

**CARACTERIZACION DE SUBRASANTE Y DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO-  
FLEXIBLE PARA LA URBANIZACION VILLA CECILIA, GIRARDOT CUNDINAMARCA**

**JUAN SEBASTIAN GAVIRIA GARCIA**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA  
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
GIRARDOT, CUNDINAMARCA  
2024**

**CARACTERIZACION DE SUBRASANTE Y DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO-FLEXIBLE PARA LA URBANIZACION VILLA CECILIA, GIRARDOT CUNDINAMARCA**

**JUAN SEBASTIAN GAVIRIA GARCIA**  
**juan-gaviria1@upc.edu.co**

**Documento de trabajo de grado como opción para optar al título de ingeniero civil**

**ASESOR**  
**ING. Michael Afranio Díaz Ricardo – INGENIERO CIVIL, michael-diaz1@upc.edu.co**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA**  
**SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**  
**GIRARDOT, CUNDINAMARCA**  
**2024**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado 1

---

Jurado 2

4 de junio del 2024

# TABLA DE CONTENIDO

## Contenido

INTRODUCCION.....	10
1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	11
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
2. JUSTIFICACION.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4. MARCO REFERENCIAL.....	14
4.1 ANTECEDENTES.....	14
4.2 MARCO TEÓRICO.....	15
4.3. MARCO CONCEPTUAL.....	24
4.4. MARCO NORMATIVO.....	25
4.5. MARCO GEOGRÁFICO.....	27
4.6 MARCO DEMOGRÁFICO.....	30
5. DELIMITACION.....	32
6. DISEÑO METODOLOGICO.....	33
7. RECURSOS.....	35
8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	36
8.1 EXPLORACION DE CAMPO.....	36
8.2 AFORO VEHICULAR- TPD.....	42
8.3 ESTUDIO DE SUELOS.....	48
8.4 DISEÑOS DE LA ESTRCUCTURA DE LOS PAVIMENTOS.....	70
8.5 PRESUPUESTO DE LOS PAVIMENTOS.....	88
9. CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIAS.....	108
ANEXOS.....	111

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Normas aplicadas en el proyecto .....	25
Tabla 2. Clasificación de la gravedad de los deterioros de los afirmados .....	39
Tabla 3. Dimensiones de las vías principales y colectoras .....	41
Tabla 4. Aforo vehicular-TPD .....	42
Tabla 5. Valores del parámetro Zr.....	43
Tabla 6. Factor daño por tipo de vehículo.....	44
Tabla 7. Tasa promedio de crecimiento del tránsito .....	45
Tabla 8. Niveles de tránsito .....	45
Tabla 9. Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal.....	46
Tabla 10. Datos de la granulometría .....	52
Tabla 11. Cálculos de límites .....	57
Tabla 12. Datos del molde .....	61
Tabla 13. Datos y cálculos del ensayo Proctor .....	61
Tabla 14. Datos del ensayo CBR.....	66
Tabla 15. Datos obtenidos del ensayo durante el procedimiento de penetración de carga.....	66
Tabla 16. Datos seleccionados de 0,1 y 0,2 in para determinación de CBR .....	67
Tabla 17. Resultados del estudio de suelos .....	69
Tabla 18. Índice de serviciabilidad.....	70
Tabla 19. Nivel de confiabilidad .....	71
Tabla 20. Confiabilidad Zr .....	71
Tabla 21. Desviación estándar según proyecto de pavimento y tipo de pavimento .....	72
Tabla 22. Coeficientes estructurales (ai) .....	77
Tabla 23. Drenaje .....	78
Tabla 24. Datos para determinar el valor de SN.....	79
Tabla 25. Cálculo del Valor de SN1 .....	80
Tabla 26. Cálculo del Valor de SN2.....	81
Tabla 27. Cálculo del Valor de SN3.....	82
Tabla 28. Datos para calcular las dimensiones de la estructura del pavimento .....	83
Tabla 29. Espesores mínimos .....	83
Tabla 30. Procedimiento de diseño de pavimento articulado.....	86
Tabla 31. Características técnicas de la mezcla asfáltica .....	91
Tabla 32. Parámetros de resistencia .....	91
Tabla 33. Granulometría para la arena .....	93
Tabla 34. Características técnicas de la subbase granular según INVIAS 2013.....	94
Tabla 35. Verificación periódica de calidad .....	94
Tabla 36. Características técnicas de la base granular .....	95
Tabla 37. Extendido del material.....	100

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Vía principal.....	11
Ilustración 2. Cacerola de Casagrande .....	17
Ilustración 3. Cilindros de suelo .....	17
Ilustración 4. Carta de plasticidad .....	18
Ilustración 5. Estructura típica de un pavimento flexible.....	21
Ilustración 6. Estructura típica de un pavimento rígido .....	22
Ilustración 7. Tipos de vehículos .....	23
Ilustración 8. Mapas de Colombia.....	27
Ilustración 9. Mapa de Girardot.....	28
Ilustración 10. Ubicación del barrio villa Cecilia.....	29
Ilustración 11. Urbanización villa Cecilia .....	30
Ilustración 12. Datos del Dane .....	30
Ilustración 13. Grietas longitudinales por erosión .....	36
Ilustración 14. Baches .....	37
Ilustración 15. Zanjas en el terreno .....	38
Ilustración 16. Calicata .....	48
Ilustración 17. Clasificación de la muestra. ....	49
Ilustración 18. Lavado de la muestra.....	50
Ilustración 19. Tamizado de la muestra.....	51
Ilustración 20. Preparación del material.....	53
Ilustración 21. Preparación de la muestra para el ensayo de limite liquido .....	54
Ilustración 22. Cacerola de Casagrande.....	55
Ilustración 23. Masa elipsoidal para los rollitos de limite plástico.....	56
Ilustración 24. Material para ensayo Proctor .....	58
Ilustración 25. Procedimiento Proctor.....	59
Ilustración 26. Compactación de 56 golpes por capa .....	60
Ilustración 27. Grafica del contenido de humedad y el peso volumétrico seco .....	62
Ilustración 28. Tamizado de la muestra para CBR.....	63
Ilustración 29. Preparación del material con la humedad oprimada .....	64
Ilustración 30. Procedimiento ensayo CBR .....	65
Ilustración 31. Ensayo CBR .....	65
Ilustración 32. Grafica de penetración vs esfuerzo .....	67
Ilustración 33. Grafica de peso unitario seco vs CBR.....	68
Ilustración 34. Modulo resiliente del asfalto según la frecuencia de carga y su temperatura ...	74
Ilustración 35. Nomograma para identificar el coeficiente estructural de la base granular .....	75
Ilustración 36. Nomograma para el cálculo del coeficiente estructural de la subbase granular	76
Ilustración 37. Estructura .....	79
Ilustración 38. Diseño del pavimento flexible .....	85
Ilustración 39. Diseño de pavimento articulado .....	87
Ilustración 40. Presupuesto pavimento Flexible.....	88
Ilustración 41. Presupuesto pavimento articulado.....	89
Ilustración 42. Tipos de adoquines.....	92
Ilustración 43. Características de ensayo adoquines.....	92
Ilustración 44. Estructura pavimento flexible .....	96
Ilustración 45. Localización y replanteo.....	96
Ilustración 46. Excavación .....	97
Ilustración 47. Escarificación de la subrasante .....	97
Ilustración 48. Aplicación de agua.....	98
Ilustración 49. Nivelación de subrasante .....	98
Ilustración 50. Compactación de la subrasante.....	99
Ilustración 51. Transporte del material.....	99
Ilustración 52. Descargue del material .....	100

<b>Ilustración 53. Compactación base .....</b>	<b>101</b>
<b>Ilustración 54. Riego de imprimación.....</b>	<b>101</b>
<b>Ilustración 55. Extendido del asfalto .....</b>	<b>102</b>
<b>Ilustración 56. Compactación del asfalto.....</b>	<b>102</b>
<b>Ilustración 57. Estructura del pavimento articulado.....</b>	<b>103</b>

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Contenido de humedad.....	111
Anexo 2. Peso del solido.....	111
Anexo 3. Contenido de humedad.....	112
Anexo 4. Grafica de granulometría.....	112

## **RESUMEN**

El presente proyecto, tiene como fin el diseño de la estructura de pavimento flexible y articulado en la urbanización villa Cecilia, Girardot Cundinamarca, en el cual se desarrollarán los siguientes objetivos o fases: realizar exploración de campo, Realizar el análisis de tránsito para determinar la composición vehicular y la proyección del número de ejes equivalentes durante el período de diseño, llevar a cabo exploración geotécnica de la subrasante para determinar las constantes de diseño, diseñar la estructura del pavimento flexible y articulado con su correspondiente presupuesto, todo esto con el fin de establecer el diseño de pavimento más óptimo para la urbanización villa Cecilia, ya que no se encuentra pavimentada, por lo tanto, presenta fallas en el terreno como ondulaciones y zanjas longitudinales; para ello se implementará un estudio de suelos para conocer las características del suelo especialmente el CBR; adicional a ello se implementará un aforo vehicular para conocer el número de ejes equivalentes y poder realizar el diseño del pavimento.

## **ABSTRACT**

The purpose of this Project is to design the flexible and articulated pavement structure in the Villa Cecilia urbanization, Girardot Cundinamarca, in which the following objectives or phases will be developed: carry out field exploration, Carry out traffic analysis to determine the vehicle composition and the projection of the number of equivalent axles during the design period, carry out geotechnical exploration of the subgrade to determine the design constants, design the structure of the flexible and articulated pavement with its corresponding budget, all this in order to establish the most optimal pavement design for the Villa Cecilia urbanization, since it is not paved, therefore, it presents faults in the terrain such as undulations and longitudinal ditches; For this, a soil study will be implemented to know the characteristics of the soil, especially the CBR; In addition to this, a vehicle capacity will be implemented to know the number of equivalent axles and to be able to design the pavement.

