

**ANÁLISIS DE PARÁMETROS PARA LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO CON  
PIEDRA LAJA EN UNA VIA URBANA DE BAJO TRANSITO DEL MUNICIPIO DE  
GUATAVITA CUNDINAMARCA**

**PAULA GERALDINE SALINAS PRIETO**

**JORGE ENRIQUE PEÑA GONZALEZ**



**UNIVERSIDAD**  
**La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA**  
**BOGOTÁ D.C**

**2023**

**ANALISIS DE PARÁMETROS PARA LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO CON  
PIEDRA LAJA EN UNA VIA URBANA DE BAJO TRANSITO DEL MUNICIPIO DE  
GUATAVITA CUNDINAMARCA**

**PAULA GERALDINE SALINAS PRIETO**

**JORGE**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**HAROL LEÓN ZAMBRANO URBANO**

**Asesor Técnico**

**JOSÉ DARÍO GAVILANES**

**Asesor Metodológico**



**UNIVERSIDAD  
La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**Facultad De Ingeniería Civil**

**Universidad La Gran Colombia**

**Bogotá D.C**

**2023**

## **Dedicatoria**

*A Dios, por guiarme en el camino para lograr esta meta.*

*A la luz de mi vida, mi madre, por su apoyo y amor incondicional.*

*A mis tías Jimena y Claudia por su amor y paciencia*

*A mi hermana, Valeria por acompañarme en cada etapa de mi vida*

*Paula S.*

## **Agradecimientos**

Expresamos nuestro agradecimiento al profesor Harol León Zambrano Urbano y al profesor José Darío Gavilanes, quienes con su conocimiento y experiencia nos orientaron en este proceso. También agradecemos a la alcaldesa del municipio de Guatavita por su apoyo en este proyecto, ya que su colaboración fue fundamental en el desarrollo de esta monografía

## Tabla de contenido

Introducción .....	12
1. Planteamiento Del Problema .....	13
2. Justificación .....	15
3. Antecedentes .....	16
4. Objetivos .....	18
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
5. Marcos Referenciales .....	19
5.1 MARCO CONCEPTUAL .....	19
5.1.1 Ntc (Norma Técnica Colombiana).....	19
5.1.2 (Aashto) Association Of State Highway And Transportation Officials.....	20
5.2 MARCO LEGAL .....	21
5.3 MARCO GEOGRÁFICO.....	22
5.3.1 Generalidades Del Municipio De Guatavita.....	22
5.3.2 Ubicación Geográfica De Los Barrios.....	23
5.3.3 Registro Fotográfico De Las Vías A Intervenir.....	24
6. Metodología .....	26
6.1 ENFOQUE.....	26
6.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	26
6.3 FASES DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
7. Resultados De La Investigación .....	30
7.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	30
7.1.2 Topografía.....	30

7.1.3 Climatología.....	30
7.1.4 Uso Del Suelo.....	31
7.1.5 Población.....	31
7.2 ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	32
7.2.1 Descripción De Las Vías De Los Barrios.....	32
7.3 ESTADO EN EL QUE SE ENCUENTRAN LAS VÍAS.....	38
7.3.1 Toma De Muestras, Exploración Y Estudio Geotécnico Del Suelo.....	38
7.3.2 Exploración De Campo.....	38
7.3.3 Nivel Freático Y Aguas Subterráneas.....	39
7.3.4 Perfil Estratigráfico.....	40
7.3.5 Información De Los Apiques.....	40
7.3.6 Humedad Natural.....	42
7.3.7 Resistencia.....	43
7.3.8 Análisis De Suelos Expansivos.....	45
7.3.9 Cbr A Partir Del Criterio Percentil.....	46
7.3.10 Alternativas De Diseño.....	48
7.3.12 Diseño De La Estructura Del Pavimento.....	53
7.3.13 Aplicación Metodología Diseño.....	54
8. Conclusiones.....	64
Bibliografía.....	65
Anexos.....	65

## Lista de figuras

Figura 1 Ubicación Geográfica de Guatavita – Cundinamarca.....	23
Figura 2 Ubicación Geográfica de los barrios: Villa Alejandra, Vila Sue y El Paraíso .....	24
Figura 3 Vías a intervenir.....	25
Figura 4 Profundidades maximas de explotación.....	39
Figura 5 Perfil de humedad.....	43
Figura 6 Determinación del CBR de diseño tramo 1 .....	47
Figura 7 Determinación del CBR de diseño tramo 2 .....	47
Figura 8 Ábaco para determinar el espesor de la base estructural rígida (hormigón/mortero).....	59

## Lista de tablas

Tabla 1 Resumen de conteos vehiculares Municipio de Guatavita sector 1 .....	33
Tabla 2 Resumen de conteos vehiculares Municipio de Guatavita sector 2 .....	33
Tabla 3 TPDs .....	34
Tabla 4 Factores de daño FD para vehículos comerciales .....	35
Tabla 5 Distribución vehicular del TPDa .....	35
Tabla 6 Factor Direccional (Fd).....	36
Tabla 7 Calculo ESAL.....	36
Tabla 8 Tránsito Futuro .....	37
Tabla 9 Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de clasificación.....	42
Tabla 10 Resultados obtenidos de los ensayos de PDC .....	44
Tabla 11 Clasificación de los suelos según el CBR.....	44
Tabla 12 Clasificación de los suelos según el CBR en laboratorio.....	45
Tabla 13 Clasificación de potencial de expansión según INVIAS .....	45
Tabla 14 Potencial expansivo de los suelos .....	46
Tabla 15 Comparación entre las diferentes alternativas .....	52
Tabla 16 Costos.....	53
Tabla 17 Características Físico-Mecánicas del Material de Empedrado .....	55
Tabla 18 Valor de las cargas de tráfico P más habituales .....	56

Tabla 19 Algunas especificaciones para rocas destinadas a revestimientos y métodos de ensayo	57
Tabla 20 Valores del factor Combinado F .....	57
Tabla 21 Características técnicas de la subrasante y el Diseño Geométrico .....	60

## **Resumen**

Guatavita es conocido por su belleza escénica y su gran valor histórico, en donde la preservación de su entorno natural y el patrimonio cultural es una prioridad para los residentes y autoridades locales, así, con la pavimentación de las calles se quiere aportar a preservar esta belleza, por consiguiente, la elección de piedra laja como material de pavimentación es una decisión consciente que armoniza con el entorno y promueve la sostenibilidad ambiental, siendo un recurso local abundante y duradero que se adapta perfectamente a las necesidades de pavimentación en Guatavita.

La implementación de un nuevo tipo de pavimento con piedra laja en una zona urbana con bajo tránsito en el municipio de Guatavita Cundinamarca, representa un proyecto innovador con beneficios significativos y eficaces, ya que su resistencia es suficiente para soportar el tránsito ligero sin problemas. Esto contribuye a la seguridad vial y al bienestar de los residentes locales al proporcionar un camino más suave y seguro.

Este proyecto busca mejorar la calidad de las vías urbanas al utilizar piedra laja como material principal para la pavimentación. La elección de piedra laja se basa en sus propiedades como la durabilidad y resistencia, lo que garantiza una mayor vida útil de las calles y una reducción en los costos de construcción y mantenimiento a largo plazo con una superficie de rodadura en este tipo de pavimento puede brindar una apariencia estética única y atractiva que realza la belleza del entorno urbano.

*Palabras clave:* pavimento, piedra laja, resistencia de pavimento.

## **Abstract**

Guatavita is known for its scenic beauty and its great historical value, where the preservation of its natural environment and cultural heritage is a priority for residents and local authorities, thus, with the paving of the streets we want to contribute to preserving this beauty. Therefore, the choice of flagstone as a paving material is a conscious decision that harmonizes with the environment and promotes environmental sustainability. Flagstone is an abundant and durable local resource that is perfectly suited to the paving needs in Guatavita.

The implementation of a new type of paving with flagstone in an urban area with low traffic in the municipality of Guatavita Cundinamarca, represents an innovative project with significant and effective benefits since its resistance is sufficient to withstand light traffic without problems. This contributes to road safety and the well-being of residents by providing a smoother and safer road.

This project seeks to improve the quality of urban roads by using flagstone as the main material for paving. The choice of flagstone is based on its properties such as durability and resistance, which guarantees a longer useful life of the streets and a reduction in construction and maintenance costs in the long term with a rolling surface on this type of pavement can provide a unique and attractive aesthetic appearance that enhances the beauty of the urban environment.

*Keywords:* pavement, flagstone, pavement resistance.

## **Introducción**

El progreso y la evolución de las infraestructuras urbanas son pilares fundamentales para el desarrollo sostenible de cualquier comunidad. En este contexto, la implementación de un nuevo tipo de pavimento con piedra laja en el municipio de Guatavita - Cundinamarca, representa un paso significativo hacia el desarrollo sostenible y la mejora de la infraestructura vial en esta región. Este proyecto de pavimentación se presenta como una solución prometedora para abordar los desafíos de movilidad y mantenimiento de carreteras, así como para preservar la riqueza colonial de la zona.

La piedra laja es un recurso local abundante y duradero que se adapta perfectamente a las necesidades de pavimentación en Guatavita, uno de los beneficios más destacados de este nuevo tipo de pavimento es su resistencia y durabilidad. La piedra laja es conocida por la capacidad de soportar grandes cargas lo que la hace un material apto para soportar el tráfico y las inclemencias del clima en obras de infraestructura, garantizando una vida útil prolongada de las carreteras pavimentadas con este material, reduciendo significativamente los costos de mantenimiento a largo plazo y disminuye la interrupción de las vías debido a reparaciones constantes.

Este documento, fruto de la colaboración entre las autoridades locales, estudiantes y docentes expertos en las áreas correspondientes, tiene como objetivo principal realizar los estudios y diseños de un pavimento tipo piedra laja, duradero, económico y estéticamente agradable con la finalidad de generar una propuesta innovadora a la alcaldía municipal de Guatavita para próximos proyectos de pavimentación. Esta iniciativa promete mejorar la calidad de vida de los residentes e impulsar el turismo. Además, establece un modelo a seguir para otras comunidades que buscan mejores soluciones para sus necesidades de infraestructura vial.

## 1. Planteamiento del Problema

El municipio de Guatavita cuenta con 180 km de red vial de las cuales, un 70% pertenecen a vías de tipo terciario para el acceso y conexión veredal; las vías de la zona urbana presentan un déficit de pavimento en los barrios perimetrales como: El Paraíso, Villa Alejandra, Villa Sue entre otros; esto genera retrasos en el transporte, congestiones, y a nivel vehicular mayor consumo de gasolina y deterioro de los vehículos.

De acuerdo con información brindada por la alcaldía municipal de Guatavita, la solución a este problema del estado de las calles del casco urbano se ha atendido desde la secretaría de planeación e infraestructura con el desarrollo de proyectos relacionados con estudios y diseños de pavimento rígido, el cual se ha venido implementando en otras zonas a nivel rural para mejorar el acceso al municipio con un panorama que no ha brindado resultados satisfactorios, debido al desgaste prematuro de la capa de rodadura y a los costos de mantenimiento de este.

Antiguamente en algunos sectores del casco urbano se utilizó un pavimento tipo piedra pegada el cual dejó de usarse debido a la falta de estudios de dichos materiales y de la estructura del pavimento que cuente con diseños de manera forma especializada, adicionalmente este se construía de forma empírica por parte de los maestros de obra y no contaba con ninguna base sólida para implementarlo de una manera técnica.

Por otro lado, Colombia no cuenta con normativa legal o bases teóricas confiables para la construcción de pavimento con piedra pegada, sin embargo, pueblos como en Barichara lo han implementado en bases teóricas de otros países. La ausencia de una Norma Técnica Colombiana – NTC, para la piedra laja se traduce en una falta de estándares claros y uniformes en cuanto a su extracción, procesamiento, clasificación y aplicación en la construcción. Esta falta de regulación

puede dar lugar a fallas estructurales, accidentes y pérdidas económicas. Esto no conlleva a formular la pregunta problema

¿Qué parámetros se deben tener en cuenta para la implementación de un pavimento con piedra laja como soporte de rodadura?

## **2. Justificación**

La utilización de pavimentos en piedra laja se ha convertido en un elemento crucial para el desarrollo turístico del municipio de Guatavita. Este tipo de pavimentos no solo añade un encanto estético a las calles y plazas, sino que también refleja la rica historia y herencia cultural de la región.

En un contexto nacional, es imperativo desarrollar bases conceptuales que permitan la creación de una normativa específica para la utilización de pavimentos en piedra laja en municipios catalogados como patrimoniales. Esto se alinea con la necesidad de conservar y promover la identidad cultural de Colombia, preservando sus valores históricos y arquitectónicos. En palabras de López (2020), "la preservación de la arquitectura y la cultura local a través de la utilización de materiales autóctonos como la piedra laja es fundamental para el turismo sostenible y el fomento de la economía local".

El potencial económico de estas obras es innegable. La inversión en la pavimentación con piedra laja no solo crea empleos locales, sino que también atrae a turistas y visitantes que desean experimentar la autenticidad de la región. Según Gómez (2019), "la pavimentación con piedra laja puede aumentar significativamente la afluencia turística, lo que se traduce en un aumento de los ingresos para los comerciantes locales y la comunidad en general". Además, la conservación de la identidad cultural y el patrimonio histórico a través de este tipo de pavimentos puede ser un fuerte atractivo para el turismo cultural, impulsando el desarrollo económico y sostenible del Municipio de Guatavita.

### 3. Antecedentes

La utilización de pavimento en piedra laja en los municipios de Colombia puede remontarse a épocas precolombinas, cuando las civilizaciones indígenas de la región utilizaban piedra laja y otros materiales naturales para construir caminos y senderos. Sin embargo, en el contexto moderno, el uso de piedra laja en pavimentos ha evolucionado a lo largo del tiempo (Oviedo 2005).

En las últimas décadas, ha habido un resurgimiento del interés por la piedra laja como material de pavimentación en algunos municipios de Colombia. Esto se debe en parte a su aspecto estético y su capacidad para integrarse bien en entornos urbanos históricos o rurales. En áreas turísticas o en el centro histórico de algunas ciudades, es posible encontrar pavimentos de piedra laja restaurados o instalados como parte de proyectos de revitalización urbana (Oviedo 2005).

La piedra natural empleada como superficie en el área donde circula alto tráfico en el pavimento es una alternativa valiosa debido a su resistencia mecánica y durabilidad. La generación de materiales como el cemento portland ha disminuido el uso de este recurso (Oviedo, 2005). Revisando la geografía de países como España, es posible evidenciar vías construidos a partir de piedra natural reflejando la importancia histórica que ha tenido este material para la construcción de carreteras transitables (Galicia, 2012).

Algunos casos del uso de piedra natural en pavimentos en la antigüedad y que son conservados hoy en día por su valor arquitectónico son:

- Villa de Leyva - Boyacá, Colombia, uso de piedras de río de tamaño medio morfología esférica, (Alcaldía de Villa de Leyva, 2023)

- Barichara - Santander, Colombia, uso de baldosas de piedra de morfología y tamaño regular (ExpoAreniscas, 2021)

- Europa, en donde se observan gran variedad de vías pavimentadas usando la piedra (Pinzón, 2013).

Sobre los ejemplos anteriores, es importante destacar estos pavimentos han demostrado tener alta durabilidad pues han resistido a diferentes factores y condiciones meteorológicas a lo largo del tiempo, aunque si se recomienda tener presente algunas precauciones sobre el uso para mejorar su conservación debido a su valor histórico y cultural.

En algunos municipios de Colombia se puede apreciar el uso de piedra en el desarrollo de pavimentos, como es el caso el municipio de Miraflores en Boyacá, en este se encuentran pavimentos que superan los 10 años de construidos y que han respondido adecuadamente a diferentes cargas, exigencias geológicas y medioambientales. Es importante mencionar que estos trabajos se ejecutaron de forma empírica, siguiendo una adaptación de la normatividad disponible.

Los pavimentos antiguos según su uso se clasificaban en dos sistemas. El primero de ellos se conocía por usar calzadas con capa de rodadura a partir de baldosas de piedra natural, eran usadas especialmente dentro de las ciudades facilitando el desplazamiento. En el segundo sistema pavimentación se usaban materiales granulares agregando astillas o encachados de piedra buscando reducir la erosión, desarrollando vías largas para optimizar los tiempos de recorrido (Galicia, 2012).

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Desarrollar una propuesta de diseño de pavimento articulado en piedra pegada para vías con bajos volúmenes de tránsito en el municipio de Guatavita Cundinamarca

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar la estructura de pavimento tipo piedra pegada según la normatividad de España aplicada a Colombia
- Realizar el estudio de tránsito y los ensayos de laboratorio pertinentes para la determinación de la alternativa
- Determinar la viabilidad de costos para el desarrollo y la alternativa comparándolo con una alternativa convencional tipo pavimento rígido

## 5. Marcos Referenciales

### 5.1 Marco Conceptual

El diseño de la estructura de pavimento con piedra pegada es una tarea fundamental para garantizar la durabilidad y funcionalidad de las vías locales. En este contexto, es esencial tener en cuenta las normativas técnicas que rigen la ingeniería de pavimentos, tanto a nivel nacional como internacional, para asegurar un diseño adecuado y seguro. Dos de las principales referencias en este sentido son la Norma Técnica Colombiana (NTC) y las especificaciones de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

#### 5.1.1 NTC (*Norma Técnica Colombiana*)

La NTC es una serie de normas técnicas desarrolladas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) que establecen los requisitos y procedimientos para la construcción y diseño de diversas estructuras, incluyendo pavimentos. En el caso de pavimentos, las siguientes normas son relevantes:

- NTC 4595 - Pavimentos Flexibles: Esta norma establece los requisitos para el diseño de pavimentos flexibles, incluyendo la evaluación de tráfico, los materiales necesarios y los espesores recomendados. Aunque está orientada principalmente a pavimentos asfálticos, muchos de sus principios son aplicables a pavimentos de piedra pegada.
- NTC 4596 - Pavimentos Rígidos: Similar a la NTC 4595, esta norma se centra en el diseño de pavimentos rígidos, como el concreto. Aunque no se refiere directamente a

pavimentos de piedra pegada, proporciona información valiosa sobre la resistencia y durabilidad de los materiales de pavimento.

- NTC 4860 - Materiales para Pavimentos: Esta norma establece las especificaciones técnicas para los materiales utilizados en pavimentos, incluyendo agregados pétreos, que son esenciales para los pavimentos de piedra pegada.
- NTC 5342 - Diseño Geométrico de Vías: El diseño geométrico de la vía es crucial para garantizar la seguridad y funcionalidad de esta. La norma establece los parámetros geométricos que deben considerarse al diseñar una vía.
- NTC 5343 - Señalización Vial: Aunque no se relaciona directamente con el pavimento, la señalización vial es fundamental para la seguridad de las vías urbanas. Esta norma establece los requisitos para la señalización de las vías.
- La NTC 5883 - Suelo Subyacente: Exige la evaluación del suelo subyacente para determinar su capacidad de carga y su comportamiento ante cargas cíclicas. Esto es crucial para el diseño de una estructura de pavimento adecuada.

### ***5.1.2 (AASHTO) Association of State Highway and Transportation Officials***

La AASHTO, organización estadounidense que desarrolla y promueve normas y especificaciones para el diseño y construcción de carreteras y vías de transporte. Aunque no es una norma colombiana, las especificaciones de la AASHTO son ampliamente reconocidas y utilizadas en varias partes del mundo, incluyendo en Colombia. Las siguientes especificaciones de la AASHTO son relevantes para el diseño de pavimentos de piedra pegada:

- **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures:** Esta guía proporciona información detallada sobre el diseño de estructuras de pavimento, incluyendo recomendaciones sobre la selección de materiales y espesores de pavimento adecuados.
- **AASHTO Roadside Design Guide:** Aunque se centra en el diseño de la zona de recuperación (fuera de la calzada), esta guía es relevante para garantizar la seguridad de las vías urbanas, especialmente en áreas de bajo tránsito.
- **AASHTO Guide for the Planning, Design, and Operation of Pedestrian Facilities:** Si las vías urbanas en Guatavita incluyen aceras o instalaciones peatonales, esta guía proporciona pautas importantes para su diseño y operación.

