

Propuesta de mejoramiento para la vía terciaria desde el Box Culvert Avidesa hasta la Escuela el Volador en la Vereda El Volador, municipio de Piedecuesta

María del Carmen Sánchez Pérez

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director:

Miller Humberto Salas Rondón

PhD. en Gestión del territorio e Infraestructuras

Co-director

Vladimir Ernesto Merchán Jaimes

PhD. en Ingeniería del Terreno Cartográfica y Geofísica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de ingeniería civil

Bucaramanga

2022

Agradecimientos

Gracias a mis directores de tesis, sin su paciencia y constancia este trabajo no lo hubiese logrado tan fácil. Gracias a mi madre Margot Pérez y mi padre Jorge Sánchez ustedes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida. Hoy cuando concluyo mis estudios, les dedico a ustedes este logro, amados padres, como una meta más conquistada. Orgullosa de haberlos elegido mis padres y que estén a mi lado en este momento tan importante. Gracias a mis compañeras de estudio Danna, Julieth y Laura que también hoy culminan esta maravillosa aventura y no puedo dejar de recordar cuantas tardes y horas de trabajo nos juntamos a lo largo de nuestra formación. Hoy nos toca cerrar un capítulo maravilloso en esta historia de vida y no puedo dejar de agradecerles por su apoyo y constancia, al estar en las horas más difíciles, por compartir horas de estudio.

“Gracias a todos por ser quienes son y por creer en mí”

Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo General	14
1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. Marco Teórico.....	15
2.1 Pavimento en placa-huella	15
2.2 Estabilización con cal	18
3. Metodología	19
3.1 Diseño del pavimento y obras de arte	20
3.1.1 Características del sistema placa huella.....	21
3.1.2 Exploración geotécnica y capacidad de soporte de la subrasante.....	22
3.1.2.1 Trabajo de campo.....	22
3.1.2.2 Caracterización de la subrasante.....	22
3.1.2.3 Definición de tramos homogéneos de vía.....	24
3.1.3 Placa huella y riostra	26
3.1.4 Berma-cuneta y bordillo	29
3.1.5 Obras de drenaje	30
3.2 Aumento de resistencia de la subrasante por medio de cal.....	31
4. Conclusiones y Resultados	37

5. Recomendaciones 38

Referencias Bibliográficas 40

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Sección Transversal de placa huella.....	29
Figura 2. Variación del pH con el porcentaje de Cal.....	34
Figura 3. Curva de compactación suelo natural.....	35
Figura 4. Curva de compactación agregando 4% de cal.....	36
Figura 5. Resistencia a la compresión inconfiada para suelos estabilizados.....	37

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Tramos por pavimentar de la placa-huella.....	19
Tabla 2. Resultados de CBR de la subrasante en el Tramo 3	20
Tabla 3. Características del sistema placa huella.....	21
Tabla 4. Ensayo para el estudio de la subrasante.....	22
Tabla 5. Gradación de los suelos	23
Tabla 6. Límites de consistencia de los suelos	23
Tabla 7. Resultados del CBR en cada tramo.....	25
Tabla 8. Clasificación de los suelos en cada tramo	26
Tabla 9. Ubicación de las curvas.	29
Tabla 10. Ubicación de cunetas.	30
Tabla 11. Ubicación de sumideros.....	31
Tabla 12. Consideraciones generales para estabilizar un suelo con Cal.....	32
Tabla 13. Clasificación del suelo del Tramo 3	32
Tabla 14. Resultados de diferentes dosificaciones de Cal.	33
Tabla 15. Resultados del ensayo normal de compactación.....	35
Tabla 16. Resistencia a la Compresión Inconfinada (kPa)	37

Lista de Apéndices

Ver documentos adjuntos y pueden ser visualizados en la base de Datos de la Biblioteca UIS

Apéndice A. Inspección visual

Apéndice B. Cálculo de tránsito

Apéndice C. Resultados de ensayos de laboratorio según normas de ensayo para materiales de carreteras del Instituto Nacional de Vías.

Apéndice D. Análisis geotécnico de subrasante

Apéndice E. Presupuesto 2009

Apéndice F. Análisis presupuestal

Apéndice G. Planos

Resumen

Título: Propuesta de mejoramiento para la vía terciaria desde el Box Culvert Avidesa hasta la Escuela el Volador en la Vereda El Volador, municipio de Piedecuesta *

Autor: María del Carmen Sánchez Pérez **

Palabras clave: Estabilización de suelos, Cal, Placa-huella, vías terciarias.

Descripción

La comunidad de la vereda El Volador, presenta dificultades de traslado en el municipio de Piedecuesta, Santander, debido a que esta vía terciaria no se encuentra en óptimas condiciones de movilidad, la mayoría de sus suelos son finos de plasticidad media y baja. Por lo tanto, se propuso encontrar el porcentaje óptimo de cal para estabilizar la subrasante del tramo 3 el cual es la más afectada; esto considerando las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de ensayos para Materiales Viales del Instituto Nacional de Vías.

Se utilizó como estabilizador de la subrasante la cal ya que su aplicación ha tenido éxito en los últimos años a nivel mundial, su uso cuenta con una serie de mejoras en algunas propiedades de la mezcla como: disminución de la plasticidad, aumento de la resistencia mecánica, menor sensibilidad a la humedad, entre otras. Además, se generan recomendaciones de construcción del pavimento con placa-huella por la cual se movilizará la comunidad y así proporcionar una solución al problema que se presenta sobre todo en época de invierno.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Miller Humberto Salas Rondón Ingeniero Civil, PhD. Co-director: Vladimir Ernesto Merchán Jaimes Ingeniero Civil, PhD

Abstract

Title: Proposal of improvement for the tertiary route from the Box Culvert Avidesa to the School the Volador in the Vereda El Volador, municipality of Piedecuesta *

Author: María del Carmen Sánchez Pérez**

Keywords: Soil stabilization, Lime, Plate-footprint, tertiary pathway

Description

The community of the village El Volador, presents difficulties of transfer in the municipality of Piedecuesta, Santander, because this tertiary road is not in optimal conditions of mobility, most of its soils are fine of medium and low plasticity. Therefore, it was proposed to find the optimal percentage of lime to stabilize the subgrade of section 3 which is the most affected; this considering the General Specifications for Highway Construction and Testing Standards for Road Materials of the National Institute of Roads.