## INTRODUCCION

En la urbanización Villa Cecilia, la cual abarca un área aproximadamente de 33590 m<sup>2</sup> con un espacio urbanizable de 236 lotes, se identifica que las personas que hacen uso de las vías de esta urbanización presentan dificultades al moverse, esto debido al deficiente estado en que se encuentran; actualmente las vías del barrio no se encuentran pavimentadas y presentan irregularidades que como consecuencia no permite que los vehículos puedan transitar con normalidad y a su vez provoca que el usuario que transite dentro de la urbanización este expuesto a sufrir algún accidente.

En el desarrollo del presente proyecto se busca determinar las características que posee el suelo de la urbanización Villa Cecilia, del municipio de Girardot Cundinamarca; esto se realizara implementando los conocimientos teóricos y prácticos vistos en la asignatura de mecánica de suelos y pavimentos, haciendo uso de las instalaciones que presta la Universidad Piloto del Seccional Alto Magdalena para someter a la muestra extraída a los ensayos de laboratorio correspondientes, los procedimientos de dichos ensayos se hacen respecto a lo que nos sugieren las normas INVIAS para cada uno de estas pruebas a desarrollar como lo es el Granulometría, límites, Proctor, CBR, etc. posteriormente se analizaran los resultados que se obtengan de estos procesos.

La finalidad de este trabajo es caracterizar el terreno del sector para realizar el diseño de pavimento flexible y articulado, con el fin de suplir la necesidad presente en las vías; para ello se necesita datos como el porcentaje de CBR Y el tránsito promedio diario TPD.

## 1. DEFINICION DEL PROBLEMA

En el municipio de Girardot Cundinamarca las vías con las que dispone la urbanización Villa Cecilia no están pavimentadas, una de las principales problemáticas de esto es la erosión del suelo debido a las escorrentías de aguas lluvias, ya que la urbanización no cuenta con alcantarillado de aguas lluvias, por lo tanto, esto genera baches, escarpe y zanjas en el terreno. Este tipo de fallas están causando inestabilidad en las estructuras de las viviendas; adicional a ello las personas que transitan por el lugar ponen en riesgo sus vidas ya que el transitar en sus vehículos es bastante complejo, dañan sus carros y motos.

En dicha urbanización nunca se ha realizado un estudio de suelos para conocer las propiedades que esté presenta, por lo tanto, al realizar el estudio y analizar los resultados que se obtengan se podría determinar si el suelo con el que cuenta este sector, presenta una adecuada resistencia para realizar el diseño del pavimento de la vías, teniendo en cuenta algunos parámetros de diseño como lo son: los tipos de vehículos que transiten por estas, asegurando que el pavimento que se diseñe no presente deformaciones debido a las cargas continuas al que las vías estarán sometidas.

Todo esto con el fin de solucionar la dificultad de movilidad dentro de la urbanización, debido precisamente a que las vías no están en condiciones óptimas para su uso.

### *Ilustración 1*

#### Vía principal



Fuente: Vía principal de la urbanización villa Cecilia. Elaboración propia

### 1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué diseño de pavimento es el más viable para la urbanización villa Cecilia?

## 2. JUSTIFICACION

En el presente documento se hace evidencia, de que la urbanización villa Cecilia cuenta con vías que no están en un buen estado, las cuales presentan algún tipo de fallas como lo son zanjas longitudinales y zanjas transversales, baches o mal llamados huecos, escarpe en el terreno e imperfecciones en las entradas de las viviendas gracias al mal estado de las vías; por lo tanto, su uso no es muy eficiente ya que al transitar dentro de la urbanización se evidencia cierta dificultad, donde los usuarios deben realizar maniobras peligrosas para poder movilizarse en estas calles conectoras y principales, esto no solo perjudica a la población estándar del sector, sino que también a la población flotante del municipio que deba transitar por la zona.

Todos estos problemas son causados por la erosión que presenta el suelo gracias a la escorrentía de aguas lluvias, puesto que la urbanización villa Cecilia no cuenta con alcantarillado de aguas lluvias y adicional a ello es una vía que no está pavimentada, está destapada en afirmado o recebo y esto presenta inconvenientes para la comunidad.

Es por eso, que se analizaran las características físicas con las que cuenta el suelo de las vías de la urbanización Villa Cecilia, para así poder implementar dos alternativas de pavimento las cuales son: pavimento flexible y pavimento articulado, para así poder identificar y determinar cuál es el diseño de pavimento más adecuado, para suplir la necesidad que se tiene; adicional a ello, poder impactar los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS como lo son el objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura y el objetivo 11: ciudades y comunidades sostenibles.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la Caracterización de la subrasante para obtener el diseño de la estructura de un pavimento articulado y flexible para la urbanización villa Cecilia, Girardot Cundinamarca.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar del deterioro de la vía mediante la exploración de campo.
- Realizar el análisis de tránsito para determinar la composición vehicular y la proyección del número de ejes equivalentes durante el período de diseño.
- Llevar a cabo la exploración geotécnica de la subrasante para determinar las constantes de diseño.
- Diseñar la estructura del pavimento flexible y articulado.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1 ANTECEDENTES**

Según Arce conde, Castillo Montaña, Lozano Hurtado y Romero Sanabria en el 2021, en su trabajo de grado, realizaron una investigación en la urbanización Villa Cecilia en el cual realizaron la planeación integral de obra.

El actual documento presenta de manera clara y argumentada las problemáticas que presenta la urbanización, la cual fue la preseleccionada por el equipo de investigación del proyecto de aula, en el dicho proyecto se pretende dar a conocer la caracterización de la red de vías suburbanas que comunican la urbanización Villa Cecilia con el resto del municipio, además el por qué se necesita un sistema de alcantarillado (red pluvial) y las consecuencias negativas que conlleva el no tener uno en buen estado, asimismo, es de vital importancia realizar una excelente ejecución de producción y rendimiento del plan integral de la obra, por lo que el objetivo de la asignatura provee las herramientas necesarias para hacer los cálculos requeridos de producción, rendimiento y Análisis de precios unitarios (Arce, Katerine, Leidy, & Diana, 2021).

## 4.2 MARCO TEÓRICO

### ORIGEN DEL SUELO

Se debe conocer el origen del suelo para poder tener una vista más clara en cuanto a clasificación del mismo, es por eso que es importante conocer la formación del mismo.

En la formación de los suelos, la roca madre se ve afectada por procesos de meteorización, tanto física (desagregación) como química (alteración), luego mediante agentes naturales los productos de la meteorización pueden ser transportados causando la erosión de aquellas rocas más superficiales de la corteza terrestre, estos materiales se depositarán posteriormente y mediante diversos fenómenos se consolidará el suelo propiamente dicho, los procesos de formación del suelo se denominan edafogénesis y los factores que intervienen en este proceso son: el clima, la topografía, la acción biológica, la composición litológica y el tiempo de actuación de todos ellos, dentro de estas acciones debemos saber que la desagregación dará como producto gravas, arenas o limos, ya que para la formación de arcillas se requiere de transformaciones químicas, después de la meteorización el suelo formado puede permanecer en el lugar (suelo residual) o ser transportado por agentes naturales como el agua, tanto en estado líquido como sólido (Vazques, 1980) .

### Clasificación de los Suelos

Para poder obtener una información más clara de los suelos se debe comprender su clasificación según su tamaño y su permeabilidad.

Un sistema de clasificación de suelos proporciona un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada; consiste en categorizar y agrupar a los suelos junto con otros que posean características semejantes en cuanto a propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas similares, según el tamaño de las partículas, podemos distinguir los siguientes tipos de suelos, gravas tamaño entre 8-10cm a 2 mm, son muy permeables; Arenas: Tamaño pequeño: 2-0,060 mm, Muy permeables; Limos Tamaño entre 0,60 mm y 0,002mm, capacidad de retención de agua, agricultura, alto contenido mineral y orgánico; Arcillas: Tamaños menores que: 0,002 mm (Vazques, 1980) .

### Tipos de suelos

Los diferentes tipos de suelos desde el punto de vista de la mecánica de suelos son los siguientes:

Los suelos no Cohesivos, son las partículas que no tienden a juntarse ni adherirse, sus partículas son relativamente grandes, también llamados suelos granulares o friccionantes (arenas, gravas y limos), Suelos Cohesivos, existen partículas muy pequeñas donde predominan los efectos electroquímicos superficiales, las partículas tienden a juntarse (interacción agua/partícula) en suelos plásticos como las arcillas; Suelos Orgánicos, Son suelos esponjosos, con grumos y compresibles (Vazques, 1980) .

## FASES DEL SUELO

El suelo este compuesto por diferentes materiales como lo son sólidos, líquidos y gaseosos que haces parte de las tres fases del mismo.

La fase sólida, está constituida por una parte mineral de partículas con formas, tamaños y composición química muy variada y una parte orgánica, que abarca desde organismos vivos hasta materiales orgánicos en distintas etapas de descomposición; la fase líquida, consiste en agua que rellena parte de los huecos entre las partículas sólidas y que lleva disueltos distintos elementos químicos, según la composición del suelo, la fase gaseosa, está integrada por el aire, que se difunde en el suelo desde la atmósfera, a través de los espacios entre las partículas y los gases producidos en el propio suelo, por lo que la composición y volumen son variables (FACIL, AULA, 2022).

## GRANULOMETRÍA

En cuanto al análisis granulométrico o granulometría es claro comprender el tamaño de las partículas que componen el suelo para así poder clasificarlo de mejor manera.

Así se denomina al tamaño de las partículas (granos, piedras, etc.) que forman parte del polvo o de los áridos, la granulometría también es la rama de la petrografía que estudia la medida del tamaño de las rocas y de las partículas presentes en el suelo, la curva de la granulometría es la representación de los resultados de la granulometría hecha en el laboratorio se la denomina curva granulométrica, este gráfico es clave en el análisis de la estructura del suelo que toma en cuenta el tamaño de las partículas, para trazar la curva granulométrica, se usan tamices que tienen aberturas estandarizadas y permiten separar las partículas, el siguiente paso consiste en pesar las cantidades que fueron quedando en los distintos tamices (Porto, 2021).