La aplicación adecuada de estas normas garantizará que las vías cumplan con los estándares de calidad y seguridad requeridos.

## **5.2 Marco Legal**

**\*Resolución 3157 de 2008 del Ministerio de Transporte de Colombia,** establece normativas y disposiciones relacionadas con el transporte de carga por carretera en el país. A continuación, se presentan los puntos más relevantes de esta resolución:

**Objetivo.** La resolución tiene como propósito regular y establecer los requisitos para la prestación del servicio de transporte de carga terrestre en Colombia.

**Ámbito de aplicación.** Se aplica a todas las personas naturales o jurídicas que realizan actividades de transporte de carga por carretera, así como a los vehículos utilizados para este fin.

**Requisitos para la prestación del servicio de transporte de carga.** La resolución detalla las condiciones que los proveedores deben satisfacer para operar, tales como

inscripción en el Registro Nacional de Transportadores, contar con la autorización correspondiente, y asegurarse de que los conductores cumplan con las condiciones de idoneidad y capacitación.

**La Ley 105 de 1993 en Colombia** establece el régimen normativo para el transporte en el país. Esta ley abarca diversas disposiciones relacionadas con el transporte terrestre, aéreo, fluvial y marítimo, y tiene como objetivo regular y supervisar las actividades de transporte para garantizar la seguridad, eficiencia y calidad de los servicios prestados. También establece las responsabilidades de los diferentes actores involucrados en el transporte, como los operadores, conductores, propietarios de vehículos y autoridades competentes. En resumen, la Ley 105 de 1993 es fundamental para regular el transporte en Colombia y promover un sistema de transporte seguro y eficiente en el país.

## **5.3 Marco Geográfico**

### ***5.3.1 Generalidades del municipio de Guatavita.***

Guatavita es un municipio que se localiza en la provincia de Almeidas y hace parte de los 116 municipios de Guatavita Cundinamarca, en la región andina de Colombia, a una altitud de aproximadamente 2,560 metros sobre el nivel del mar. Está situado a unos 75 kilómetros al noreste de Bogotá, la capital de Colombia. Se encuentra a una altitud media de 2668 m.s.n.m. y tiene una temperatura media anual de 13.2 °C, con una precipitación anual de 932 milímetros (mm) con una extensión de 23.800 hectáreas. En la parte alta de su topografía el municipio posee bosques de páramo y protectores. Sus actividades económicas se desarrollan en base a la agricultura, principalmente en los cultivos de papa, maíz, arveja, cebada, haba, legumbres y la

ganadería (Vacuno, ovino y porcino) (Alcaldía de Guatavita, 2023). Limita por el norte con los municipios de Sesquilé y Machetá; por el oriente con Gachetá y Junín; por el sur Guasca y Sopó y por el occidente con Tocancipá y Gachancipá (Alcaldía de Guatavita, 2023).

### **Figura 1**

*Ubicación Geográfica de Guatavita – Cundinamarca.*



*Nota.* Tomada de Google Maps

Guatavita tiene una extensión total de 253 kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>), posee área montañosa perteneciente a la cordillera oriental andina, con alturas mayores de 3.500 m.s.n.m. Al occidente del municipio se encuentra el embalse de Tominé, su cimentación se ejecutó realizando la inundación del valle del río Siecha o Tominé, donde se ubicaba antiguamente la cabecera municipal, por lo cual se construyó un nuevo asentamiento en el sitio más alto al oriente del embalse (Alcaldía de Guatavita, 2023).

#### **5.3.2 Ubicación geográfica de los barrios**

Las vías que se van a intervenir se encuentran ubicadas en los barrios Villa Alejandra, Villa Sue y El Paraíso, ubicados en el casco urbano del municipio.

**Figura 2.**

*Ubicación Geográfica de los barrios: Villa Alejandra, Villa Sue y El Paraíso.*



*Nota.* Tomada de Google Earth

### **5.3.3 Registro fotográfico de las vías a intervenir.**

En las siguientes figuras se pueden evidenciar algunas condiciones actuales de las vías objeto de investigación, en las cuales se puede evidenciar los daños que presentan como sus deterioros más visibles.

### Figura 3

*Vías a intervenir*



*Nota:* Elaboración propia

## **6. Metodología**

### **6.1 Enfoque**

El enfoque de esta investigación es cuantitativo ya que establece numéricamente los resultados usando técnicas de recolección de datos estandarizados y por medio de las estadísticas se representan los datos obtenidos con el objetivo de que estos puedan generalizarse aplicándolos en otros sectores o municipios donde se pueda implementar este tipo de pavimento.

### **6.2 Tipo de investigación**

El estudio presentado corresponde a una investigación descriptiva, teniendo en cuenta que el objetivo general consiste en desarrollar una propuesta de diseño de pavimento articulado en piedra pegada en el municipio de Guatavita Cundinamarca; y a través de diferentes estudios y ensayos de laboratorio, los cuales están establecidos en documentos técnicos que validan y certifican los procesos que permiten cumplir con el objetivo propuesto.

### **6.3 Fases de la investigación**

**ETAPA 1. Planificación de la investigación:** Descripción de la situación presentada actualmente, revisión a los documentos de la secretaria de planeación de la administración municipal. En primera instancia, se generarán acercamientos con la administración municipal, y sus respectivas dependencias (oficina de planeación municipal); se realizan solicitudes de información de carácter técnico, operativo, comercial, administrativo, financiero, social, legal, ambiental en relación con la prestación del servicio de mantenimiento y recuperación de las vías urbanas del sector. Situación equivalente se realizará con la autoridad ambiental competente

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Este proceso se desarrollará de manera digital, por medio de oficios consecutivos que serán enviados por correos electrónicos. Esta recepción de información es otorgada en su mayoría mediante correos electrónicos y oficios municipales, los cuales reposan dentro de las memorias digitales de la presente investigación, situación que permite garantizar la veracidad de la información que se empleara en esta etapa del proyecto. Adicionalmente se realizará la búsqueda de información secundaria, de manera digital, empleando buscadores de interés. Teniendo en cuenta el avance realizado por la alcaldía para la actualización del EOT (Esquema de Ordenamiento Territorial), se utilizará la información relevante incluida en el proyecto de actualización, para contar con la información más .actualizada posible.

**ETAPA 2. Trabajo de campo** visitas al sitio que nos permitirán resaltar los tramos que presentan deterioros del suelo sin pavimentar, que comprende los barrios Villa Alejandra, Villa Sue y El Paraíso.

El perímetro urbano y zona de expansión del municipio de Guatavita, cuenta con sistema de pavimentación tipo rígido el cual será analizado desde el factor económico en base a la revisión de los informes encontrados en el SECOP (Sistema Electrónico Para la Contratación Pública) para compararlo con el tipo de pavimento piedra laja según la cotización de una empresa ubicada en Funza - Mosquera.

Se realizará una verificación en campo inicial de los puntos principales para la realización del estudio de tránsito teniendo en cuenta tres días de la semana donde se evidencie un aforo bajo medio y alto, con el fin de identificar el volumen de tránsito y poder determinar el tipo de vehículos que circulan en la zona para así calcular la capacidad del diseño del pavimento.

Esta etapa contempla el estudio técnico que permite determinar las condiciones del terreno donde se va a colocar la estructura, mostrando propiedades de resistencia, estratos, y tipo de materiales encontrados que permitan establecer parámetros geotécnicos para llevar a cabo un correcto diseño de la estructura.

En el modelo geotécnico que contempla la exploración del subsuelo de acuerdo al objetivo fijado para el sitio, comprende la ejecución de apiques, realizando ensayos de campo como penetrómetro dinámico de cono PDC, con recuperación de muestras inalteradas, que serán llevadas al laboratorio donde se hará la caracterización física general que abarca límites de consistencia, granulometría por lavado sobre tamiz 200, humedad natural, y ensayos de resistencia como CBRinalterado y CBR de laboratorio según el material encontrado; con esta información se podrá clasificar e identificar la estratigrafía del terreno encontrado y así poder proporcionar recomendaciones para el diseño.

### **ETAPA 3. Procesamiento e interpretación de la información**

Analizando los datos de cada práctica de laboratorio, se organizarán en tablas de cálculo, las cuales nos permitirán hacer un estudio detallado y dar conclusiones de la caracterización a cerca del tipo de suelo, sus propiedades y resistencia. Tratándose de un pavimento para vías de categoría III, con un tránsito moderado se plantearán como mínimo tres alternativas de diseño de pavimento , las cuales serán modeladas bajo la metodología de la AASHTO 93 y serán analizadas teniendo en cuenta varios aspectos como el clima, el uso, las fuentes de los materiales, el costo, la ejecución, el mantenimiento y el entorno.

De acuerdo con los resultados presentados por cada alternativa se escoge la mejor y se procede a hacer el diseño y sus especificaciones para su correcta adecuación y mantenimiento.

Luego de hacer los estudios y diseños correspondientes se procede a dar conocimiento de los resultados de la investigación a la alcaldía municipal de Guatavita con la finalidad de que éste estudio se tenga en cuenta para futuras pavimentaciones o mantenimientos de algunas vías del casco urbano del municipio.

## **7. Resultados de la investigación.**

### **7.1 Descripción de la zona de estudio**

#### ***7.1.2 Topografía***

El relieve de Guatavita es variado, con montañas colinas y valles; ya que Guatavita se encuentra ubicada en la cordillera oriental de los Andes colombianos lo que influye en su topografía.

La zona de estudio presenta áreas con un relieve menos abrupto en comparación con las montañas circundantes, como montecillo y zonas de alta pendiente como en el embalse de Tominé.

El origen de georreferenciación del estudio presenta unas coordenadas geográficas con longitud de: -74.07750792W y latitud de: 4.59620042 N, además de unas coordenadas planas de falso norte: 1.000000 y falso este: 1000000

#### ***7.1.3 Climatología***

La climatología de Guatavita está influenciada por su altitud y ubicación geográfica en la cordillera oriental de los Andes colombianos.

La altitud de Guatavita varía entre los 2.500 y 3.300 metros sobre el nivel del mar, lo que le otorga un clima de montaña con temperaturas frescas durante todo el año. La temperatura media anual oscila alrededor de los 14-16°C, siendo enero el mes más cálido y julio el más frío. Las noches suelen ser frías, con temperaturas que pueden descender por debajo de los 10°C.

En cuanto a las precipitaciones, Guatavita experimenta una temporada de lluvias de abril a noviembre y una temporada seca de diciembre a marzo. La precipitación anual varía entre 800 y 1.200 mm, con los meses de octubre y noviembre siendo los más lluviosos. Estas condiciones climáticas favorecen la vegetación exuberante y los bosques que rodean la región.

#### **7.1.4 Uso del suelo**

Una parte significativa del suelo en Guatavita está destinada a la agricultura, siendo este uno de los principales motores económicos del municipio. Los campesinos locales cultivan una variedad de productos agrícolas, como papa, maíz, habas, trigo y cebolla, aprovechando las condiciones climáticas y geográficas de la zona. Además, la ganadería es una actividad importante, con la cría de ganado vacuno y ovino.

El turismo ha llevado a la expansión de la infraestructura turística, incluyendo hoteles, restaurantes y actividades recreativas en áreas como la Laguna de Guatavita y el Parque Natural Chingaza. Este uso del suelo contribuye a la generación de empleo y al desarrollo económico local.

Además, parte del suelo de Guatavita se destina a la construcción de viviendas y áreas urbanas para satisfacer las necesidades de la población. El crecimiento demográfico y la urbanización han impulsado la expansión de la infraestructura pública, como carreteras y servicios básicos.

Es importante mencionar que Guatavita alberga áreas de conservación y preservación ambiental, como el Parque Natural Chingaza, que contribuye a la protección de la biodiversidad y los recursos hídricos de la región. Estas áreas están destinadas principalmente a la conservación y la investigación científica.

#### **7.1.5 Población.**

De acuerdo con las proyecciones del DANE, en 2020 Guatavita tenía 6,760 habitantes. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las cifras demográficas pueden cambiar con el tiempo debido a factores como el crecimiento natural y la migración. Su población está

compuesta principalmente por comunidades rurales que se dedican a la agricultura y la ganadería.

## **7.2 Estudio de tránsito**

Con estos estudios es posible determinar la cantidad de vehículos transitan por un punto específico. Se realiza mediante aforos, también es posible hallar el índice de accidentes, planificar la construcción de nuevos carriles y la determinación de pronósticos.

### ***7.2.1 Descripción de las vías de los barrios***

El estudio se localiza en el municipio de Guatavita en dos sectores viales del casco urbano en los barrios El Paraíso, Villa Alejandra, Villa Sue los cuales comprenden las siguientes direcciones:

1. Calle 1ª entre Trs 7 y carrera 8.
2. Carrera 8 entre calle 1ª y calle 2ª.
3. Carrera 4 entre Dg 1 y sector Los Bernal.

La localización de los puntos de aforo de los conteos vehiculares se realizó en la mitad de los tramos de estudio en la semana del 7 al 14 de agosto de 2023, estos se realizaron en 3 días diferentes a fin de conocer las condiciones particulares del flujo vehicular para cada sector.

**Tabla 1**

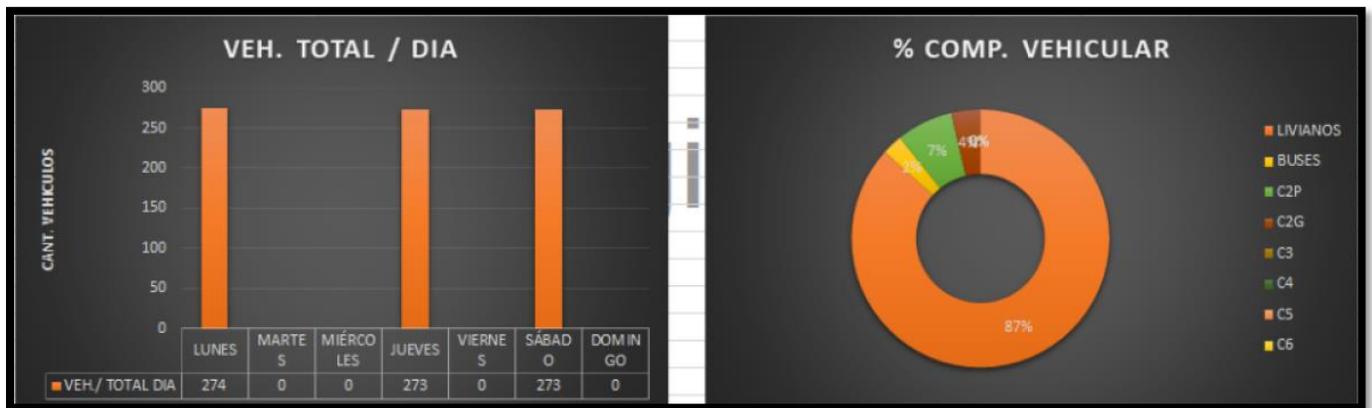
*Resumen de conteos vehiculares Municipio de Guatavita sector 1*

Calle 1ª entre Trs 7 y carrera 8.Carrera 8 entre calle 1ª Y CALLE 2ª.		RESUMEN CONTEOS VEHICULARES										
ANALISIS DE CONTEO DE TRANSITO - COMPOSICION TRANSITO												
DIA	TPD	TIPO A		TIPO C (CAMIONES)						MOTOS	TOTAL	TOTAL SIN MOTOS
		LIVIANOS	BUSES	C2P	C2G	C3	C4	C5	C6			
LUNES	274	237	8	19	10	0	0	0	0	0	274	274
MARTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIÉRCOLES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUEVES	273	237	6	19	11	0	0	0	0	0	273	273
VIERNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SÁBADO	273	237	7	20	9	0	0	0	0	0	273	273
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL VEH./SEMANA		711	21	58	30	0	0	0	0	0	820	820
VEH. PROM/DIA		237	7	19	10	0	0	0	0	0		
% COMP. VEHICULAR		87%	3%	7%	4%	0%	0%	0%	0%			
TPDS		273										
DESVIACION (σ)		14.6										

Nota. Elaboración propia.

**Figura 4**

*Resumen gráfico de conteos vehiculares Municipio de Guatavita sector 1*



Nota. Elaboración propia.

**Tabla 2**

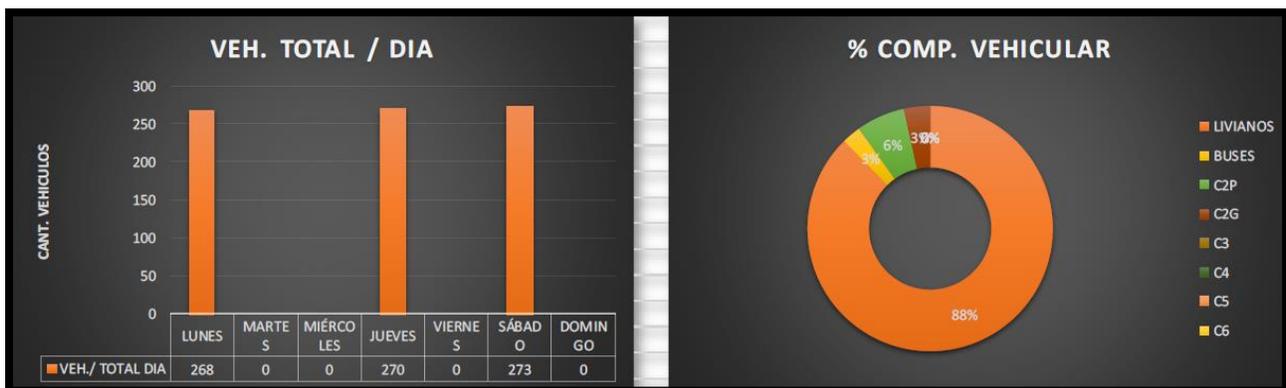
*Resumen de conteos vehiculares Municipio de Guatavita sector 2*

SECTOR 2 (Carrera 4 entre Dg 1 y sector los Bernal)		RESUMEN CONTEOS VEHICULARES											
ANALISIS DE CONTEO DE TRANSITO - COMPOSICION TRANSITO													
DIA	TPD	TIPO A	TIPO B	TIPO C (CAMIONES)						MOTOS	TOTAL	TOTAL SIN MOTOS	
		LIVIANOS	BUSES	C2P	C2G	C3	C4	C5	C6				
LUNES	268	237	7	15	9	0	0	0	0	0	0	268	268
MARTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIÉRCOLES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JUEVES	270	237	6	17	10	0	0	0	0	0	0	270	270
VIERNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SÁBADO	273	237	7	20	9	0	0	0	0	0	0	273	273
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL VEH./SEMANA		711	20	52	28	0	0	0	0	0	0	811	811
VEH. PROM/DIA		237	7	17	9	0	0	0	0	0			
% COMP. VEHICULAR		88%	2%	6%	3%	0%	0%	0%	0%				
TPDS		270											
DESVIACION (σ)		14.6											

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 5**

*Resumen gráfico de conteos vehiculares Municipio de Guatavita sector 2*



*Nota.* Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los resultados de los aforos realizados para los dos sectores a intervenir se observa que la composición del flujo vehicular es muy similar para estos por lo cual se decide trabajar con un tránsito promedio semanal (TPDs) para ambos sectores así:

**Tabla 3**

*TPDs*

<b>TPDs vías Guatavita</b>	
TPDs	273
$\sigma$	14.64

*Nota.* Elaboración propia.