Lime was used as a stabilizer of the subgrade since its application has been successful in recent years worldwide, its use has a series of improvements in some properties of the mixture such as: decrease in plasticity, increase in mechanical resistance, lower sensitivity to moisture, among others. In addition, recommendations are generated for the construction of the pavement with plaque-footprint by which the community will mobilize and thus provide a solution to the problem that arises especially in winter.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering. Director: Miller Humberto Salas Rondón Civil Engineer, PhD. Co-director: Vladimir Ernesto Merchán Jaimes Civil Engineer, PhD

Introducción

La infraestructura vial y las vías terciarias son importantes para el desarrollo del país, pues está directamente enlazado con la economía que se relaciona y vincula con el mercado y las vinculaciones de regiones aisladas del país (Narváez, 2017). Las vías terciarias representan en Colombia 69,5% del total de las carreteras (Narváez, 2017). Colombia tiene 142.000 kilómetros de vías terciarias, que son aquellas que unen y dan acceso a las veredas desde las cabeceras municipales o que las interconectan entre sí. Solo el 8% de estas se encuentran en buen estado actualmente en todo el territorio nacional (Urrego, s.f.).

En su mayoría son trochas, caminos o lodazales sin cunetas, muchas de ellas no cuentan con mantenimiento... En Colombia las vías terciarias presentan una gran cantidad de conflictos que abarcan desde lo político hasta guerras sociales. Para que este desarrollo sea evidente, las vías terciarias deben ser intervenidas con construcción, mantenimiento, inversión, o mejoramiento. La infraestructura vial, presenta falencias e irregularidades en la adjudicación y ejecución de los contratos viales que afectan directamente a la comunidad y a los usuarios del corredor vial. Para Colombia hoy es muy importante el desarrollo de las vías terciarias, ya que puede generar un impacto evolutivo en zonas rurales, de conexión, desarrollo económico, comercialización de productos, transporte, salud y educación (La República, 2019).

Actualmente en Colombia 7 de cada 10 km de carretera pertenecen a una vía terciaria, pero solo un 0.7% de la inversión para la infraestructura vial es destinada para su mantenimiento, esto quiere decir que actualmente estas vías presentan un descuido por parte del Estado Colombiano, que carece de falta de mantenimiento periódico y rutinario de los corredores transitables que

previenen y corrigen daños, ya que la falencia de esto ha proporcionado una mediana forma de desplazamiento entre los centros poblados y las áreas urbanas de los municipios incrementando los tiempos de desplazamientos, deterioro en los vehículos, originando incremento los costos de transporte de pasajeros, en los insumos, fletes, y en ocasiones dificultad para la atención de casos especiales de salud; a su vez para los pequeños y medianos productores se dificulta comercio de productos agropecuarios generando desinterés y en ocasiones pérdidas de cosechas, las cuales surten y son comercializadas en las áreas urbanas municipales (Vega Acosta, 2021).

Se identifica que existe una relación entre las necesidades de infraestructura de transporte, el conflicto y la pobreza. Por lo cual debe tenerse en cuenta que el desarrollo de infraestructura mejora la economía. Estudios como los de Sánchez (1994) y Cárdenas, Escobar y Gutiérrez (1995), así como Fedesarrollo, afirman que al aumentar el 1 % en la inversión en infraestructura vial, el incremento de la economía en las regiones equivale a un 0,42 % (La Republica, 2021).

En particular, en las bases del PND 2014-2018 se menciona la gran apuesta de infraestructura en vías terciarias para el desarrollo del campo y la consolidación de la paz, dado que se ejecutan en las zonas más vulnerables y con mayor impacto en la generación de economías locales. Así, todas las instituciones estatales, en especial el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Defensa Nacional y el Ministerio de Transporte, definirán estrategias comunes para el cumplimiento de las metas y estrategias en materia de intervención en vías terciarias. Estas intervenciones mejoran las posibilidades de comercialización de los pequeños productores rurales y simultáneamente son una invaluable herramienta para posibilitar la presencia del Estado en todo el territorio nacional en un escenario de posconflicto (Pérez G., 2005).

De igual forma en el presente proyecto se identificó que es necesario estabilizar el suelo en el tramo 3 ya que no cumple con los requisitos de resistencia de $CBR \geq 3.0$ establecidos en la

cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del programa Colombia Rural. Esta estabilización se realizará por medio de tratamientos especiales del cual se opta por modificar el suelo agregando un porcentaje de cal adecuado el cual permita aumentar la resistencia de este.

La estabilización de la arcilla con cal en la construcción tiene más de 5.000 años de antigüedad. Las Pirámides de Shersi en el Tíbet fueron construidas con mezclas compactadas de arcilla y cal, en la China y la India a lo largo de la historia, se ha utilizado de varias maneras la estabilización con cal, sin embargo, fue en los EE.UU., a finales de 1940; cuando se aplicaron a las mezclas de cal y suelo las técnicas y ensayos de la mecánica de suelos que se desarrollaban en aquella época, el tratamiento de arcillas con cal comenzó en 1950, y la técnica aumentó su popularidad con gran rapidez. Se han construido miles de kilómetros de carreteras, así como aeropuertos principales como el de Dallas Fort Worth en EE. UU, sobre arcillas estabilizadas (Consejo Nacional de política económica y social, 2016).

En el presente trabajo de investigación se presentan antecedentes internacionales, como es el caso del proyecto que tiene como título “*EFFECTO DE LA CAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES*” que durante el año 2008 se presenta por parte de la Unidad de Investigación en Infraestructura Vial del Lanamme UCR, un proyecto de investigación enfocado en recopilar información y experiencias en el tema de la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas, teniendo como producto “la guía para la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas” (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008). Esta guía presenta el uso de la cal como un estabilizador ideal para materiales finos de media o alta plasticidad.

La estabilización de suelos con cal ha sido utilizada en varios países con gran éxito, logrando aumentar la vida útil de rutas no pavimentadas, disminuyendo la frecuencia en el mantenimiento que al mediano y largo plazo resultan ser soluciones competitivamente

económicas, ofreciendo mejores superficies de ruedo y que indiscutiblemente presentan un mejor desempeño ante condiciones de lluvia y humedad extrema (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

La palabra cal es un término general con el que se designan formas físicas y químicas de las diferentes variedades en que pueden presentárselos óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio (Pérez G., 2005).