## LIIMITES

### Determinación del límite líquido

El límite líquido es un ensayo que se determina de forma estandarizada mediante la cuchara de Casagrande, para ello se mide la humedad de un suelo en un surco que se cierra una longitud de 13 mm después de caer la cuchara de Casagrande 25 sucesiones entre una distancia de 1 cm, el surco se realiza con un acanalador estandarizado, cabe comentar que el ensayo se realiza aproximadamente con 100 g de muestra que previamente han pasado por el tamiz n°40 de la serie ASTM o 0,40 UNE y se mezcla con agua destilada, el límite líquido se suele representar con las letras LL (FACIL, GEOTECNIA, 2019).

### **Ilustración 2.**

#### **Cacerola de Casagrande**



Fuente: (FACIL, GEOTECNIA, 2019) <https://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/>

#### **Determinación del límite plástico**

El límite plástico se determina mediante la formación de pequeños cilindros en la palma de la mano sobre una superficie lisa de unos 3 mm de diámetro y 25-30 mm de longitud, en el momento en el que los pequeños elipsoides se cuarteán en trozos de aproximadamente 6 mm se ha alcanzado la humedad del límite plástico, al igual que en el ensayo del límite líquido, la muestra debe haber pasado por el tamiz nº40 ASTM o 0,4 UNE y se suele representar con las siglas LP (FACIL, GEOTECNIA, 2019).

### **Ilustración 3.**

#### **Cilindros de suelo**



Fuente: (FACIL, GEOTECNIA, 2019) <https://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/>

#### **Determinación del índice de plasticidad**

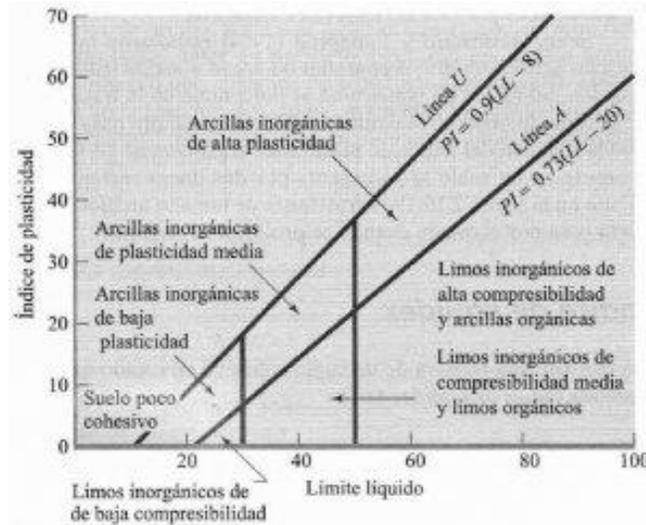
Una vez definidos el límite líquido y límite plástico puede determinarse el índice de plasticidad puesto que es la diferencia entre ambos, Se representa con las siglas IP y la fórmula del índice de plasticidad se muestra a continuación:  $IP = LL - LP$ , Representa el intervalo de humedades desde el estado semisólido a semilíquido y al igual que los límites, es frecuentemente utilizado para la caracterización de suelos cohesivos (FACIL, GEOTECNIA, 2019).

### Carta de plasticidad de Casagrande

A partir de diversos estudios, Casagrande definió que los suelos con un límite líquido superior a 50 ( $LL > 50$ ) son de alta plasticidad, mientras que los suelos que tienen un límite líquido inferior a 50 se definen como de baja plasticidad, Igualmente propuso la carta de plasticidad la cual relaciona en una gráfica el límite líquido frente al índice de plasticidad, Dentro de la gráfica, además de la línea que separa los suelos de alta plasticidad de los de baja plasticidad, definió las líneas A y U, La primera línea separa las arcillas inorgánicas de los limos inorgánicos mediante la expresión  $IP = 0,73 (LL - 20)$  y la línea U es el límite superior de la relación del índice de plasticidad con el límite líquido, se define como  $IP = 0,9 (LL - 8)$ , de este modo, según la carta de plasticidad pueden distinguirse 7 tipos de suelos tal como se muestra a continuación (FACIL, GEOTECNIA, 2019).

### Ilustración 4.

#### Carta de plasticidad



Fuente: Carta de plasticidad (FACIL, GEOTECNIA, 2019) <https://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/>

## ENSAYO PROCTOR NORMAL Y MODIFICADO

Existen dos tipos de ensayos de laboratorio para determinar la humedad óptima los cuales son Proctor normal y Proctor modificado.

Es un ensayo de compactación de suelo que tiene como finalidad obtener la humedad óptima de compactación de un suelo para una determinada energía de compactación, la humedad óptima de compactación es aquella humedad para la cual la densidad del suelo es máxima, es decir, la cantidad de agua que hemos de añadir a un suelo para poderlo compactar al máximo con una energía concreta, la compactación de un suelo produce un incremento en la densidad del material y con ello tres beneficios significativos, disminución de la compresibilidad, aumento de la resistencia al corte, nivel bajo de la permeabilidad (facil, Geotecnia, 2019).

### Descripción Ensayo Proctor Estándar o Normal:

Para la implementación del ensayo Proctor normal se debe identificar el tamaño de los moldes y el número de golpes que se le debe aplicar y el número de capas.

Para ello se utiliza un molde cilíndrico de 1 litro de capacidad que se rellena con 3 capas de material debidamente compactadas mediante una maza estandarizada de 2,5 kg que se deja caer libremente una altura de 305 mm, el material para ensayar previamente se ha desecado y tamizado por el tamiz 20 mm UNE o el correspondiente ASTM y posteriormente humedecido con distintos valores de humedad, una por cada muestra necesaria, para la compactación de cada capa de material se emplean 26 golpes de la maza distribuidos homogéneamente sobre la superficie del terreno, las tres capas deben tener aproximadamente la misma altura de tierras, una vez compactado el material, se enraza el molde y se mide la densidad y humedad de una muestra tomada del centro del molde, se repite el proceso varias veces con distintos contenidos de humedad, la prueba de compactación Proctor normal. (facil, Geotecnia, 2019).

### Descripción Ensayo Proctor Modificado

El ensayo de Proctor modificado es el más común de utilizar, en el cual se deben implementar 5 capas y aplicar 56 golpes por capa.

La prueba Proctor modificada es similar a la estándar, pero modificando tanto la capacidad del molde como la energía de compactación, en este caso se emplea un molde cilíndrico de 2,320 cm<sup>3</sup> de capacidad y una elemento de 4,535 kg, se deja desplomar a una elevación de 457 mm, en lugar de 3 capas, se compactan 5 capas de material dando 56 golpes por cada capa, igualmente se realizan varias medidas de humedad y densidad del interior del molde con distintos grados de humedad para trazar la curva Proctor y de este modo dar por concluida la prueba Proctor (facil, Geotecnia, 2019).

## ENSAYO CBR

El ensayo de CBR es para conocer la capacidad portante del suelo, este dato es uno de los más importantes ya que es la base para el diseño del pavimento.

El ensayo CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes, capas de firme, explanadas, así como en la clasificación de terrenos, las siglas CBR significan Californian Bearing Ratio y proviene de que este ensayo fue desarrollado, antes de la segunda guerra mundial, por el Departamento de Transportes de California, la prueba CBR de suelos consiste básicamente en compactar un terreno en unos moldes normalizados,

sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado (FACIL, GEOTECNIA FACIL , 2018 ).

## Procedimiento para realizar la prueba CBR

Para el procedimiento desarrollo del laboratorio se deben seguir los siguientes pasos:

Primero determinación de la humedad óptima y densidad máxima de las muestras de suelo mediante el ensayo Proctor modificado o normal, dos, añadir agua a una muestra de suelo para alcanzar la humedad óptima, tres, compactar la muestra en tres moldes CBR estandarizados de 15,24 cm de diámetro y 17,78 cm de altura, la muestra se compacta en 3 capas por molde siendo la energía de compactación de cada molde de 15, 30 o 60 golpes por capa mediante una maza de 2,5 kg que se deja caer libremente desde una altura de 305 mm, cuatro, posteriormente se enraza el molde, se desmonta y se vuelve a montar invertido, Cinco, se sumergen los moldes en agua (en algunas modalidades de ensayo no se sumerge la muestra), seis, Colocación de la placa perforada y el vástago, así como los pesos necesarios para calcular la sobrecarga calculada, siete, Colocar el trípode de medida sobre el borde del molde, coincidiendo el vástago del microcomputador, ocho, Toma de medidas diarias del microcomputador durante al menos 4 días, nueve, sacar la muestra del agua, escurrir y secar exteriormente, diez, Aplicar la carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR y tomar las lecturas de la curva presión penetración, once, Una vez finalizado el ensayo se debe presentar los resultados en una gráfica densidad seca – índice CBR similar a la mostrada a continuación, también conviene mostrar los datos de compactación, humedad, densidad, hinchamiento y absorción (FACIL, GEOTECNIA FACIL , 2018 ).

## PAVIMENTOS

Para desarrollar el proyecto de manera adecuada se deben conocer las características y funciones de un pavimento para determinar cuál es el más viable y seguro de implementar según las características del suelo.

Las Características y funciones de un pavimento son las de resistir la acción de las cargas impuestas por el tránsito, resistir ante los agentes de intemperismo, presentar una textura superficial apta para la velocidad prevista de circulación de los vehículos, puesto que esto tiene influencia directa en la seguridad vial, resistir al desgaste generado por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos, ser durable y económico, el ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado, poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito (Martinez, 2020) .