**\* Cálculo del tránsito promedio diario anual (TPDa)** Para realizar este análisis se usará el tránsito promedio diario semanal (TPDs), con intervalo de confianza del 80% (INVIAS, 2013).

$$TPDa = TPDs \pm K$$

$$TPDa = 273+4 = 227 \text{ Límite superior}$$

$$TPDa = 273-4 = 269 \text{ Límite inferior}$$

Lo anterior muestra se puede hallar el TPDa en un punto de este rango, de cualquier día con un coeficiente de confiabilidad del 80%. Se tomará el máximo valor, o sea, el del límite superior, equivalente a un TPDa de 227 vehículos/día.

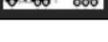
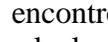
**\* Cálculo de factor daño**

Un concepto desarrollado a partir de la información recolectada en el ensayo vial AASHTO fue el factor de equivalencia, que determina el correspondiente daño proporcionado al pavimento a partir de la relación que existe entre el peso que ejerce el eje con una carga cualquiera y el eje patrón.

Teniendo en cuenta esto se ha establecido los siguientes factores de año por tipo de vehículo para el estudio:

**Tabla 4**

*Factores de daño FD para vehículos comerciales.*

TIPO DE VEHICULO	PESO BRUTO MAX. (TON)	CARGA POR EJE (TON)			FACTOR DE DAÑO			TOTAL FACTOR DAÑO (FD)
		DELANTERO	TRASERO 1	TRASERO 2	DELANTERO	TRASERO 1	TRASERO 2	
LIVIANOS 	*No se contempla							
BUSES 	10	4	6		0.13	0.68		0.82
C2P 	12	6	6		0.68	0.68		1.37
C2G 	17	6	11		0.68	3.24		3.92
C3 	28	6	22		0.68	4.63		5.31
C4 	39	6	22	11	0.68	4.63	3.24	8.55
C5 	50	6	22	22	0.68	4.63	4.63	9.94
C6 	52	6	22	24	0.68	4.63	1.19	6.50

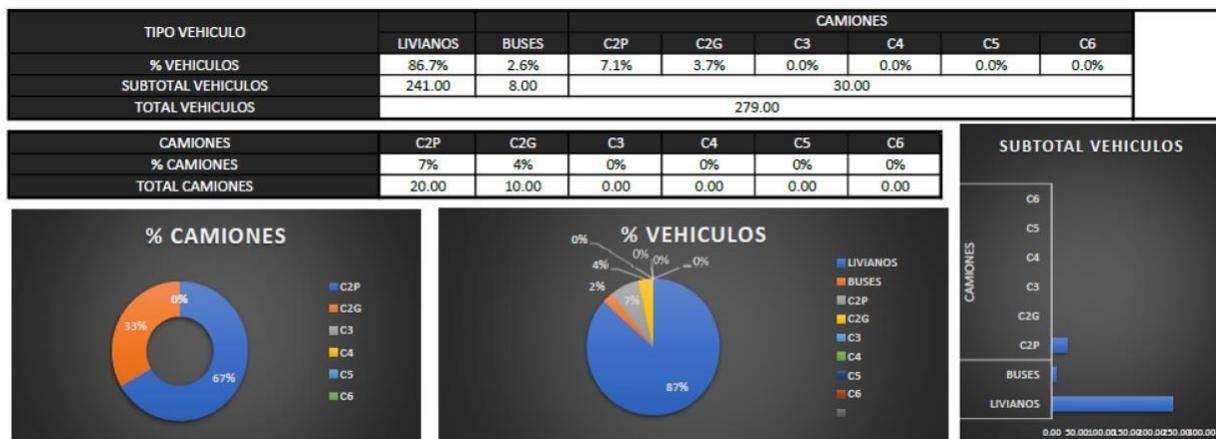


*Nota.* Se encontró en dicho ensayo que el daño que hacen los ejes en el pavimento no es linealmente proporcional a la carga, sino que es exponencial, teniendo un comportamiento dado por la ecuación del factor de equivalencia (Fe). Elaboración propia.

\* **Ejes equivalentes (ESAL)** el tránsito promedio diario (TPDs) que se obtuvo fue de 273 vehículos/día, pero para efectos del estudio de pavimento se calculó el (TPDa), dando 277 vehículos/día, distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 5**

*Distribución vehicular del TPDa.*



*Nota.* Para este estimativo se tiene en cuenta que el TPDa, que circularán el año 20 del estudio en los sentidos de la vía será 277 vehículos/día; pero teniendo en cuenta un factor bidireccional del 75% (por tener un ancho de calzada entre los 5m y 6m). Elaboración propia.

El efecto producido por los diferentes tipos de ejes que circulan por la vía producirá un daño que generará un eje patrón; para tal fin se aplican los factores de equivalencia (tabla 4) y se multiplican por los diferentes números de cargas para volverlos ejes simples de 8.2 toneladas.

**Tabla 6**

*Factor Direccional (Fd)*

Ancho de la calzada	Tránsito de diseño	Fd
Menos de 5 m	Total en los dos sentidos	1.0
Igual o mayor de 5 m y menor de 6 m	¾ del total en los dos sentidos	0.75
Igual o mayor de 6 m	½ del total en los dos sentidos	0.50

*Nota. Nota.* Tomado de Instituto Nacional de vías, 2008.

Para el carril de diseño, se tiene que transitarán 208 vehículos/día por este carril denominado de diseño. Teniendo en cuenta los factores de equivalencia de carga por eje para los diferentes tipos de vehículos, se obtienen los ejes simples de 8.2 toneladas

**Tabla 7**

*Calculo ESAL*

TIPO DE VEHÍCULO	% DE VEHÍCULOS	N. DE VEHICULOS (FD)	FACTOR DE DAÑO (FE)	N. EJES	ESAL (N)
LIVIANOS	87%	181.00	0.00	2	0.000
BUSES	3%	6.00	0.82	2	9.815
C2P	7%	15.00	1.37	2	40.981
C2G	4%	8.00	3.92	2	62.741
C3	0%	0.00	5.31	3	0.000
C4	0%	0.00	8.55	4	0.000
C5	0%	0.00	9.94	5	0.000
C6	0%	0.00	6.50	6	0.000
<b>TOTAL, EJES EQUIVALENTES 80 KN DÍA</b>					113.537
<b>TOTAL, EJES EQUIVALENTES 80 KN AÑO (0)</b>					42269.740

*Nota.* Elaboración propia.

\* **Periodo de diseño** cuando un pavimento alcanza el fin de su vida útil, es usualmente rehabilitado de alguna forma, para que sea capaz de proporcionar un nuevo período de servicio, pero cuando el pavimento alcanza una serviciabilidad baja al haberse alcanzado el periodo de diseño, la estructura puede verse o manifestarse igualmente deteriorada por lo que requerirá además una estructura nueva. Se buscará diseñar la estructura requerida para prolongar el periodo de servicio del pavimento para 20 años.

\* **Cálculo de tránsito futuro** los volúmenes de tránsito futuro están compuestos del tránsito actual (TA), el tránsito desarrollado (TD) y el tránsito generado (TG)

$$TF = TA+TD+TG$$

$$TA = TE+Tat$$

Debido a que el tramo que compete es de estudio corresponde a una vía consolidada, donde el crecimiento económico, regional y agroindustrial no van a presentar un incremento considerable y por lo tanto el paso de vehículos pesados que circulan actualmente por el sector no tendrán un aumento representativo después de realizada la rehabilitación, solo se tendrán un porcentaje del 1.5% de tránsito generado según la guía del INVIAS para pavimentos.

**Tabla 8**

*Tránsito Futuro*

AÑO	AÑO REF	ESAL (N)	TE (transito existente)	Tet (transito atraido)	TA (transito actual)	CNT (crecimiento normal tr.)	TG (transito generado)	TD (transito desarrollado)	TA + CNT	IT (incremento de transito)	TF (transito futuro)
2023	1	42270	42270	0	42270	0	0	0	42270	0	42270
2024	2	83383	42270	0	42270	43113	0	0	83383	43113	83383
2025	3	129345	42270	0	42270	87076	1940	0	129345	89016	131286
2026	4	174151	42270	0	42270	131882	2612	0	174151	134494	176764
2027	5	219803	42270	0	42270	177533	3297	0	219803	180830	223100
2028	6	266299	42270	0	42270	224030	3994	0	266299	228024	270294
2029	7	313641	42270	0	42270	271372	4705	0	313641	276076	318346
2030	8	361829	42270	0	42270	319559	5427	0	361829	324987	367256
2031	9	410862	42270	0	42270	368592	6163	0	410862	374755	417025
2032	10	460740	42270	0	42270	418470	6911	0	460740	423382	467651
2033	11	511464	42270	0	42270	469194	7672	0	511464	476866	519136
2034	12	563033	42270	0	42270	520763	8445	0	563033	529209	571478
2035	13	615447	42270	0	42270	573178	9232	0	615447	582409	624679
2036	14	668707	42270	0	42270	626438	10031	0	668707	636468	678738
2037	15	722813	42270	0	42270	680543	10842	0	722813	691383	733653
2038	16	777763	42270	0	42270	735493	11666	0	777763	747160	789430
2039	17	833559	42270	0	42270	791290	12503	0	833559	803793	846063
2040	18	890201	42270	0	42270	847931	13353	0	890201	861284	903554
2041	19	947688	42270	0	42270	905418	14215	0	947688	919633	961903
2042	20	1006020	42270	0	42270	963750	15090	0	1006020	978840	1021110
2043	21	1065197	42270	0	42270	1022928	15978	0	1065197	1038906	1091175

*Nota.* Nota los valores fueron aproximados al entero mayor debido a que son representativos de ejes equivalentes. Elaboración propia.

### **7.3 Estado en el que se encuentran las vías**

#### ***7.3.1 Toma de muestras, exploración y estudio geotécnico del suelo***



*Nota:* Elaboracion propia

#### ***7.3.2 Exploración de campo***

Las actividades contemplan la exploración del subsuelo por medio de 6 apiques ejecutados manualmente. De los cuales en su totalidad se extrajeron muestras representativas alteradas, con el objetivo de determinar el contenido de humedad y para clasificar los diferentes estratos encontrados, además se hizo el ensayo de campo mediante el equipo PDC.

En la siguiente figura se representan las profundidades máximas de cada exploración.

**Figura 4**

*Profundidades máximas de explotación*



Fuente. Elaboración propia

Durante el proceso de exploración se recuperaron muestras inalteradas mediante probetas de CBR.

\* **Ensayos de laboratorio**, se realizaron con la finalidad de caracterizar el suelo de subrasante, se tomaron muestras alteradas para ejecutar ensayos de humedad natural, lavado sobre tamiz No. 200, y límites de Atterberg. Para determinar la resistencia del subsuelo se extrajeron muestras inalteradas, y se desarrollaron ensayos PDC en campo, en donde por medio de correlaciones geotécnicas de diferentes autores se determinó la resistencia del material.

### **7.3.3 Nivel freático y aguas subterráneas**

Durante el proceso de exploración no se evidenció presencia de nivel freático hasta la profundidad explorada.

#### **7.3.4 Perfil estratigráfico**

La exploración del subsuelo permitió establecer un perfil típico en la zona de estudio el cual se describe a continuación:

#### **7.3.5 Información de los apiques**

\* **Apique 1** alcanzó una profundidad de 1.50 m, dentro de los cuales se encontraron los siguientes estratos:

- 0.00m – 1.10m: Material de relleno antrópico
- 0.10m – 0.60m (AASHTO -A-7-6): Arcilla de color café con presencia de grava, consistencia firme y moderado contenido de humedad.
- 0.60m - 1.50m (AASHTO -A-7-6): Suelos arcillosos de color café con vetas amarillas con contenido de humedad medio.

\* **Apique 2** alcanzó una profundidad de 1.5m, dentro de los cuales se encontraron los siguientes materiales:

- 0.00m – 1.10m: Material conformado por una capa granular
- 0.10m – 0.70m (AASHTO -A-7-6): Arcilla de color café con presencia de grava, de baja plasticidad con moderado contenido de humedad.
- 0.70m - 1.50m (AASHTO -A-6-7): Arcilla de baja plasticidad con contenido de humedad medio.

\* **Apique 3** alcanzó una profundidad de 1.5m, dentro de los cuales se encontraron los siguientes materiales:

- 0.00m – 1.10m : Material conformado por una capa granular

- 0.10m – 0.70m (AASHTO -A-7-6): Arcilla de color café con presencia de grava, de baja plasticidad con moderado contenido de humedad.
- 0.70m - 1.50m (AASHTO -A-6-7): Arcilla de alta plasticidad con contenido de humedad medio.

\* **Apique 4** alcanzó una profundidad de 1.5m, dentro de los cuales se encontraron los siguientes materiales:

- 0.00m – 1.10m: Material conformado por una capa granular
- 0.10m – 0.70m (AASHTO -A-7-6): Arcilla de color café con presencia de grava, de baja plasticidad con moderado contenido de humedad.
- 0.70m - 1.50m (AASHTO -A-6-7): Arcilla de baja plasticidad con contenido de humedad medio.

\* **Apique 5** alcanzó una profundidad de 1.5m, dentro de los cuales se encontraron los siguientes materiales:

- 0.00m – 1.10m: Material conformado por una capa granular
- 0.10m – 0.70m (AASHTO -A-7-6): Arcilla de color café con presencia de grava, de baja plasticidad con moderado contenido de humedad.
- 0.70m - 1.50m (AASHTO -A-6-7): Arcilla de baja plasticidad con contenido de humedad medio.

\* **Apique 6** alcanzó una profundidad de 1.5m, dentro de los cuales se encontraron los siguientes materiales:

- 0.00m – 1.10m: Material conformado por una capa granular
- 0.10m – 0.70m (AASHTO -A-7-6): Arcilla de color café con presencia de grava, de baja plasticidad con moderado contenido de humedad.

- 0.70m - 1.50m (AASHTO -A-6-7): Arcilla de baja plasticidad con contenido de humedad medio.

**Tabla 9**

*Resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de clasificación.*

<b>Perf.</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>SUCS</b>	<b>% Gravas</b>	<b>% Arenas</b>	<b>% Finos</b>	<b>LL (%)</b>	<b>LP (%)</b>	<b>IP (%)</b>	<b>W (%)</b>
Apique	0,3 – 1,0	A7-5	4,91	48,49	46,61	58,40	30,86	27,54	36,83
1	1,0 – 1,5	A7-5	4,13	44,74	51,12	57,50	31,22	26,28	35,70
Apique	0,5 – 1,0	A7-6	4,09	30,27	65,64	45,21	23,49	21,71	22,64
2	1,0 – 1,5	A7-6	0,00	49,52	50,48	44,52	23,63	20,89	20,68
Apique	0,5 – 1,0	A6	3,90	54,80	41,30	38,21	21,29	16,92	27,86
3	1,0 – 1,5	A6	3,91	47,22	48,87	38,48	21,40	17,08	26,58
Apique	0,4 – 1,0	A6	4,63	55,47	39,90	39,59	21,55	18,03	29,14
4	1,0 – 1,5	A6	5,15	53,83	41,02	39,56	21,39	18,17	29,53
Apique	0,3 – 1,0	A7-6	0,28	47,85	51,87	49,39	25,72	23,67	32,94
5	1,0 – 1,5	A7-6	0,32	48,79	50,89	48,95	24,85	24,10	31,01
Apique	0,4 – 1,0	A6	0,77	58,81	40,42	29,03	18,83	10,20	23,25
6	1,0 - 1,5	A6	7,60	51,28	41,12	29,25	18,61	10,64	21,63

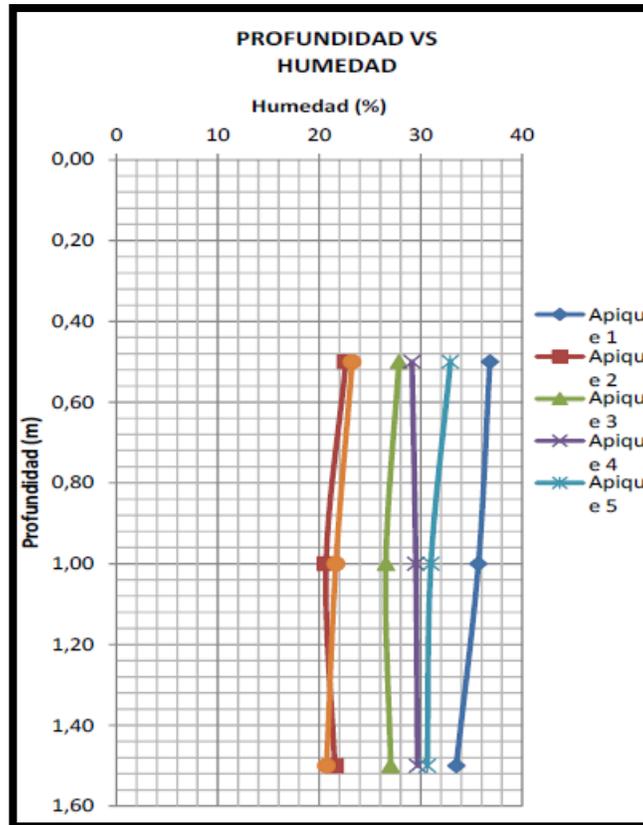
Elaboración propia.

### **7.3.6 Humedad natural**

La humedad natural del suelo de fundación es un parámetro muy importante para tener en cuenta durante el desarrollo de un proyecto ingenieril, pues la consistencia y resistencia del suelo están ligados directamente al porcentaje de contenido de agua del mismo, es por esta razón que se generó la Figura 5 en la cual se muestran los perfiles de humedad de los materiales extraídos durante la labor en campo.

**Figura 5**

*Perfil de humedad*



*Nota.* En la gráfica anterior se puede apreciar que los niveles de humedad fluctúan entre el 21 y el 37% dónde: en el apique 2, se presentan valores bajos a profundidades de 0,50 m, a medida que se aumenta la profundidad se observa un leve incremento del contenido de humedad, Debido al flujo de agua subterránea que viene de la zona de la heladera. Las condiciones de humedad son favorables para las condiciones de resistencia del suelo. Elaboración propia.

### **7.3.7 Resistencia**

Una de las variables más influyentes en el diseño de la estructura de un pavimento es la resistencia del suelo de subrasante, en nuestro medio por factores económicos es habitual el

empleo del ensayo del CBR para determinar dicha resistencia, en el presente estudio se optó por determinarlo por el método de CBR por el ensayo PDC, el tramo vial.

En la tabla 10, se ilustran los resultados obtenidos

**Tabla 10**

*Resultados obtenidos de los ensayos de PDC*

<b>Apique</b>	<b>SUCS</b>	<b>Wn%</b>	<b>%CBR Promedio con PDC</b>	<b>%CBR Inalterado</b>
1	A7-5	35,7	4,8	5,1
2	A7-6	20,68	2,6	-
3	A6	26,58	3,6	4,1
4	A6	29,53	3,3	-
5	A7-6	31,01	3,4	5,4
6	A6	21,63	3,4	-

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 11**

*Clasificación de los suelos según el CBR*

<b>CBR (%)</b>	<b>Clasificación general</b>	<b>Usos</b>
0 – 3	Muy pobre	Subrasante
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante
7 – 20	Regular	Subbase
20 – 50	Bueno	Subbase y base
>50	Excelente	Base

*Nota.* Tomado del sistema de clasificación de la Asociación Americana de Carreteras y

Transporte (AASHTO), 2008.

En términos de relación de soporte de California (CBR) y en condiciones de humedad natural, se adopta el escenario donde el suelo se encuentra en condiciones normales de humedad, siempre y cuando se garantice un correcto drenaje de la vía que se pretende construir donde se evitará al máximo la saturación de materiales de la subrasante. De acuerdo con lo anterior los suelos que componen la subrasante se describen de la siguiente manera:

**Tabla 12***Clasificación de los suelos según el CBR en laboratorio*

<b>Apique</b>	<b>Clasificación general</b>	<b>Usos</b>
1		
2		
3	Material pobre	Material de
4	Pobre a regular	Subrasante
5		
6		

*Nota. Nota.* Tomado de Instituto Nacional de Vías, 2012.**7.3.8 Análisis de suelos expansivos**

Los estratos conformados principalmente por partículas finas son susceptibles a presentar expansión, en este caso la mayoría son de tipo fino, por tanto, surge la necesidad de realizar un análisis del potencial expansivo a las pequeñas porciones de material fino que pueden llegar a presentar expansión ante la variación del contenido de humedad.