La cal puede ser dividida químicamente en dos categorías: cales vivas y cales hidratadas. Las cales vivas son de dos tipos: calcárea (CaO) y dolomíticas ($\text{CaO}+\text{MgO}$). Las cales hidratadas son de tres tipos: calcárea ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), dolomítica monohidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2+\text{MgO}$) y dolomítica di hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). El grado en que una cal es calcárea o dolomítica puede expresarse con el coeficiente calcio-magnesio. Aunque generalmente las cales calcáreas tienen menos de 2% MgO y las cales dolomíticas entre 25% y 45%, no hay un límite fijo. Las cales también se clasifican en función de su plasticidad: tipo N (normal) o tipo S (especial). La mayoría de las cales tipo S son dolomíticas di hidratadas, aunque también pueden ser cales calcáreas hidratadas (Mateos de Vicente, 2013).

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Proponer actividades de mejoramiento usando cal para aumentar la resistencia de la subrasante entre el tramo K1+460 hasta K1+590 de la Vereda El Volador del municipio de Piedecuesta-Santander.

1.2 Objetivos Específicos

Revisar el diseño existente del pavimento realizado por la junta de acción comunal de la vereda El Volador bajo el proceso N°:CP-MP-SP-027-2011.

Diseñar la placa-huella y obras de arte necesarias para la buena operación de la vía.

Realizar el análisis presupuestal del proyecto con sus respectivos análisis unitarios.

Desarrollar un programa experimental que permita establecer la influencia del porcentaje de cal en la resistencia de la subrasante.

2. Marco Teórico

2.1 Pavimento en placa-huella

La placa huella es un sistema orientado a generar condiciones de transitabilidad adecuadas para vehículos, animales y personas en tramos críticos de vías rurales. El sistema consiste en la colocación de franjas delgadas de placas de concreto separadas transversalmente a una distancia tal, que coinciden con las huellas de la circulación vehicular, con anchos en promedio de 0,90 m cada una, entre las cuales se aloja una zona central construida en concreto ciclópeo y/o piedra pegada, manteniendo unos sobre anchos externos variables en piedra pegada para garantizar el acomodamiento de la sección al ancho disponible de la vía. Sus módulos se confinan transversalmente con viguetas de concreto, tipo riostras y lateralmente por berma cunetas (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

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. Tal es el caso de un edificio en el que por exceso de cargas o por asentamientos diferenciales entre columnas se producen esfuerzos en un elemento estructural que superan su resistencia última y lo llevan al colapso (Instituto Nacional de Vías, 2017).

El mecanismo de falla del pavimento con placa huella es por carga ultima, Los parámetros del clima que inciden en el comportamiento de un pavimento son fundamentalmente la

temperatura y la precipitación por esta razón es necesario instalar obras de drenaje (Instituto Nacional de Vías, 2017).

La subrasante está constituida por el suelo natural con una capa de material de armado de espesor variable. La recomendación general es NO DESESTABILIZAR la superficie existente efectuando cajeos o excavaciones (Instituto Nacional de Vías, 2017).

El criterio es obtener un perfil longitudinal aceptable realizando pequeñas correcciones tendientes a mejorar curvas verticales cóncavas demasiado pronunciadas. Para ello se harían rellenos en tramos de muy corta longitud con material seleccionado o con el material de armado utilizado para el mantenimiento de la vía o con el mismo material que sería utilizado para la subbase (Instituto Nacional de Vías, 2017).

Las funciones de la subbase son:

- Constituir una superficie de trabajo limpia para construir sobre ella los elementos restantes que conforman el pavimento con Placa-huella.

- Incrementar la rigidez de la superficie de apoyo de las placas-huellas, de la piedra pegada y de las berma-cunetas.

- Controlar el eventual bombeo que se pudiese presentar por las juntas de construcción que se requieren (Instituto Nacional de Vías, 2017)

Las funciones de la placa-huella son:

- Soportar los esfuerzos que se producen por el paso de los ejes de los vehículos.

- Canalizar la circulación vehicular permitiendo sustituir en las franjas de la sección transversal no sometidas al paso de los ejes un material relativamente costoso como es el concreto simple por uno más económico como lo es la piedra pegada (concreto ciclópeo). Lo anterior se traduce en una menor inversión (Instituto Nacional de Vías, 2017).

La función de la riostra es exclusivamente de confinamiento transversal y longitudinal de los elementos del pavimento que se construyen sobre la subbase como son las placas-huella, la piedra pegada, la berma-cuneta y el bordillo. Dado que el acero de refuerzo de la placa-huella anterior pasa a través de la riostra y se traslapa con el acero de refuerzo de la placa-huella siguiente son estas placas-huella, que están totalmente apoyadas sobre la subbase, las que "sostienen" la riostra por lo que la rigidez de su apoyo resulta irrelevante (Instituto Nacional de Vías, 2017).

Las funciones de la piedra pegada son:

- Disminuir los costos de construcción del pavimento ya que es un material menos costoso que el concreto simple.

- Propiciar la canalización del tránsito dado que la alta rugosidad que presenta la piedra pegada desestimula a los conductores a circular por fuera de las placas-huella que son los elementos diseñados para soportar los esfuerzos producidos por el paso de los vehículos.

- Contribuir a la estética del camino (Instituto Nacional de Vías, 2017).

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 berma-cuneta con el consecuente deterioro del pavimento (Instituto Nacional de Vías, 2017).

Las funciones de la Berma-cuneta y el bordillo son:

- Servir como franja de estacionamiento temporal en el caso de que un vehículo lo requiera por fallas totalmente mecánicas u otra causa de fuerza mayor permitiendo que el flujo vehicular no se interrumpa.

- Permitir la recolección de las aguas lluvias y conducir las hasta las alcantarillas y aliviaderos para su - Brindar confinamiento a la subbase (Instituto Nacional de Vías, 2017).

2.2 Estabilización con cal

La adición de cal a un suelo disminuye la densidad máxima en varias decimas de kg/cm^2 , y esto suele ir acompañado de un aumento de la humedad óptima. Ello se ha observado incluso con cantidades de adición de cal tan pequeña como el 1%. La cal dolomítica monohidratada disminuye la densidad máxima menos que la cal calcárea hidratada (Maldona Huevo & Orellana Martínez, 2009).

El objetivo principal de la cal en un suelo es elevar su valor de pH hasta un valor de 12.4, de esta forma se libera sílice y alúmina de la arcilla que reaccionan con los iones calcio procedentes de la cal, formando silicatos y aluminatos cálcicos hidratados que, como en el caso de los cementos portland, incrementan la resistencia mecánica. Esta reacción de tipo puzolánico es progresiva con el tiempo y aumenta la impermeabilidad, la resistencia mecánica y la resistencia a las heladas del suelo tratado. Los porcentajes necesarios de cal para garantizar la permanencia de las reacciones puzolánicas a lo largo del tiempo oscilan entre el 2% y el 8% (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

3. Metodología

Se propone mejorar aproximadamente dos (2) kilómetros y cuatrocientos cuarenta (440) metros.