Tipos (clasificación) de pavimento:

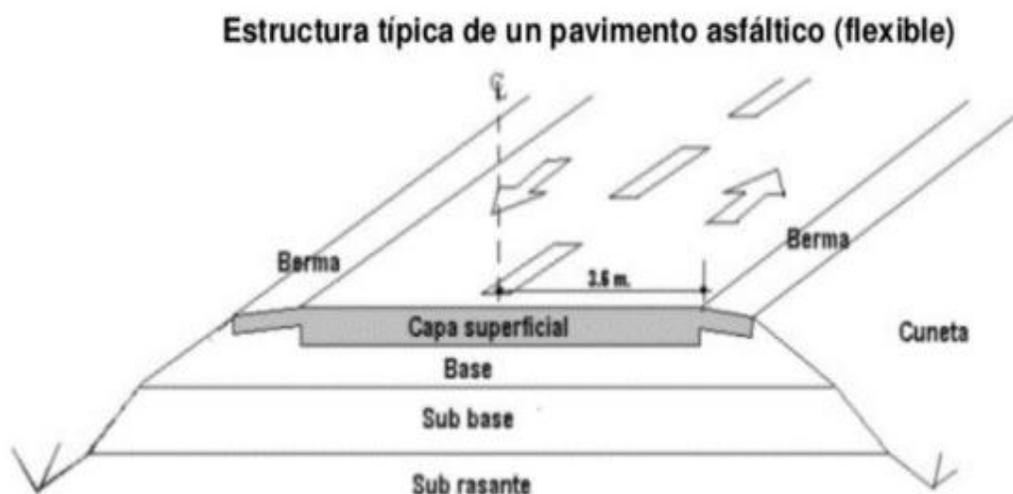
Pavimentos flexibles:

Son los más utilizados en carreteras principales ya que su tiempo de vida útil es corto pero el costo de su mantenimiento es bajo, son estructuras formadas por tres estratos o capas (pavimento, base y subbase) que se extienden y compactan sobre la subrasante existente y que a su vez pueden tener subcapas, la capa más superficial es el pavimento, está formado por una mezcla de material granular (grava y/o arena) y material bituminoso (asfalto), esta mezcla puede ser dosificada y diseñada por diferentes métodos como el método Marshall, tiene como función principal soportar las cargas, tanto horizontales como verticales del tránsito,

si su espesor supera los 10 centímetros se suele dividir en una capa de rodadura y una intermedia, la siguiente capa es la base, un material granular que se compone por partículas de diferentes tamaños (triturados, arenas y materiales finos) los cuales deben cumplir con una granulometría y distribución específica de las mismas según la especificación técnica, su misión es la de absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales, por último, el estrato más profundo es la subbase, la cual posee características similares a la de la base y sus componentes son prácticamente los mismos (triturados, arenas y materiales finos), pero con granulometría y distribución de tamaños de las partículas diferentes, su función, al igual que la base, es absorber la carga restante generada por los esfuerzos verticales que sobrepasa las capas anteriores, además proporciona un cimiento uniforme para estas (Martinez, 2020).

### **Ilustración 5.**

#### **Estructura típica de un pavimento flexible**



Fuente: Estructura de un pavimento flexible. (Martinez, 2020).

<https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/tipos-de-pavimento/>

Pavimentos rígidos:

Los pavimentos rígidos son más utilizados en vías secundarias y su periodo útil es de más años que el flexible, pero su mantenimiento es más costoso ya que si se daña debe volver a realizar la pavimentación y no se puede rehabilitar.

Las estructuras de los pavimentos rígidos suelen estar conformados por dos capas, una superior de concreto y una inferior de base, aunque en determinadas circunstancias y dependiendo de la capacidad de soporte de la subrasante existente puede haber una tercera capa de subbase, la capa superior puede ser de dos tipos, una compuesta por losas de concreto separadas por juntas transversales y longitudinales o una losa continua de concreto armado, la alta rigidez del concreto hidráulico y su elevado coeficiente de elasticidad, hacen que la forma de trabajo de los pavimentos rígidos sea por medio de la distribución de esfuerzos que se genera sobre esta primera capa, obteniendo así que las cargas y esfuerzos que llegan a la capa base sean considerablemente menores los dos componentes inferiores como lo son la base y la subbase, son exactamente los mismos que componen la estructura de un pavimento flexible (Martinez, 2020).

## Ilustración 6. Estructura típica de un pavimento rígido

### Estructura típica de un pavimento rígido



Fuente: Estructura de un pavimento Rígido. (Martinez, 2020).

<https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/tipos-de-pavimento/>

Pavimento articulado:

El pavimento articulado es más utilizado en conjuntos o parques ya que su instalación es manual y no requiere de maquinaria.

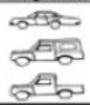
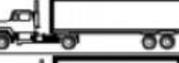
Están compuestos por una capa de rodadura que está construida con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí, esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento (Martinez, 2020).

## ESTUDIO DE TRANSITO

Se debe realizar el estudio de tránsito el cual influye de manera directa en el diseño de las estructuras de pavimento, el número y el peso de los ejes que pasan en el período de diseño imponen el daño a la estructura, el tránsito Promedio Diario Semanal, el TPD se determina contando, durante un lapso establecido, todos los vehículos que pasan por una sección de la vía (todos los carriles y ambas direcciones), el periodo más utilizado es el TPDs en cuyo caso se refiere a que el conteo se hizo durante una semana, el diseñador definirá el tipo de proyección (lineal o exponencial) que más se acerque a la realidad de la región, con el fin de calcular el TPDs al último año de diseño (Planeación, Departamento Nacional, 2017).

### Ilustración 7. Tipos de vehículos

#### Tipos de vehículos

TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS			C3 Y C4	CAMION C3	
BUSES	BUSETA			CAMION C4	
	BUS			TRACTO-CAMION C2-S1	
	BUS METROPOLITANO			TRACTO-CAMION C2-S2	
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUENO			TRACTO-CAMION C3-S1	
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE		C5	TRACTO-CAMION C3-S2	
			> C5	TRACTO-CAMION C3-S3	

Fuente: Curso básico de diseño de pavimentos - Ingeniero Fernando Sanchez Sabogal

Fuente: Tipos de vehículos (Sanchez, 2016)

#### NESE

Número de ejes acumulados de 8,2 ton Los ejes acumulados de 8,2ton son los ejes equivalentes que han de pasar por el carril de diseño durante el período de diseño, por las características funcionales de los pavimentos de concreto, se recomienda que el período de diseño sea igual o superior a 20 años (Planeación D. N., 2017).

El Número de ejes equivalentes se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Ejes equivalentes: } 8.2\text{ton} = \text{TPDs} \times 365 \times \text{FC} \times \text{Fd} \times \text{Vc}$$

Donde: TPDs: Tránsito Promedio Diario Semanal proyectado en cada dirección

Fd: Factor de distribución por carril

FC: Factor Camión

Vc: Porcentaje de vehículos comerciales (Buses y Camiones)

### 4.3. MARCO CONCEPTUAL

#### Estratigrafía

Para clasificar los suelos o tener una base estructurada, se debe tener una estratigrafía del suelo estudiado para tener un mejor estudio e interpretación del mismo.

La Estratigrafía es el estudio, identificación, interpretación y descripción de secuencias de estratos en las rocas sedimentarias, tanto vertical como horizontalmente, un estrato es una capa de sedimento depositado en diferentes ambientes deposicionales, y es el rasgo más común de las rocas sedimentarias, cada estrato tiene sus propias características de textura, composición y potencia, que reflejan las características en que la capa se depositó, todas estas características se utilizan para reconocer y reconstruir eventos geológicos (Tarbuck & Lutgens, 2005).

#### Limites

Definición de límites para la determinación de límite líquido y límite plástico.

Según Atterberg Pueden definirse como los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso, el límite entre los estados sólido y semisólido se denomina límite de retracción, el límite entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico y el límite entre los estados plástico y semilíquido, límite líquido (FACIL, GEOTECNIA, 2019).

#### 4.4. MARCO NORMATIVO

El marco normativo este compuesto por las normas de invias para desarrollar los laboratorios adecuados.

**Tabla 1.**

#### Normas aplicadas en el proyecto

ODS	Objetivos de desarrollo sostenibles
<b>Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito</b>	El Instituto Nacional de Vías pretende que el Manual no se limite a ser una simple guía para la determinación de espesores y, por tal motivo, incluye las especificaciones requeridas para la construcción y el mantenimiento rutinario de los pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito. (transporte, 2007)
<b>Norma INV E-213-13</b>	"ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO, tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados grueso y fino de un material, por medio de tamizado" (INVIAS, 2013).
<b>Norma INV E-123-13</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO, El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo, esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el 75µm (No 200) (INVIAS, 2013).
<b>Norma INV E-142-13</b>	"RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN), Los siguientes métodos de ensayo se emplean para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos" (INVIAS, 2013).
<b>Método viziret</b>	"Es un método desarrollado por el LCPC como resultado de investigación en varios países tropicales, para determinar la condición de una vía en afirmado a partir de la inspección visual de su superficie" (Vías, 2016).