Según la metodología propuesta por Holtz y Gibbs, la cual es recomendada por INVIAS, el potencial expansivo de la subclase ante puede ser estimado con base en las características de plasticidad de los suelos bajo el siguiente criterio:

**Tabla 13***Clasificación de potencial de expansión según INVIAS*

<b>Potencial Expansivo</b>	<b>Limite Liquido (%)</b>	<b>Índice de Plasticidad (%)</b>
Alto	>60	>35
Marginal	50 – 60	25 – 35
Bajo	<50	<25

*Nota.* Tomada de INVIAS

**Tabla 14***Potencial expansivo de los suelos.*

<b>Perf.</b>	<b>Prof. (m)</b>	<b>AASHTO</b>	<b>LL (%)</b>	<b>IP (%)</b>	<b>Potencial de Expansión</b>
Apique 1	0,3 – 1,0	A7-5	58,40	27,54	Marginal
	1,0 – 1,5	A7-5	57,50	26,28	Marginal
Apique 2	0,5 – 1,0	A7-6	45,21	21,71	Bajo
	1,0 – 1,5	A7-6	44,52	20,89	Bajo
Apique 3	0,5 – 1,0	A6	38,21	16,92	Bajo
	1,0 – 1,5	A6	38,48	17,08	Bajo
Apique 4	0,4 – 1,0	A6	39,59	18,03	Bajo
	1,0 – 1,5	A6	39,56	18,17	Bajo
Apique 5	0,3 – 1,0	A7-6	49,39	23,67	Bajo
	1,0 – 1,5	A7-6	48,95	24,10	Bajo
Apique 6	0,4 – 1,0	A6	29,03	10,20	Bajo
	1,0 - 1,5	A6	29,25	10,64	Bajo

*Nota.* Elaboración propia.

La expansión es un problema asociado al comportamiento de los suelos conformados principalmente por partículas finas. En la tabla 14 anterior se puede encontrar que los materiales hallados en la zona de ejecución presentan condiciones de expansión de marginal a bajo que corresponden a una arcilla de alta plasticidad, indicando que es probable que se vea afectado por la infiltración de aguas subterráneas o incrementos del nivel freático.

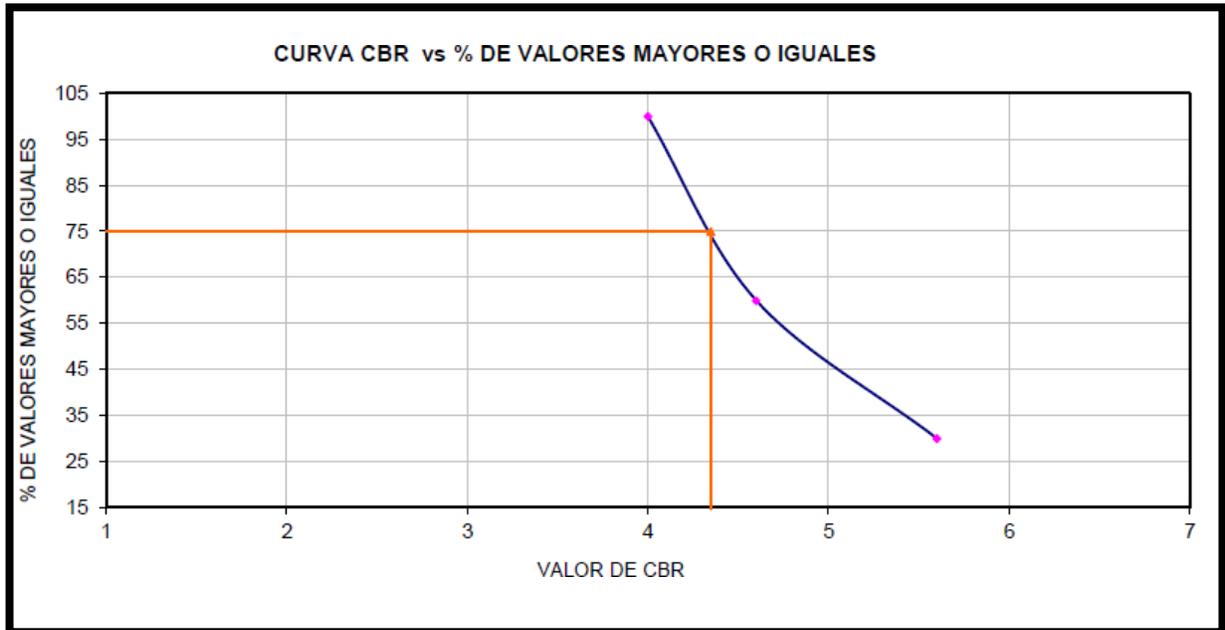
### **7.3.9 CBR a partir del criterio percentil**

Según el criterio del Instituto del asfalto los percentiles hoy dependen de tránsito que presente la vía a ser diseñada. Para este caso los tramos de la vida rural de la vereda Córdoba sector cofre del municipio de Chiquinquirá departamento de Boyacá, se encuentra con un tránsito aproximado a  $1.0 \cdot 10^6$  es equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo

de diseño de 20 años, lo que significa que se deberá determinar el CBR de diseño con el percentil 75.

### Figura 6

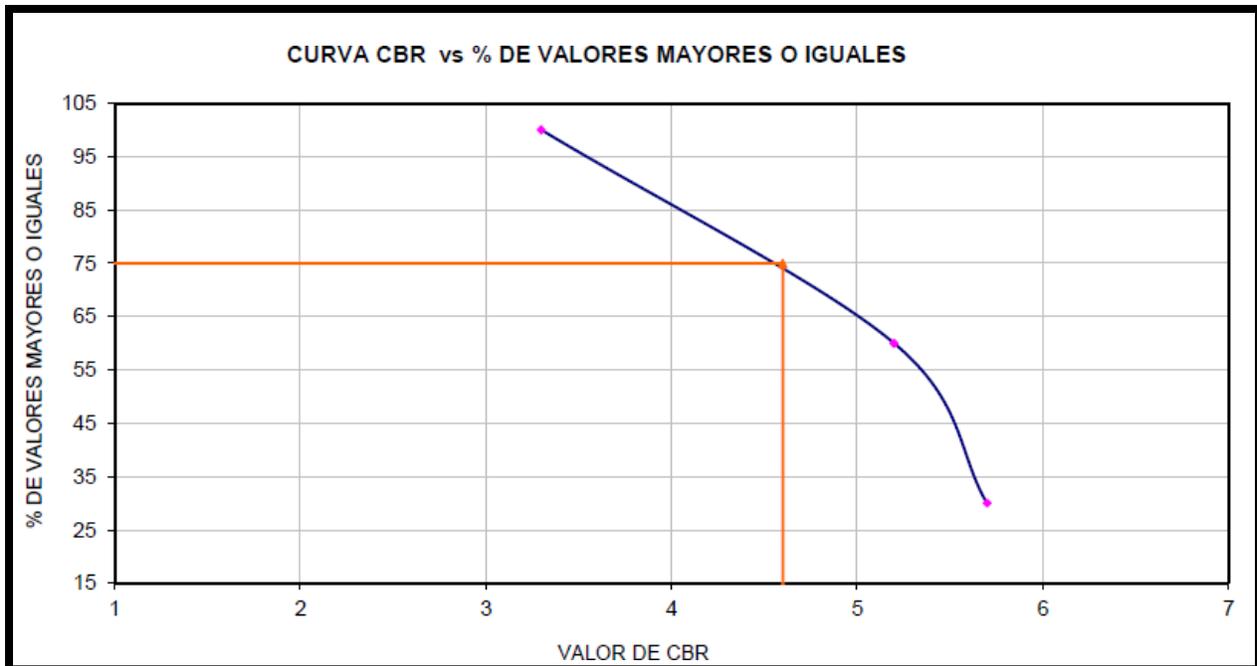
*Determinación del CBR de diseño tramo 1*



*Nota.* La determinación del CBR de diseño se realizó al porcentaje de valores  $\geq$  correspondientes al 75%. Cabe aclarar que el valor de CBR de diseño aplica para el todo el tramo de la vía, debido a que las condiciones del suelo son similares en resistencia y caracterización geotécnica. CBR DE DISEÑO TRAMO 1 = 4.3%. Elaboración propia.

### Figura 7

*Determinación del CBR de diseño tramo 2*



*Nota.* La determinación del CBR de diseño se realizó al porcentaje de valores  $\geq$  correspondientes al 75%. Cabe aclarar que el valor de CBR de diseño aplica para el todo el tramo de la vía, debido a que las condiciones del suelo son similares en resistencia y caracterización geotécnica. CBR DE DISEÑO TRAMO 2 = 4.6%. Elaboración propia.

### 7.3.10 Alternativas de diseño

Tratándose de un pavimento para vías de categoría III con un tránsito moderado y tomando como referencia las variables de diseño ya mencionadas se tienen 3 alternativas de diseño de pavimento, una en pavimento rígido (concreto) y otra en pavimento flexible (asfalto), estas se han modelado bajo la metodología AASHTO 93, la tercera alternativa de diseño corresponde a un pavimento en piedra pegada el cual se ha realizado en base al método propuesto por la guía para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos exteriores de piedra natural para pavimentos flexibles tipo adoquín, a continuación se presenta un resumen de las alternativas:

### Alternativa No.1 – Pavimento rígido

---

<b>Contemplando que habrá confinamiento lateral constituido por bordillos de concreto, acero de transferencia en juntas y no se tendrán bermas</b>	
<b>Material</b>	<b>Espesor (cm)</b>
Losa de concreto INV-500-13 MR= 41 MPa	15.0
Base Granular INV-320-13 (C.B.R>=40%)	15.0
Sub Base Granular INV-320-13	15.0
Total, Cajón	45.0

---

*Nota:* Fuente Propia

### Alternativa No. 2– Pavimento flexible asfalto

---

<b>Contemplando que no se tendrán bermas</b>	
<b>Material</b>	<b>Espesor (cm)</b>
Carpeta asfáltica MCD-2	10.0
Base Granular INV-320-13 (C.B.R>=40%)	30.0
Sub Base Granular INV-320-13	15.0
Total, Cajón	55.0

---

*Nota:* para esta alternativa se tiene en cuenta que las vías existentes ya cuentan con una capa de afirmado por lo que se diseña a partir de esta. Fuente Propia

### Alternativa No. 3 – Pavimento semirrígido piedra laja

Contemplando el mejoramiento de la subrasante con base granular y base de apoyo rígida	
Material	Espesor (cm)
Piedra Tipo Laja (según consideraciones de diseño)	15.0
Concreto Clase E (base rígida)	10.0
Base Granular INV-320-13 (C.B.R.>=40%)	20.0
Total, Cajón	45.0

#### 7.3.11 Análisis de las alternativas

Para el análisis de alternativas y es necesario tener en cuenta los diferentes aspectos que afectan la ejecución e implementación del proyecto cómo son:

➤ **Clima.**

El clima frío y húmedo de Guatavita puede afectar la implementación de este nuevo pavimento de varias maneras, tales como:

**Tiempo de fraguado del adhesivo:** Las bajas temperaturas pueden prolongar el tiempo de fraguado del adhesivo utilizado para fijar las piedras al pavimento, lo que podría retrasar el proceso de instalación.

**Condensación y humedad:** La humedad constante y las condiciones nubladas pueden dificultar la adherencia del adhesivo; y aumentar el riesgo de condensación debajo del pavimento, lo que podría comprometer su estabilidad a largo plazo.

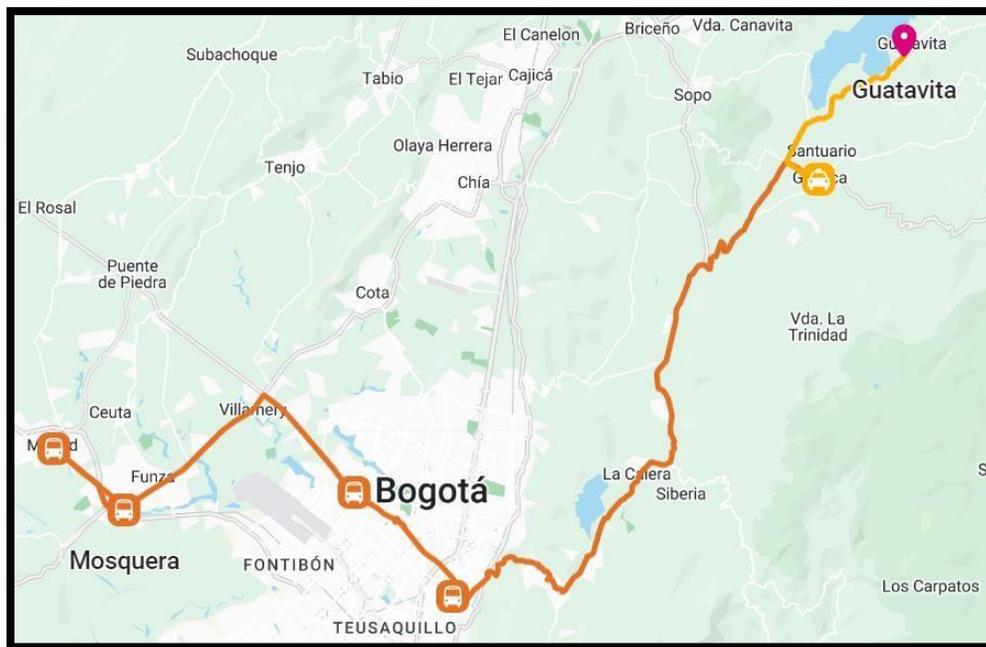
**Variación de temperaturas:** Las fluctuaciones van desde 6° hasta 18° de temperatura entre el día y la noche pueden provocar expansiones y contracciones en el pavimento, lo que podría afectar la integridad estructural del pavimento de piedra pegada si no se tienen en cuenta adecuadamente en el diseño y la instalación.

➤ **Uso**

Los sectores para intervenir en el municipio de Guatavita son vías de carácter residencial con muy poca presencia de vehículos pesados.

➤ **Fuentes de materiales**

Guatavita al igual que otros municipios de la región no cuenta con canteras o sitios de explotación de materiales dentro de su jurisdicción, las canteras más cercanas se encuentran en el sector de Funza – Mosquera a 50.6 km de distancia



*Nota.* Tomada de Google Maps

**Costo, ejecución y mantenimiento**

Teniendo en cuenta los diferentes factores económicos y técnicos que afectan un pavimento y el impacto que producen en la toma de decisiones sea ha elaborado la siguiente tabla comparativa:

**Tabla 15**

*Comparación entre costo ejecución y mantenimiento de las diferentes alternativas*

<b>PAVIMENTO RÍGIDO</b>	<b>PAVIMENTO FLEXIBLE</b>	<b>PAVIMENTO SEMIRÍGIDO</b>
Mayor costo inicial de construcción	Menor costo inicial de construcción	Moderado costo inicial de construcción
La loza de concreto absorbe todos los esfuerzos	La carpeta asfáltica absorbe parte de los esfuerzos y el resto se transmiten al suelo	La capa de piedra absorbe la mayoría de los esfuerzos y el resto se transmiten al suelo
No es deformable	Mayor deformabilidad	Admite deformaciones Moderadas
Mayor vida útil	Menor vida útil	Mayor vida útil
Bajo costo de mantenimiento	Alto costo de mantenimiento	Muy bajo costo de Mantenimiento
La puesta en servicio requiere varios días	Puesta en servicio inmediata	La puesta en servicio requiere varios días

*Nota.* Elaboración propia.

PRESUPUESTO			P.U. DE ZONA		
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANT	P.U.	IMPORTE
<b>1</b>	<b>PAVIMENTO RIGIDO</b>				<b>\$ 926.439.348,87</b>
301	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL NT 1800 (ESTABILIZACIÓN, FILTRO Y SEPARACIÓN)	M2	4604,55	\$ 9.638,00	\$ 44.378.652,90
302	SUBBASE GRANULAR	M3	1307,69	\$ 171.901,00	\$ 224.792.359,19
303	PAVIMENTO RIGIDO (SUMINISTRO, FORMALETEADO, COLOCACIÓN Y ACABADO. NO INCLUYE ACERO, CURADO, JUNTAS) VIA TEXTURIZADA	M3	548,10	\$ 700.236,92	\$ 383.799.855,85
304	CUNETA DE CONCRETO CLASE E, 2500 PSI FUNDIDA EN EL LUGAR	M3	75,45	\$ 494.410,00	\$ 37.304.223,32
305	SUMINISTRO FIGURADO Y ARMADO DE ACERO DE REFUERZO 60000 PSI	KG	5475,81	\$ 7.570,00	\$ 41.451.872,62
306	SARDINEL PREFABRICADO A-10	ML	1505,00	\$ 129.377,00	\$ 194.712.385,00
<b>SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 926.439.349,00</b>

PRESUPUESTO			P.U. DE ZONA		
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANT	P.U.	IMPORTE
<b>2</b>	<b>PAVIMENTO FLEXIBLE</b>				<b>\$ 1.141.197.908,43</b>
301	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL NT 1800 (ESTABILIZACIÓN, FILTRO Y SEPARACIÓN)	M2	4604,55	\$ 9.638,00	\$ 44.378.652,90
302	SUBBASE GRANULAR	M3	1961,53	\$ 171.901,00	\$ 337.188.538,78
303	PAVIMENTO FLEXIBLE (SUMINISTRO, EXTENDIDO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN MECÁNICA CON VIBROCOMPACTADOR Y COMPACTADOR DE LLANTAS)	M3	365,40	\$ 1.443.935,71	\$ 527.614.108,43
304	CUNETA DE CONCRETO CLASE E, 2500 PSI FUNDIDA EN EL LUGAR	M3	75,45	\$ 494.410,00	\$ 37.304.223,32
306	SARDINEL PREFABRICADO A-10	ML	1505,00	\$ 129.377,00	\$ 194.712.385,00
<b>SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 1.141.197.908,00</b>

➤ **Entorno.**

Guatavita se caracteriza por ser un pueblo de arquitectura colonial con calles, caminos y plazas empedradas, las calles son pequeñas con anchos promedios entre los 3 a 5 metros.

En cuanto al sector en específico los barrios a intervenir (Villa Alejandra, Villa Sue y el paraíso) son barrios medianamente consolidados de carácter residencial, cuentan con sectores viales ya intervenidos en piedra laja que conservan la tradición municipal y evocan la cultura del municipio.

Teniendo en cuenta lo anterior y en base a la información recolectada es posible concluir que la mejor alternativa es la **Alternativa No.3- pavimento semirrígido piedra laja**, la cual se estudiará a detalle en la siguiente tabla de costos :

**Tabla 16**

*Costos*

PRESUPUESTO			P.U. DE ZONA		
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANT	P.U.	IMPORTE
3	PAVIMENTO CONCRETO SEMIRIGIDO				\$ 1.107.131.300,81
301	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL NT 1800 (ESTABILIZACIÓN, FILTRO Y SEPARACIÓN)	M2	4604,55	\$ 9.638,00	\$ 44.378.652,90
302	SUBBASE GRANULAR	M3	653,84	\$ 171.901,00	\$ 112.396.179,59
303	PAVIMENTO SEMIRIGIDO EN PIEDRA LAJA CON BASE ESTRUCTURAL 3000 PSI (INCLUYE DILATACIONES EN ADOQUIN DE ARCILLA 6CM Y ACERO)	M2	3654,00	\$ 196.590,00	\$ 718.339.860,00
304	CUNETAS DE CONCRETO CLASE E, 2500 PSI FUNDIDA EN EL LUGAR	M3	75,45	\$ 494.410,00	\$ 37.304.223,32
306	SARDINEL PREFABRICADO A-10	ML	1505,00	\$ 129.377,00	\$ 194.712.385,00
<b>SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS</b>					<b>\$ 1.107.131.301,00</b>

*Nota:* Elaboración propia

### *7.3.12 Diseño de la estructura del pavimento*

#### **Descripción del Pavimento**

##### PAVIMENTO SEMIFLEXIBLE

Este tipo de pavimento tiene una estructura flexible, sin embargo, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo como puede ser; asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos, de tal forma que ajusta o corrige áreas no aptas para la construcción. Cuando en el pavimento se usa piedra en el recubrimiento de la superficie, se forma una estructura resistente, estable y económica. El recubrimiento se efectúa sobre la capa de apoyo debidamente terminada y de acuerdo a los requerimientos técnicos, no hay un método exacto que determine el diseño de un pavimento en piedra por lo cual en el presente estudio se contempla el diseño propuesto por la **Guía Para el Diseño Y Construcción De Pavimentos Exteriores En Piedra Natural de la Fundación Centro Tecnológico do Granito de Galicia (FCTGG)**, también se ha tenido en cuenta lo expresado en el **Manual Andino Para La Construcción de Empedrados de la Organización Internacional del Trabajo**.