En la Tabla 1 se presenta los tramos por pavimentar de la Vereda El Volador (Desde el Box Culvert Avidesa hasta la Escuela El Volador).

En primera instancia se realiza el diseño del pavimento y obras de arte para la Placa-huella ubicada en la vereda El Volador del Municipio de Piedecuesta Santander.

Tabla 1.

Tramos por pavimentar de la placa-huella.

Tramo	Desde	Hasta	Longitud (m)
1	K0+850	K1+020	170
2	K1+160	K1+440	280
3	K1+460	K1+590	130
4	K1+930	K2+230	300
5	K2+930	K2+430	40
6	K2+570	K2+670	100
7	K2+720	K3+170	450
8	K3+200	K3+260	60
9	K3+290	K3+330	40

En la Tabla 2 se observa el valor obtenido del CBR el cual no cumple con los requisitos de resistencia de $CBR \geq 3.0$ establecidos en la cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del programa Colombia Rural (Instituto Nacional de Vías INVIAS); por lo dicho anteriormente se desarrollará en segunda instancia un programa experimental descrito en el ítem 3.2. que permitirá establecer la influencia del porcentaje de cal agregado al suelo, esto con el propósito de aumentar

la resistencia de la subrasante de este tramo de pavimento llegando al valor adecuado para cumplir con los requisitos de esta cartilla (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019) y la guía básica para estabilización de suelos (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

Tabla 2.

Resultados de CBR de la subrasante en el Tramo 3

Tramo	CBR (%) Humedad Natural	CBR (%) Sumergido
3	2.62	0.52

Por último, se plasmará el análisis presupuestal para este proyecto que se muestra en detalle en el *Anexo 6*, del cual se tomó el diseño existente del pavimento realizado por el banco de programas y proyectos de Piedecuesta bajo el proceso N°CP-MP-SP-027-2011 (*Anexo 5*).

3.1 Diseño del pavimento y obras de arte

Durante el desarrollo de este diseño, se presenta un resumen de los criterios básicos de diseño del pavimento tomado de la Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales del programa Colombia Rural (Instituto Nacional de Vías INVIAS). Los resultados de las Tablas 2, 5, 6 y 7 son datos tomados del estudio geotécnico de la zona (*véase el Anexo 4 para más detalle*), estos por medio de las Normas de Ensayo Para Materiales de Carreteras del instituto Nacional de Vías, específicamente resultados de los ensayos limite liquido (E-125-13), limite plástico (E-126-13), % Pasa tamiz de 75um-Tamiz No 200(E-213-13), Granulometría (E-123-13), Humedad (E-

122-13), CBR de suelos sobre muestra inalterada- relación de soporte del suelo en el terreno (CBR “IN SITU”) (E-148-13).

Se especifican las medidas del diseño del pavimento y obras de arte en el *Anexo 7*.

3.1.1 Características del sistema placa huella

El periodo de servicio tomado será de 10 años realizando el mantenimiento necesario de limpieza de las obras de drenaje y la rocería de las zonas laterales, En este caso se permitirá como vehículo de diseño el eje tándem de 22 toneladas de un camión C-3 (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019). En la Tabla 3 se aprecia un tránsito promedio diario (TPD) sin proyecto de 67 y con proyecto de 120; En el Anexo 2 se evidencia con detalle un aforo vehicular por siete (7) días para encontrar este parámetro.

Tabla 3.

Características del sistema placa huella.

Periodo de diseño (años)	10
Camión	C-3, C-2 y Vehículos ligeros
Velocidad de operación Max (km/h)	30
Ancho de Calzada Max (m)	5,5
Tramos Max (m)	500
TPD Sin proyecto	67
TPD Con proyecto	120

3.1.2 Exploración geotécnica y capacidad de soporte de la subrasante.

Considera las actividades básicas para la caracterización del suelo de apoyo de las estructuras, enmarcadas en los siguientes procedimientos.

3.1.2.1 Trabajo de campo. En el desarrollo de las investigaciones de campo, para conocer el perfil estratigráfico de los seis tramos, se excavaron nueve (9) apiques y se extrajeron muestras inalteradas para la realización del ensayo relación de soporte del suelo en el terreno (CBR “IN SITU”).

Los apiques se excavaron a una profundidad de 1,50 metros y las muestras inalteradas se tomaron a una profundidad de entre 1,20m a 1,50m. Esta investigación de campo cumple con los requisitos mínimos de trabajos de campo de la Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

3.1.2.2 Caracterización de la subrasante. Se deben considerar los ensayos reportados en la Tabla 4 para evaluar las condiciones geotécnicas del suelo definido como subrasante.

Tabla 4.

Ensayo para el estudio de la subrasante

Ensayo	Norma Inv
Límite líquido	E-125-13
Límite plástico	E-126-13
% pasa el tamiz de 75 um (No.200)	E-214-13
Granulometría	E-123-13
Humedad	E-122-13
CBR "IN SITU"	E-148-13

Nota. Tomado de: (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019)

A lo largo de este ítem se cumple con los requisitos establecidos de la Tabla 4.

Tabla 5.

Gradación de los suelos

Apique No.	Gradación (%)		
	Grava	Arena	Finos
AP1	4,14	41,98	53,88
	1,46	32,68	65,85
AP2	1,3	13,81	84,88
	2,79	23,39	73,82
AP3	0,27	5,42	94,31
	0,29	6,61	93,09
AP4	1,67	16,7	81,63
	0	16,81	83,19
AP5	0,13	13,74	86,13
	1,45	25,71	72,84
AP6	3,7	52,76	43,54
	3,7	52,99	43,31
AP7	2,71	51,99	45,3
	1,19	49,6	49,21
AP8	0,14	73,56	26,3
	0,58	63,62	35,8
AP9	2,03	75,06	22,91
	1,47	70,53	28

Tabla 6.