<p><b>Norma INV E- 146 -13</b></p>	<p>DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE EQUILIBRIO DE LA MASA UNITARIA (DENSIDAD) SECA Y DE LA HUMEDAD DE UN SUELO DE SUBRASANTE, Esta norma establece el procedimiento a seguir para determinar la masa unitaria seca (densidad seca) de equilibrio y la humedad de equilibrio de los suelos de subrasante (INVIAS, 2013) .</p>
<p><b>Norma INV E-148-13</b></p>	<p>CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA INALTERADA, Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos de subrasante, subbase y base, denominado CBR (California Bearing Ratio), este método de ensayo está proyectado, aunque no limitado, para la evaluación de la resistencia de materiales que contengan tamaños máximos de partículas de menos de 19 mm (¾") (INVIAS, 2013).</p>
<p><b>Norma INV E-125-13</b></p>	<p>"DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS, esta norma se refiere a la determinación del límite líquido de los suelos" (INVIAS, 2013).</p>
<p><b>Norma INVE-126-13</b></p>	<p>LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS, Esta norma de ensayo se refiere a la determinación del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos, (INVIAS, 2013)</p>

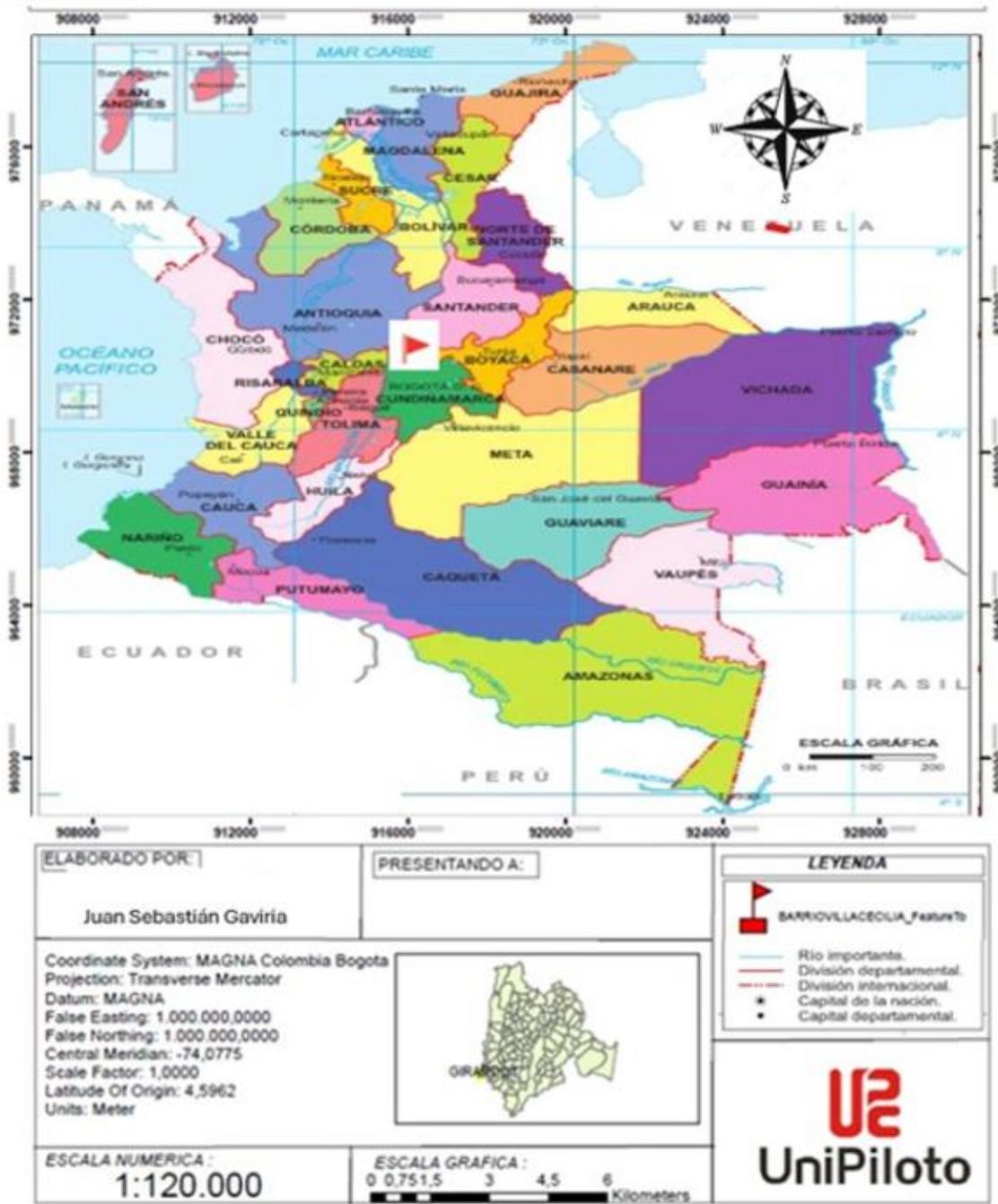
Fuente: Elaboración propia, información suministrada de la Norma invias

## 4.5. MARCO GEOGRÁFICO

El presente trabajo toma como área la urbanización villa Cecilia, que se encuentra sobre la calle 19 vía estadio Villa Alexander, en el municipio de Girardot Cundinamarca, el cual contiene 33.589,7 m<sup>2</sup>, 236 lotes y 1180 habitantes; Cuenta con un clima cálido con una temperatura entre los 23°C a 36°C en las coordenadas N 4°18'37" O 74°49'0".

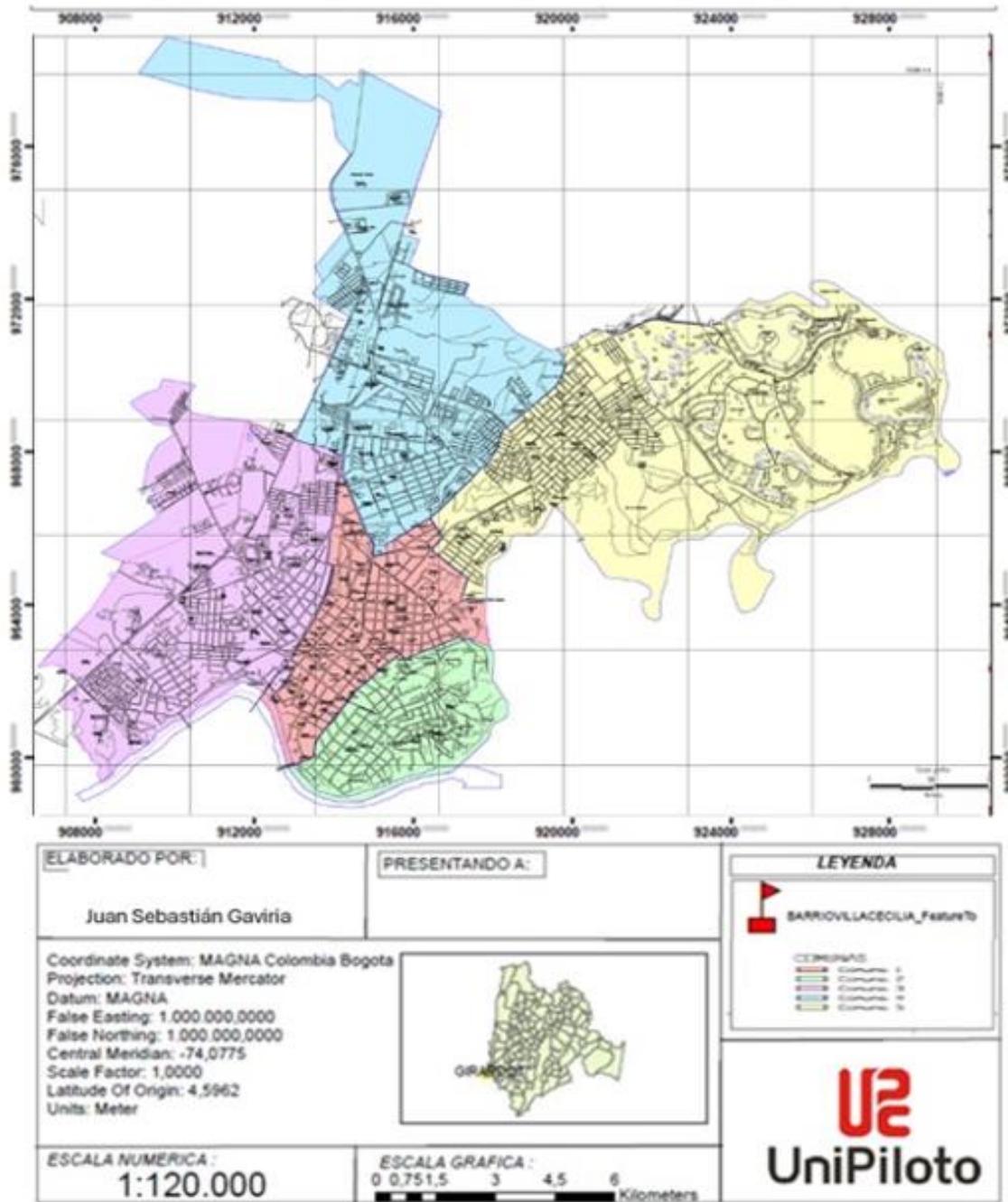
### Ilustración 8.

#### Mapas de Colombia



Fuente: Mapa de Colombia

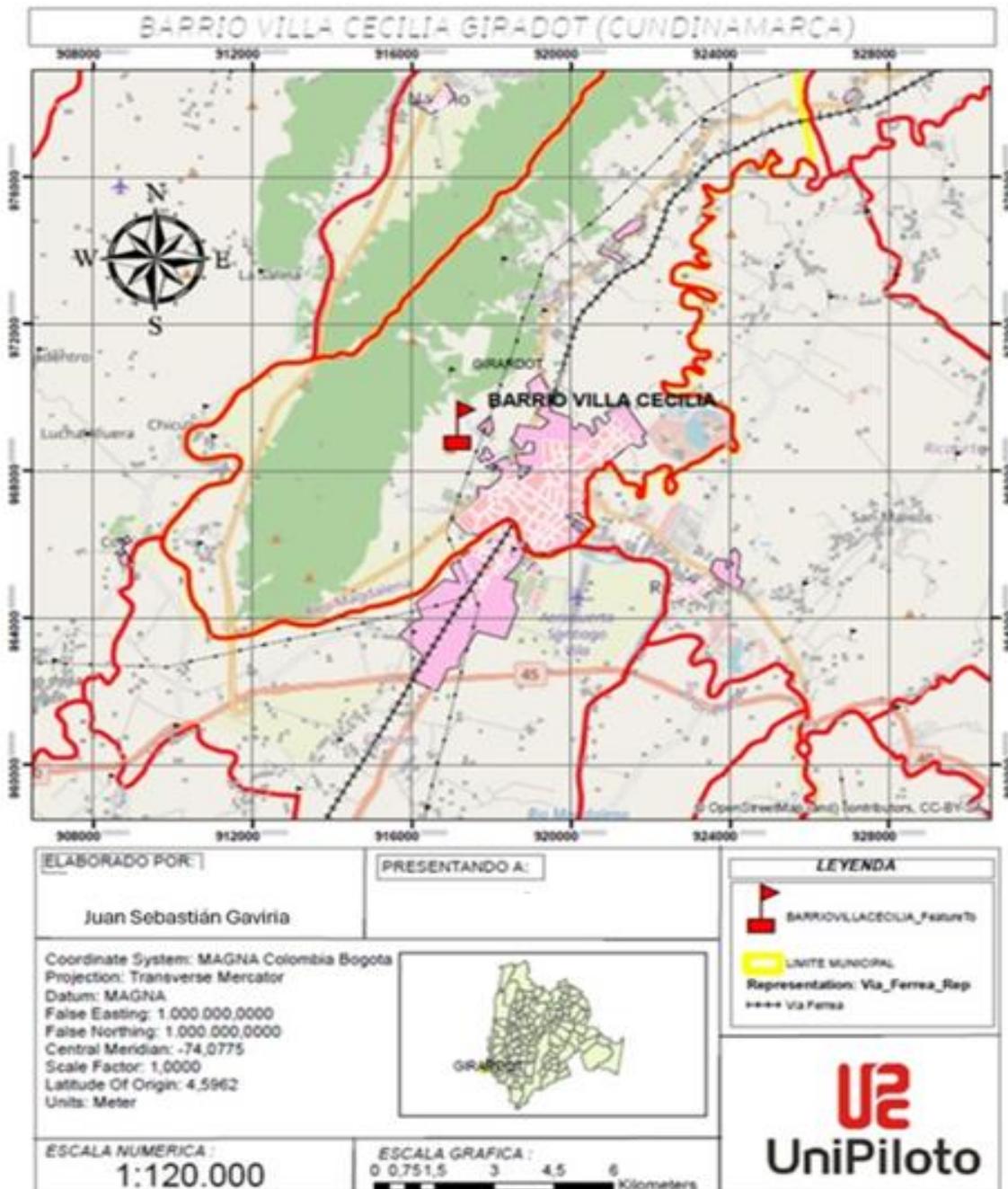
**Ilustración 9.**  
**Mapa de Girardot**



Fuente: Mapa de las comunas de Girardot, realizado en el programa Civil Cad. Elaboración propia.

**Ilustración 10.**

**Ubicación del barrio villa Cecilia**



Fuente: Localización de la urbanización Villa Cecilia.

## Ilustración 11.

### Urbanización Villa Cecilia



Fuente: Localización de la urbanización Villa Cecilia. Tomada de Google

## 4.6 MARCO DEMOGRÁFICO

La urbanización Villa Cecilia contiene 236 lotes. Según el DANE en para el censo del 2018 arrojó los siguientes datos:

### Ilustración 12.

#### Datos del Dane



Fuente: Datos de la Población de la urbanización Villa Cecilia. (DANE, 2018)

<https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/analisis-cnpv-2018/>



Fuente: Datos de la Población de la urbanización Villa Cecilia. (DANE, 2018)

<https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/analisis-cnpv-2018/>

Según el Dane en el censo del 2018, la población a impactar es de “334 personas con un aproximado de 159 mujeres 47% y 175 hombres 52,40%” (DANE, 2018).

## **5. DELIMITACION**

Se realizará caracterización de la subrasante y diseño de pavimento en la urbanización Villa Cecilia que se encuentra ubicada sobre la calle 19, entre la carrera 24, vía estadio- villa Alexander, Girardot, Cundinamarca.

## **6. DISEÑO METODOLOGICO**

### **Tipo de investigación**

#### Investigación Descriptiva

Uno de los tipos de investigación que se llevara a cabo es el descriptivo ya que se especificaran y se describirán las cualidades que presenta tanto el estudio de suelos como el diseño del pavimento; así como lo especifica Sampieri en la siguiente definición:

Con frecuencia, la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y eventos, esto es, detallar cómo son y se manifiestan, los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis, es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas (Sampieri, Fernandez, & Pilar, 2010).

#### Investigación Aplicada

Según Hernández, Fernández y Baptista indica que “la investigación aplicada, es la que soluciona problemas prácticos” (Hernandez & Baptista, s.f).

### **Enfoque de la investigación**

Se implementará una investigación cualitativa y cuantitativa por lo tanto es una metodología mixta, ya que se llevarán a cabo ensayos de laboratorios los cuales arrojarán datos numéricos y dependiendo de esos resultados se darán características o cualidades específicas.

Según Roberto Hernández Sampieri, la metodología a utilizar en esta planificación es de investigación mixta, pues implica combinar enfoques cualitativos y cuantitativos en un mismo análisis; donde el análisis cuantitativo nos da resultados que son significativos de alguna manera y son perjudiciales para ciertos segmentos de la población, el análisis cualitativo puede usarse más adelante en esos segmentos de la población para comprender puntualmente la problemática; de acuerdo al análisis cuantitativo, se contempla que el análisis cuantitativo nos puede brindar una visión más clara de la población que afecta más esta problemática (Sampieri R. H., 2014).

### **Técnicas para la recopilación de la información**

Se implementarán técnicas a lo largo del proceso como lo son: exploración de campo, aforos vehiculares y revisión documental.

### **Instrumentos para la recopilación de la información**

La recopilación de datos se hará por medio del desarrollo de los laboratorios del estudio de suelos.

## **Ámbito espacial**

La presente investigación se llevará a cabo en la urbanización villa Cecilia, Girardot Cundinamarca.

## **FASES DEL PROYECTO**

Las fases del proyecto que se llevaran a cabo a través de la metodología implementada son las siguientes:

### **Fase 1**

Se llevará a cabo la exploración de campo para conocer la problemática que presentan las vías de la urbanización, es por eso que mediante una evaluación utilizando el método viziret, se podrá identificar si justifica la rehabilitación del mismo; también conocer las dimensiones de las vías y realizar la calicata para desarrollar el estudio de suelos.

### **Fase 2**

Se realizará el aforo vehicular para determinar el TPD, este dato se obtendrá realizando el conteo en horas pico como lo son de 6-8, 12-14 y de 16-18 para tener un dato más exacto y poder calcular el número de ejes equivalentes.

### **Fase 3**

Los laboratorios que se deben realizar para el estudio de suelos son los siguientes: iniciando con la granulometría para conocer el tamaño de las partículas del suelo y poder definir si se tienen gravas arenas o finos; posteriormente se hará el ensayo de límites el cual está compuesto por límite líquido y límite plástico; el ensayo Proctor modificado para conocer la humedad óptima del suelo al momento de compactarlo; ya teniendo la humedad se puede desarrollar el ensayo de CBR para conocer la capacidad portante del suelo ya que este dato es muy importante para el desarrollo del diseño de la estructura.

### **Fase 4**

Pavimento flexible:

Por medio del método de diseño de pavimento de bajos volúmenes de tránsito, se inicia determinando las variables que solicita el programa para hallar el valor del módulo estructural (SN) las cuales son: el tránsito, la serviciabilidad, la pérdida del índice de serviciabilidad, confiabilidad, desviación estándar, módulo resiliente y coeficiente estructural. Una vez obtenido los valores de SN se calcula la estructura del pavimento flexible.

Pavimento articulado

Conociendo el porcentaje del CBR, se identifica la dimensión de la subrasante mejorada; se toma la decisión si la subbase va ser utilizada como vía de acceso o no para conocer las dimensiones de la subbase granular.

Después de realizar el aforo vehicular, conociendo el número de ejes equivalentes y conociendo si se espera tráfico canalizado o condiciones técnicas restringidas, para así conocer la estructura de la base de suelo cemento, la capa de arena y el espesor del adoquín.

## 7. RECURSOS

Humano:

- Estudiante de la universidad piloto de Colombia seccional alto Magdalena.  
Juan Sebastián Gaviria García
- Asesores que brindaron su conocimiento en el desarrollo de este proyecto  
ING. Michael Afranio Díaz Ricardo

Material:

- Equipos de laboratorio

Tecnológicos:

- Computador

Nombre del dispositivo DESKTOP-8ME3588

Procesador Intel(R) Core (TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz 2.71 GHz

RAM instalada 8,00 GB (7,89 GB utilizable)

Institucionales:

- Universidad piloto de Colombia Seccional del Alto Magdalena

## 8. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

### 8.1 EXPLORACION DE CAMPO

Se realizó la exploración de campo en la urbanización Villa Cecilia en todas sus calles, en el cual, se pudo evidenciar el mal estado de las vías, a continuación, se dará un informe detallado del estado en el que se encuentran.

Las respectivas fallas evidenciadas son las siguientes:

#### Grietas

##### *Ilustración 13.*

#### Grietas longitudinales por erosión



Fuente: Evidencia de las grietas que presentan las vías causadas por las escorrentías. Elaboración propia

En la imagen se observa el mal estado de la vía, presentando zangas longitudinales causadas por las escorrentías de aguas lluvias, ya que esto genera escarpe en el terreno y diferentes tipos de fallas generando alto riesgo para las personas que transitan por la misma.

## Baches

### *Ilustración 14.*

#### Baches



Fuente: Evidencia de los baches que se encuentran en la urbanización. Elaboración propia

Las vías presentan baches, huecos y encharcamientos a causa del deterioro, esto puede producir accidente al momento de las personas transitar en sus motocicletas o dañar sus carros y también es incómodo para las personas que deben caminar por estas, ya que se embarran al momento de dirigirse a sus trabajos.

## Zanjas longitudinales

### *Ilustración 15.*

#### Zanjas en el terreno



Fuente: zanjas causadas por el escarpe del terreno ya que no tiene alcantarillado de aguas lluvias.  
Elaboración propia

Se puede evidenciar en la imagen las zanjas laterales que se presentan en el terreno generando escarpe, grietas laterales causadas por las escorrentías de aguas y el deterioro en cuanto a mantenimiento vial.

## Evaluación método viziret

Se realiza la evaluación del estado de la vía mediante el método viziret, para determinar si justifica la reconstrucción de la misma.

**Tabla 2.**

### Clasificación de la gravedad de los deterioros de los afirmados

Deterioro	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Deformaciones	< 50 mm	50 – 100 mm	>100 mm
Baches	Pocos y de pequeño diámetro	Bastantes o de gran tamaño	Numerosos y de tamaño que justifica la reconstrucción
Ondulaciones(flecha)	< 20 mm	20 - 50 mm	>50 mm
Surcos longitudinales (profundidad)	< 50 mm	50 - 100 mm	>100 mm

**Fuente:** Identificación del nivel de deterioro según el número de fallas y su tamaño (INVIAS, 2016)

[file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Evaluaci%C3%B3n\\_condici%C3%B3n\\_actual\\_pavimento\\_Afirmados.pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Evaluaci%C3%B3n_condici%C3%B3n_actual_pavimento_Afirmados.pdf)

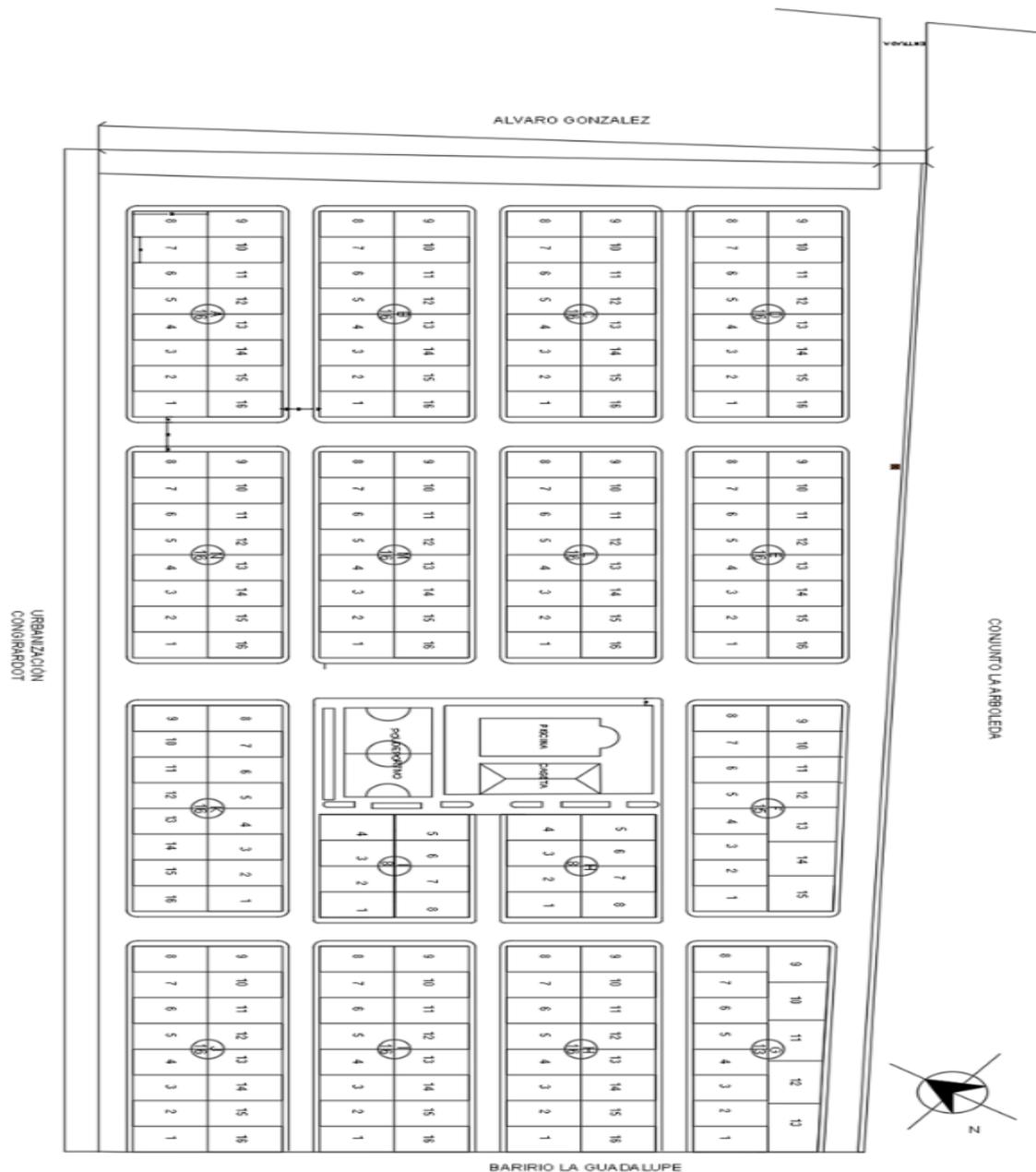
Después del análisis realizado en campo, se evidencio que se presentan más de 20 baches en una sección de 100 m, por lo tanto, es de NIVEL 3 y justifica la reconstrucción.

## Dimensiones de la vía

Según el estudio de campo y un levantamiento arquitectónico de la urbanización, el cual es de gran ayuda para determinar cómo se componen las vías, como lo son las principales y las conectoras, cada una presentando características diferentes.

### Ilustración 5.

#### Planos de la urbanización



Fuente: Planos arquitectónico en planta de la urbanización Vila Cecilia. (Arce, Katerine, Leidy, & Diana, 2021) junta del barrio villa Cecilia.

Las medidas recopiladas en campo son las siguientes:

**Tabla 3.**

**Dimensiones de las vías principales y colectoras**

EJE	TIPO DE VIA	LARGO (m)	ANCHO (m)	AREA (m2)
X	Conectora	60*3= 180	4	720
X	Conectora	60*3= 180	4	720
X	Conectora	60*2= 120	4	480
X	Conectora	31	4	124
X	Conectora	60*3= 180	4	720
X	Vía principal	270	6	1620
Y	Principal	116*3= 348	6	2088
Y	Principal	114	6	684
<b>TOTAL</b>		<b>1423</b>		<b>7156</b>

Fuente: Cuadro de cálculo de dimensiones y área de las vías. Elaboración propia

En resumen, del cuadro de dimensiones de las vías, se puede decir que:

- Las vías principales tienen un ancho de 6 metros
- Las vías conectoras tienen un ancho de 4 metros,
- Tomando el trayecto de cada vía, se tienen 1423 m lineales (k1+423)
- Área de 7156 m2.

## 8.2 AFORO VEHICULAR- TPD

Se realizo un registro del tránsito promedio diario (TPD) de la población a impactar, que corresponde a los vehículos que transitan por la vía, el aforo realizado entre las horas 6-8, 12-14 y de 16-18, arrojó un TPD de 91 vehículos.

### Conteo diario del transito

Tabla 4.

#### Aforo vehicular-TPD

	Automovil	Camion C3	Total
lunes	92	5	97
Martes	75	4	79
Miercoles	88	2	90
Jueves	83	4	87
Viernes	90	3	93
sabado	94	4	98
Domingo	79	0	79
<b>TOTAL</b>	<b>601</b>	<b>22</b>	<b>623</b>

Fuente: Aforo vehicular. Elaboración propia

Una vez realizado el aforo diario durante una semana, el transito promedio diario (TPD) es de 623 vehículos

### Calculo del tránsito promedio diario semanal

TPDi = 623 Vehículos

n= 7

$$TPDs := \frac{\sum TPD_i}{n}$$

$$TPDs = \frac{623}{7} = 89$$

### Calculo del error estándar del conteo diario

$$s := \sqrt{\frac{\sum (TPD_i - TPD_s)^2}{n - 1}} = 7.81$$

**Rango en el que se espera el TPDA**

Tabla 5.

*Valores del parámetro Zr*

**Tabla 2.6. Valores del parámetro Zr  
(Suponiendo una distribución normal)**

Confiabilidad	Zr
70%	0.524
75%	0.674
80%	0.842
85%	1.036
90%	1.282
95%	1.645
96%	1.751
97%	1.881
98%	2.055
99%	2.328

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2007)

Zc=1,282 nivel de confianza del 90%

N=365 Días

$$\begin{aligned}
 & \text{Rango inferior} && \text{Rango superior} \\
 R_{inf} := TPDs - Zc \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} = 85 & \geq TPDA \leq & R_{sup} := TPDs + Zc \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} = 93 \\
 R_{inf} = 85 & \geq TPDA \leq & R_{sup} = 93
 \end{aligned}$$

TPDA=93 vehículos

Realizado el aforo vehicular con su correspondiente corrección el rango en el que se espera el tránsito promedio diario es de 93 vehículos.

## Composición vehicular- Factor camión

Para determinar el factor camión se debe tener en cuenta el vehículo de diseño el cual es un C3 y le corresponde un factor de daño cargado de 3,72.

**Tabla 6.**

**Factor daño por tipo de vehículo**

Tipo de vehículo	Factor de daño (FD)	
	Vacio	Cargado
Autos		0.0
Bus grande		1.0
C2p	0.01	1.01
C2g	0.08	2.72
C3-C4	0.24	3.72
C5	0.25	4.88
> C5	0.26	5.23

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2007)

Autos=96%

Buses (B)=0%

Camiones (C)= 4%

Ci=100%

Factor de daño (Fi)=3,72

Fb=1

$$FC := \frac{B \cdot F_B + C \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^s (F_i \cdot C_i)}{100\%} \right)}{B + C} = 3.72$$

El valor del factor camión es de 3,72 en el cual se tuvo en cuenta el camión C3.

## Calculo del número de ejes equivalentes

TPDA=93

Vc= B+C=0,04

DD=0,5

Dc=1

Fc= 3,72

$$NESE_0 := TPDA \cdot Vc \cdot DD \cdot DC \cdot FC \cdot 365$$

$$NESE = 93 \cdot 0,04 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 3,72 \cdot 365 = 2526$$

El número de ejes equivalentes es de 2526.

## Calculo del número acumulado de ejes equivalentes (transito normal)

Al número de ejes equivalentes determinado se le debe realizar una proyección respecto al periodo de diseño el cual es de 10 años.