La característica de durabilidad de estos pavimentos es mayor que otras superficies de rodadura. Existen empedrados que, sin mantenimiento alguno, y con niveles de tráfico bajo a medio han resistido más de 40 años. Las características de la superficie de rodadura de los empedrados dependen de la roca, su nivel de dureza determinado a través del ensayo , grado de cementación, desgaste y deleznableidad; además se deben tener en cuenta condiciones tales como la meteorización y grado de pulimento.

### ***7.3.13 Aplicación metodología diseño.***

El empedrado presenta las siguientes condiciones:

- Es un pavimento semiflexible
- No es monolítico
- La fricción entre cada una de las piedras ayuda a soportar la carga que transmiten las llantas a la rodadura.
- La experiencia de las comunidades es importante en la construcción
- Se utiliza en caminos de tráfico promedio diario TPD no mayor a 200 vehículos, con te PD-C No superior a 60 vehículos comerciales, es decir, la componente es de hasta 30% de camiones y autobuses; pero puede emplearse en caminos con tráfico de hasta 300 vehículos diarios, cuando se tenga la certeza que no solo circularán vehículos de más de 10 tn<sup>2</sup>
- La serviciabilidad está en función del mantenimiento.

Entonces siguiendo la metodología propuesta por la **Guía Para el Diseño Y**

**Construcción De Pavimentos Exteriores En Piedra Natural** un sistema de pavimentación con piedra natural requiere de un cálculo pormenorizado de cada uno de los elementos que lo constituyen.

Para ello, se hace necesario conocer previamente las características de las cargas de tráfico, tanto en su cuantía, como en intensidad durante su vida útil (esta última, únicamente, en el caso de tráficos vehiculares), además de la calidad de la subrasante en la que se apoya, definida por medio del índice CBR.

### **Cálculo de espesor laja**

Llamamos empedrado a toda aquella superficie de rodadura construida bajo el concepto de estructura con soporte a base de losas, cantos rodados, subredondeados, o piedra partida, la misma que se ejecuta sobre una rasante o una capa de apoyo debidamente terminada y de acuerdo con las especificaciones técnicas determinadas para este fin.

Esta superficie, al estar constituida de rocas, debe cumplir condiciones mínimas que garanticen la eficiencia del empedrado. Las principales características físico-mecánicas de las piedras lajas según el manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrado son:

#### **Tabla 17**

*Características Físico-Mecánicas del Material de Empedrado*

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>VALOR REQUERIDO</b>
Perdida por abrasión en máquina de los Ángeles (500 revoluciones)	≤40%
Pérdida de peso mediante ensayo de durabilidad luego de 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio	≤12%
Densidad mínima	2.3 gr/cm <sup>3</sup>
Diámetro mínimo para empedrado	8 cm
Diámetro máximo para empedrado	12 cm

*Nota.* Tomado de manual andino para la construcción y mantenimiento de empedrados

Para el cálculo de espesor la guía de diseño y construcción de pavimentos exteriores en piedra natural propone la siguiente ecuación:

$$e_N = \sqrt{\frac{1500 \cdot P \cdot L \cdot F}{W \cdot ViE}} \text{ (mm)}$$

*Nota.* Tomado de la guía de diseño y construcción de pavimentos exteriores

DONDE:

**P:** carga de tráfico en kN (valor de las cargas de tráfico P más habituales)

**L y W:** longitud y anchura de la baldosa en milímetros

**ViE:** valor inferior esperado de la resistencia a la flexión en MPa

**F:** factor combinado de seguridad y depuesta

Reemplazando los valores tenemos:

### Tabla 18

*Valor de las cargas de tráfico P más habituales*

Clase	Carga P	Uso típico
0	-	Decoración
1	0,75	Baldosas embebidas en mortero en áreas peatonales únicamente
2	3,5	Áreas peatonales para bicicletas
3	6,00	Coches ocasionales, accesos de vehículos ligeros y motocicletas. Entradas de garaje.
4	9,00	Áreas de paseo y plazas de mercado, ocasionalmente utilizadas por vehículos de reparto o de emergencia
5	14,00	Áreas peatonales utilizadas frecuentemente por vehículos pesados
6	25,00	Calles con circulación limitada a 750 ejes equivalentes/año
7	40,00	Calles para tráfico industrial de gran tonelaje limitado a 750 ejes equivalentes/año

*Nota.* Tomado de Guía de pavimentos semirrígidos para carreteras de alto, bajo y medio volumen de tránsito, ADOCEM, 2012.

- **Para LYW:** se estable una longitud y anchos mínimos por pieza de 15 cm
- **Para ViE:** para este factor se toman los valores promedios obtenidos del Servicio Geológico Colombiano en su publicación “Recursos minerales de Colombia” así:

**Tabla 19**

*Algunas especificaciones para rocas destinadas a revestimientos y métodos de ensayo*

Tipos de roca	Propiedades			
	Densidad aparente (kg/cm <sup>3</sup> )	Absorción de agua aparente (%)	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (tres puntos, MPa)
<b>Granitos</b>	>2560	<0.4	>131	10.34
<b>Mármoles</b>	<b>Travertino</b>	>2595	<0.75	>7
	<b>Calcítico</b>	>2800	<0.75	>7
	<b>Serpentinitico</b>	>2690	<0.75	>7
	<b>Dolomítico</b>	>2305	<0.75	>7
	<b>Baja densidad</b>	1760/2160	<12	>12
<b>Calizas</b>	<b>Media</b>	2160/2560	<7.5	>28
	<b>Densidad</b>			
	<b>Alta densidad</b>	>2560	<3.0	>55
<b>Areniscas</b>	<b>&gt;60% SiO<sup>2</sup></b>	>2160	<20	>13.8
	<b>&gt;90% SiO<sup>2</sup></b>	>2400	<3	>68.9
	<b>&gt;60% SiO<sup>2</sup></b>	>2560	<1	>137.9

*Nota.* Tomado de Guía de pavimentos semirrígidos para carreteras de alto bajo y medio volumen de tránsito

**Tabla 20**

*Valores del factor Combinado F*

Dimensión del lado mayor de la baldosa	Pavimento apoyado sobre base rígida (mortero)	Pavimento apoyado sobre base flexible (suelo cemento o arena)
Lado ≤ 600 mm	1,2	1,8
Lado > 600 mm	1,8	2,4

*Nota.* Tomado de Guía de pavimentos semirrígidos para carreteras de alto bajo y medio volumen de tránsito

Resolviendo la ecuación:

$$e$$
$$N = \sqrt{\frac{1500 \times 6 \times 150 \times 1.2}{150 \times 2.1}} = 72 (mm)$$

Por practicidad en obra se tomará un valor **mínimo de 8 cm de espesor** lo cual también se ajusta a lo expresado por el Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados.

### **Capa de adherencia y nivelación**

Esta capa hace referencia al mortero necesario para nivelar la instalación de la piedra laja, regularizando el acabado superior y permitiendo el manejo de las pendientes, esto teniendo en cuenta que la piedra laja presenta variaciones en sus secciones no siendo piezas y estandarizadas como el caso de los adoquines.

La Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Exteriores en Piedra Natural propone cuando se utiliza mortero de cemento, el espesor de la capa de adherencia debe ser, **al menos, de 4 cm** y estar mezclado con fibras orgánicas para limitar los efectos de retracción. En este caso se plantea la instalación de la piedra laja en conjunto con la base estructural por lo cual no se plantea la utilización de capas de adherencia y nivelación.

### **Cálculo espesor base.**

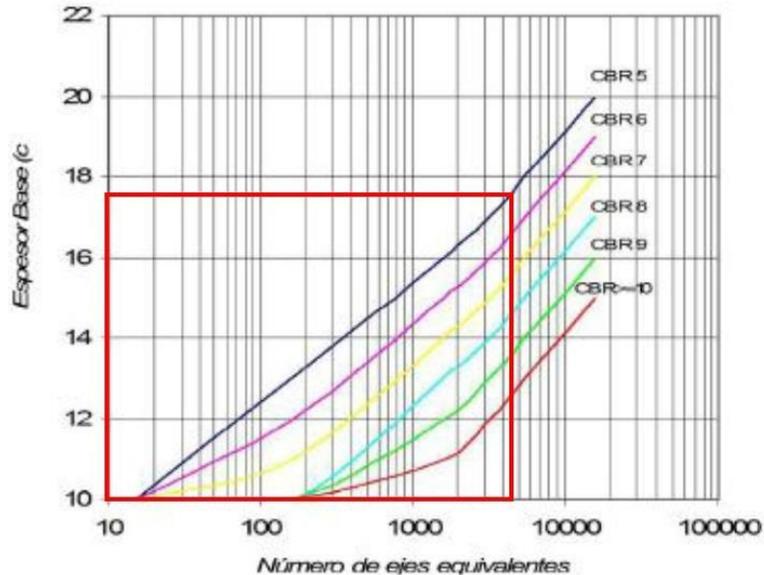
La Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Exteriores en piedra natural propone el cálculo de este espesor por medio de ábacos preestablecidos para lo cual se hace necesario conocer el CBR de la subrasante ante y el tráfico expresado en ejes equivalentes de 13 t.

- Con un CBR del 4.3% según estudio de suelos

- Tránsito de 4512.70 ejes equivalentes de 13 t

### Figura 8

Ábaco para determinar el espesor de la base estructural rígida (hormigón/mortero)



Nota. **EB=17Cm.** Se asume un valor de trabajo de 17 cm. Tomado de Galicia 2012

### Lámina geotextil.

Los geotextiles no tejidos se producen a partir de fibras de polipropileno para separación y drenaje de suelos. Estos productos son de alta durabilidad con excelentes propiedades hidráulicas y físicas incluso en altas velocidades de flujo de agua, proporcionando una extraordinaria contención de suelos. Se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen drenaje subsuperficial y separación de caminos.

La guía recomienda la instalación de un geotextil de separación por lo cual el recomendado corresponde aún NT-1800.

Debido a la necesidad de contar con subrasantes adecuadas y un diseño geométrico del camino que garanticen una adecuada funcionalidad, se establecen las siguientes características según el Manual Andino para la Construcción y Mantenimiento de Empedrados:

**Tabla 21***Características técnicas de la subrasante y el Diseño Geométrico.*

CARACTERÍSTICAS	VALOR REQUERIDO
Tipo de suelo clasificación SUCS	ML o CL
Tipo de suelo clasificación AASHTO	A4 o A6
CBR mínimo	6%
CBR recomendado	8%
% de compactación de la subrasante luego de la reconfiguración (relación a Proctor Modificado)	≥95%
Bombeo de calzada	3 – 4 %
Gradiente longitudinal mínima	0.5 %
Gradiente longitudinal máxima	15%
Máximo longitud de tramo con pendiente ≥15%	500 m

*Nota.* Tomado de Diseño de espesores para pavimentos de hormigón en carreteras y calles método de la Portland Cement Association.

Teniendo en cuenta que el CBR de la subrasante es inferior a 6, se debe realizar un mejoramiento de la misma.

Este mejoramiento según la Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Exteriores en Piedra Natural es de 45 cm para CBR menores al 5% pero teniendo en cuenta que se plantea una base estructural rígida se hace el cálculo por medio de la metodología AASHTO teniendo como resultado:

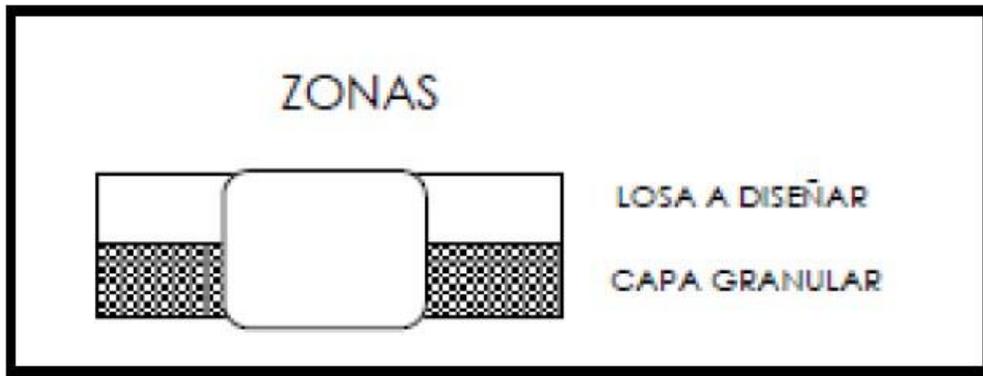
AASHTO 93 IVANOV

Número de ejes equivalentes de 8.2 ton ESALs <input style="width: 80%;" type="text" value="1081175"/>	Confiabilidad (%) <input style="width: 80%;" type="text" value="80"/> Desviación Estándar (So) <input style="width: 80%;" type="text" value=".35"/>	Serviciabilidad PSI inicial <input style="width: 80%;" type="text" value="4,5"/> PSI final <input style="width: 80%;" type="text" value="2"/>
Modulos de capas (MPa) Subrasante <input style="width: 80%;" type="text" value="34"/> Material de mejoramiento <input style="width: 80%;" type="text" value="60"/> Objetivo, capas combinadas <input style="width: 80%;" type="text" value="44"/>		
<input type="button" value="Calcular"/>		
Salida espesor de material de mejoramiento AASHTO - 93		
SN requerido inicial <input style="width: 80%;" type="text" value="3.450"/>	SN requerido con mejoramiento <input style="width: 80%;" type="text" value="3.168"/>	
Coeficiente estructural material mejoramiento <input style="width: 80%;" type="text" value="0.053"/>	Espesor capa de mejoramiento, cm <input style="width: 80%;" type="text" value="13.7"/>	
<input type="button" value="Salir"/>	<input type="button" value="Acerca de"/>	

Por lo cual se asume un valor de trabajo de 15 cm de subbase

### Diseño refuerzo losas irregulares

Debido a que existen sectores donde se presentan losas irregulares se requiere una estructura especial, se realiza un cálculo anexo para encontrar el modo de refuerzo que llevará esta.



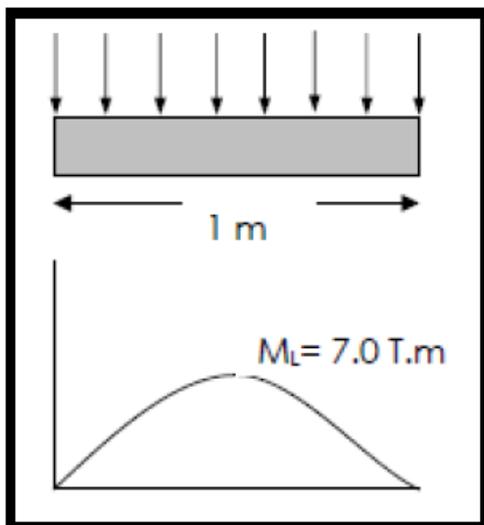
De tal manera que:

Eje sencillo rueda doble: 8.2 ton.

1 llanta: 2.05 ton.

Radio de contacto: 0.108 m

Presión de contacto: 55.94 Ton/m<sup>2</sup>



$$WD = 1.2 * 0.15 * 2050 = 393.6 \text{ kg/m} = 0.393 \text{ ton/m}$$

$$MD = WL^2/8 = 0.393 * (1)^2/8 = 0.0491 \text{ ton/m}$$

$$Mu = 1.4 MD + 1.7 ML$$

$$Mu = 1.4 * 0.0491 + 1.7 * 70 = 11.97 \text{ ton/m}$$

$$Mu = Kbd^2 \text{ Despejando } K = Mu/bd^2$$

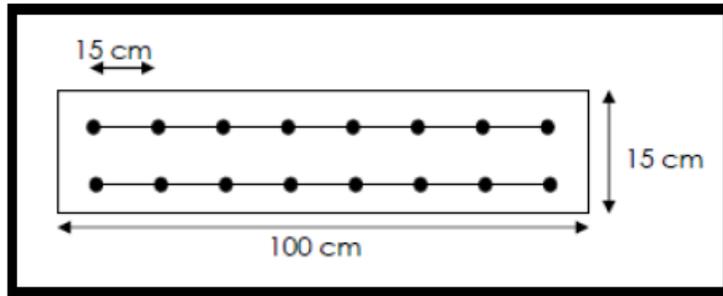
$$K = 11.97 / (1.0) * (0.145)^2$$

$$K = 240.25 \text{ ton/m}^2 = 0.0240 \text{ ton/cm}^2$$

$$\rho = 0.012 \text{ para concreto de } 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$As = \rho * b * d = 0.012 * 100 * 14.5$$

As = 17.4 cm<sup>2</sup> acero que serán repartidos en una doble parrilla de ½" con una separación de 20 cm en ambas direcciones.



## **Conclusiones**

Con el propósito de recomendar la estructura de pavimento mas adecuada se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

Teniendo en cuenta que las tres alternativas cumplen con la estructura de un pavimento que se podría llevar a cabo en la zona de estudio, la implementación de la piedra laja muestra un mejor soporte a la mayoría de los esfuerzos emitidos por los diferentes agentes externos en comparación con las otras alternativas. ya que en estas se requiere una mayor invasión a nivel de profundidad para estabilizar los esfuerzos y esto repercute una mayor excavación mecánica, cargue, transporte y disposición final del material.

El análisis de los limites de consistencia indican que el suelo no es expansivo y la concentración de arenas también evita esa condición de expansión. Así mismo la geomorfología del terreno estaría a favor mostrando una pendiente considerable para una esorrentía alta que evita la saturación debido a que todo se canaliza a nivel superficial puesto que la alternativa propuesta no permite la infiltración de agua como si se presentaría en un pavimento flexible

Según lo mencionado anteriormente la estructura propuesta para el pavimento de las vías villa Alejandra, villa Sue y el paraíso en el municipio de Guatavita es la siguiente.

Vías para red vial en el municipio de Guatavita

	25 CM	Piedra laja (e min=8cm)
		Base estructural (e=17cm) 3000 psi
	15 CM	Sub - base (art 320 inv)
	NT 1800	Geotextil (no tejido)
	N.A	Sub - Rasante

El CBR de diseño de diseño según el análisis de las figuras 6 y 7 muestra que los parámetros físicos de los suelos son de comportamiento similar por lo tanto se va a hacer un diseño tipo semiflexible para estos tres tramos . los CBR de diseño obtenidos en todos los tramos se relacionan a continuación

Apique	SUCS	Wn%	%CBR Promedio con PDC	%CBR Inalterado
1	A7-5	35,7	4,8	5,1
2	A7-6	20,68	2,6	-
3	A6	26,58	3,6	4,1
4	A6	29,53	3,3	-
5	A7-6	31,01	3,4	5,4
6	A6	21,63	3,4	-

La resistencia de los materiales que servirá como soporte de la estructura de pavimento a partir del CBR de diseño cumple con el mínimo exigido que es de 3% para que no requiera mejoramiento de la subrasante según el Manual Andino para la Construcción de Empedrados de la Organización Nacional del Trabajo,

El periodo de diseño seleccionado para la construcción de la vía es de 20 años, debido a que el tramo vial en estudio se encuentra en la categoría III según el Manual de Diseño de Pavimentos Rígidos en Vías con Bajo, medios y altos volúmenes de tránsito.

Tras el análisis económico, viabilidad y eficiencia se llega a que el pavimento rígido y el pavimento semirrígido comparte algunas características que pueden confundirse como si fuera el mismo tipo de pavimento. No obstante hay que verificar la zona a intervenir puesto que se trata de un municipio donde se pretende garantizar y realizar una recuperación cultural donde la piedra laja aporta en gran volumen visual y estructural garantizando este criterio cultural. Asimismo la entrada de los materiales para la conformación del pavimento semirrígido es más viable puesto hoy por los sitios de suministro de material son cercanos y de igual manera los volúmenes de la última capa serán menores ya que lo ocuparán las piedra laja. Por último, hay que tener presente que por experiencia de los residentes de la zona el mantenimiento que han realizado en otras vías hechas con piedra laja no ha sido necesario puesto que el tráfico es menor y dicha estructura diseñada puede resistir esfuerzos mayores a los que soporta realmente.

## Bibliografía

- Alcaldía de Guatavita. (2023). Nuestro municipio. Consultado 5 de diciembre de 2023.  
<https://www.guatavita-cundinamarca.gov.co/>
- Asociación Dominicana de Productores de Cemento Portland - ADOCEM. (2012). Guía para el diseño de vías de alto volumen, pavimentos semi-rígidos.  
[https://adocem.org/assets/recursos/Cemento-en-las-carreteras/guia\\_de\\_pavimentos\\_semirrigidos\\_para\\_carreteras\\_alto\\_volumen.pdf](https://adocem.org/assets/recursos/Cemento-en-las-carreteras/guia_de_pavimentos_semirrigidos_para_carreteras_alto_volumen.pdf)
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2008).  
*AASHTO-M 145*. <https://vdocuments.mx/aashto-m-145-91-2008-561d373a9dc46.html>
- Arquitectura Natural. (30 de noviembre de 2023). *8 ventajas de la piedra natural en construcción sostenible*. <https://arquitectura-sostenible.es/8-ventajas-la-piedra-natural-construccion-sostenible/>
- Barrios Flor, C. (2014). *Diseño de rutas para el municipio de Guatavita* [Tesis de Pregrado, Universidad de los Andes].  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/cbeb3e87-8bee-4dfc-a5f6-7ecf526c41e1/content>
- Corporación Autonomía Regional de Cundinamarca - CAR (2003). *Manual de Normas y Procedimientos para la Gestión de Aceites Usados*.  
<https://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/37615/06971.pdf?sequence=1>
- Pinzón, S. (2013). *Avances y especificaciones para pavimentos en piedra* [Tesis de pregrado, Universidad de Los Andes].

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/4dc7fd06-a9a3-4098-bf7e-e13f03d767eb/content>

Gómez, M. (2019). *Impacto del turismo en la economía local: el caso de Guatavita, Cundinamarca. Estudios Turísticos*, 25(1), 78-93.

Instituto Nacional de Vías. (30 de noviembre de 2023). *Estado de la Red Vial*.

<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>

Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2014). *Normas de ensayo de materiales. Sección 100-Suelos*. <https://inteinsapavimentos.com.co/wp-content/uploads/2020/07/SECCIO%CC%81N-100.pdf>

Instituto nacional de Vías INVIAS. (2012). *Normas y especificaciones, determinación de suelos expansivos*. <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-132-13.pdf>

Instituto nacional de Vías INVIAS. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras, capítulo 5, Diseño de la sección transversal de la carretera*.

[https://www.academia.edu/26044904/DISE%CC%81O\\_DE\\_LA\\_SECCI%CC%83N\\_TRANSVERSAL\\_DE\\_LA\\_CARRETERA](https://www.academia.edu/26044904/DISE%CC%81O_DE_LA_SECCI%CC%83N_TRANSVERSAL_DE_LA_CARRETERA)

López, J. (2020). El valor de la piedra laja en la conservación del patrimonio arquitectónico. *Revista de Arquitectura*, 15(2), 45-58.

Martínez, A. & Niño W. (2021). Barichara Santander. [Taller Arquitectura Villa del Rosario, Universidad de Pamplona].

[https://issuu.com/angelamarcelamartinez/docs/entrega\\_taller\\_vii\\_barichara](https://issuu.com/angelamarcelamartinez/docs/entrega_taller_vii_barichara)

Ministerio de transporte, Secretaria de Planeación Departamental, Secretaría de Hacienda

Departamental, Instituto de Infraestructura y Concesiones de Cundinamarca – ICCU,

- Unidad Administrativa Especial para la Gestión del Riesgo de Desastres –UAEGRD, Aeronáutica Civil – Dirección de Regional. (2019). *Plan vial departamental Cundinamarca diciembre de 2017*. Gobernación de Cundinamarca. <https://www.efr-cundinamarca.gov.co/sites/default/files/efr-pdf/plan-vial-deptal-final-2019-c.pdf>
- Molina, A. (2017). *Guía técnica de la piedra natural - requisitos y control de recepción*. Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales. <https://clusterpiedra.com/wp-content/uploads/2018/01/Guia-Tecnica-de-la-Piedra-Natural.pdf>
- Montejo, A. (2002). *Investigación y evaluación de suelos para el diseño de un pavimento. Ingeniería de PAVIMENTOS. Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías, segunda edición.*, ED Universidad Católica de Colombia
- Ramón, P. (2004). *Manual de Mantenimiento Vial para la Red Vial Provincial y Cantonal de la Región Amazónica Ecuatoriana*. ECORAE.
- Universidad de Burgos. (30 de noviembre de 2023). *Historia de la Piedra, una historia sobre la evolución humana y los avances tecnológicos*. <https://historiamateriales.ubuinvestiga.es/piedra/>
- Universidad de Oviedo. (2005). *Materiales Petreos Naturales. Rocas Ornamentales*. Oviedo, Asturias, España: s.n.
- Villa de Leyva. (30 de noviembre de 2023). *Rocas y Minerales de la Región*. <https://www.villadeleyva.in/blog/rocas-y-minerales-de-la-region/>

## Anexos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	1 AL 3
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD</b>	INDICADA
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO		

### ENSAYO CONTENIDO DE AGUA EN LOS SUELOS (HUMEDAD) INV E-122

APIQUE	<u>1</u>				
PROF. (m)	No Cápsula	W Cáp.(g)	W Cáp. + Mh (g)	W Cáp. + Ms (g)	HUMEDAD (%)
0,50	131	5,99	91,40	68,41	36,83
1,00	11	5,85	89,06	67,17	35,70
1,50	23	5,99	81,24	62,35	33,52

APIQUE	<u>2</u>				
PROF. (m)	No Cápsula	W Cáp.(g)	W Cáp. + Mh (g)	W Cáp. + Ms (g)	HUMEDAD (%)
0,50	50	6,17	94,04	77,82	22,64
1,00	12	5,99	92,93	78,03	20,68
1,50	28	5,86	103,17	85,93	21,53

APIQUE	<u>3</u>				
PROF. (m)	No Cápsula	W Cáp.(g)	W Cáp. + Mh (g)	W Cáp. + Ms (g)	HUMEDAD (%)
0,50	16	5,90	91,94	73,19	27,86
1,00	42	5,72	93,83	75,33	26,58
1,50	36	6,13	73,10	58,84	27,05

*Miguel Arenas Toledo*

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	4 AL 6
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD</b>	INDICADA
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO		

**ENSAYO CONTENIDO DE AGUA EN LOS SUELOS (HUMEDAD) INV E-122**

APIQUE	4				
PROF. (m)	No Cápsula	W Cáp.(g)	W Cáp. + Mh (g)	W Cáp. + Ms (g)	HUMEDAD (%)
0,50	60	6,04	100,38	79,09	29,14
1,00	31	5,84	94,49	74,28	29,53
1,50	7	5,87	100,73	79,01	29,70

APIQUE	5				
PROF. (m)	No Cápsula	W Cáp.(g)	W Cáp. + Mh (g)	W Cáp. + Ms (g)	HUMEDAD (%)
0,50	34	6,24	92,41	71,06	32,94
1,00	30	5,94	100,69	78,26	31,01
1,50	55	5,97	105,66	82,27	30,66

APIQUE	6				
PROF. (m)	No Cápsula	W Cáp.(g)	W Cáp. + Mh (g)	W Cáp. + Ms (g)	HUMEDAD (%)
0,50	5	6,42	94,68	78,03	23,25
1,00	26	6,01	105,47	87,78	21,63
1,50	59	6,32	103,63	86,93	20,72

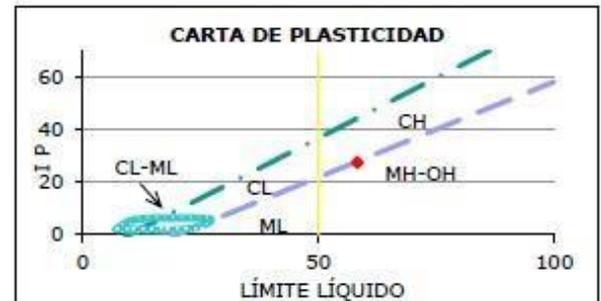
ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	1
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	0,3-1,0
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	1

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			
DETERMINACIÓN Nº	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	31	22	13
RECIPIENTE Nº	A4	A3	A1
PESO RECIPIENTE (g)	9,36	9,48	9,18
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	42,24	41,38	38,85
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	30,39	29,45	27,25
CONTENIDO DE AGUA (%)	56,35	59,74	64,19

<b>LIMITE PLASTICO</b>		
DETERMINACIÓN Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	H03	H8
PESO RECIPIENTE (g)	4,48	4,59
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	13,86	13,70
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	11,65	11,55
CONTENIDO DE AGUA (%)	30,82	30,89



<b>LAVADO SOBRE TAMIZ No 200</b>	
No PLATON	19
W PLATON (g)	38,40
W PLATON + M.S.L (g)	248,35
W PLATON + M.D.L (g)	150,50
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	10,30

LIMITE LIQUIDO:	<b>58,40</b>
LIMITE PLASTICO:	<b>30,86</b>
INDICE DE PLASTICIDAD:	<b>27,54</b>
% GRAVAS	<b>4,91</b>
% ARENAS	<b>48,49</b>
% PASA No. 200	<b>46,61</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

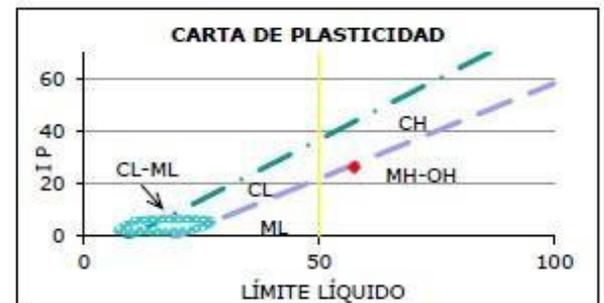
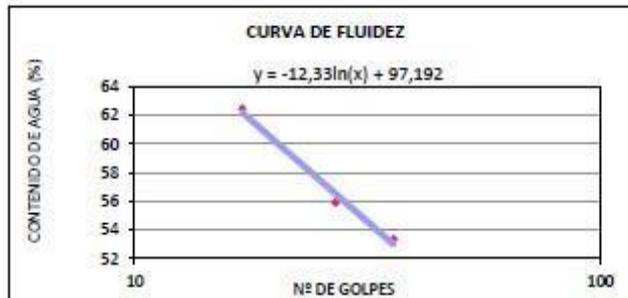
<b>AASHTO</b>	
A7-5	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	1
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	1,0-1,5
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	2

**LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACIÓN Nº	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	36	27	17
RECIPIENTE Nº	A20	A18	A5
PESO RECIPIENTE (g)	9,71	9,16	8,98
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	41,20	38,85	38,83
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	30,24	28,20	27,35
CONTENIDO DE AGUA (%)	53,39	55,93	62,49

LÍMITE PLÁSTICO		
DETERMINACIÓN Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	H80	H18
PESO RECIPIENTE (g)	4,25	4,19
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	14,03	13,49
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	11,70	11,28
CONTENIDO DE AGUA (%)	31,28	31,17



LAVADO SOBRE TAMIZ Nº 200	
No PLATON	10
W PLATON (g)	37,70
W PLATON + M.S.L (g)	243,34
W PLATON + M.D.L (g)	138,21
W RETIENE TAMIZ Nº 4 (g)	8,50

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>57,50</b>
LÍMITE PLÁSTICO:	<b>31,22</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>26,28</b>
% GRAVAS	<b>4,13</b>
% ARENAS	<b>44,74</b>
% PASA Nº. 200	<b>51,12</b>

ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

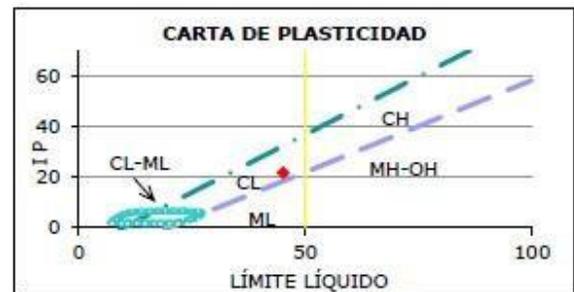
AASHTO	
A7-5	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	2
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	0,5-1,0
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	1

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

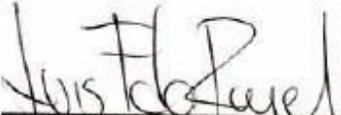
LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACIÓN N°	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	34	25	16
RECIPIENTE N°	H26	H17	H12
PESO RECIPIENTE (g)	4,27	4,20	4,54
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	36,78	36,15	40,76
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	27,11	26,33	28,61
CONTENIDO DE AGUA (%)	42,34	44,37	50,48

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACIÓN N°	1	2
RECIPIENTE N°	H22	H9
PESO RECIPIENTE (g)	4,25	4,24
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	13,83	13,90
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	12,01	12,06
CONTENIDO DE AGUA (%)	23,45	23,53



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATON	25
W PLATON (g)	37,80
W PLATON + M.S.L (g)	238,90
W PLATON + M.D.L (g)	106,90
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	8,22

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>45,21</b>
LÍMITE PLÁSTICO:	<b>23,49</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>21,71</b>
% GRAVAS	<b>4,09</b>
% ARENAS	<b>30,27</b>
% PASA No. 200	<b>65,64</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

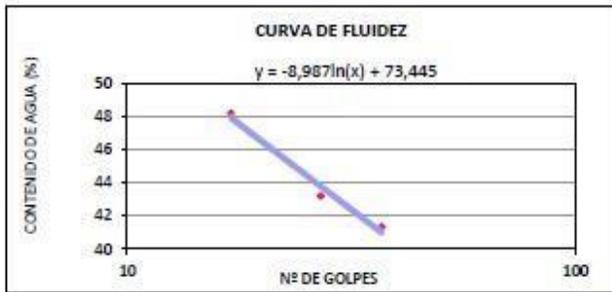
AASHTO	
A7-6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	2
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	1,0-1,5
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	2

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACION Nº	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	37	27	17
RECIPIENTE Nº	H37	H04	H34
PESO RECIPIENTE (g)	4,28	4,26	4,26
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	36,58	36,11	36,50
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	27,13	26,50	26,01
CONTENIDO DE AGUA (%)	41,36	43,21	48,23

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACION Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	H18	H01
PESO RECIPIENTE (g)	4,42	4,38
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	13,52	14,42
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	11,80	12,48
CONTENIDO DE AGUA (%)	23,31	23,95



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATON	12
W PLATON (g)	45,10
W PLATON + M.S.L (g)	221,60
W PLATON + M.D.L (g)	132,50
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	0,00

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>44,52</b>
LÍMITE PLÁSTICO:	<b>23,63</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>20,89</b>
% GRAVAS	<b>0,00</b>
% ARENAS	<b>49,52</b>
% PASA No. 200	<b>50,48</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

AASHTO	
A7-6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	3
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	0,5-1,0
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	1

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACION Nº	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	31	21	12
RECIPIENTE Nº	A90	A14	A19
PESO RECIPIENTE (g)	9,59	9,93	10,06
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	42,91	43,02	43,79
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	33,88	33,70	33,98
CONTENIDO DE AGUA (%)	37,18	39,21	41,01

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACION Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	H36	H35
PESO RECIPIENTE (g)	4,09	4,30
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	13,59	13,54
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	11,91	11,93
CONTENIDO DE AGUA (%)	21,48	21,10



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATÓN	81
W PLATÓN (g)	37,20
W PLATÓN + M.S.L (g)	237,20
W PLATÓN + M.D.L (g)	154,60
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	7,80

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>38,21</b>
LÍMITE PLÁSTICO:	<b>21,29</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>16,92</b>
% GRAVAS	<b>3,90</b>
% ARENAS	<b>54,80</b>
% PASA No. 200	<b>41,30</b>

*Luis Fernando Rangel V.*

ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
MP 25202-322135 CND

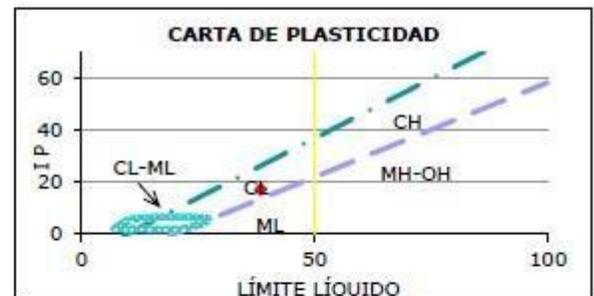
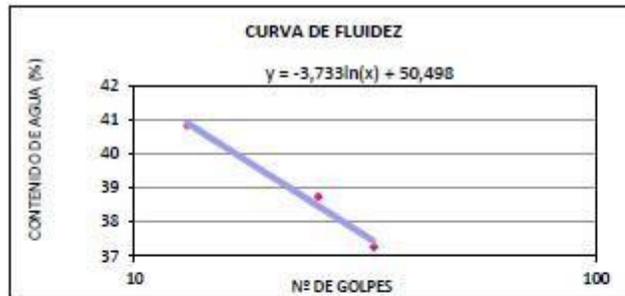
AASHTO	
A6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	3
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	1,0-1,5
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	2

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACIÓN N°	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	33	25	13
RECIPIENTE N°	A11	A8	A12
PESO RECIPIENTE (g)	9,32	9,05	9,55
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	44,65	40,06	41,31
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	35,06	31,40	32,10
CONTENIDO DE AGUA (%)	37,26	38,75	40,84

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACIÓN N°	1	2
RECIPIENTE N°	H30	C27
PESO RECIPIENTE (g)	4,40	4,58
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	14,41	14,26
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	12,68	12,52
CONTENIDO DE AGUA (%)	20,89	21,91



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATON	13
W PLATON (g)	37,70
W PLATON + M.S.L (g)	183,40
W PLATON + M.D.L (g)	112,20
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	5,70

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>38,48</b>
LÍMITE PLASTICO:	<b>21,40</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>17,08</b>
% GRAVAS	<b>3,91</b>
% ARENAS	<b>47,22</b>
% PASA No. 200	<b>48,87</b>

ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

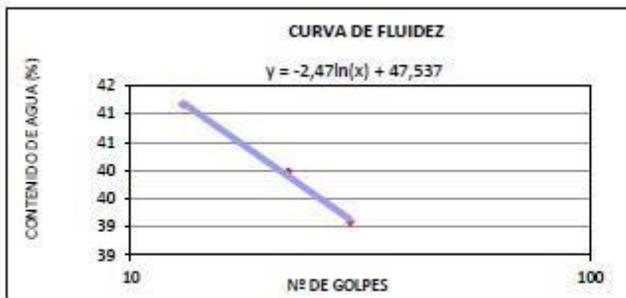
AASHTO	
A6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	4
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	0,4-1,0
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	1

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

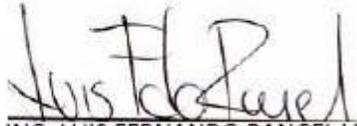
LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACIÓN N°	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	30	22	13
RECIPIENTE N°	A7	A6	A17
PESO RECIPIENTE (g)	9,95	10,14	9,39
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	42,15	44,21	44,19
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	33,10	34,48	34,04
CONTENIDO DE AGUA (%)	39,09	39,98	41,18

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACIÓN N°	1	2
RECIPIENTE N°	H16	H39
PESO RECIPIENTE (g)	4,42	4,18
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	13,65	13,73
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	12,01	12,04
CONTENIDO DE AGUA (%)	21,61	21,50



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATON	4
W PLATON (g)	44,30
W PLATON + M.S.L (g)	242,80
W PLATON + M.D.L (g)	163,60
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	9,20

LÍMITE LIQUIDO:	<b>39,59</b>
LÍMITE PLASTICO:	<b>21,55</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>18,03</b>
% GRAVAS	<b>4,63</b>
% ARENAS	<b>55,47</b>
% PASA No. 200	<b>39,90</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

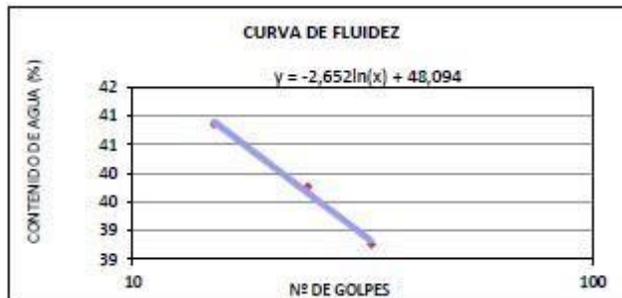
AASHTO	
A6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	4
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	1,0-1,5
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	2

**LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

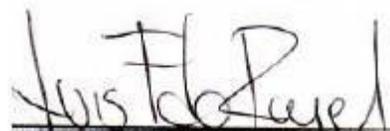
LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACIÓN Nº	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	33	24	15
RECIPIENTE Nº	A16	A2	A10
PESO RECIPIENTE (g)	8,40	9,82	9,70
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	40,44	43,28	43,96
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	31,49	33,76	34,02
CONTENIDO DE AGUA (%)	38,76	39,77	40,87

LÍMITE PLÁSTICO		
DETERMINACIÓN Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	H13	H19
PESO RECIPIENTE (g)	4,49	4,31
PESO RECIPIENTE +SUELO HÚMEDO (g)	13,80	14,01
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	12,16	12,30
CONTENIDO DE AGUA (%)	21,38	21,40



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATON	22
W PLATON (g)	44,00
W PLATON + M.S.L (g)	240,00
W PLATON + M.D.L (g)	159,60
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	10,10

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>39,56</b>
LÍMITE PLÁSTICO:	<b>21,39</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>18,17</b>
% GRAVAS	<b>5,15</b>
% ARENAS	<b>53,83</b>
% PASA No. 200	<b>41,02</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

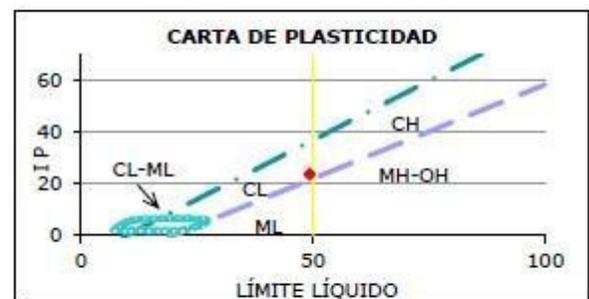
AASHTO	
A6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	5
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	0,3-1,0
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	1

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

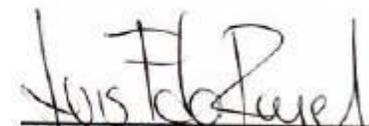
LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACIÓN N°	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	34	25	16
RECIPIENTE N°	H21	A15	H38
PESO RECIPIENTE (g)	4,06	10,82	4,62
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	35,52	39,42	35,87
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	25,52	30,00	24,94
CONTENIDO DE AGUA (%)	46,60	49,11	53,79

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACIÓN N°	1	2
RECIPIENTE N°	H10	H11
PESO RECIPIENTE (g)	4,36	4,47
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	13,85	13,50
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	11,89	11,67
CONTENIDO DE AGUA (%)	26,03	25,42



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATÓN	9
W PLATÓN (g)	37,50
W PLATÓN + M.S.L (g)	216,40
W PLATÓN + M.D.L (g)	123,60
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	0,50

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>49,39</b>
LÍMITE PLASTICO:	<b>25,72</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>23,67</b>
% GRAVAS	<b>0,28</b>
% ARENAS	<b>47,85</b>
% PASA No. 200	<b>51,87</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

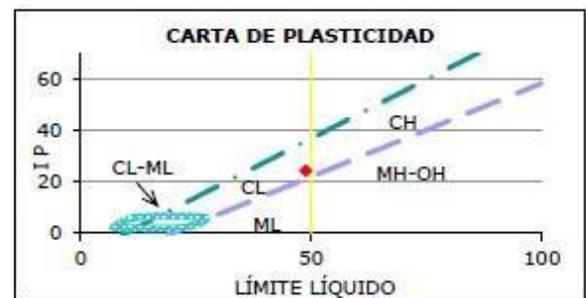
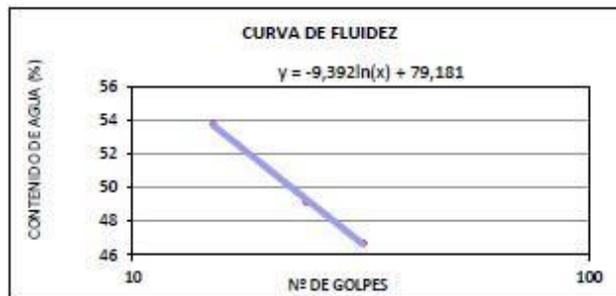
AASHTO	
A7-6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	5
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	1,0-1,5
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	2

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

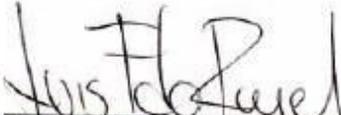
LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACIÓN N°	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	32	24	15
RECIPIENTE N°	A13	H37L	H11
PESO RECIPIENTE (g)	9,30	4,29	4,45
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	40,23	36,02	36,58
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	30,38	25,56	25,34
CONTENIDO DE AGUA (%)	46,73	49,18	53,81

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACIÓN N°	1	2
RECIPIENTE N°	H33	H02
PESO RECIPIENTE (g)	4,47	4,48
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	13,83	13,76
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	11,97	11,91
CONTENIDO DE AGUA (%)	24,80	24,90



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATÓN	31
W PLATÓN (g)	43,00
W PLATÓN + M.S.L (g)	233,40
W PLATÓN + M.D.L (g)	136,50
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	0,60

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>48,95</b>
LÍMITE PLÁSTICO:	<b>24,85</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>24,10</b>
% GRAVAS	<b>0,32</b>
% ARENAS	<b>48,79</b>
% PASA No. 200	<b>50,89</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

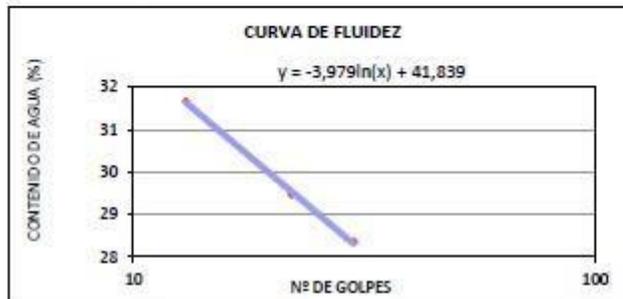
AASHTO	
A7-6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	6
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	0,4-1,0
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	1

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACIÓN Nº	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	30	22	13
RECIPIENTE Nº	H5	H27	H24
PESO RECIPIENTE (g)	4,27	4,42	4,30
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	38,63	40,58	38,15
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	31,04	32,35	30,01
CONTENIDO DE AGUA (%)	28,35	29,47	31,66

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACIÓN Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	H23	H49
PESO RECIPIENTE (g)	4,23	4,40
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	13,95	13,80
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	12,40	12,32
CONTENIDO DE AGUA (%)	18,97	18,69



LAVADO SOBRE TAMIZ Nº 200	
No PLATÓN	15
W PLATÓN (g)	37,00
W PLATÓN + M.S.L (g)	231,70
W PLATÓN + M.D.L (g)	153,00
W RETIENE TAMIZ Nº 4 (g)	1,50

LIMITE LÍQUIDO:	<b>29,03</b>
LIMITE PLÁSTICO:	<b>18,83</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>10,20</b>
% GRAVAS	<b>0,77</b>
% ARENAS	<b>58,81</b>
% PASA Nº. 200	<b>40,42</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

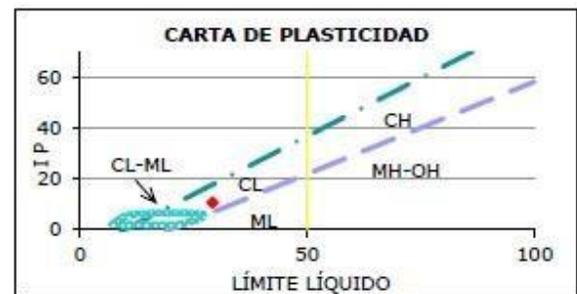
AASHTO	
A6	Principalmente suelos arcillosos

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA	<b>APIQUE</b>	6
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>PROFUNDIDAD (m)</b>	1,0-1,5
<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LABORATORISTA:</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO	<b>MUESTRA</b>	2

**LÍMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD INV E-125-126**

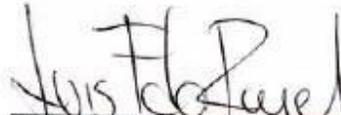
LÍMITE LÍQUIDO			
DETERMINACION Nº	1	2	3
NUMERO DE GOLPES	32	24	14
RECIPIENTE Nº	H7	H25	H31
PESO RECIPIENTE (g)	4,43	4,45	4,29
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	41,30	38,86	39,15
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	33,16	31,06	30,78
CONTENIDO DE AGUA (%)	28,33	29,31	31,60

LIMITE PLASTICO		
DETERMINACION Nº	1	2
RECIPIENTE Nº	H4	H6
PESO RECIPIENTE (g)	4,18	4,50
PESO RECIPIENTE +SUELO HUMEDO (g)	14,09	15,46
PESO RECIPIENTE +SUELO SECO (g)	12,50	13,78
CONTENIDO DE AGUA (%)	19,11	18,10



LAVADO SOBRE TAMIZ No 200	
No PLATON	29
W PLATON (g)	42,90
W PLATON + M.S.L (g)	203,40
W PLATON + M.D.L (g)	137,40
W RETIENE TAMIZ No 4 (g)	12,20

LÍMITE LÍQUIDO:	<b>29,25</b>
LÍMITE PLÁSTICO:	<b>18,61</b>
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	<b>10,64</b>
% GRAVAS	<b>7,60</b>
% ARENAS	<b>51,28</b>
% PASA No. 200	<b>41,12</b>

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

AASHTO	
A6	Principalmente suelos arcillosos

**UNIDAD DE DISEÑO 1**

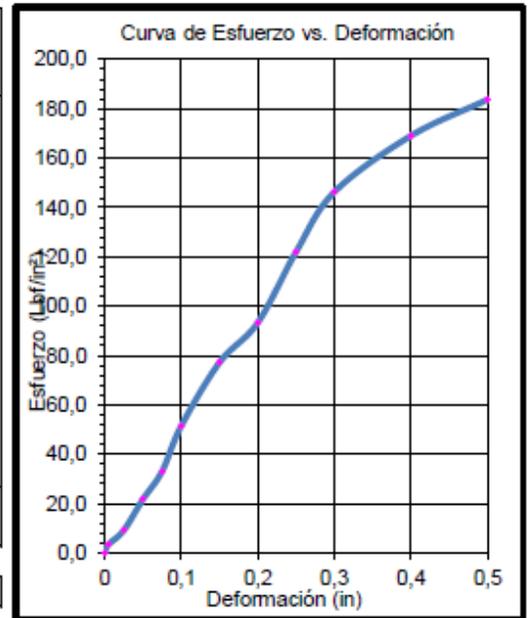
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>DIRIGIDO A :</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA
<b>APIQUE</b>	1	<b>Prof. (m)</b>	0,90
<b>LABORATORISTA</b>	FABER GUERRERO		

**CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA**  
*INV - E-148*

<b>Descripción:</b>	CBR INALTERADO SUMERGIDO (APIQUE 1)
---------------------	-------------------------------------

**Proceso de falla**

Penetración		Carga (kgf)	Carga (Lbf)	Esfuerzo kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo (Lbf/in <sup>2</sup> )
in	*0.01 mm				
0	0,0	0	0,0	0,00	0,00
0,005	12,7	4,7	10,4	0,24	3,45
0,025	63,5	12,5	27,6	0,65	9,19
0,050	127,0	29,6	65,3	1,53	21,75
0,075	190,5	45,0	99,2	2,33	33,07
0,100	254,0	70,0	154,3	3,62	51,44
0,150	381,0	105,0	231,5	5,43	77,16
0,200	508,0	127,0	280,0	6,56	93,33
0,250	635,0	166,0	366,0	8,58	121,99
0,300	762,0	199,0	438,7	10,28	146,24
0,400	1016,0	230,0	507,1	11,88	169,02
0,500	1270,0	250,0	551,2	12,92	183,72
Area del pistón de carga:			3,00 in <sup>2</sup>		
			19,35 cm <sup>2</sup>		



CBR Corregido 0.1 in	<b>5,1</b>	CBR Corregido 0.2 in	<b>6,2</b>
<b>PROMEDIO CBR</b>	<b>5,6</b>		

**Observaciones**

Los CBR inalterados fueron sumergidos durante 4 días

**ING. LUIS FERNANDO RANGEL**  
MP. 25202-322135 CND

**UNIDAD DE DISEÑO 1**

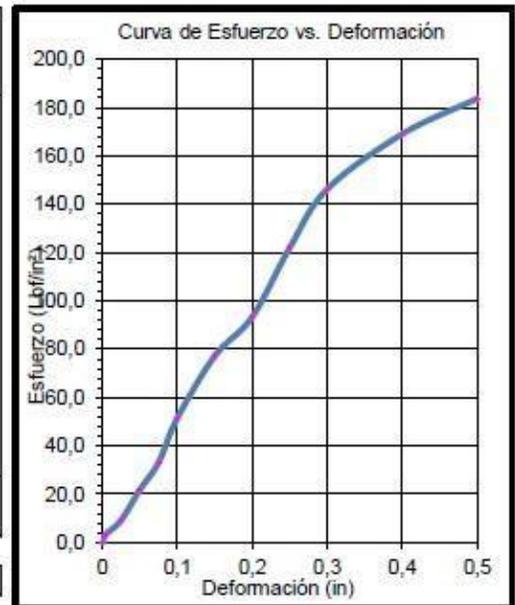
<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA
<b>APIQUE</b>	3		<b>Prof. (m)</b> 1,30
<b>LABORATORISTA</b>	FABER GUERRERO		

**CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA  
INALTERADA  
INV - E-148**

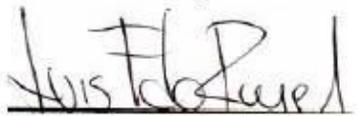
<b>Descripción:</b>	CBR INALTERADO SUMERGIDO (APIQUE 1)
---------------------	-------------------------------------

**Proceso de falla**

Penetración		Carga (kgf)	Carga (Lbf)	Esfuerzo kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo (Lbf/in <sup>2</sup> )
in	*0.01 mm				
0	0,0	0	0,0	0,00	0,00
0,005	12,7	3,2	7,1	0,17	2,35
0,025	63,5	7,7	17,0	0,40	5,66
0,050	127,0	17,9	39,5	0,92	13,15
0,075	190,5	36,3	80,0	1,88	26,68
0,100	254,0	55,2	121,7	2,85	40,57
0,150	381,0	87,0	191,8	4,50	63,93
0,200	508,0	99,0	218,3	5,12	72,75
0,250	635,0	114,0	251,3	5,89	83,78
0,300	762,0	132,0	291,0	6,82	97,00
0,400	1016,0	155,3	342,4	8,02	114,13
0,500	1270,0	170,0	374,8	8,78	124,93
Área del pistón de carga:			3,00 in <sup>2</sup>		
			19,35 cm <sup>2</sup>		
CBR Corregido 0.1 in	<b>4,1</b>	CBR Corregido 0.2 in	<b>4,9</b>		
<b>PROMEDIO CBR</b>	<b>4,6</b>				



**Observaciones**

  
**ING. LUIS FERNANDO RANGEL**  
**MP. 25202-322135 CND**

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>MUNICIPIO:</b>	GUATAVITA, CUNDINAMARCA	<b>DIRIGIDO A :</b>	MUNICIPIO DE GUATAVITA
<b>APIQUE</b>	5	<b>Prof. (m)</b>	1,60
<b>LABORATORISTA</b>	FABER GUERRERO		

**CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA  
INALTERADA  
INV - E-148**

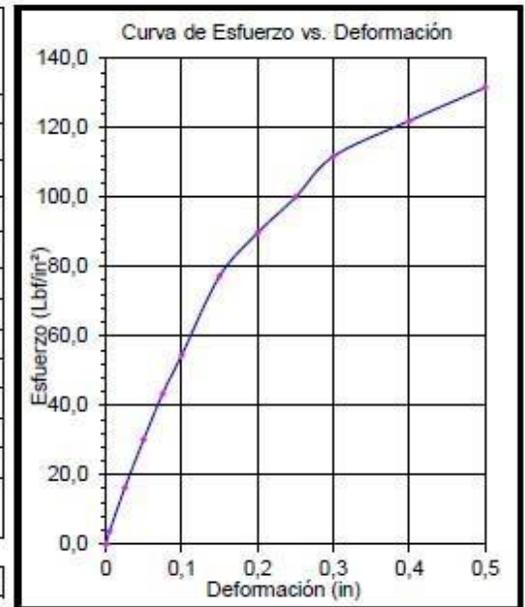
<b>Descripción:</b>	CBR INALTERADO SUMERGIDO (APIQUE 2)
---------------------	-------------------------------------

**Proceso de falla**

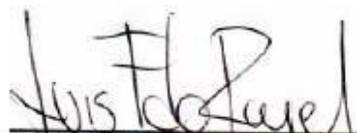
Penetración		Carga (kgf)	Carga (Lbf)	Esfuerzo kgf/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo (Lbf/in <sup>2</sup> )
in	*0.01 mm				
0	0,0	0	0,0	0,00	0,00
0,005	12,7	5,0	11,0	0,26	3,67
0,025	63,5	22,0	48,5	1,14	16,17
0,050	127,0	41,0	90,4	2,12	30,13
0,075	190,5	59,0	130,1	3,05	43,36
0,100	254,0	74,0	163,1	3,82	54,38
0,150	381,0	105,0	231,5	5,43	77,16
0,200	508,0	122,0	269,0	6,30	89,65
0,250	635,0	136,0	299,8	7,03	99,94
0,300	762,0	152,0	335,1	7,85	111,70
0,400	1016,0	166,0	366,0	8,58	121,99
0,500	1270,0	179,0	394,6	9,25	131,54

Area del pistón de carga:	3,00 in <sup>2</sup>
	19,35 cm <sup>2</sup>

CBR Corregido 0.1 in	5,4	CBR Corregido 0.2 in	6,0
<b>PROMEDIO CBR</b>	<b>5,7</b>		



**Observaciones**

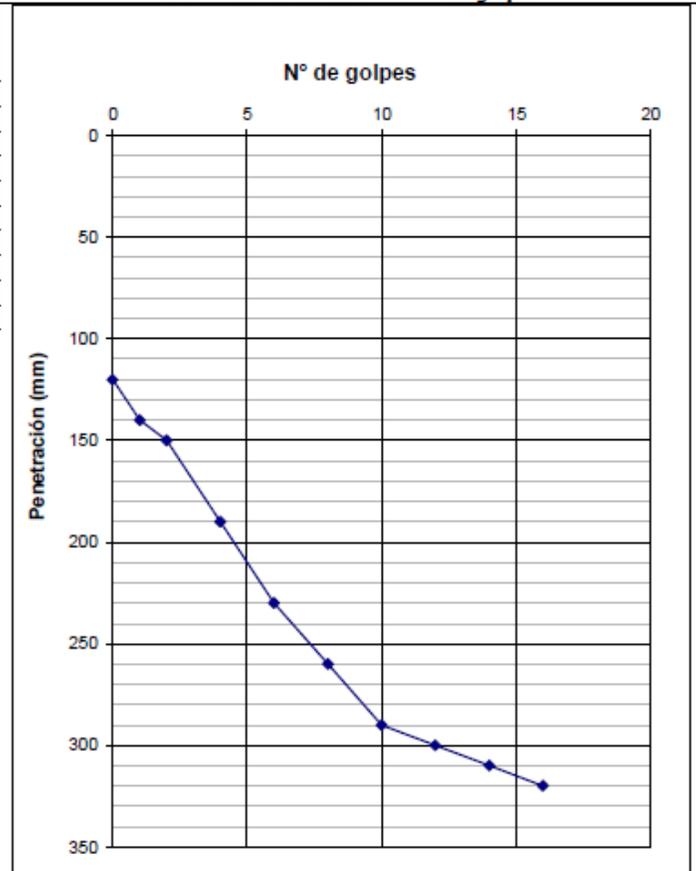
  
**ING. LUIS FERNANDO RANGEL**  
 MP. 25202-322135 CND

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VÍAS RURALES GUATAVITA		
<b>APIQUE :</b>	TRAMO 1 VEREDA CORALINA	<b>Prof. (m):</b>	0,70
<b>LABORATORISTA :</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO		

**Datos del Ensayo**

Nº de Golpes	Nº de Golpes Acum	Penetración (mm)	I.PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	120	20,0	3,1
1	1	140	20,0	3,1
1	2	150	10,0	4,8
2	4	190	20,0	3,1
2	6	230	20,0	3,1
2	8	260	15,0	3,7
2	10	290	15,0	3,7
2	12	300	5,0	7,4
2	14	310	5,0	7,4
2	16	320	5,0	7,4

**Curva de Penetración Vs Nº de golpes**



Ecuación de Correlación:  
 $CBR = 20.0 \cdot (I.PDC.)^{-0.62}$

PENETRACION(mm)	PENDIENTE	Indice PDC (mm/golpe)	CBR%
0-150	P1	16,7	3,5%
150-290	P2	17,5	3,4%
290-320	P3	5,0	7,4%
			14,3%
<b>Promedio CBR</b>			<b>4,8%</b>

*Luis Fernando Rangel V.*

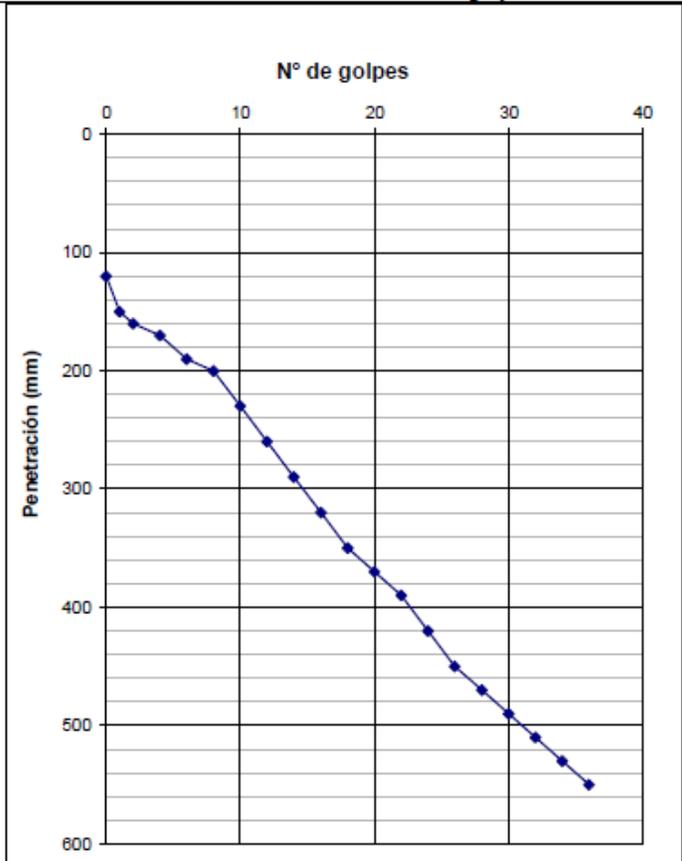
ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VÍAS RURALES GUATAVITA		
<b>APIQUE :</b>	TRAMO 2 VEREDA CORALINA	<b>Prof. (m):</b>	0,50
<b>LABORATORISTA :</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO		

**Datos del Ensayo**

Nº de Golpes	Nº de Golpes Acum	Penetración (mm)	I.PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	120	30,0	2,4
1	1	150	30,0	2,4
1	2	160	10,0	4,8
2	4	170	5,0	7,4
2	6	190	10,0	4,8
2	8	200	5,0	7,4
2	10	230	15,0	3,7
2	12	260	15,0	3,7
2	14	290	15,0	3,7
2	16	320	15,0	3,7
2	18	350	15,0	3,7
2	20	370	10,0	4,8
2	22	390	10,0	4,8
2	24	420	15,0	3,7
2	26	450	15,0	3,7
2	28	470	10,0	4,8
2	30	490	10,0	4,8
2	32	510	10,0	4,8
2	34	530	10,0	4,8
2	36	550	10,0	4,8

**Curva de Penetración Vs N° de golpes**



Ecuación de Correlación:  
 $CBR = 20,0 \cdot (I.PDC.)^{-0,62}$

PENETRACION(mm)	PENDIENTE	Indice PDC (mm/golpe)	CBR%
0-200	P1	15,0	3,7%
200-550	P2	12,5	4,2%
<b>PROMEDIO</b>			<b>4,0%</b>

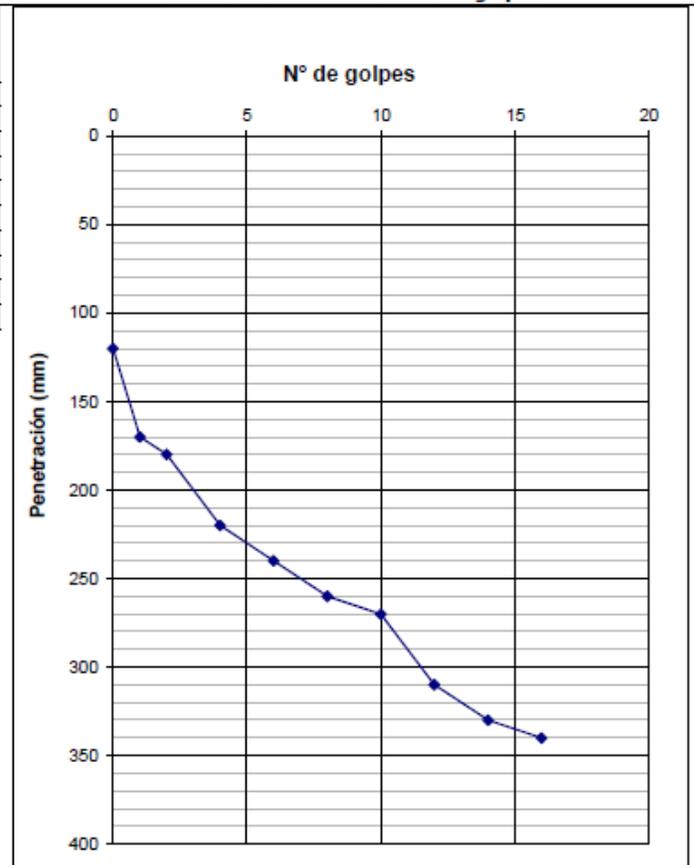
*Luis Fernando Rangel V.*  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA		
<b>APIQUE :</b>	TRAMO 3 VEREDA PUEBLO VIEJO	<b>Prof. (m):</b>	0,60
<b>LABORATORISTA :</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO		

**Datos del Ensayo**

Nº de Golpes	Nº de Golpes Acum	Penetración (mm)	I.PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	120	50,0	1,8
1	1	170	50,0	1,8
1	2	180	10,0	4,8
2	4	220	20,0	3,1
2	6	240	10,0	4,8
2	8	260	10,0	4,8
2	10	270	5,0	7,4
2	12	310	20,0	3,1
2	14	330	10,0	4,8
2	16	340	5,0	7,4

**Curva de Penetración Vs Nº de golpes**



Ecuación de Correlación:

$$CBR = 20.0 * (I.PDC.)^{-0,62}$$

PENETRACION(mm)	PENDIENTE	Indice PDC (mm/golpe)	CBR%
0-170	P1	50,0	1,8%
170-270	P2	11,0	4,5%
270-340	P3	11,7	4,4%
<b>Promedio CBR</b>			<b>3,6%</b>

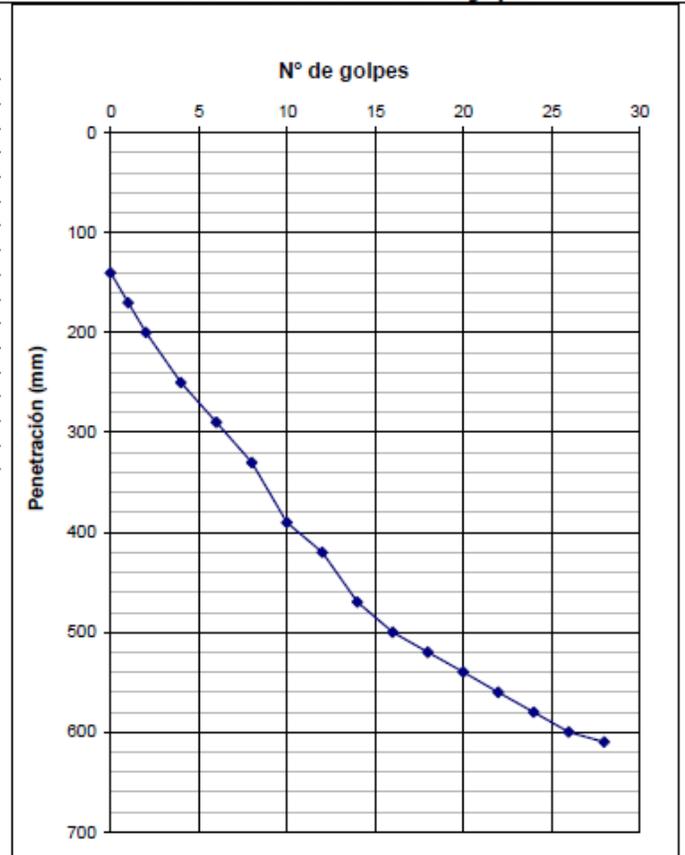
*Luis Fernando Rangel V.*  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA		
<b>APIQUE :</b>	TRAMO 4 VEREDA PUEBLO VIEJO	<b>Prof. (m):</b>	0,50
<b>LABORATORISTA :</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO		

**Datos del Ensayo**

Nº de Golpes	Nº de Golpes Acum	Penetración (mm)	I.PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	140	30,0	2,4
1	1	170	30,0	2,4
1	2	200	30,0	2,4
2	4	250	25,0	2,7
2	6	290	20,0	3,1
2	8	330	20,0	3,1
2	10	390	30,0	2,4
2	12	420	15,0	3,7
2	14	470	25,0	2,7
2	16	500	15,0	3,7
2	18	520	10,0	4,8
2	20	540	10,0	4,8
2	22	560	10,0	4,8
2	24	580	10,0	4,8
2	26	600	10,0	4,8
2	28	610	5,0	7,4

**Curva de Penetración Vs Nº de golpes**



Ecuación de Correlación:  
 $CBR = 20.0 * (I.PDC.)^{-0,62}$

PENETRACION(mm)	PENDIENTE	Indice PDC (mm/golpe)	CBR%
0-330	P1	25,8	2,7%
330-420	P2	22,5	2,9%
420-610	P3	11,9	4,3%

9,9%

Promedio CBR **3,3%**

*Luis Fernando Rangel V.*

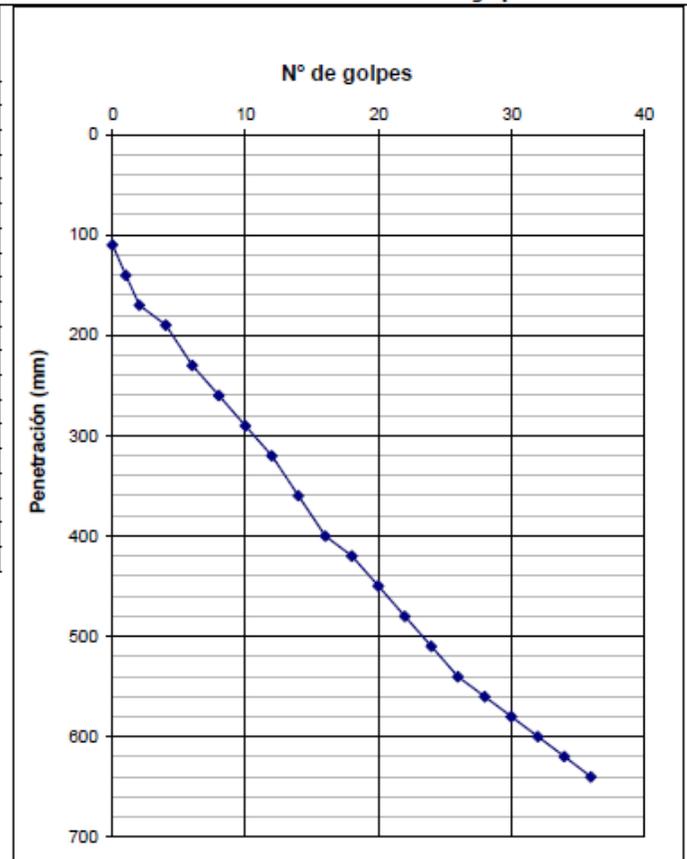
ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA		
<b>APIQUE :</b>	TRAMO 5 VEREDAS TAPIAS Y SAN ANTONIO	<b>Prof. (m):</b>	0,70
<b>LABORATORISTA :</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO		

**Datos del Ensayo**

Nº de Golpes	Nº de Golpes Acum	Penetración (mm)	I.PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	110	30,0	2,4
1	1	140	30,0	2,4
1	2	170	30,0	2,4
2	4	190	10,0	4,8
2	6	230	20,0	3,1
2	8	260	15,0	3,7
2	10	290	15,0	3,7
2	12	320	15,0	3,7
2	14	360	20,0	3,1
2	16	400	20,0	3,1
2	18	420	10,0	4,8
2	20	450	15,0	3,7
2	22	480	15,0	3,7
2	24	510	15,0	3,7
2	26	540	15,0	3,7
2	28	560	10,0	4,8
2	30	580	10,0	4,8
2	32	600	10,0	4,8
2	34	620	10,0	4,8
2	36	640	10,0	4,8

**Curva de Penetración Vs Nº de golpes**



Ecuación de Correlación:  
 $CBR = 20.0 * (I.PDC.)^{-0,62}$

PENETRACION(mm)	PENDIENTE	Indice PDC (mm/golpe)	CBR%
0-170	P1	30,0	2,4%
170-400	P2	16,4	3,5%
400-640	P3	12,0	4,3%

10,2%

Promedio CBR **3,4%**

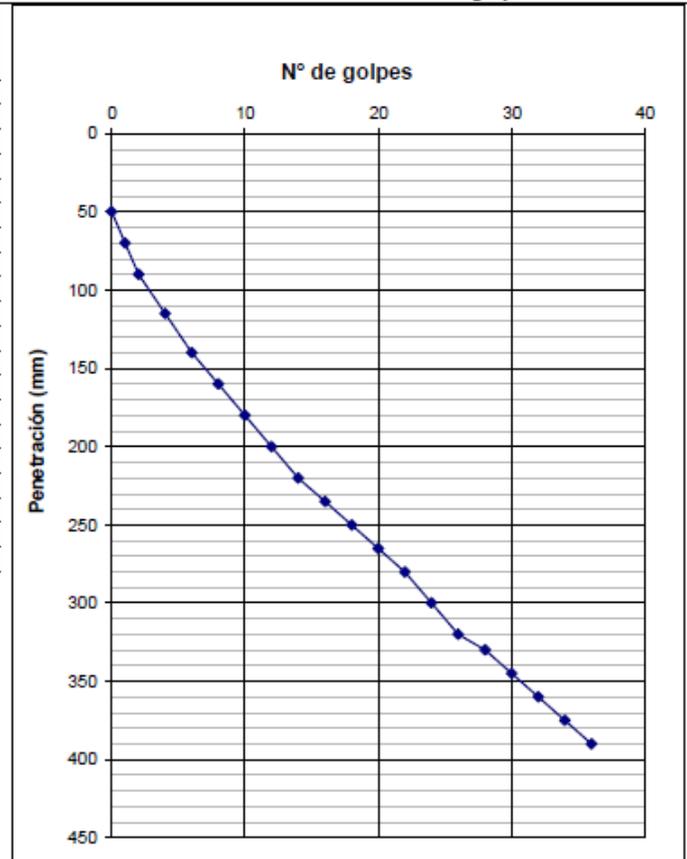
*Luis Fernando Rangel V.*  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

<b>PROYECTO:</b>	ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS URBANAS DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA		
<b>LOCALIZACIÓN:</b>	TRAMOS - VIAS RURALES GUATAVITA		
<b>APIQUE :</b>	TRAMO 6 VEREDAS TAPIAS Y SAN ANTONIO	<b>Prof. (m):</b>	0,80
<b>LABORATORISTA :</b>	MIGUEL ARENAS TOLEDO		

**Datos del Ensayo**

Nº de Golpes	Nº de Golpes Acum	Penetración (mm)	I.PDC (mm/golpe)	CBR (%)
0	0	50	20,0	3,1
1	1	70	20,0	3,1
1	2	90	20,0	3,1
2	4	115	12,5	4,2
2	6	140	12,5	4,2
2	8	160	10,0	4,8
2	10	180	10,0	4,8
2	12	200	10,0	4,8
2	14	220	10,0	4,8
2	16	235	7,5	5,7
2	18	250	7,5	5,7
2	20	265	7,5	5,7
2	22	280	7,5	5,7
2	24	300	10,0	4,8
2	26	320	10,0	4,8
2	28	330	5,0	7,4
2	30	345	7,5	5,7
2	32	360	7,5	5,7
2	34	375	7,5	5,7
2	36	390	7,5	5,7

**Curva de Penetración Vs Nº de golpes**



Ecuación de Correlación:  
 $CBR = 20.0 \cdot (I.PDC.)^{-0.62}$

PENETRACION(mm)	PENDIENTE	Indice PDC (mm/golpe)	CBR%
0-320	P1	11,7	4,4%
320-390	P2	7,0	6,0%
			10,3%
		Promedio CBR	5,2%

  
 ING. LUIS FERNANDO RANGEL V.  
 MP 25202-322135 CND

**ANALISIS DE PARÁMETROS PARA LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO CON PIEDRA LAJA EN UNA VIA  
URBANA DE BAJO TRANSITO DEL MUNICIPIO DE GUATAVITA CUNDINAMARCA 91**