Límites de consistencia de los suelos

Apique No.	Límites de consistencia			
	w	L.L.	L.P.	I.P.
AP1	19,94	32,4	18,18	14,22
	20,74	29,59	19,53	10,06
AP2	20,82	34,17	18,83	15,33
	21,73	44,03	16,26	27,77
AP3	42,25	41,01	19,17	21,85
	49,13	43,67	20,05	23,62

Apique No.	Límites de consistencia			
	w	L.L.	L.P.	I.P.
AP4	18,92	31,56	17,59	13,96
	21,43	45,4	18,65	26,75
AP5	19,15	26,76	17,65	9,11
	20,06	38,58	19,25	19,33
AP6	22,99	31,57	20,32	11,24
	19,99	29,2	18,51	10,7
AP7	21,73	45,83	18,37	27,46
	21,03	30,69	19,29	11,41
AP8	21,24	34,26	20,48	13,78
	20,07	41,87	19,84	22,03
AP9	25	42,16	24,34	17,81
	21,29	54,43	20,75	33,68

3.1.2.3 Definición de tramos homogéneos de vía. Se identifican dos unidades homogéneas de diseño (estas zonas fueron tomadas del estudio geotécnico realizado en el *Anexo 4*), teniendo en cuenta lo siguiente:

➤ **Zona homogénea de diseño #1**

La subrasante en los tramos de los apiques AP-01, AP-02, AP-03, AP-04, AP-05 (tramos 1, 2, 3, 4 y 5) **está conformado por arcillas de media a baja plasticidad**, la fracción fina tiene un potencial expansivo bajo y marginal, lo cual no requiere de tratamientos especiales, sustitución, modificación o adición de productos.

A excepción del apique AP-03 el cual presenta un potencial de expansión marginal y el esfuerzo al aplicar carga sobre este es baja, por lo tanto, se recomienda estabilizar la subrasante con las especificaciones generales de construcción del INVIAS Sección 600 (Estabilización de suelos).

➤ **Zona homogénea de diseño #2**

La subrasante en los tramos de los apiques AP-06, AP-07, AP-08, AP-09 (tramos 6, 7, 8, y 9) está conformada por **arenas arcillosas (SC) de media a alta plasticidad con potencial expansivo bajo, lo cual no requiere de tratamientos especiales, sustitución, modificación o adición de productos.**

En la Tabla 7 se observan los resultados de los CBR en cada tramo de los cuales se obtuvo un CBR promedio de 3.7% para el diseño de la subrasante.

Se recomienda estabilizar la subrasante del tramo 3 descrito en la Tabla 7 con las especificaciones generales de construcción del Instituto Nacional de Vías (Sección 600 estabilización de suelos (Instituto Nacional de Vías, 2010)).

Debido a que los materiales son finos es recomendable utilizar la estabilización de suelos con Cal y que este aumenta la resistencia de la subrasante, disminuye la humedad de esta, entre otros, recomendación tomada del *Anexo 4*.

Tabla 7.

Resultados del CBR en cada tramo

Tramo	CBR			CBR de cada tramo
	Sin sumergir % (a)	Sumergido % (b)	Promedio (c)	
1	4.67	3.19	3.93	3.93
2	10.24	3.51	6.875	6.875
3	2.62	0.52	1.57	1.57
4	3.9	3.17	3.535	3.535
5	3.01	3.01	3.01	3.01
6	5.06	3.77	4.415	4.415
7	5.06	3.42	4.24	4.24
8	6.24	4.33	5.285	5.285
9	4.75	3.36	4.055	4.055

Tabla 8.*Clasificación de los suelos en cada tramo*

Tramo	Clasificación	Límites de consistencia		Potencial de expansión
		L.L	L.P	
1	CL	32.4	18.18	Bajo
	CL	29.59	19.53	
2	CL	34.17	18.83	Bajo
	CL	44.03	16.26	
3	CL	40.88	21.67	Marginal
	CL	43.67	20.24	
4	CL	31.56	17.59	Bajo
	CL	45.4	18.65	
5	CL	26.76	17.65	Bajo
	CL	38.58	19.25	
6	SC	31.57	20.32	Bajo
	SC	29.2	18.51	
7	SC	45.83	18.37	Bajo
	SC	30.69	19.29	
8	SC	34.26	20.48	Bajo
	SC	41.87	19.84	
9	SC	42.16	24.34	Bajo
	SC	54.43	20.75	

3.1.3 Placa huella y riostra

En la figura 1 y Anexo 7 plancha tal se plasma con mejor detalle las características del diseño de la placa huella y riostra.

➤ El concreto para la berma cuneta, vigas riostra y en los rieles o placas huellas tendrá una resistencia a la compresión a los 28 días de 21 Mpa, y deberá cumplir las exigencias del artículo inv-630-13 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del invias (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

➤ El concreto ciclópeo tendrá una resistencia a la compresión a los 28 días de 14 Mpa y deberá cumplir las exigencias del artículo inv-630-13 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del invias (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

➤ El acero de refuerzo de las estructuras y la placa deberá tener un $f_y=420$ Mpa y atenderá todos los requerimientos del artículo inv-640-13 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del invias (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

➤ El suelo cemento deberá tener una resistencia a la compresión inconfiada superior a 3 Mpa a los 7 día de curado y deberá cumplir las cumplir las exigencias de los artículos inv-350-13 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del invias (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

➤ Los materiales de subbase granular o afirmado deberán cumplir las exigencias de los artículos inv-330-13, inv-320-13 e inv-311-13 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del invias (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

➤ Para el sello de las juntas entre placas huellas se empleará material asfáltico o pre moldeado, cuyas características se establecen en las especificaciones aashto m-89, m-33, m-153 y m-30 (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

➤ Tanto al inicio como al final de los tramos del proyecto para construcción de placa huella se debe generar un área de transición del suelo a la estructura rígida. para estos casos el constructor deberá considerar un tratamiento especial que puede consistir en la escarificación y compactación adicional, cuando se trata de materiales granulares como afirmados o subbases, o de la conformación de un reemplazo de material granular compactado con un espesor mínimo de

0.15 m en las zonas en contacto por fuera de la placa huella. este tratamiento se debe realizar en una longitud de al menos 2 m (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

➤ El espesor de la placas-huella debe ser de quince centímetros (0,15 m) (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

➤ La piedra pegada es una capa de concreto ciclópeo con espesor de quince centímetros (0,15 m) (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

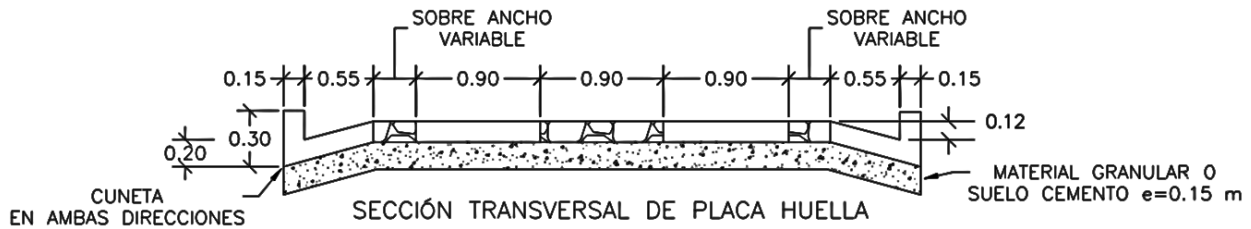
➤ La subbase deberá tener, como mínimo, quince (15) centímetros de espesor en todo el ancho de la sección transversal. Si la conformación de la superficie existente no permitió configurar el bombeo en las tangentes (-2%) y el peralte y su transición en las curvas (2%) esta tarea se deberá efectuar al momento de construir la subbase. Lo anterior implica que la subbase tendría en la zona central de la calzada y en la parte externa de las curvas horizontales un espesor superior al mínimo de quince centímetros (0,15 m) (Instituto Nacional de Vías, 2017).

➤ La longitud máxima de la placa-huella es de dos metros con ochenta centímetros (2,80 m). Como el ancho de la riostra siempre es de veinte centímetros (0,20 m) la longitud máxima de un módulo es de tres metros (3,0 m) y corresponde a la longitud del módulo en tangente (Instituto Nacional de Vías, 2017).

➤ El ancho de la placa-huella en tangente es de noventa centímetros (0,90 m) (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

Figura 1.

Sección Transversal de placa huella



Nota. Tomado de: (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019)

En el *anexo 7 plano 126/127* se especifica una sección típica de curva las cuales van ubicadas en las abscisas descritas en la Tabla 9.

Tabla 9.

Ubicación de las curvas.

Curva	Desde	Hasta	Longitud (m)
1	K1+162	K1+197	35
2	K2+170,63	K2+205,63	35
3	K2+342,28	K2+377,28	35
4	K2+571	K2+606	35
5	K3+088,27	K3+123,27	35

3.1.4 Berma-cuneta y bordillo

Para el caso del pavimento con placa-huella es necesario recoger las aguas lluvias provenientes de la placa-huella en dos bermas-cunetas ubicadas lateralmente a la estructura. Estas bermas-cunetas adicionalmente sirven de confinamiento de la estructura del pavimento y de anclaje a las riostras que en la presente Guía permiten que eventualmente la rueda de un vehículo

pueda circular por ella con superficie de rodadura pueda ser canalizada hasta entregarla a un aliviadero o a una alcantarilla...

Se recomienda incluir berma- cuneta a lo largo de toda la placa-huella. Se especifican las medidas de esta en el *Anexo 7 plano 01/127* y *plano 02/127*. Se registran en la tabla a continuación las abscisas de las secciones de las cunetas a construir.

Tabla 10.

Ubicación de cunetas.

Cunetas	Desde	Hasta	Talud
1	K0+850	K1+020	Mixto
2	K1+160	K1+440	Mixto
3	K1+460	K1+590	Corte
4	K1+930	K2+230	Lleno
5	K2+930	K2+430	Corte
6	K2+570	K2+670	Lleno
7	K2+720	K3+170	Lleno
8	K3+200	K3+260	Leno
9	K3+290	K3+330	Mixto

3.1.5 Obras de drenaje

Para garantizar el cumplimiento de la vida útil de las estructuras de pavimento, es necesario ejecutar labores periódicas de mantenimiento, enmarcadas en las siguientes actividades (Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín, 2019).

- Limpieza de la superficie de rodadura: remoción de escombros, material vegetal, sustancias líquidas y derrumbes.
- Limpieza de cunetas y alcantarilla.

Debido a que bajo el proceso N°CP-MP-SP-027-2011 se especifican los puntos de las obras de drenaje, se realizó una inspección visual del reconocimiento de estas y se observó que los puntos definidos en la Tabla 11 no están construidas en la vía, por esta razón es necesario indicar el diseño de las obras de drenaje en el cual se especifican las medidas en el *Anexo 7 Plano 03/127, 04/127, 05/127 y 06/127*.

Tabla 11.

Ubicación de sumideros

Sumidero	Ubicación
1	K1+300
2	K1+550
3	K2+400
4	K3+650

3.2 Aumento de resistencia de la subrasante por medio de cal.

Existen algunas consideraciones generales que permiten seleccionar a la cal como el estabilizador más apto para un suelo específico; estas son la granulometría y la plasticidad o textura del suelo. Como regla general la cal reaccionará con los suelos de mediana y alta plasticidad produciendo un decremento en el Índice de Plasticidad, aumento de trabajabilidad, disminución de expansión, y aumento de resistencia (Maldona Huevo & Orellana Martínez, 2009).

A continuación, se presenta en la Tabla 12 las consideraciones generales que permiten estabilizar un suelo con Cal según la “Tabla 236-1 Requisitos de subrasante para la estabilización con cal del INVIAS Capítulo 2 explicaciones-Artículo 236” (Instituto Nacional de Vías, 2012).

Tabla 12.*Consideraciones generales para estabilizar un suelo con Cal*

Característica	Norma de ensayo INV	Requisito
Composición (F)		
Material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), mínimo (%)	E-213	50
Material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No.200), mínimo (%)	E-214	25
Limpieza (F)		
Límite líquido, mínimo (%)	E-125	40
Índice de plasticidad, mínimo (%)	E-125 y E-126	10

Nota. Tomado de: (Instituto Nacional de Vías, 2012)

En la Tabla 13 se presenta la clasificación del suelo en el tramo tres (3) que va desde el K1+460 hasta el K1+590 la cual consiste en una arcilla inorgánica de media a baja plasticidad clasificada en el sistema SUCS como (CL), con un porcentaje por peso, finos de **99.72%** de material que pasa por la malla 200. Un **93.70%** de material que pasa por la malla No 4, un índice plástico promedio de 22.73 y un límite líquido promedio de 42.34. Estos valores cumplen con los requisitos mínimos descritos en la Tabla 12.

Tabla 13.*Clasificación del suelo del Tramo 3*

Gradación (%)			Limites de consistencia			
Grava	Arena	Finos	w	L.L	L.P	I.P
0,27	5,42	94,3	42,3	41,0	19,2	21,9
0,29	6,61	93,1	49,1	43,7	20,1	23,7

Para la **determinación** del porcentaje de cal que se necesita para **incrementar la densidad y resistencia de la subrasante** se utilizó la Guía para la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas a diferencia que no se realizaron los ensayos de la ASTM si no las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras y Normas de Ensayo Para Materiales de Carreteras del instituto Nacional de Vías. En el *Anexo 3* se evidencia con más detalle la elaboración de los respectivos ensayos.

