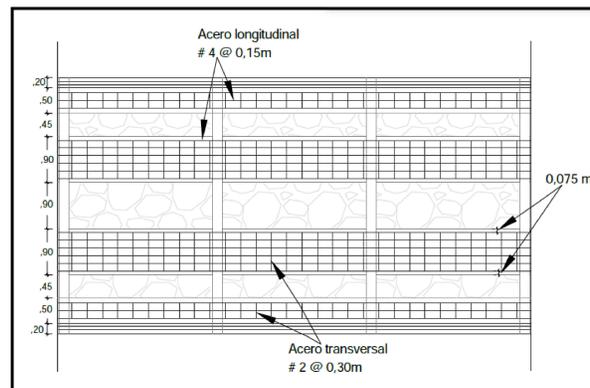
RECUBRIMIENTO DE CONCRETO

- CONCRETO COLOCADO CONTRA EL SUELO Y EXPUESTO PERMANENTEMENTE $\Delta \text{ es } = 75mm$
- CONCRETO EXPUESTO A SUELO O A LA INTEMPERIE = 50mm



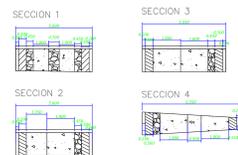
Detalle Corte transversal

Escala Indefinida



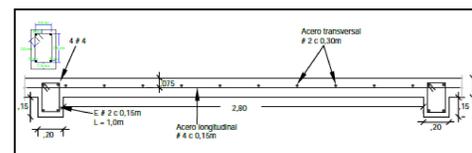
Detalle Despiece de acero de refuerzo

Escala Indefinida



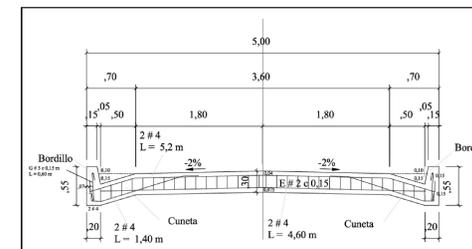
Secciones de placa huella

Escala 1 : 200



Detalle Corte longitudinal

Escala Indefinida



Detalle despiece riostra

Escala Indefinida

LGTP:
Juan Sebastian Quevedo Ceron
Paula Andrea Vasquez Torres
Universidad Surcolombiana

PROYECTO:
Placa huella
Vrda. Alto
Santa Bárbara
Timará - Huila

DISENO:

M.P. No. _____

REVISO :

Vo. Bo.:
Juan Sebastian Quevedo
Paula Andrea Vasquez

CONTIENE:
- Planta Arquitectónica
- Cortes transversales
- Detalles secciones
- Despiece de acero

OBSERVACIONES:

FECHA:
Febrero 2022

ESCALA:
1 : 200

LOCALIZACION:
Timará - Huila

DIGITO:
Juan Sebastian Quevedo Ceron
Paula Andrea Vasquez Torres

PLANO:
//

MODIFICACIONES:

