

EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE CERCANO A LA
VEREDA LA CUMBRE EN VILLAVICENCIO – META Y OBRAS DE SUBDRENAJE PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO PARA LA ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO EN PLACA HUELLA DE LA VÍA



RAFAEL RAÚL CHAVEZ HERNÁNDEZ
PEDRO ANDERSON QUEVEDO URREA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL FILTRANTE CERCANO A LA
VEREDA LA CUMBRE EN VILLAVICENCIO – META Y OBRAS DE SUBDRENAJE PARA EL
MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO PARA LA ESTRUCTURA DE
PAVIMENTO EN PLACA HUELLA DE LA VÍA

RAFAEL RAÚL CHAVEZ HERNÁNDEZ
PEDRO ANDERSON QUEVEDO URREA

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero
civil

Aprobado por:
Ing. JESSICA RAMÍREZ CUELLO
Magíster en Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2021

Autoridades Académicas

P. José Gabriel MEZA ANGULO, O.P.

Rector General

P. Eduardo GONZÁLEZ, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota De Aceptación

MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN

Decano de Facultad

JESSICA RAMÍREZ CUELLO

Director Trabajo de Grado

JUAN MANUEL SALGADO DÍAZ

Jurado

Villavicencio, 06 julio de 2021

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado primeramente a Dios que me ha permitido cumplir esta meta, sin su gracia no estaría aquí, a mis padres Rafael Raúl Chávez y Yamile Hernández que siempre han estado apoyándome y dándome aliento cuando más lo he necesitado, este logro es para ellos. A mi familia en general que ha creído en mí y han aportado un granito de arena a poder cumplir este sueño.

Raúl Rafael Chávez

En primer lugar, se lo dedico al dador de la vida, a DIOS ya que sin sus bendiciones y sin su amor no lo hubiese logrado, a mi familia quien me ha apoyado siempre y han estado dándome seguridad y palabras de aliento para nunca rendirme.

Pedro Anderson Quevedo

Agradecimientos

Queremos agradecerle a la directora de tesis la Ingeniera Jessica Ramírez, por habernos brindado sus conocimientos, por su paciencia, por guiarnos de una manera tan amena que hizo posible culminar este proyecto. Al Ingeniero Juan Salgado que nos orientó a lo largo de este proceso, a nuestras familias que siempre nos apoyaron, a la comunidad de la Vereda La cumbre. A todos ellos les agradecemos de todo corazón.

Resumen

La comunidad que reside en la vereda la Cumbre del municipio de Villavicencio, enfrenta a diario problemas de movilización, ya que la vía se encuentra en condiciones críticas y en época de invierno, el tránsito se dificulta más, a pesar de esto, la vereda ha tenido una gran acogida turística por su atractivo natural.

Por lo anterior, este proyecto, tiene como finalidad el mejoramiento de la capacidad portante del suelo para una estructura de placa huella, realizando diferentes estudios donde se evalúa el material filtrante extraído de la zona, con el fin de ser utilizado en la vía como medio de control a la escorrentía, pero los resultados fueron contrarios a lo estipulado por las normas colombianas. Así mismo se hizo un estudio de suelos que nos permitió saber las propiedades de resistencia del mismo, determinando que cumple con el valor mínimo establecido para soportar las cargas impuestas. Adicionalmente, se realizó un estudio meteorológico que permitió encontrar los picos más altos de precipitación en la zona y poder ser controlados con obras de drenaje, y por último aportar una estructura de placa huella adecuada para la vía.

Palabras Clave: *capacidad, diseño, material filtrante, pavimento, placa, resistencia, suelo.*

Tabla de contenido

	Pág.
Glosario	12
Introducción	14
Formulación del Problema	15
Objetivos.....	18
General	18
Específicos	18
Justificación	19
Estado del Arte	20
Metodología.....	24
Desarrollo	28
Diagnostico en campo	28
Estudio de suelos	29
Recolección de muestras de suelo	29
Esquema general de la localización de los apiques.....	31
Perfil estratigráfico y características granulométricas y de plasticidad del material.....	31
Penetración dinámica de cono (PDC).....	35
Material filtrante	36
Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición	37
Sanidad de los agregados frente a la acción de la solución de sulfato de magnesio	40
Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores a 19 mm (3/4") ...	43
por medio de la máquina de los ángeles	43
Estudio de tránsito.....	47
Estudio de clima	47
Temperatura media anual (TMAP)	48
Precipitación media anual.....	49
Diseño de la placa huella.....	50
Espesor de la placa huella.....	52
Resistencia del concreto	52
Sección transversal en tangente.....	53
Espesores y refuerzos	54
Viga riostra	55

Juntas.....	55
Berma cuneta y bordillo	57
Método Constructivo	58
Sub base	58
Placa huella y riostra	59
Resultados e Impactos	60
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Referencias	64

Lista de tablas

Tabla 1. Desarrollo de las actividades.	26
Tabla 2. <i>Estado actual de la vía.</i>	28
Tabla 3. <i>Sectores de recolección de las muestras de suelo.</i>	30
Tabla 4. <i>Registro fotográfico de ensayo PDC.</i>	35
Tabla 5. <i>Requisitos del material granular para filtros.</i>	36
Tabla 6. <i>Gradación de la muestra para el ensayo de ignición.</i>	37
Tabla 7. <i>Resultados del ensayo.</i>	39
Tabla 8. <i>Tamices requeridos para la muestra.</i>	40
Tabla 9. <i>Tabla de resultados del ensayo</i>	43
Tabla 10. <i>Preparación de la muestra.</i>	44
Tabla 11. <i>Temperatura media anual ponderada y temperatura de diseño.</i>	48
Tabla 12. <i>Gráficas de la temperatura media anual en la zona de estudio.</i>	49
Tabla 13. <i>Precipitación media anual (PMA).</i>	49
Tabla 14. <i>Graficas de la precipitación media anual en la zona de estudio.</i>	50
Tabla 15. <i>Dimensiones y Refuerzos.</i>	54
Tabla 16. <i>Dimensiones riostra.</i>	55
Tabla 17. <i>Resultados.</i>	60
Tabla 18. <i>Impactos.</i>	61

Lista de figuras

Figura 1. Punto crítico de la vía en estudio.....	16
Figura 2. Carga de material en el Helicóptero	16
Figura 3. Transporte del material	17
Figura 4. Vista en planta de la modulación propuesta para la aplicación de placa huella.	20
Figura 5. <i>Tipo placa huella 1 propuesta en el proyecto.</i>	21
Figura 6. <i>Tipo placa huella 2 propuesta en el proyecto.</i>	21
Figura 7. <i>Vista en planta de la sección vial con placa huella, indicando las barras de refuerzo y las vigas (Riostras).</i>	22
Figura 8. <i>Metodología empleada en la realización del proyecto</i>	24
Figura 9. <i>Esquema general de la localización de los apiques.</i>	31
Figura 10. <i>Perfil estratigráfico del tramo en estudio.</i>	33
Figura 11. <i>Características granulométricas del tramo en estudio.</i>	33
Figura 12. <i>Humedad natural y límites de Atterberg en el tramo de estudio.</i>	34
Figura 13. <i>Índice de plasticidad en el tramo de estudio.</i>	34
Figura 14. <i>CBR inalterado.</i>	36
Figura 15. <i>Muestra enfriándose en el desecador.</i>	38
Figura 16. <i>Horno a 375° en ensayo de ignición.</i>	38
Figura 17. <i>Preparación de la solución de sulfato de magnesio.</i>	41
Figura 18. <i>Vertimiento de la solución en cada una de las fracciones de la muestra.</i>	41
Figura 19. <i>Vertimiento de la solución en cada una de las fracciones de la muestra.</i>	42
Figura 20. <i>Granulometrías de la muestra de agregado para ensayo.</i>	44
Figura 21. <i>Carga abrasiva según la masa del ensayo.</i>	44
Figura 22. <i>Puesta de la muestra en la máquina de los ángeles.</i>	46
Figura 23. <i>Estaciones cercanas a la vía</i>	48
Figura 24. <i>Corte Transversal en tangente.</i>	53
Figura 25. <i>Distribución del acero.</i>	54
Figura 26. <i>Distribución del acero.</i>	56
Figura 27. <i>Junta transversal de construcción berma cuneta.</i>	56
Figura 28. <i>Junta longitudinal entre placa – huella o cuneta y la piedra pegada.</i>	57
Figura 29. <i>Corte berma – cuneta.</i>	57

Lista de Ecuaciones

Ecuación (1) Cálculo del porcentaje de materia orgánica	38
Ecuación (2) Porcentaje de materia orgánica obtenido de la muestra	39
Ecuación (3) Porcentaje de desgaste obtenido en el ensayo	46
Ecuación (4) Porcentaje de desgaste obtenido en el ensayo	46

Glosario

A

- **Alcantarilla:** Tipo de obra de cruce o de drenaje transversal, que tienen por objeto dar paso rápido al agua que, por no poder desviarse en otra forma, tenga que cruzar de un lado a otro del camino

B

- **Berma:** Fajas comprendidas entre los bordes de la calzada y las cunetas. Sirven de confinamiento lateral de la superficie de rodadura, controlan la humedad y las posibles erosiones de la calzada.
- **Bombeo:** Pendiente transversal en las entre tangencias horizontales de la vía, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua. Está pendiente, va generalmente del eje hacia los bordes.

C

- **Calzada:** Zona de la vía destinada a la circulación de vehículos. Generalmente pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado.
- **Carretera:** Infraestructura del transporte cuya finalidad es permitir la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad. Puede estar constituida por una o varias calzadas, uno o varios sentidos de circulación o uno o varios carriles en cada sentido, de acuerdo con las exigencias de la demanda de tránsito y la clasificación funcional de la misma.
- **Carril:** Parte de la calzada destinada al tránsito de una sola fila de vehículos.

D

- **Derecho de vía:** Faja de terreno destinada a la construcción de la vía y sus futuras ampliaciones.

O

- **Obras de drenaje:** Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado.
- **Obras de sub-drenaje:** Obras proyectadas para eliminar el exceso de agua del suelo a fin de garantizar la estabilidad de la banca y de los taludes de la carretera. Ello se consigue interceptando los flujos subterráneos, y haciendo descender el nivel freático.

P

- **Pavimento:** Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la Sub-rasante de una vía y deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura y el efecto degradante de los agentes climáticos.
- **Pavimento rígido:** Es aquel que fundamentalmente está constituido por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido.
- **Placa huella:** son placas en concreto reforzado dispuestas en el suelo y con una separación en piedra fija en concreto.

Introducción

La movilidad es uno de los pilares sobre los que se consolida y se fortalece la economía de un país, las vías de comunicación son soporte para el desarrollo del mismo, puesto que por las calles se movilizan personas y mercancías, logrando una evidente mejora en la calidad de vida de las personas. Del mismo modo contar con carreteras que garanticen comodidad, seguridad y rapidez en la movilidad de los usuarios, corresponde a uno de los enfoques de Ingeniería vial; en la medida en la que se logre este objetivo se contará con ciudades sustentables y que propendan por el mejoramiento continuo de la calidad de los habitantes” (INVIAS, 2016).

Las placas huellas se están implementando en Colombia con un gran auge, debido a la inclusión que se le está dando a los grupos de personas que viven en las zonas rurales, con el fin de mejorar la infraestructura vial en todos sus rangos, tanto en el primario, secundario y terciario, el enfoque que se dará en este proyecto será directamente y puntualmente en la red terciaria nacional.

El presente proyecto presenta la construcción de una placa huella como solución para contrarrestar los problemas de movilidad. Los habitantes de la vereda la Cumbre en el barrio la Cuncia en el Departamento del Meta, carecen de un acceso vial adecuado, lo cual incide en el progreso del sector, adicionando a esto que es un sitio altamente turístico y frecuentemente visitado por la belleza de su paisajismo. Por lo expuesto anteriormente, se presenta el estudio y diseño para la construcción de una placa huella, la cual comprende estudios de suelo, estudio del material filtrante el cual está compuesto por varias capas de agregado que permiten controlar la escorrentía en partes donde se cuenta con altos índices de precipitación, y teniendo en cuenta que la zona donde se elabora el proyecto es una de ellas, el estudio de dicho material puede ser una solución viable y económica a esta problemática, adicionalmente contara con un estudio del tránsito, estudio del clima y el diseño de pavimento para placa huella.

Formulación del Problema

Problema: “Acceso vial precario para los habitantes de la Vereda La Cumbre en la ciudad de Villavicencio”.

Partiendo de la necesidad social, económica y política de los habitantes de la vereda la Cumbre en el barrio La Cuncia, municipio de Villavicencio, departamento del Meta, nace la idea de crear vías de acceso adecuado, que permitan una interacción entre las personas que viven en la zona con las cabeceras municipales y grandes urbes del país.

Actualmente los habitantes del sector están dedicados en su mayoría a la agricultura, la ganadería y recientemente al turismo. Hoy día, no cuentan con una vía que cumpla con las condiciones necesarias para que los usuarios se desplacen con facilidad, comodidad y seguridad; dado que presenta fallas, hundimientos, y el mal manejo de las fuentes hídricas deterioran e imposibilitan cada día el poder transitar por la misma, adicionalmente, muchos tramos presentan perdida de la bancada, y socavación; las pendientes altas dificultan el paso de los vehículos, y han ocasionado accidentes a algunos ciclistas y motociclistas, por otro lado se ven comprometidas actividades que requieren acceso oportuno como los servicios de emergencia de salud, resaltando también la gran población infante y adolescente tienen que ingeniárselas a diario para desplazarse al centro educativo de la vereda.

Estas dificultades en la vía generalmente han sido enfrentadas por los habitantes de la vereda liderada por la junta de acción comunal del sector, y con recursos propios, con reparaciones insuficientes de los daños que se presentan; además de ser arreglos basados en la experiencia sin ningún estudio técnico por lo cual carecen de seguridad y poca vida útil.

Figura 1. Punto crítico de la vía en estudio



NOTA. Fotografía realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Actualmente, la empresa DGA Construcciones S.A.S trabaja en la construcción de unas torres de energía en la zona de estudio, pero el estado de la vía ha hecho imposible el transporte de los materiales por carretera, obligando a tomar medidas más costosas como el transporte aéreo para lograr llevar los materiales al punto de construcción, como se muestra en las figuras 2 y 3.

Figura 2. Carga de material en el Helicóptero



NOTA. Fotografía realizada por autores, Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Figura 3. Transporte del material



NOTA. Fotografía realizada por autores, Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el material filtrante cercano a la vereda la cumbre para su utilización en la estructura de Pavimento, teniendo en cuenta las normas INVÍAS.

Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades mecánicas del suelo existente mediante apiques y ensayos de laboratorio.
- Realizar un estudio de tránsito para determinar su proyección, teniendo en cuenta las actividades de la zona a través de encuestas origen destino y aforos vehiculares.
- Determinar los factores climáticos que intervienen en la estructura de pavimento de la zona de estudio.
- Definir el diseño de la estructura de pavimento en placa huella, con obras de drenaje y subdrenaje teniendo en cuenta las necesidades de la zona.
- Realizar una descripción general del proceso constructivo para la pavimentación en placa huella.

Justificación

Es muy importante para nosotros como estudiantes de Ingeniería Civil, ver a nuestro país crecer en infraestructura vial, puesto que la competitividad de un país está directamente relacionada a la infraestructura de transporte y la calidad o estado de esta.

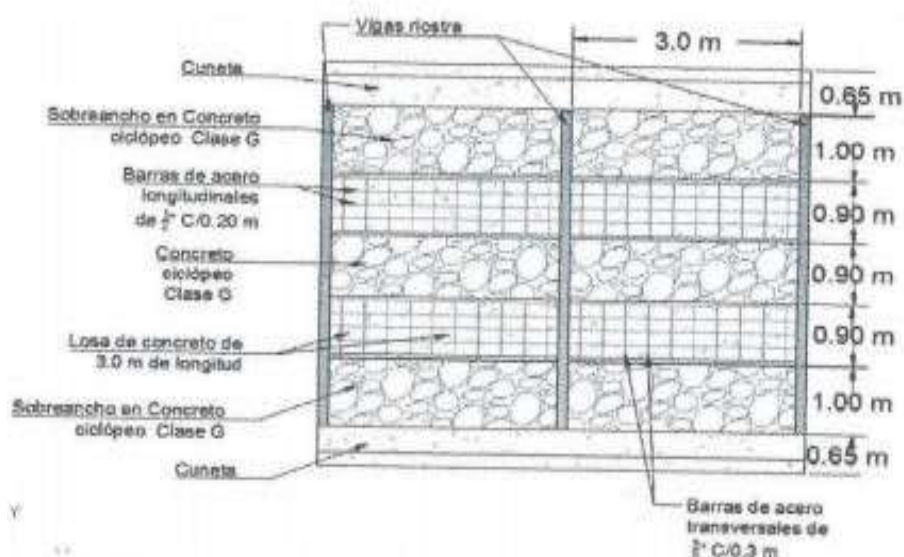
El diseño de una placa huella, planteado como una solución viable a los problemas de transporte en zonas rurales se busca una alternativa que sea económica, resistente y de buena calidad. Por esto y debido a la ubicación de la zona de estudio, montañosa y de alta pendiente, húmeda y con gran cantidad de cuerpos de agua que deterioran la vía, se opta por una estructura de placa huella con lechos filtrantes, que la hacen una de las técnicas más efectivas para implementar en la zona, sin mencionar que el impacto ambiental que genera en el suelo no es muy significativo debido a que no altera completamente las características naturales del suelo.

Esta solución se convierte en la más viable debido a la cercanía con grandes canteras para disponer del material de relleno que se requiera, como también de mano de obra propia de la vereda, aportando así socialmente a la economía de los habitantes del sector.

Estado del Arte

En Colombia, la pavimentación con estructura de concreto reforzado en tipo placa-huella se ha venido implementando de manera muy común en las zonas rurales, y dada la gran necesidad de impulsar el sector agrícola del país, se muestran algunos proyectos recientes relacionados, como lo fue la construcción de la vía La Cumbre en el Municipio de Cajicá. Departamento de Cundinamarca, en donde se implementó el tipo placa huella. (Prada Torres, 2012) Indica el proceso que se llevó a cabo en el contrato de obra que derivó de un convenio interadministrativo celebrado con el INVÍAS no. 1686 de 2012 y que tuvo por objeto el mantenimiento y el mejoramiento de la vía La Cumbre. El tramo tuvo una longitud total de 2.8 km y llevó un proceso de construcción con una calzada de 6 m de ancho, 3 m por carril, con las siguientes características de diseño:

Figura 4. Vista en planta de la modulación propuesta para la aplicación de placa huella.

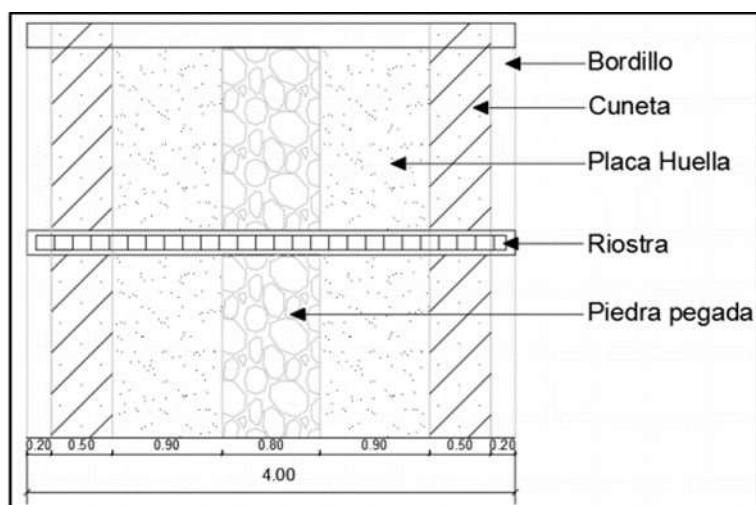


Nota. Tomado de Prada Torres (201)

También encontramos el pre-diseño estructural de placa huella y obras de arte para la vía terciaria entre el Municipio de Fómeque en la Vereda Lavadero, Departamento de Cundinamarca. El proyecto consistió en el pre-diseño estructural de placa huella junto con las obras complementarias necesarias como alcantarillas y demás obras de drenaje, así lo expresó (Sabogal Rojas, 2018), el tramo de vía comprende una longitud de 2.6 km y un ancho aproximado de 4 metros.

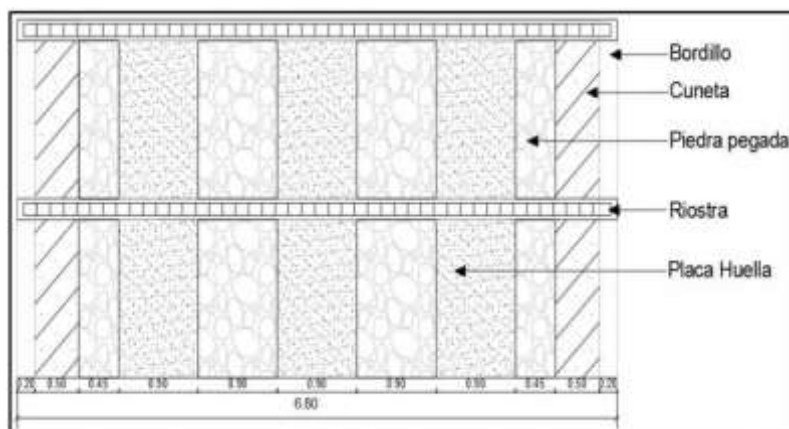
El tramo en ese estudio realizado era variable, por lo tanto, ellos tomaron como opción proponer dos tipos de Placa Huella. El modelo 1 presenta dos placas de concreto de 0.9 m de ancho separadas por una banda de piedra pegada de 0.8 m de ancho, y el modelo 2 tiene 3 placas de concreto de 0.9 m de ancho separadas por 2 bandas de piedra pegada, tal como se aprecia en la Figura 5. Tipo placa huella 1 propuesta en el y Figura 6. Tipo placa huella 2 propuesta en el proyecto.

Figura 5. Tipo placa huella 1 propuesta en el proyecto.



NOTA. Tomado de Sabogal Rojas (2018).

Figura 6. Tipo placa huella 2 propuesta en el proyecto.

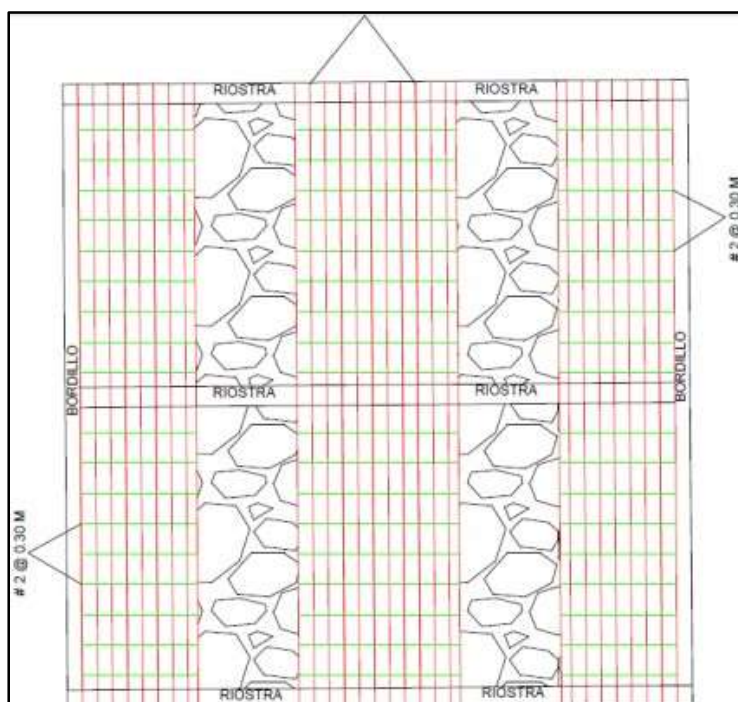


NOTA. Tomado de Sabogal Rojas (2018).

Este sistema de construcción con placa huella ha venido en aumento como podemos ver su aplicación en el siguiente proyecto entre los municipios de La Mesa y en Tena, Departamento de Cundinamarca. Este proyecto buscaba según (Rodríguez, 2019), el diseño geométrico de una

estructura de placa huella para la vía alterna entre el municipio de la Mesa y el municipio de Tena, el alineamiento definitivo de 984,79 metros en el diseño geométrico de los elementos de la vía esta sugiere dos carriles con dimensiones 3 m, encontrado en la mayoría de la vía existente. De esta manera, se facilita la circulación de vehículos en las dos direcciones evitando congestión y reduciendo costos que se darían por la compra, esta sección transversal propuesta consta de tres franjas de concreto reforzado, dos de 0.90 metros contigua a los bordillos, y una central con un ancho de 1.6 metros, separadas por dos rieles de concreto ciclópeo de un metro.

Figura 7. Vista en planta de la sección vial con placa huella, indicando las barras de refuerzo y las vigas (Riostras).



NOTA. Tomado de Rodríguez (2019).

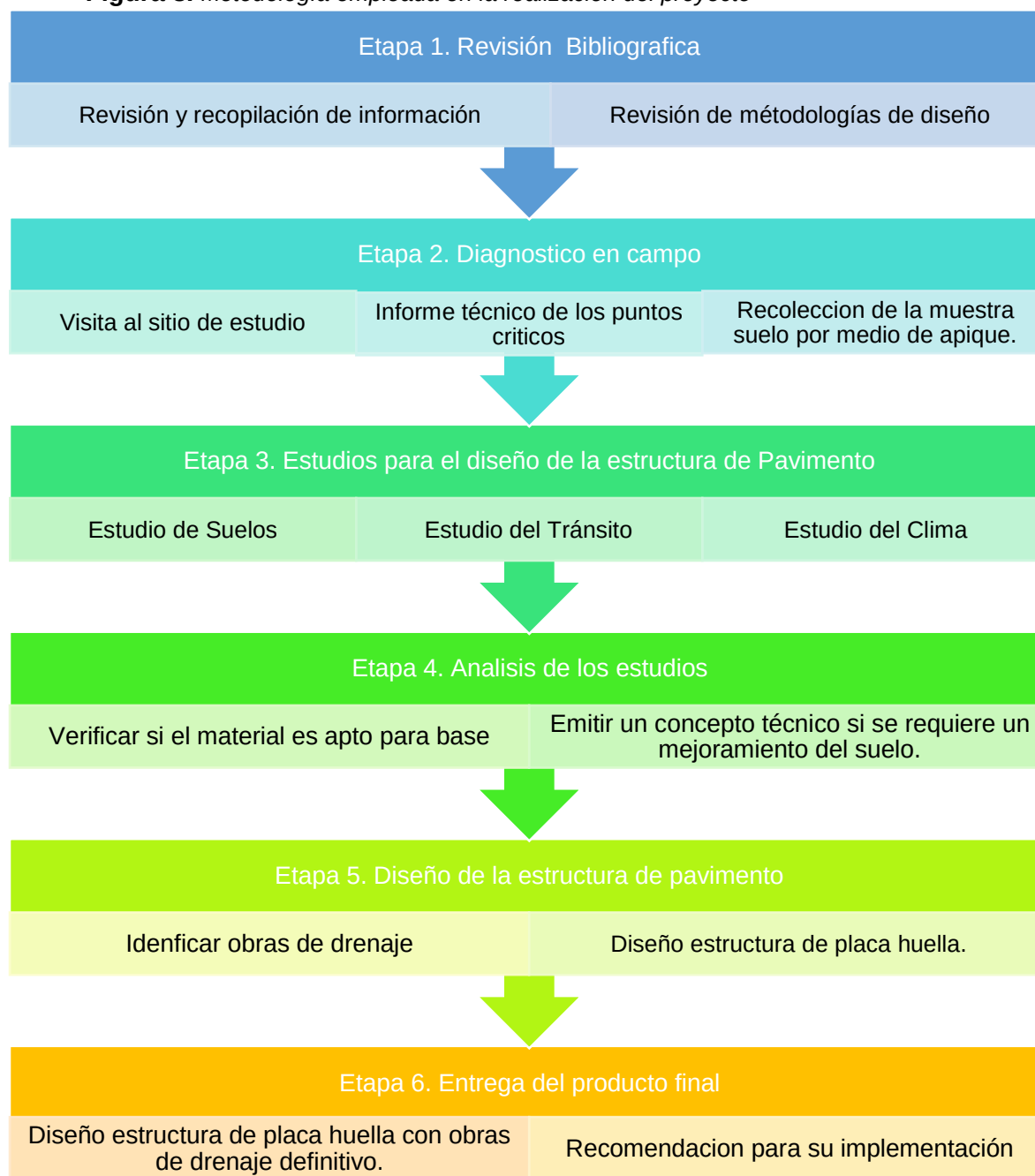
Así mismo es necesario en cada proyecto vial que se vaya a llevar a cabo complementarlo con los sistemas de drenaje que se requiera en la zona, estos sistemas de drenaje están determinados con base en diferentes aspectos, principalmente los meteorológicos, o hídricos que se presenten en la zona de estudio, una vez se hayan realizado dichos estudios el paso a seguir será el diseño de los correspondientes obras de drenaje y subdrenaje cuyas dimensiones dependerán de los resultados obtenidos (Niño, 1991).

Actualmente se conocen estudios de diferentes partes del país donde se han implementado obras de drenaje como el realizado por el PhD, Humberto Ávila y se titula “Perspectiva del manejo del drenaje pluvial frente al cambio climático – caso de estudio: ciudad de Barranquilla, Colombia” y en el que hace énfasis en la factibilidad del proyecto teniendo en cuenta el manejo del drenaje pluvial. Especifica la importancia del drenaje pluvial como en función de proteger las vidas humanas, la infraestructura de la ciudad y poder mantener la movilidad vehicular y peatonal. El manejo integral del drenaje urbano contempla no solo el manejo de las aguas, sino también la capacidad de adaptabilidad frente a los cambios climáticos que se presenten en la vida proyectada de la obra. (Avila, 2012)

Acerca de lechos filtrantes como sistema de drenaje encontramos el material granular el cual debe cumplir varios criterios como lo son la abrasión o desgaste, granulometría y la cantidad de materia orgánica; para ser empleados en estructuras viales, como se utilizó en el proyecto “complemento mejoramiento de la vía terciaria K92,00 – divino niño vereda loma larga desde el K 0+000 al k4+347 municipio de Nocaima”. En donde se caracterizó por recolectar y conducir las aguas superficiales y subterráneas a las obras de sub-drenaje, que se utilizaron en este proyecto, como lo fueron, alcantarillas y cunetas permitiendo de esta manera una rápida infiltración del agua. (FONADE, 2016).

Metodología

Figura 8. Metodología empleada en la realización del proyecto



NOTA. Cuadro de etapas de proyecto realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021 .

- **Etapas 1.** Revisión del estado del Arte

Durante esta etapa se realizará una revisión bibliográfica de libros, textos, investigaciones y trabajos alusivos al tema de procesos constructivos de vías empleando el método de placa huella.

- **Etapas 2.** Diagnóstico de campo

En esta etapa se realizará una visita de campo a la zona de estudio en el tramo que corresponde del k0+000 hasta el k1+150, en donde se obtiene:

Un informe indicando los sitios críticos (hundimientos, pendientes altas, zonas afectadas por las lluvias, entre otras) y se verificarán las obras existentes de la vía, soportadas con un registro fotográfico y emitiendo un concepto técnico de permanencia o reemplazo.

- **Etapas 3.** Estudios para el diseño de la estructura de Pavimento

En esta etapa se realizarán los estudios previos como: 1. el estudio de suelos por medio de apiques, posteriormente un análisis granulométrico y otros ensayos que se realizarán en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás, 2. estudio del tránsito, por medio de aforos y encuestas origen-destino, 3. un estudio del clima para determinar los factores ambientales que afectarán la estructura de pavimento en la zona de estudio.

- **Etapas 4.** Análisis de los estudios

En esta etapa se analizará la muestra de suelo, en donde se verificará si el material es apto para base, de acuerdo con las especificaciones de la Norma INV E-148 CBR>3% (relación de soporte californiana).

Adicionalmente se emitirá un concepto técnico en el que se establecerá: si se debe realizar un mejoramiento o estabilización del suelo.

- **Etapas 5.** Diseño de la estructura de pavimento

En esta etapa se procederá a realizar la estructura de vía en placa huella, con el alineamiento horizontal y vertical, y se identificarán las zonas de drenaje. Se verificará el cumplimiento de la guía de diseño de pavimentos con placa-huella recomendada por el INVÍAS.

- **Etapa 6.** Entrega del producto final

En esta etapa se entrega el diseño final de la estructura del pavimento en placa huella, con sus obras complementarias de drenaje.

A continuación, en la tabla 1 se representa el desarrollo de las actividades:

Tabla 1. Desarrollo de las actividades.

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Evaluar el material filtrante cercano a la vereda la cumbre para su utilización en la estructura de Pavimento, teniendo en cuenta las normas INVÍAS.	Ensayos de laboratorio.	De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinará el desgaste en la máquina de Los ángeles (INV E-219) y las pérdidas en el ensayo de solidez (INV E-220).	Comunidad de la vereda La Cumbre
Realizar el estudio del clima	Análisis de la precipitación, Temperatura media	Empleando el software clima, ingresando los datos de las estaciones	Comunidad de la vereda La Cumbre
Realizar el estudio de las obras de drenaje	Análisis de las fuentes hídricas ubicadas en el transcurso de la vía	Determinar los caudales que se presentan en las fuentes hídricas.	Comunidad de la vereda La Cumbre
Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Realizar el estudio de suelo del tramo.	Apiques	Consiste en hacer un apique, con dimensiones conocidas de 1.5m de profundidad, por 1m de largo y 1 m de ancho, con el fin de recolectar una muestra de suelo significativa e inalterada.	Comunidad de la vereda La Cumbre
Analizar las propiedades mecánicas del suelo	Ensayos de laboratorio	Al tener la muestra es analizada en el laboratorio, para ello se hará un análisis granulométrico para determinar las características del suelo, Humedad etc.	Comunidad de la vereda La Cumbre

Tabla 1. *Continuación*

Realizar el estudio del tránsito	Aforo o conteo vehicular	Se llevará a cabo un conteo de los vehículos que transitan por el tramo de vía en estudio, en lapso de una semana y encuestas origen-destino	Comunidad de la vereda La Cumbre
Realizar el diseño de la estructura de pavimento y una descripción general del proceso constructivo	Diseño de Placa Huella	Obtener un modelo de la estructura en placa huella modelada por las dos metodologías.	Comunidad de la vereda La Cumbre

NOTA. Cuadro de actividades realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Desarrollo

Diagnostico en campo

En la visita al sitio de estudio, se evidenció que la vía actualmente se encuentra en afirmado, con un ancho de calzada de 5 m, y una longitud aproximada de 1.5 km, adicionalmente no cuenta con obras de drenaje, las cuales son indispensables para evitar erosión y socavación en el talud. Tampoco cuenta con ningún tipo de señalización que den advertencias sobre los posibles riesgos que pueden sufrir las personas que se desplazan por la vía, también se detallan daños en la vía como hundimientos, pérdida de la bancada, deslizamiento del talud como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Estado actual de la vía.



NOTA. Registro de los daños y afectaciones que se encontraron en la vía, en la visita técnica que se realizó a la zona de estudio.

Estudio de suelos

La exploración geotécnica para el diseño de la placa – huella consistió en precisar las características físicas y geomecánicas de los estratos existentes, las características del subsuelo y del material granular existente y además se realiza la determinación del CBR de los suelos examinados in situ comparando la resistencia del suelo a la penetración con la del material patrón, lo que permite evaluar la calidad relativa de la sub-rasante del suelo, evaluándose, en lo posible, las condiciones “in situ”.

El procedimiento empleado para la realización de los apiques exploratorios fue el siguiente:

- Antes de iniciar la exploración se realizó un reconocimiento del área en donde se llevaron a cabo los apiques, apoyándose en la topografía del sitio, y toda la información necesaria para la identificación de las características en donde se desarrolla el proyecto.
- Se inició el reconocimiento de los materiales que componen los estratos característicos del subsuelo. Cada vez que se encontró un estrato diferente se tomaron muestras representativas para la realización de los ensayos en laboratorio. Para el caso de materiales granulares se tomaron muestras alteradas para la realización de ensayos tales como Granulometría, lavado sobre el tamiz 200 y límites de consistencia.
- Dependiendo del tipo de suelo encontrado se realizaron pruebas con el penetrómetro dinámico de Cono (PDC), se tomaron muestras inalteradas mediante el hincado de moldes de CBR, además a las muestras tomadas en estos estratos se les realizaron ensayos de Granulometría, Límites de consistencia, lavado sobre el tamiz 200, penetración de moldes de CBR Inalterado y todos los ensayos necesarios que permitieran caracterizar el material para la realización del diseño.
- Una vez se tomaron las muestras representativas de suelo se procedió a realizar el perfil estratigráfico, identificando cada uno de los estratos característicos de subsuelo encontrados.
- Inmediatamente terminada la exploración del sitio se procedió a tapar el apique.

Recolección de muestras de suelo.

Las muestras obtenidas sistemáticamente incluyen la siguiente información:

- Localización del apique referenciado a coordenadas a partir de GPS.
- Columna estratigráfica de cada apique, estratos característicos con sus espesores y muestras obtenidas de la exploración.
- Registro fotográfico.

La exploración geotécnica para el Diseño de la placa- huella se orientó al conocimiento del material de Subrasante y de las características de las capas de Material Granular presentes en la estructura existente, con base en una serie de ensayos de laboratorio convencionales tales como Granulometrías, Humedad Natural, límites de Atterberg, Penetración Dinámica de Cono PDC, los cuales permiten clasificar la Subrasante y los Materiales Granulares encontrados, determinando de esta forma la calidad relativa del material y por ende correlacionar, de forma general, la clasificación geotécnica realizada con el comportamiento geomecánico de dicho material.

A partir de ello, se seleccionaron tres sectores a lo largo del tramo vial en estudio, se ubicaron las coordenadas geográficas de cada uno de ellos y se procedió a realizar los apiques los cuales contaron con una profundidad media de exploración de 1.50 metros por debajo de la rasante actual. Este proceso se puede evidenciar en la Tabla 3.

Tabla 3. Sectores de recolección de las muestras de suelo.



NOTA. Evidencia fotográfica de la recolección de las muestras de suelo para cada uno de los tres apiques.

Esquema general de la localización de los apiques

Teniendo las coordenadas de los puntos en los cuales se realizaron los apiques, se empleó el software Google Earth para realizar un esquema general de la localización de los apiques.

Figura 9. *Esquema general de la localización de los apiques.*



NOTA. Figura tomada de Google Earth..

Perfil estratigráfico y características granulométricas y de plasticidad del material

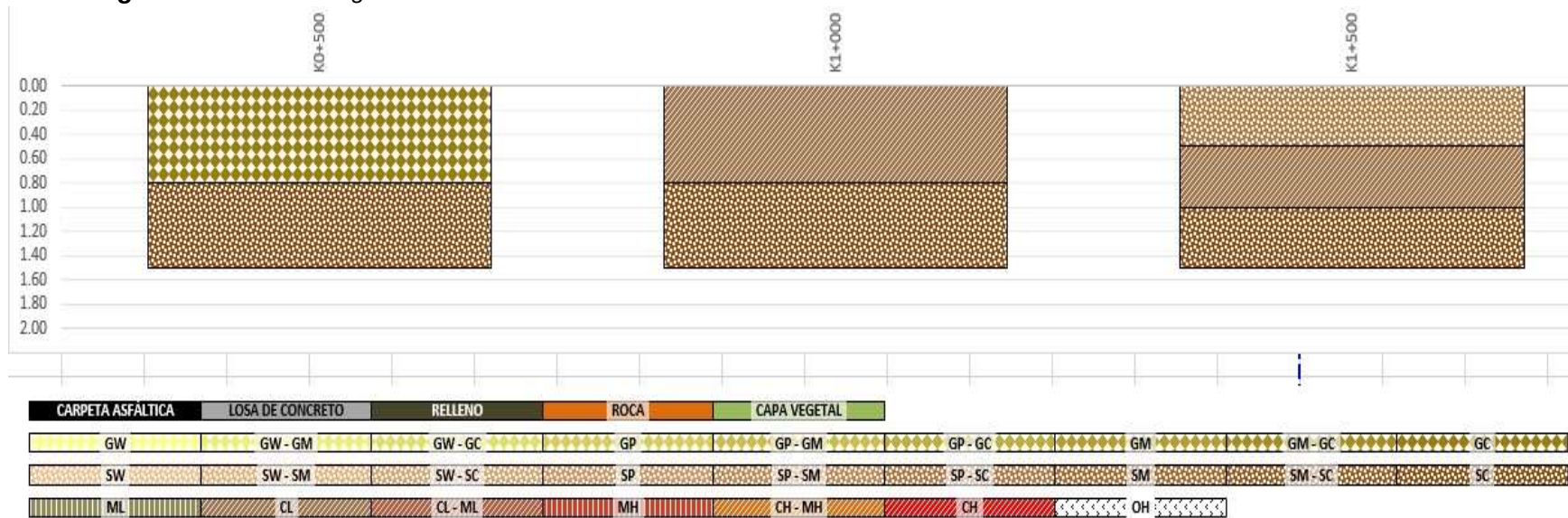
Las características granulométricas, humedad natural, índices de plasticidad y capacidad portante del suelo a lo largo del tramo se describen así, en el primer apique se encontraron dos estratos de suelo, el primero a una profundidad de 0 m a 0.70 m, una arena color café claro con franjas gris y rojas, arcillosa bien gradada en presencia de gravas y finos (SC-SW) y el segundo a una profundidad de 0.70 m a 1.5 m, grava en matriz arcillosa pobremente gradada en presencia de arenas color amarillo claro (GC-GP), con una capacidad portante CBR de 10.03%, presenta los siguientes valores en sus límites de consistencia: Limite liquido de 36% y un Limite plástico de 21% y por consiguiente un Índice de plasticidad de 15%, conformado por una gradación de 16.3% finos, 29.5% Arenas y 54.2% de grava.

En los siguientes 500 m se encontró dos diferentes estratos predominantes, a una profundidad de 0 m a 0.7 m una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL) y el segundo

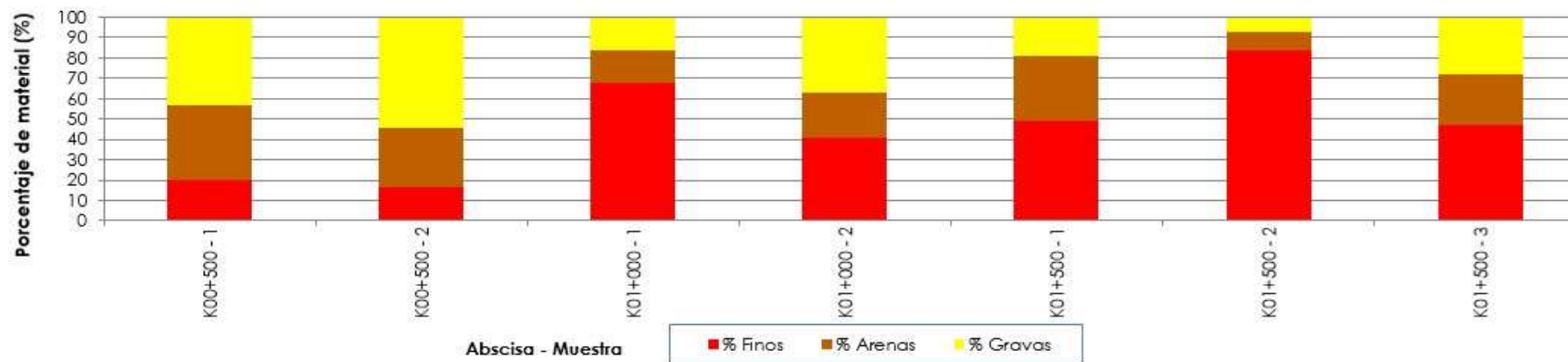
a una profundidad de 0.7 m a 1.5 m una arena arcillosa bien gradada en presencia de grava y finos (SC-SW), con una capacidad portante CBR de 7.15 %, presenta los siguientes valores en sus límites de consistencia: Limite liquido 36 % y un Limite plástico de 36 %, adicionalmente con un Índice de plasticidad de 15%; conformado por una gradación de 41 % finos, 22% Arenas y un 37 % de grava.

En el último apique se encontraron tres estratos de suelo, los cuales están conformados así, a una profundidad de 0 m a 0.5 m arena color café oscuro en presencia de arcilla de media plasticidad (SC), a una profundidad de 0.5 m a 1.0 m arcilla color café oscuro con betas rojas y grises, inorgánica de baja a media plasticidad (CL) y por último de 1.0 m a 1.5 m arena arcillosa bien gradada en presencia de gravas y finos (SC-SW), con una capacidad portante CBR de 7.65 %, presenta los siguientes valores en sus límites de consistencia: Limite liquido 39%, Limite plástico 22%, Índice de plasticidad de 18%, con una gradación de 47% Finos, 25% Arenas y 28 % Grava.

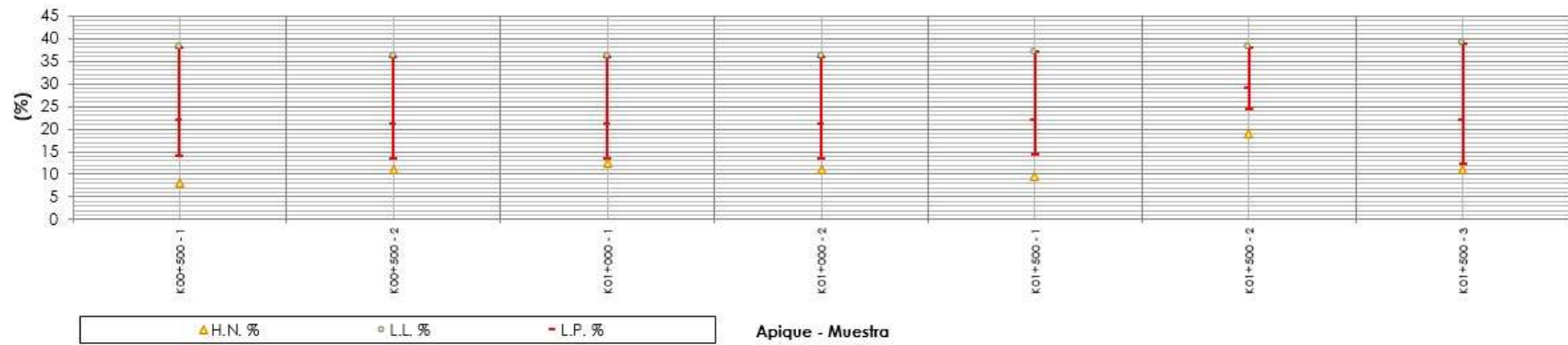
A continuación, se presenta, de forma gráfica, el perfil estratigráfico, las características granulométricas, humedad natural, índices de plasticidad y capacidad portante del suelo.

Figura 10. Perfil estratigráfico del tramo en estudio.

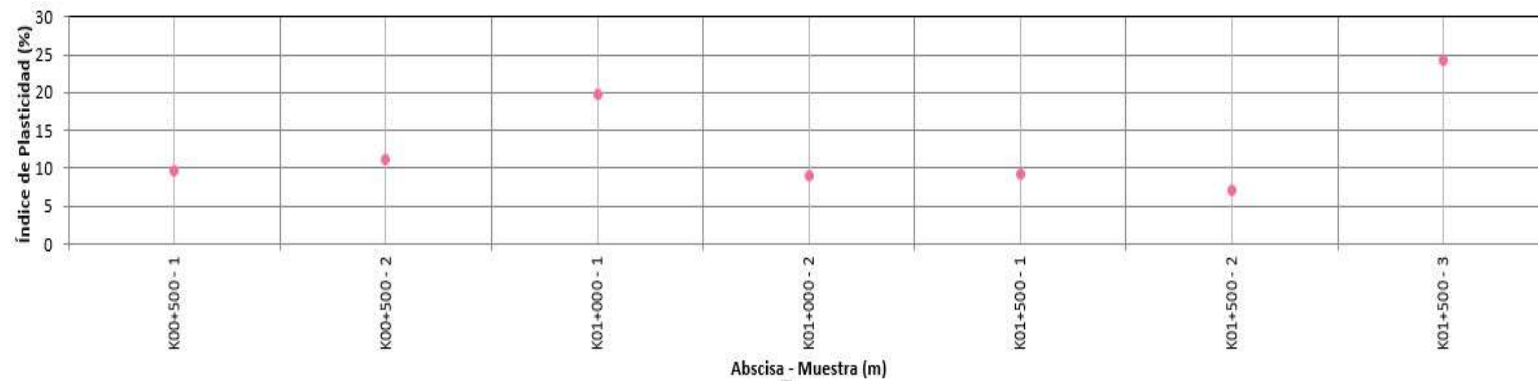
Nota. Estratigrafía realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Figura 11. Características granulométricas del tramo en estudio.

Nota. Granulometría realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Figura 12. Humedad natural y límites de Atterberg en el tramo de estudio

Nota. Gráfico realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Figura 13. Índice de plasticidad en el tramo de estudio.

Nota. Gráfico realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Penetración dinámica de cono (PDC)

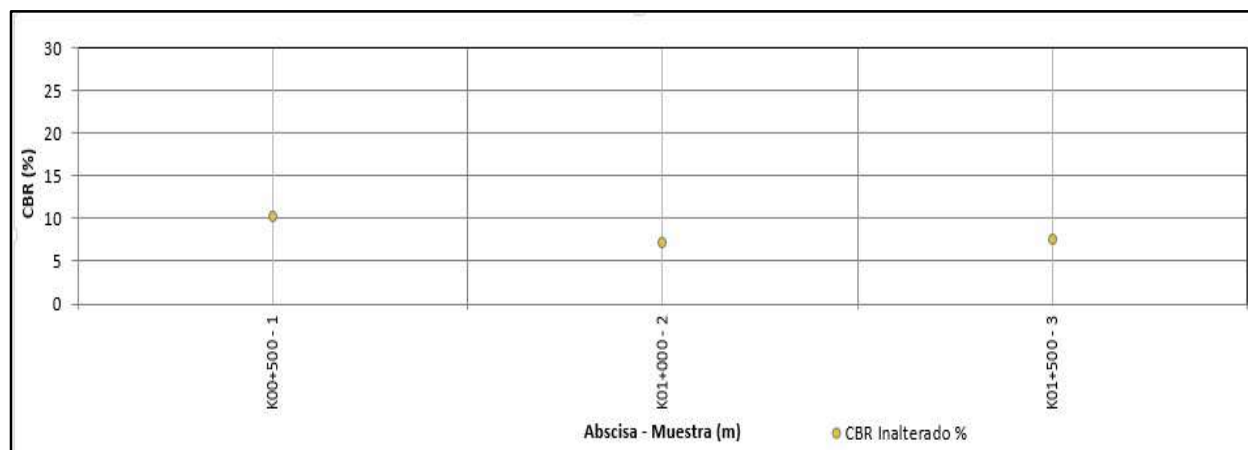
La realización de toma de muestras remoldadas se enfocó básicamente a la recuperación de muestras afectadas por algún tipo de corte el cual altera sus características naturales en campo, estas muestras generalmente se extraen por medio de hoyadoras los cuales recuperan la muestra representativa por medio de su paladraga. Para el caso de muestras inalteradas se procedió a realizar el hincado de moldes de CBR inalterado. En las diferentes exploraciones geotécnicas, las muestras tomadas fueron llevadas a laboratorio y acopiadas en lugares frescos y aireados para evitar modificar las características naturales de los materiales para posteriormente realizar los ensayos programados.

Tabla 4. Registro fotográfico de ensayo PDC.



NOTA. Ensayo de penetrómetro dinámico de cono aplicado in situ, adicionalmente recolección de las muestras de suelo en moldes de CBR inalterados.

A continuación, se presenta la gráfica del CBR inalterado obtenido en las muestras de suelo.

Figura 14. CBR inalterado.

Nota. Gráfico realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Material filtrante

El material drenante podrá provenir de la trituración de roca o ser de cantos rodados, o una mezcla de ambos, y estará constituido por fragmentos duros y resistentes a la acción de los agentes del intemperismo. Además, deberá cumplir con los siguientes requisitos:

Tabla 5. Requisitos del material granular para filtros.

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	VALOR
Desgaste los ángeles. (%)	E-219	≤ 40
Perdidas en el ensayo de solidez. (%) -Sulfato de magnesio	E-220	≤ 18
Contenido de materia orgánica (%)	E-121	Cero

NOTA. Artículo 673 sub-drenes con geo textiles y material granular (INVÍAS).

A continuación, se muestra el desarrollo de cada uno de los ensayos pertinentes, con el fin de determinar si el material de la zona de estudio es apto para ser utilizado en filtros.

Determinación del contenido orgánico en suelos mediante pérdida por ignición

Este método sirve para determinar la oxidación cuantitativa de materia orgánica en tales materiales y proporciona una estimación válida del contenido orgánico. El método de la "Combustión Húmeda" (AASHTO T194) se recomienda cuando se desea determinar el material orgánico (del tipo humus) fácilmente oxidable. (INVÍAS)

Para la realización de este ensayo fue necesario, primero hacer un análisis granulométrico por tamizado con una porción de material obtenido en campo, el cual tiene un peso de 4.85 kg, como se puede evidenciar en la Tabla 6 .

Tabla 6. Gradación de la muestra para el ensayo de ignición.

No tamiz	Abertura (mm)	Peso (kg)
1 1/2"	37.5	0.38
1"	25	0.94
3/4"	19	0.36
1/2"	12.5	0.79
3/8"	9.5	0.4
4	4.75	0.54
8	2.36	0.21
20	0.85	0.52
40	0.425	0.35
60	0.25	0.36
Peso total (kg)		4.85

NOTA. Cuadro de gradación realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021 .

En el siguiente paso se tomó una muestra representativa de 100 g del material fino, es decir del tamiz N°8 hacia abajo, y se llevó al horno a una temperatura aproximada de 110 °C por un lapso de tiempo de media hora, y luego se puso en el desecador hasta que enfriara a temperatura ambiente como se puede ver en la Figura 15.

Figura 15. Muestra enfriándose en el desecador.



NOTA. Fotografía realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Luego de que se enfriara la muestra, se sacó una porción de 40 gr en un crisol previamente tarado, enseguida se llevó a la mufla a una temperatura de 375 °C por un lapso de 4 horas. Luego de esto se puso la muestra nuevamente en el desecador por 1 hora para finalmente obtener los resultados del ensayo.

Figura 16. Horno a 375° en ensayo de ignición.



NOTA. Fotografía realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Según nos indica el INVÍAS el contenido orgánico deberá expresarse como un porcentaje del peso del suelo secado en el horno y deberá calcularse así:

$$\% \text{ de materia organica} = \frac{A - B}{A - C} * 100 \quad (1)$$

Donde:

A: peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco al horno antes de la ignición B:
peso del crisol o plato de evaporación y del suelo seco después de la ignición.

C: peso del crisol o plato de evaporación, con aproximación a 0.01 gr.

A continuación, se presenta en la Tabla 7, los cálculos y las evidencias fotográficas del proceso que se realizó en el laboratorio.

Tabla 7. Resultados del ensayo.

Peso del crisol con el suelo seco antes de la ignición A		343.3 gr
Peso del crisol con el suelo seco después de la ignición B		342.9 gr
Peso del crisol C		303.3 gr

NOTA. Resultados obtenidos al pesar en gramera los elementos empleados para el ensayo.

$$\% \text{ de materia organica} = \frac{343.3 - 342.9}{343.3 - 303.3} * 100 = 1\% \quad (2)$$

El porcentaje de materia orgánica que se obtuvo de la muestra analizada fue del 1%, indicando que no cumple con el criterio exigido por el artículo 673 sub-drenes con geo textil y material granular, el cual exige que el porcentaje de materia orgánica sea de cero.

Sanidad de los agregados frente a la acción de la solución de sulfato de magnesio.

Mediante este ensayo se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear en las condiciones Climatológicas de la obra. (INVÍAS)

Para la realización de este ensayo se fracciono la muestra, se separaron los agregados finos de los gruesos; se realizó el correspondiente tamizaje de tal manera que se pudiera obtener 100 g del agregado más fino.

Los tamices empleados en este ensayo se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. *Tamices requeridos para la muestra.*

TAMICES SERIE GRUESA		TAMICES SERIE FINA	
Tamiz	Abertura (mm)	Tamiz	Abertura (mm)
1"	25	4	4.75
3/4"	19	8	2.36
3/8"	9.5	16	1.18
		50	0.3

NOTA. Gradación por tamizaje, para las muestras de suelo grueso y fino.

Luego de tener la muestra fraccionada en cada tamiz, se preparó lavando cada una de las fracciones y puestas a secar en el horno por 30 minutos a una temperatura de 110° C.

Ya que lo norma perdida de solidez (INV – E -220) nos recomendaba dos sulfatos diferentes para la realización del ensayo, se optó por usar el sulfato de magnesio, ya que empleando el sulfato de magnesio se asegura que los resultados son más notorios, por lo que se diluyeron 350 g del sulfato por cada litro de agua obteniendo así la proporción adecuada para el ensayo.

Figura 17. Preparación de la solución de sulfato de magnesio.



NOTA. Fotografía realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de magnesio durante un periodo de 16 horas de tal manera que, la solución cubra por completo las muestras en cada uno de los recipientes.

Figura 18. Vertimiento de la solución en cada una de las fracciones de la muestra.



NOTA. Fotografía realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Figura 19. Vertimiento de la solución en cada una de las fracciones de la muestra.



NOTA. Fotografía realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Posteriormente a la inmersión, se deja escurrir la muestra completamente, para luego, ser llevada al horno nuevamente a una temperatura de 110°C , hasta obtener masa constante y completamente seca. Una vez se ha secado la muestra se deja enfriar a temperatura ambiente, se toma el peso y se repite el procedimiento sumergiéndolas nuevamente en la solución como se había indicado anteriormente, cabe aclarar que para este ensayo se realizaron 5 ciclos que es lo mínimo recomendado por norma.

Ya terminado el último ciclo y que la muestra se ha enfriado, se hizo un lavado hasta que la muestra quede exenta de sulfato de magnesio.

Después de eliminar todo el sulfato de magnesio, cada fracción de la muestra se seca hasta obtener una masa constante, a una temperatura de 110°C , el siguiente paso es pesar la muestra, luego se tamiza nuevamente los agregados en los correspondientes tamices, determinando así la masa del material retenido en cada tamiz y se registra la cantidad.

La diferencia entre cada una de estas cantidades y las cantidades iniciales es la pérdida durante el ensayo y se debe expresar como porcentaje de la masa inicial.

A continuación, en la Tabla 9 se presentan los valores obtenidos en el laboratorio:

Tabla 9. Tabla de resultados del ensayo

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO INICIAL	PESO FINAL CICLO 5	GRADACIÓN ORIGINAL %	PORCENTAJE QUE PASA DESPUÉS DE ENSAYO
1"	25	0.132	0.128	10.84%	0.40%
3/4"	19	0.241	0.237	19.79%	0.40%
3/8"	9.5	0.335	0.325	27.50%	1.00%
Fracción fina					
4	4.75	0.21	0.173	17.24%	3.70%
8	2.36	0.1	0.084	8.21%	1.60%
16	1.18	0.1	0.088	8.21%	1.20%
50	0.3	0.1	0.099	8.21%	0.10%
		1.218	1.134	100%	8%

NOTA. Resultados obtenidos en la aplicación de solución de sulfato de magnesio.

El porcentaje de solidez de los agregados obtenido en este ensayo fue del 8%, indicando que si cumple con criterio exigido en el artículo 673 sub-drenes con geo textil y material granular, el cual indica que la perdida de solidez empleando sulfato de magnesio debe ser menor o igual al 18%.

Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores a 19 mm (3/4") por medio de la máquina de los ángeles

Este ensayo tiene por objeto establecer la resistencia al desgaste de agregados gruesos, de tamaños mayores de 19 mm (3/4"), mediante la máquina de los Ángeles. No se requiere ninguna gradación especial, permitiéndose el uso de fragmentos de un solo tamaño. Las partículas podrán ser angulares o redondeadas o una combinación de ellas. Posteriormente las muestras de las fracciones se unen para formar la muestra total del ensayo, de acuerdo a la granulometría escogida, se seleccionó la carga abrasiva o el número de esferas, como se puede observar en las Figura 20 y Figura 21.

Figura 20. Granulometrías de la muestra de agregado para ensayo.

TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g			
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRÍAS			
		A	B	C	D
37.5 (1½")	25.0 (1")				
25.0 (1")	19.0 (¾")	1250 ± 25			
19.0 (¾")	12.5 (½")	1250 ± 25			
12.5 (½")	9.5 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 (3/8")	6.3 (¼")	1250 ± 10	2500 ± 10	2500 ± 10	
6.3 (¼")	4.75 (No. 4)			2500 ± 10	
4.75 (No.4)	2.36 (No. 8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

NOTA. Tomado de (INVIAS) E-220.

Figura 21. Carga abrasiva según la masa del ensayo.

GRANULOMETRÍA	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE LA CARGA, g
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

NOTA. Tomado de (INVIAS) E-220.

Tabla 10. Preparación de la muestra.

Tamiz 1" (25 mm)	
Tamiz 3/4" (19,5 mm)	

Tabla 10. Continuación

Tamiz 1/2" (12.5 mm)	
Tamiz 3/8" (9.5 mm)	

NOTA. Preparación de la muestra de suelo de agregado grueso.

Se hizo una revisión al tambor para comprobar que estuviese limpio y que no hubiese residuos de ensayos anteriores, la muestra y la carga abrasiva (esferas de acero) se colocaran dentro de la máquina de los ángeles y se hizo girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 r.p.m) hasta completar 1000 revoluciones. Una vez cumplido el número de revoluciones se descargó el material del cilindro y se procedió a una separación preliminar de la muestra ensayada empleando un tamiz de abertura mayor al de 1.70 mm (No 12).

- La fracción fina que pasó, se tamizó utilizando el tamiz de 1.7 mm (No 12).
- El material más grueso que la abertura del tamiz de 1.7 mm se lavó, y se secó en el horno a una temperatura de 110° C hasta obtener masa constante y de esa manera determinar la masa.

Figura 22. Puesta de la muestra en la máquina de los ángeles.



NOTA. Fotografía realizada por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

La diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material seco retenido en el tamiz de 1.7 mm (No 12) luego del ensayo expresada como porcentaje de la masa inicial será el desgaste de la muestra.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 \quad (3)$$

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{5000 \text{ g} - 1824 \text{ g}}{5000 \text{ g}} * 100 = 64\% \quad (4)$$

El porcentaje de desgaste obtenido fue del 64%, indicando que no cumple con el criterio exigido por el artículo 673 sub-drenes con geo textil y material granular, el cual demanda que el desgaste en la máquina de los ángeles debe ser menor o igual al 40%.

Estudio de tránsito

El pavimento con Placa-huella constituye una solución para vías terciarias de carácter veredal que presentan un volumen de tránsito bajo con muy pocos buses y camiones al día siendo los automóviles, los camperos y las motocicletas el mayor componente del flujo vehicular.

El mecanismo de falla del pavimento con placa-huella, que es por carga última, se puede concluir que la elaboración de un estudio de tránsito traducido en un espectro de cargas resulta innecesaria. El estudio del espectro de cargas es pertinente en el diseño de un pavimento que falle estructuralmente por acumulación de fatiga no siendo éste el caso del pavimento con placa huella.

Lo relevante es la sección del vehículo de diseño, puesto que, de este, repente el peso y configuración del eje de referencia y la adecuación geométrica que se le debe construir a la vía para que dicho vehículo pueda circular adecuadamente. Tomando en consideración que la vía una vez pavimentada debe permitir la circulación de los camiones que transportan los productos agropecuarios, forestales, mineros o industriales que se extraigan o fabriquen en la zona, se ha adoptado como vehículo de diseño, el camión C₃.

Adicionalmente se realizaron unas encuestas Origen – Destino con el fin de conocer el flujo de personas que circulan por esta vía.

Estudio de clima

Por medio del software Clima se obtuvieron los siguientes datos fundamentales para el diseño de la placa – huella como lo son la precipitación media anual (PMA) y la temperatura media (T °C).

El primer paso fue hacer el trazado de la vía en Google Earth, obteniendo de esa forma las coordenadas geográficas.

El siguiente paso fue, trasladar las coordenadas geográficas al programa Clima, donde este analiza las estaciones meteorológicas cercanas a la vía para realizar el estudio de temperatura y la precipitación.

Figura 23. Estaciones cercanas a la vía

The screenshot shows the 'Software Clima' interface. On the left, there are sections for 'General' (Departamento: META [58], Municipio: VILLAVICENCIO [50001], Categoría:), 'Precipitación Media Mensual (mm)' (Mínimo, Máximo, Año: 2020), and 'Temperatura Media Mensual (°C)' (Mínimo, Máximo, Año: 2020). Below these is a 'Variables Climáticas' section with a 'SELECCION ESTACIONES CLIMATICAS' dialog box. The dialog box contains a message: 'Se encontraron (1) Estaciones Climáticas, confirme la selección...' and buttons for 'Sí', 'No', and 'Cancelar'. Below the dialog box are checkboxes for '10 - MAXIMOS DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (mm)' and '11 - REDOS(V) DIARIOS DE VELOCIDAD DEL VIENTO (mm)'. At the bottom left are 'Buscar' and 'Salir' buttons. On the right, there is a 'Ruta de Google-Earth' section with 'Pegar Coordenadas KML de Google Earth' and 'Enviar Coordenadas en KML a Google Earth' buttons. Below this is a table of coordinates:

#	Latitud (g.m.s)	Longitud (g.m.s)
1	4.44.6807	-73.44.52.47
2	4.45.6654	-73.44.52.5232
3	4.46.3782	-73.44.52.7053
4	4.47.0454	-73.44.52.487
5	4.47.4079	-73.44.51.8432
6	4.47.9088	-73.44.50.3781
7	4.48.7672	-73.44.50.4418
8	4.49.3596	-73.44.50.8387
9	4.49.8148	-73.44.49.9044
10	4.50.5528	-73.44.49.5444
11	4.51.2508	-73.44.49.6349
12	4.51.9506	-73.44.49.4986
13	4.52.5581	-73.44.49.8012
14	4.52.7875	-73.44.48.5829
15	4.52.9082	-73.44.48.1811
16	4.53.1513	-73.44.47.8145

Below the table is a 'Forma de Registro' section with 'Cerca a la Ruta' (checked) and 'Dentro de Ruta' (unchecked) options, and a 'Distancia Máxima (Km): 5' input field.

Nota. Realizado con Software Clima

Donde solo se encontró una estación, y era muy escasa la información, por lo que se decidió trabajar con todas las estaciones de la ciudad de Villavicencio- Meta, con una información de 11 años atrás.

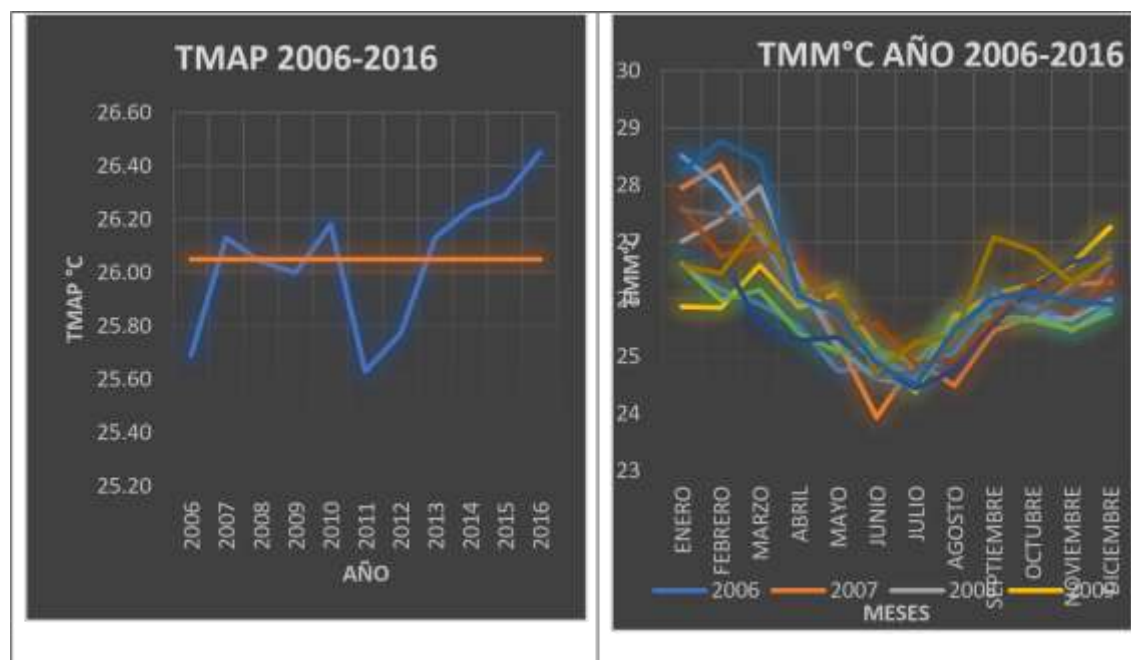
Temperatura media anual (TMAP)

La temperatura media anual obtenida por medio del software, fue de 26 °C.

Tabla 11. Temperatura media anual ponderada y temperatura de diseño.

TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA Y TEMPERATURA DE DISEÑO			
AÑO	TMAP °C	TMAP PROM	FACTOR DE PONDERACION
2006	25.69	26.05	2.01
2007	26.13	26.05	2.13
2008	26.04	26.05	2.11
2009	26.00	26.05	2.10
2010	26.18	26.05	2.15
2011	25.63	26.05	2.00
2012	25.77	26.05	2.04
2013	26.13	26.05	2.13
2014	26.24	26.05	2.17
2015	26.29	26.05	2.18
2016	26.45	26.05	2.23
TMAP DE DISEÑO (°C)		26	

NOTA. Temperatura media anual obtenida para los 11 años de estudio empleando el software clima.

Tabla 12. Gráficas de la temperatura media anual en la zona de estudio.

NOTA. Gráficas obtenidas de temperatura media anual vs los años de estudio, y temperatura media anual vs los meses del año

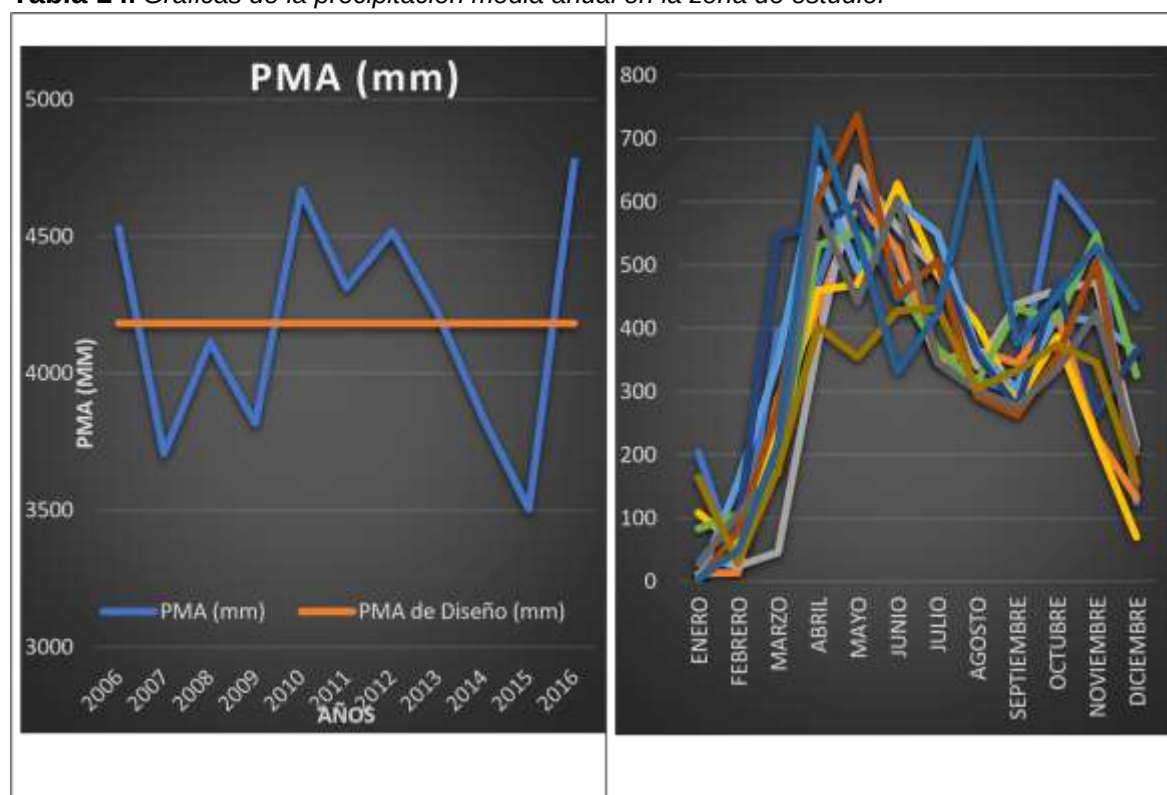
Precipitación media anual

La precipitación media anual obtenida, fue de 4181 mm.

Tabla 13. Precipitación media anual (PMA).

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (PMA)		
Año	PMA (mm)	PMA de Diseño (mm)
2006	4530.74	4181.82
2007	3706.94	
2008	4114.46	
2009	3817.83	
2010	4666.73	
2011	4312.75	
2012	4517.21	
2013	4221.44	
2014	3834.76	
2015	3503.35	
2016	4773.86	

NOTA. Precipitación media anual obtenida para cada uno de los años en estudio.

Tabla 14. *Graficas de la precipitación media anual en la zona de estudio.*

NOTA. Gráficas obtenidas de precipitación media anual vs los años de estudio, y precipitación media anual vs los meses del año.

Diseño de la placa huella

La estructura de pavimento está constituida por un conjunto de varias capas superpuestas, con diferentes características que varían de acuerdo a sus propiedades geomecánicas. El número de capas estructurales que requiere el pavimento para soportar el tránsito de diseño, varía en función de la calidad que tenga la Sub-rasante y los granulares existentes en lo referente a su valor de soporte, además de los valores que, en función de las condiciones de sitio, se adopten para el desarrollo del diseño.

En este capítulo se desarrollan los aspectos concernientes al diseño del pavimento. Se establecen características de materiales y lineamientos de la metodología de diseño, se presentan los resultados y análisis de los datos de campo tomados conforme con lo descrito en los capítulos anteriores del presente documento. Así mismo, se describen las alternativas de

intervención de rehabilitación del pavimento, así como también se ilustra el procedimiento y resultados del diseño de espesores.

En los pavimentos con placa-huella, que son estructuras de concreto reforzado similares a la estructura de un edificio, la falla estructural (o ruptura) se produce por la aplicación de una carga que produzca esfuerzos que superen la resistencia última de los elementos de concreto reforzado. Lo anterior condujo a que el diseño del pavimento con placa-huella se tuviese que hacer como una estructura de concreto reforzado totalmente apoyada sobre el suelo (en este caso el suelo es subbase granular) constituida por placas-huella y riostras que trabajan monolíticamente y cuyo mecanismo de falla es por carga última.

Los principales atributos de este tipo de pavimentos son:

- No requerir acciones de mantenimiento diferentes a la limpieza de las obras de drenaje y la rocería de las zonas laterales.
- No requerir mayores modificaciones a la geometría de la vía existente, ya que por condiciones de rugosidad de la superficie de este tipo de pavimento la velocidad de los vehículos tiende a ser muy baja. Es pertinente manifestar que la baja velocidad es un control implícito de la accidentalidad.
- Reducir los costos de construcción y mantenimiento respecto a los mismos costos de un pavimento convencional.
- Ofrecer la posibilidad de utilización de materiales y mano de obra locales.

Sub-rasante. En el comportamiento de la placa-huella se pudo concluir que la cuantía de acero y la longitud, ancho y espesor tanto de la placa huella como de la riostra no son sensibles a la rigidez de la superficie de apoyo, en este caso del conjunto subrasante-subbase granular. Por esta razón se adoptó para la sub base granular un espesor único de 15 centímetros y la calidad exigida en las especificaciones Generales de Construcción del Instituto Nacional de Vías – INVÍAS. Dicho espesor obedece a razones constructivas como son el contribuir a lograr la lisura de la superficie de apoyo de las placas, que es la sub base granular, a poder lograr la compactación requerida cuando los suelos de apoyo sean de precaria calidad y a disponer de una superficie de trabajo limpia.

El espesor adoptado es suficiente para sub bases granulares colocadas sobre suelos con CBR mayor o igual a 3%, dado que el CBR obtenido en la zona de estudio es del 8%.

Espesor de la placa huella

Como resultado de la modelación mediante elementos finitos del paso del eje tándem del camión C3 (22 toneladas distribuidas en dos ejes simples de 11 toneladas cada uno separados 1.20 metros centro a centro) se encontró que el espesor de la placa-huella no es sensible a la rigidez del apoyo, en este caso del conjunto Subrasante -subbase granular. El espesor requerido de concreto para soportar los esfuerzos producidos por el eje de diseño es menor de 15 centímetros, pero por facilidad constructiva y adecuado recubrimiento de la armadura de acero se adoptó un espesor único de 15 centímetros.

Resistencia del concreto

Se especifica que la fabricación de los elementos estructurales del pavimento se debe realizar con concreto de calidad aceptable que en este caso se asimila a una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

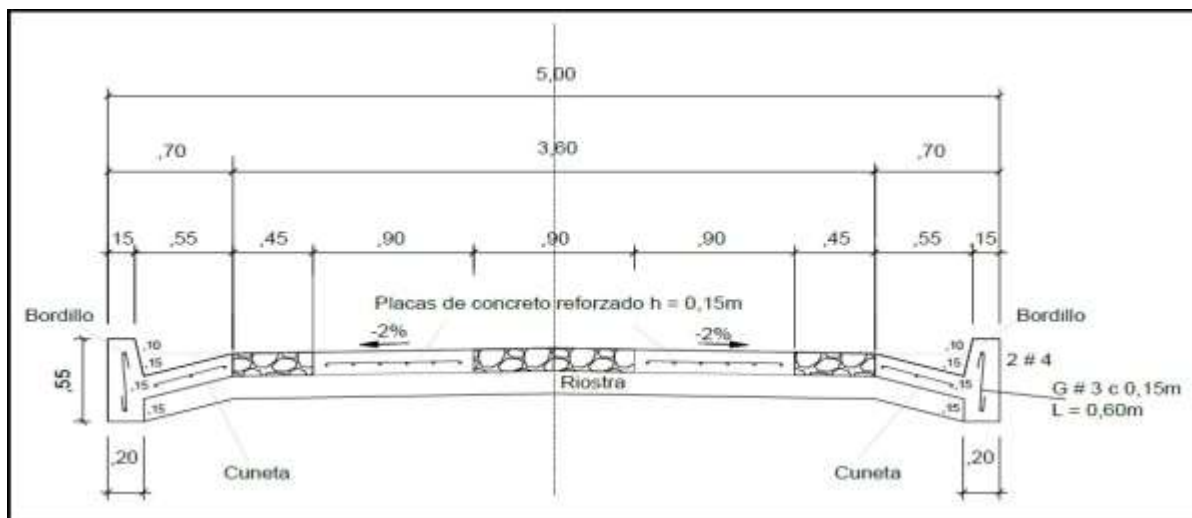
Incluyendo los ensayos de calidad a los agregados los cuales deben cumplir los requisitos para concreto estructural establecidos en las especificaciones vigentes del Instituto Nacional de Vías. En las franjas de piedra pegada, cuyo material se asimila a un concreto ciclópeo, es necesario tener en cuenta que al igual que las placas-huella también van a estar sometidas al deterioro producido por el efecto del clima (sol y lluvia) y por el desgaste producido por la abrasión generada por las llantas de los vehículos así sea esporádica la circulación sobre ellas. Además, estas franjas deben permanecer durante más de veinte años sin evidenciar deterioros significativos. La especificación INV Art 630 – 2013 establece una resistencia del concreto menor para el ciclópeo. Lo anterior bajo el entendimiento que el concreto ciclópeo es para usos diferentes al de una eventual circulación de vehículos sobre este material, en aras de velar por la durabilidad del pavimento con placa-huella, también determina que el concreto incorporado en las franjas de piedra pegada tenga una resistencia a los 28 días de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. En cuanto a la piedra a utilizar, se recomienda que sea de canto rodado, ya que estas piedras presentan una mayor resistencia al desgaste.

Sección transversal en tangente

Para garantizar la seguridad y confort de los usuarios se deben rectificar las características geométricas de la vía existente tanto en planta como en perfil y sección transversal.

Para garantizar la durabilidad del pavimento se recomienda una sección transversal en tangente de 5.00 metros de ancho. El motivo principal de la adopción de este ancho obedece a evitar, hasta donde sea posible, que los camiones y buses circulen sobre la piedra pegada, dado que este es un material cuyo comportamiento ante la sollicitación de las cargas de los vehículos es totalmente incierto dada la dificultad de establecer un modelo que permita predecir en el largo plazo dicho comportamiento. Por lo anterior y teniendo en cuenta que el periodo de servicio del pavimento no puede ser inferior a 20 años, la única opción responsable es evitar que los camiones y buses circulen por las franjas de piedra pegada.

Figura 24. Corte Transversal en tangente.



NOTA. Esquema realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021 .

Como se muestra en la Figura 24, las placas-huellas son de 90 centímetros de ancho separadas por una franja central también de 90 centímetros en piedra pegada. Cuando un camión o bus recorre la vía sin visualizar un vehículo que viaje en sentido contrario lo hace sobre las placas-huella que son los elementos diseñados para soportar las cargas.

Espesores y refuerzos

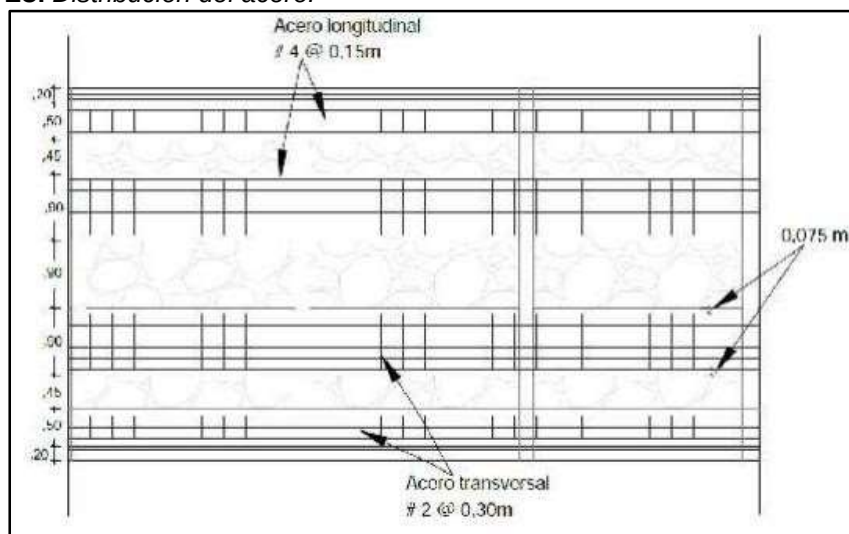
Tabla 15. Dimensiones y Refuerzos.

Longitud	1.00 – 2.80. Como ancho de la riostra siempre es 20 centímetros (0.20m) la longitud máxima de un módulo es de 3.0 metros (3.0 m) y corresponde a la longitud del módulo en tangente.
Ancho (m)	0.9
Espesor (m)	0.15
Refuerzo longitudinal	Una varilla número 4 cada quince centímetros (1#4@0.15)
Refuerzo Transversal	Una varilla número 3 cada veinte centímetros (1#3@0.20)

NOTA. Cuadro de dimensiones y refuerzo realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

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

Figura 25. Distribución del acero.



NOTA. Tomado del INVÍAS, 2015.

Viga riostra

La riostra es una viga transversal de concreto reforzado en la que su acero de refuerzo se entrecruza con el acero de refuerzo de la placa-huella del módulo anterior y con el acero de refuerzo de la placa-huella del módulo siguiente.

- El ancho de la Riostra es de 20 centímetros.
- El peralte de la riostra es de 30 centímetros.

Dicha riostra se apoya totalmente sobre la superficie existente, es decir en la superficie sobre la que se construye la sub-base, previa la colocación de un solado de limpieza de 3 centímetros de espesor.

Tabla 16. *Dimensiones riostra.*

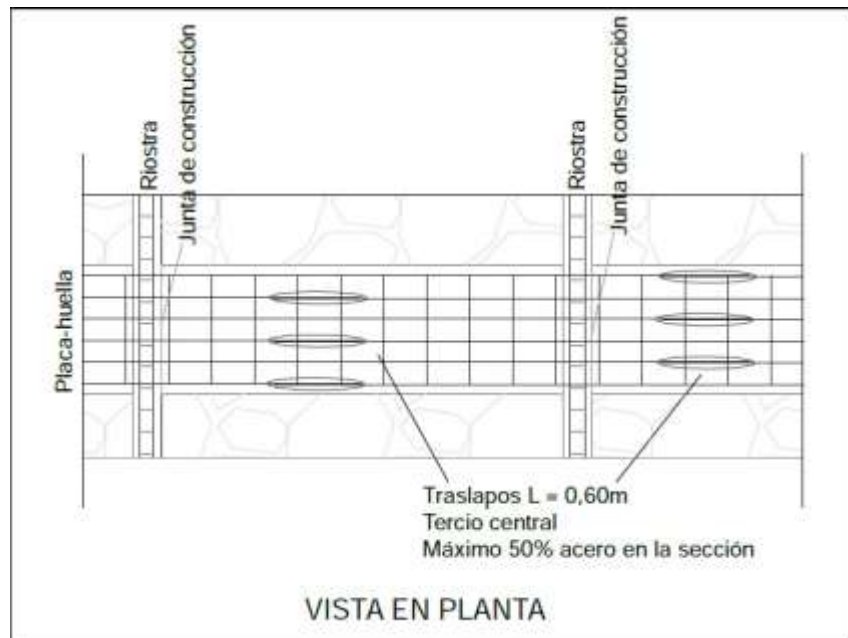
Longitud máxima (m)	6.80
Ancho de la riostra (m)	0.20
Altura de la riostra (m)	0.30
Refuerzo longitudinal	4 varillas # 4 (4#4)
Estribos	1 varilla # 2 cada 15 centímetros (1#2@0.15)