Adicional a esto se encuentra la densidad máxima y el contenido de humedad optima del suelo natural, posteriormente se realizaron dos probetas de este material; esto con la finalidad de realizar una comparación de las muestras al fallar el suelo en compresión inconfina (suelo natural vs suelo estabilizado con cal).

Paso 1. Estimación de la proporción de cal necesario para estabilizar un suelo a partir de la medida del pH por medio de la I.N.V. E-601-13 (Instituto Nacional de Vías, 2010)

Se preparan muestras de suelo cal a diferentes niveles o dosificaciones (2 %, 3 %, 4 %, 5 %, 6 %). El contenido de cal más bajo al cual se logra un pH de alrededor de 12,4 será el contenido estimado inicial de cal.

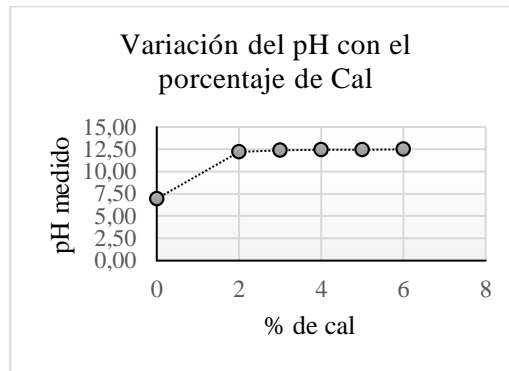
Tabla 14.

Resultados de diferentes dosificaciones de Cal.

Muestra	Porcentaje de Cal (%)	pH medido
1	0	6.95
2	2	12.18
3	3	12.36
4	4	12.44
5	5	12.47
6	6	12.49

Figura 2.

Variación del pH con el porcentaje de Cal



De lo anterior se observa que la dosificación de Cal a utilizar será del 4%.

Paso 2. Densidad máxima y contenido de humedad óptima por medio de la I.N.V. E - 142-13 (Instituto Nacional de Vías, 2012)

Utilizando el contenido inicial de cal del 4% se llevó al cabo el método de ensayo empleado para determinar la relación entre humedad y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101.6 (4") de diámetro, con un martillo de 44.48 N (10lf) que cae libremente desde una altura de 457.2 mm (18"), produciendo una energía de compactación aproximada de 2700 kN-m/m³ (56000 lbf-pie/pie³). Se realizó el mismo procedimiento para el suelo en estado natural (sin agregar cal). En la Tabla 15, Figura 3 y 4 se observan los resultados de los ensayos realizados.

Tabla 15.

Resultados del ensayo normal de compactación

Resultados del ensayo normal de compactación		
	Sin agregar Cal	Con el 4% de cal
Densidad máxima, (g/cm ³)	1.85	1.929
Humedad optima de compactación, (%)	11.8	13.6

Figura 3.

Curva de compactación suelo natural

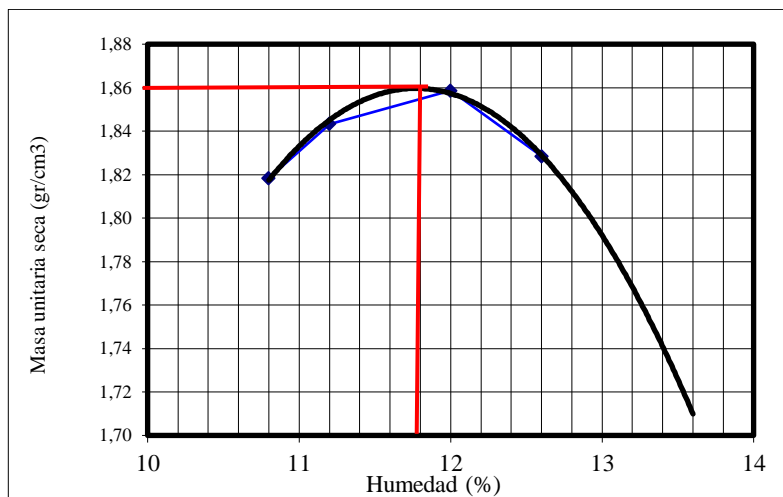
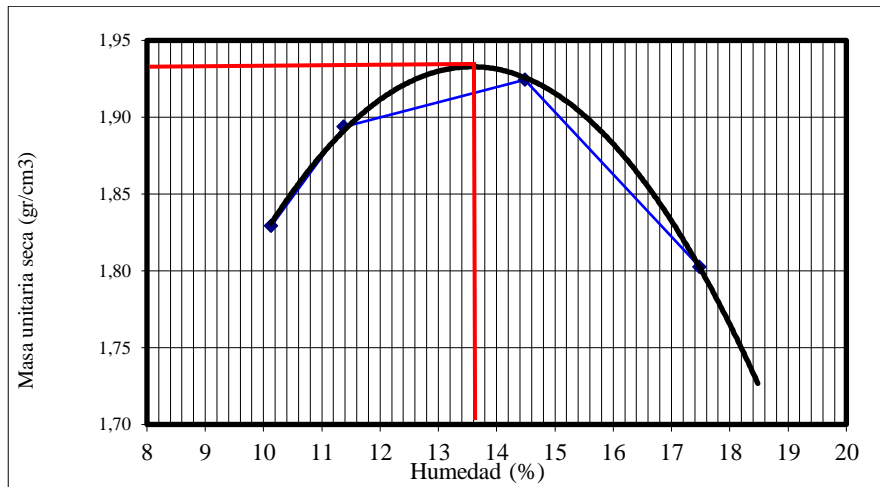


Figura 4.

Curva de compactación agregando 4% de cal



Paso 3. Resistencia a la compresión inconfiada de mezclas compactadas de suelos-cal por medio de la I.N.V. E -605-13 (Instituto Nacional de Vías, 2010).

Preparar muestras por duplicado de la mezcla de suelo cal para el ensayo de compresión inconfiada. Los contenidos de cal a los cuales se deben de preparar las mezclas serán: el contenido de cal determinado en el paso 2 y, al 2 % y al 4 % de cal por encima del contenido de cal determinado en el paso 2 (Elizondo Arrieta & Sibaja Obando, 2008).