NOTA. Cuadro de dimensiones y refuerzo realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

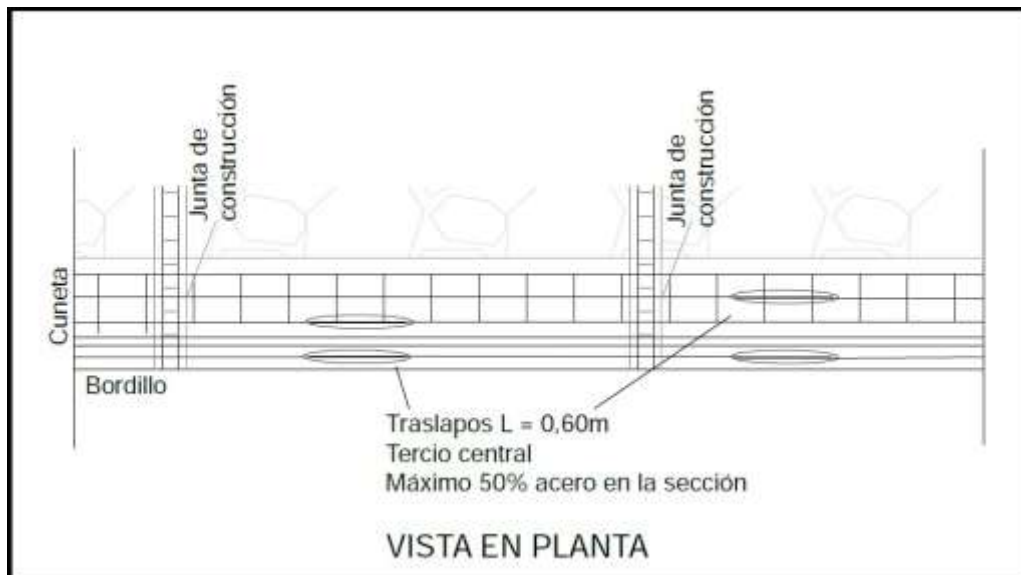
La longitud de traslape de las varillas longitudinales #4 es de mínimo 60 centímetros. El recubrimiento de las varillas longitudinales #4 es de 7.5 centímetros en la parte inferior y de 4 centímetros en la parte superior.

Juntas

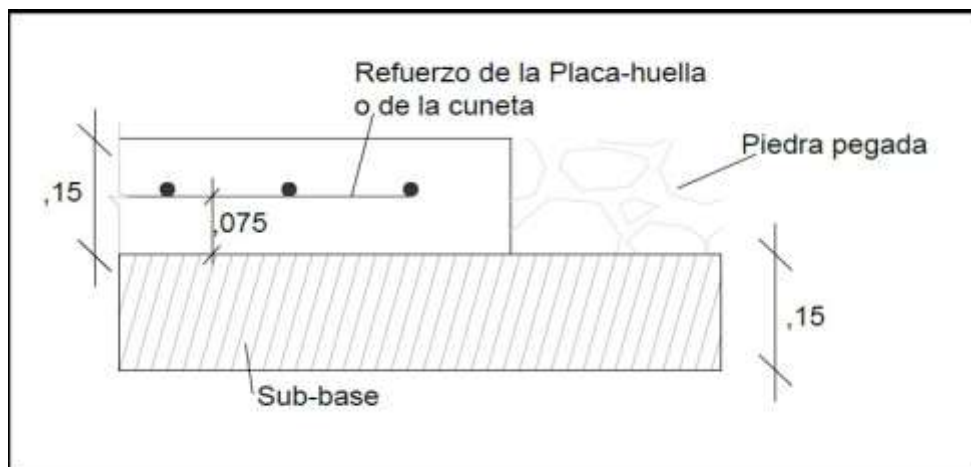
Los diferentes elementos estructurales del pavimento en Placa-huella trabajan como una estructura monolítica, por ende, el proceso constructivo debe garantizar la adecuada transmisión de los esfuerzos y deformaciones a lo largo y ancho de estos elementos, a fin de garantizar esto, a continuación, se muestran los detalles de las diferentes juntas de construcción.

Figura 26. Distribución del acero.

NOTA. Tomado del INVÍAS, 2015.

Figura 27. Junta transversal de construcción berma cuneta.

NOTA. Tomado del INVÍAS, 2015.

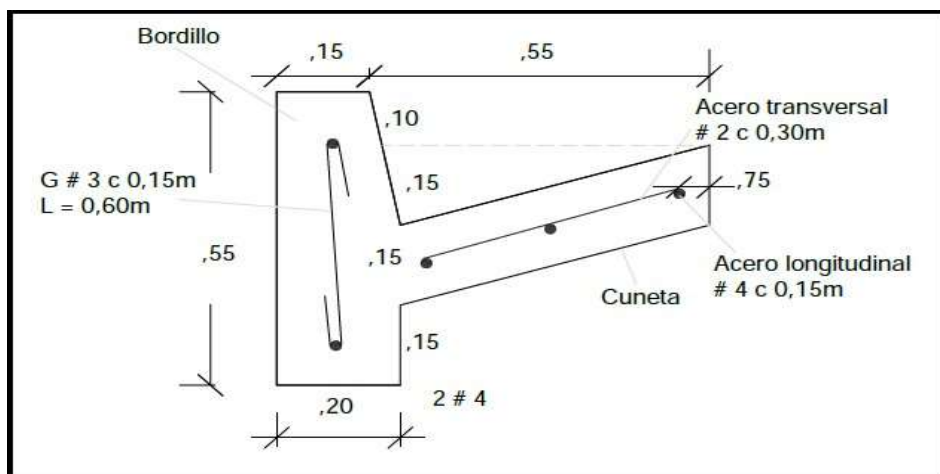
Figura 28. Junta longitudinal entre placa – huella o cuneta y la piedra pegada.

NOTA. Tomado del INVÍAS, 2015.

Berma cuneta y bordillo

La Berma-cuneta y el bordillo son elementos de drenaje superficial construidos en concreto reforzado, fundidos monolíticamente y articulados estructuralmente con la riostra.

La razón de fundir monolíticamente la berma-cuneta y el bordillo es evitar la junta de construcción que se formaría en la frontera entre ambos elementos, junta que con el paso del tiempo se convertiría en una fisura que permitiría la infiltración del agua que correría por la bermacuneta con el consecuente deterioro del pavimento.

Figura 29. Corte berma – cuneta.

NOTA. Tomado del INVÍAS, 2015.

Método Constructivo

En la mayoría de las obras de pavimentación con placa-huella, el concreto utilizado se fabrica en la vía, en donde no existen los medios para ejercer un control de calidad similar al ejercido en plantas de concreto. Sin embargo, si se tiene en cuenta que la inversión en un pavimento con placa-huella es cuantiosa y que este debe permanecer durante décadas en condiciones de servicio satisfactorias resulta obligatorio utilizar una mezcla de concreto que ofrezca garantía de durabilidad.

Por lo anterior, se debe garantizar la durabilidad del concreto sometido a la intemperie y al desgaste producido por la fricción al paso de las llantas de los vehículos. La guía de diseño de pavimentos con placa-huella del INVÍAS, especifica que la fabricación de los elementos estructurales del pavimento se debe realizar con concreto de calidad aceptable que en este caso se asimila a una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Ahora bien, si se realiza en la obra un control de calidad básico consistente en utilizar en la vía una mezcladora de un saco de cemento, verificar la limpieza de los agregados mediante inspección visual rechazando los que contengan limos, arcillas o materia orgánica, dosificar por volumen haciendo uso de cajones de madera correctamente dimensionados tanto para el agregado grueso como para el agregado fino y ejercer un permanente control de asentamiento de la mezcla no es de difícil lograr una resistencia a los 28 días de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Sub base

Una vez que la superficie de mejoramiento se encuentre adecuadamente compactada se deberá extender, conformar y compactar una capa de subbase que cumpla con la especificación general vigente del Instituto Nacional de Vías, INVÍAS.

La subbase deberá tener como mínimo 15 centímetros de espesor en todo el ancho de la sección transversal.

Placa huella y riostra

Tanto las placas-huella y la riostra de un módulo se funden monolíticamente con las placas-huella y la riostra del módulo siguiente y así sucesivamente conformando lo que se podría denominar un pavimento de concreto de cemento portland con refuerzo continuo, confinado mediante riostras uniformemente espaciadas.

Este módulo está conformado por las placas-huella y la riostra. Se dice que es un módulo porque estructuralmente trabajan en conjunto.

Resultados e Impactos

Tabla 17. Resultados.

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Perfil estratigráfico y características granulométricas y de plasticidad del material CBR %	Resultados de laboratorio	Analizar las propiedades mecánicas del suelo mediante estudio de suelo.
Desgaste en la máquina de los ángeles	Resultados de laboratorio	Evaluar el material filtrante cercano a la zona de estudio.
Solidez de los agregados		
Materia orgánica		
Camión de diseño	Resultados de encuestas origen-destino	Estudio de tránsito
Precipitación media anual	Resultados de software	Estudio del clima
Temperatura media		
Esquema de la estructura con sus capas		Diseño de la estructura de pavimento en placa huella con obras de drenaje

NOTA. Cuadro de resultados realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021 .

Tabla 18. *Impactos.*

Aspecto	Impacto	Plazo
Social	Desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de la vereda La Cumbre, en la ciudad de Villavicencio.	Corto
Ambiental	Alteración en la morfología del suelo por cuerpos de agua sin cauce fijo.	Largo
Económico	Afluencia de turismo, por ende, un aumento del comercio.	Corto
Académico	Practica y uso del conocimiento adquirido en la carrera profesional	Largo

NOTA. Cuadro de impactos realizado por Rafael Chávez & Pedro Quevedo, 2021

Conclusiones

- El %CBR de la sub-rasante es de 8.2%, el cual fue determinado a partir de correlaciones con el ensayo con el P.D.C. (Penetrómetro Dinámico de Cono), por lo cual, este tipo es apto para construir la Placa Huella sin realizar ningún tipo de mejoramiento, ya que el valor de la capacidad de soporte mínima sugerida por el INVIAS en el manual de diseño de Placa Huella es de 3%.
- El material filtrante de la cantera no es apto para ser empleado en la construcción de la estructura de la placa huella, por lo que debe ser traído de otra zona.
- A través de encuestas y aforos se pudo comprobar que la mayoría del tránsito de la vereda estaba compuesto por motocicletas, por lo que se estableció un camión de diseño tipo C3.
- De acuerdo al análisis realizado del estado actual de la vía se observaron deficiencias en el sistema de drenaje, inconveniente de transitabilidad segura en épocas de invierno.

Recomendaciones

- Evaluar los costos de acarreo de material, antes de implementar cualquier estructura de pavimento.
- Dependiendo de la época, se deberán tener en cuenta barreras contra viento para evitar los efectos nocivos que las brisas o vientos puedan ocasionar en la calidad del curado traduciéndose en fisuramiento de las losas.
- Verificar la calidad del material implementados para la construcción de la estructura de pavimento con la normativa nacional.
- Todo material indeseable que se encuentre durante la etapa de construcción tales como basura, materia orgánica, escombros o cualquier elemento que puedan afectar la fundación, el soporte y estabilidad de la estructura de pavimento, debe ser removido y reemplazado.
- Implementar señalización Vertical ya que es fundamental para brindar la información con el fin dar a conocer las limitaciones, restricciones o advertir peligros.

Referencias

- Avila, H. (2012). *Perspectiva del manejo del drenaje pluvial*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP), D. N. (2016). *Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella*.
<https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viasterciarias/ptviasterciarias.pdf>
- Correa Carvajal, D. & Suárez Rodríguez, T. (2019). Formulación del diseño geométrico y uso de placa-huella para la vía alterna entre los municipios de La Mesa y Tena (Cundinamarca). [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15513>
- FONADE. (2016). *Estudios previos MCC*. Universidad La Gran Colombia.
- INVIAS. (2016). *Sistema constructivo de placa huella*. proyectos tipo. Departamento Nacional de Planeación
- Niño, D. A. (1991). *Drenaje Y Subdrenaje En Vías Terrestres*. Universidad de la Salle.
<https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls/vol1991/iss18/17/>
- Prada Torres, H. D. (2012). *Seguimiento de la construcción de la placa huella*. Municipio de Cajicá: alcaldía de Cajicá.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13161/PARADA%20SANCHEZ%20-%206100194.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sabogal Rojas, D.& Castro Guevara, L. Y. (2018). Pre-diseño estructural de placa huella y obras de arte para la vía terciaria entre Fómeque y la vereda Lavadero. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/11920>