Se someten a compresión inconfiada luego de un periodo de curado de 7 días a 40°C. La resistencia a compresión de las probetas se calcula a partir de la carga máxima o de la carga correspondiente a una deformación axial de 5% (Instituto Nacional de Vías, 2010).

Los resultados obtenidos en la Tabla 16 se comparan con el cuadro 1 el cual fue tomado de la guía de para la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas este especifica la resistencia mínima que deben cumplir los especímenes.

Figura 5.

Resistencia a la compresión inconfiada para suelos estabilizados

Capa de suelos estabilizada	Resistencia mínima a la compresión (kPa)	
Base	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido
Sub-base material selecto y subrasante	5170	3450
	1725	1380

Nota. Tomado de: (Instituto Nacional de Vías, 2012)

Tabla 16.

Resistencia a la Compresión Inconfiada (kPa)

Resistencia a la Compresión Inconfiada que (kPa):	
Natural	861.935
Promedio muestra 1-1 (4%)	1439.510
Promedio muestra 1-1 (4.08%)	1453.642
Promedio muestra 1-1 (4.16%)	1473.801

4. Conclusiones y Resultados

- Debido a que el porcentaje del CBR del tramo 3 a estabilizar no cumple con los requisitos de la guía de diseños de la carilla de obras menores de drenaje y estructuras viales, se opta por usar un método de estabilización de suelos con Cal tomado de la guía básica para estabilización de suelos. De esta forma se aumentará la resistencia del suelo.

- Se contempla que la dosificación de Cal a utilizar será del **4%**.

- Se demuestra que el al agregar una dosificación de cal del 4 % el suelo cumple con la resistencia a la compresión mínima de **1380 kPa**.

- Lo interesante es observar el incremento de la resistencia no confinada por el efecto del aumento de la densidad seca en el proceso de mezcla con cal al 4.00%, 4.08% y 4.16%. El porcentaje de incremento es de **67%** de porcentaje de cal sobre el material, esto con la finalidad de aumentar la resistencia del suelo.

- El análisis presupuestal descrito en el *Anexo 6* tuvo un alza bastante significativa debido a que se encontraron varias congruencias en el cálculo de cantidades de obra que observa en el proceso N°CP-MP-SP-027-2011 (*Anexo 5*).

5. Recomendaciones

Se deberá compactar adecuadamente la subrasante. En términos de compactación debe alcanzar al menos el 95% de la Densidad máxima de laboratorio obtenida por medio del Proctor Modificado compactando las capas en espesores no mayores a 15 cm, Recomendación tomada del *Anexo 4*.

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

Características del concreto ciclópeo:

-Resistencia a la compresión a los 28 días $f'c=210$ kg/cm²

-Tamaño máximo del agregado grueso $T_{m\acute{a}x}=38$ mm

-Asentamiento = 5 cm

Características del Agregado Ciclópeo:

-Tamaño máximo del agregado $T_{\text{máx.}}$ = entre 8 cm y 12 cm.

-En cuanto a la piedra a utilizar se recomienda que sea de canto rodado ya que estas piedras presentan una mayor resistencia al desgaste

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. La placa huella debe contar con una parrilla conformada por varillas #4 cada 0,15 m en el sentido longitudinal y varillas #2 cada 0.30 m en el sentido transversal de la placa, respetando el recubrimiento de 0,075 m en las caras superior e inferior (Véase la Figura 4 del Anexo 4). El acero se debe fijar firmemente en su posición para evitar que se muevan cuando se esté vaciando el concreto.

En cuanto a obtener un buen drenaje:

-El agua no debe circular en cantidades excesivas por la superficie de rodadura formando charcos y baches.

-Evitar que el agua de las cunetas humedezca los terraplenes originando asentamientos en la corona de la vía.

-Evitar que los taludes de los cortes en los suelos no cohesivos se saturen con peligro de derrumbes y deslizamientos de la banca.

-Impedir que el agua de los arroyos y hondonadas sean remansadas por los terraplenes con el peligro de erosión y arrastre de sedimentos.

Referencias Bibliográficas

Consejo Nacional de política económica y social. (2016). *Documento CONPES 3857, Lineamientos de política para la gestión de la red terciaria*. Bogotá, D.C.

Department of The Army. (1994). *Soil Stabilization for Pavements*. Washington D.C, United States.

Elizondo Arrieta, F., & Sibaja Obando, D. (2008). *Guía para la estabilización o mejoramiento de rutas no pavimentadas*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

Instituto nacional de vías (INVIAS) and Universidad de Medellín. (2019). *Cartilla de obras menores de drenaje y estructuras viales*.

Instituto Nacional de Vías. (2010). *Sección 600 Estabilización de suelos. Normas y especificaciones 2012 INVIAS*.

Instituto Nacional de Vías. (2012). *Capítulo 2-explanaciones. Art. 236*.

Instituto Nacional de Vías. (2012). *Sección 100 Suelos. Normas y especificaciones 2012 INVIAS*.

Instituto Nacional de Vías. (2017). *Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella*.

La República. (2019). *Vías terciarias, las grandes olvidadas*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/opinion/editorial/vias-terciarias-las-grandes-olvidadas-2829535#:~:text=En%20las%20llamadas%20v%C3%ADas%20terciarias%20se%20aloja%20la,entender%20desde%20un%20Estado%20cada%20vez%20m%C3%A1s%20centra lista>

- La Republica. (2021). *Avanza el plan de mejora de 10.670 kilómetros de vías terciarias*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/especiales/megaconstrucciones/avanza-el-plan-de-mejora-de-10670-kilometros-de-vias-terciarias-3130781>
- Maldona Huezo, H. M., & Orellana Martínez, A. C. (2009). *Guía básica para estabilización de suelos con cal en camiones de baja intensidad vehicular en el Salvador*. Salvador.
- Mateos de Vicente, M. (2013). *Estabilización de tierras para pavimentos, cimientos, laderas y casas de adobe*. Madrid (España).
- Narváez, L. (2017). Vías terciarias: motor del desarrollo económico rural. *Revista de Ingeniería* n° 45, 80–87.
- Pérez G., J. (2005). La Infraestructura del Transporte Vial y la Movilización de Carga en Colombia. *Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, No. 64*. Banco de la República.
- Urrego, A. (s.f.). *Las vías terciarias representan en Colombia 69,5% del total de las carreteras*. La Republica.
- Vega Acosta, K. F. (2021). *La información de los proyectos de vías terciarias en Colombia 2017 a 2021 en un sistema de información geográfica SIG*. Bogotá D.C.