### Tabla 7.

#### Tasa promedio de crecimiento del transito

Nivel de tránsito	Tasa de crecimiento
T1	2.0
T2	3.0

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2007)

### Tabla 8.

#### Niveles de transito

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 kN durante el período de diseño en el carril de diseño
T1	< 150.000
T2	150.000 - 500.000

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2007)

NESE0= 2526

r=2%

n años= 10

$$NESE_{Acum} := NESE_0 \cdot \left( \frac{(1+r)^{n_{años}} - 1}{r} \right)$$

$$NESE_{acum} = 2526 * (((1 + 2\%)^{10} - 1)/(2\%)) = 27654$$

El número de ejes acumulados teniendo en cuenta el periodo de 10 años con una tasa de crecimiento del 25 es de 27654.

## Transito atraído

NESE Acum= 27654

Pta= 10%

T Atraído= NESE Acom \* Pta

$$T_{Atraido} = 27654 * 10 = 2765$$

El número de ejes del tránsito atraído teniendo en cuenta el porcentaje (Pta) de 10% es de 27654.

## Transito generado

El transito generado se determina teniendo en cuenta la clasificación del área del proyecto para la cual Girardot Cundinamarca es un área con potencial turístico, por lo tanto, el porcentaje de transito generado es de 3,5%.

### Tabla 9.

#### Porcentaje de transito generado como función del tránsito normal

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

Fuente: Elaboración propia con base en información del Instituto Nacional de Vías.

Fuente: Porcentaje de transito generado según el área del proyecto (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2007)

Porcentaje de tránsito generado (Ptg) = 3,5%

$$T_{Generado} := NESE_{Acum} \cdot Ptg = 968$$

$$T_{generado} = 27654 * 3,5 = 968$$

El transito generado es de 968 número de ejes equivalentes

## Transito generado durante la construcción del proyecto

El transito generado durante la construcción se debe tener en cuenta la cantidad de volquetas, el factor de daño y el número de días que durara ese proceso de la construcción en el cual los vehículos van a transitar por la vía.

$$C3 = 5$$

$$Fd = 3,42$$

$$Td = 182,5$$

$$T_{Construccion} := C3_{cc} \cdot Fd_{cc} \cdot Td = 3121$$

$$T_{Construccion} = 5 * 3,42 * 182,5 = 3120$$

El tránsito de construcción teniendo en cuenta el número de vehículos, factor camión y tiempo de la obra es de 3210 ejes equivalentes.

## Determinación del número de ejes equivalentes en el carril de diseño para el periodo de diseño

El número de ejes para el carril de diseño se debe tener en cuenta el número de ejes equivalentes con su correspondiente proyección a 10 años el cual es el periodo de diseño (NESEAcum), transito atraído (TAtraído), Transito generado (Tgenerado) y el tránsito de durante la construcción (Construcción); adicional a ello el valor de Zr teniendo en cuenta su confiabilidad el cual es de 85%.

$$Zr = 1,036$$

$$N_{80Ton} := (NESE_{Acum} + T_{Atraido} + T_{Generado} + T_{Construccion}) \cdot 10^{0,05 \cdot Zr} = 38879$$

$$NESE = (27654 + 2765 + 968 + 3120) * 10^{0,05 * 1,036} = 38879$$

El número de ejes determinado para el carril de Diseño es de 38879 número de ejes equivalente.

## 8.3 ESTUDIO DE SUELOS

### Realización de la calicata

Se llevo a cabo el procedimiento para realizar el estudio de suelos en la urbanización villa Cecilia, en primera medida se realizó la calicata con sus respectivas dimensiones las cuales son de 40cm x 40cm x 80cm (sin tener en cuenta la capa vegetal) para extraer el material de muestra, al cual se le realizara la debida caracterización; para ello se utilizaron palas y hoyadora.

#### *Ilustración 16.*

#### Calicata



Fuente: Realización de calicata para el estudio de suelos. Elaboración propia

Una vez obtenido el material se traslada al laboratorio, con el fin de conocer las propiedades físicas que el suelo presenta, tales como granulometría, límites (limite líquido y limite plástico), Proctor (humedad optima), y CBR; ya que estos datos son de gran importancia para realizar el diseño de pavimento flexible según el manual de diseño de pavimento flexible de bajos volúmenes de tránsito y el diseño de pavimento articulado.

## Ensayo de Granulometría:

Se mezcla el material para obtener el suelo homogéneo, para poder realizar adecuadamente el laboratorio de granulometría y conocer exactamente su composición.

### *Ilustración 17.*

#### Clasificación de la muestra.



Fuente: Preparación de la muestra para el laboratorio de granulometría. Elaboración propia

Una vez seleccionado el material se procede a lavar la muestra de manera adecuada para eliminar el mayor porcentaje posible de limos

### **Ilustración 18. Lavado de la muestra**

#### ***Lavado de la muestra***



Fuente: Preparación de la muestra para el laboratorio de granulometría. Elaboración propia

Lavado el material, se deja secar la muestra y se pesa para conocer la cantidad con la cual se va a trabajar.

El material se pasa por los tamices que recomienda la norma INV-123. Los cuales son: 3", 1-1/2", 3/4", 1/2", 3/8", No4, No8, No16, No30, No50, No100, No200, fondo.

**Ilustración 19.**

**Tamizado de la muestra**



Fuente: Tamizado de la muestra de suelo. Elaboración propia

Una vez realizado el tamizado correspondiente con el tiempo adecuado de manera circular a una velocidad determinada.

## Procedimiento de los cálculos

Tamizada la muestra se pesa cada material y se anota el el peso de cada material para determinar el peso retenido, el porcentaje retenido, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje de material que pasa con el fin de identificar si son gravas gruesas, gravas finas, arena media, arena fina y limos.

**Tabla 10. Datos de la granulometría**

### Datos de la granulometría

		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL					
		LAB, MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS BARRIOVILLA CECILIA					
		ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					
ELABORADO :							
VIA		19 #8-24					
PERFORACIÓN:		CALICATA N°		C3M1		N° LABORATORIO: 1	
MALLA	ARBERTURA (MM)	RETENIDO (g)	%RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% PASA	MATERIAL OBTENIDO	
3''	75	0	0	0	1	GRAVA GRUESA	GRAVA
1 1/2	37,5	140	5,35%	5,35%	94,65		
3/4	19	188	7,18%	12,53%	87,47		
1/2	12,5	103	3,93%	16,46%	83,54	GRAVA FINA	
3/8	9,5	113	4,32%	20,78%	79,22		
4	4,75	313	11,95%	32,73%	67,27		
8	2,36	303	11,57%	44,30%	55,70	ARENA MEDIA	ARENAS
16	1,1	195	7,45%	51,75%	48,25		
30	0,6	145	5,54%	57,29%	42,71		
50	0,3	120	4,58%	61,87%	38,13	ARENA FINA	
100	0,15	137	5,23%	67,10%	32,90		
200	0,075	125	4,77%	71,88%	28,12		
FONDO	0	736,43	28,12%	100,00%	0,00	LIMOS	
		<b>2618,43</b>	<b>100,00%</b>				

Fuente: recolección de datos y cálculo de granulometría. Elaboración propia.

Realizado el análisis del ensayo de granulometría se puede determinar que el suelo contiene: 44,3% de grava, 27,57% de arenas, 28,12% de finos

## Ensayo de Límites:

Preparación de la muestra: Se toma una muestra del suelo, se realiza el tamizado por el tamiz N° 40; una vez seleccionado el material se le aplica agua.

### *Ilustración 20.*

#### Preparación del material



Fuente: Preparación del material. Elaboración propia

Teniendo el material seleccionado y debidamente tamizado, se le aplica el agua con ayuda de un recipiente el cual, se le aplicara de manera pausada para no saturar el material del mismo y poder desarrollar el procedimiento, para determinar el limite liquido en la cacerola de casa grande y el limite plástico.

## Limite liquido

Se toma el material seleccionado y se mezcla con ayuda de la espátula hasta tener una consistencia plástica.

### Ilustración 21. Preparación de la muestra para el ensayo de limite liquido

#### Preparación de la muestra para el ensayo de limite liquido



Fuente: Preparación del material. Elaboración propia

Se mezcla el material y se le aplica agua de manera pausada para obtener la consistencia deseada.

Se pone en la cacerola de Casagrande y luego con ayuda del ranurador se pasa por la mitad creando una zanja o ranura.

**Ilustración 22.**

**Cacerola de Casagrande**



Fuente: Desarrollo del ensayo de limite liquido con ayuda de la cacerola de Casagrande con el número de golpes correspondiente hasta que cierre el material. Elaboración propia

Se mezcla de nuevo el suelo restante y se le agrega agua para que tengan mayor fluidez y entre el rango de 25–35; 20–30 y 15–25 golpes. Se pesan las muestras y se ponen a secar en el horno para poder determinar el limite líquido.

## Limite plástico

Una vez preparado el material y aplicada la cantidad de agua necesaria, se mezcla la muestra, se toma una porción de masa elipsoidal y se realizan los rollitos con el diámetro especificado por la norma el cual es 3,2 mm.

### *Ilustración 23.*

#### **Masa elipsoidal para los rollitos de limite plástico**



Fuente: Desarrollo del ensayo de limite plástico. Elaboración propia

Realizado el procedimiento se toma la muestra y se pone dentro del horno a 110 °C hasta que esta seca durante 24 horas, se pesa nuevamente y se realizan los cálculos correspondientes.

Para el ensayo de límites del suelo estudiado, arrojó como resultado que el limite liquido es de 15,25%, limite plástico es de 14,79% dando como resultado un índice de plasticidad del 0,46%; ubicando el índice de plasticidad con el limite plástico, indica que es un A 2-4, el cual es un suelo de baja cohesión, limos de baja plasticidad.

**Tabla 11. Cálculos de límites**

**Cálculos de límites**

<b>límite</b>				
				<b>% Humedad</b>
<b>LI</b>	<b>Wm</b>	<b>Ws</b>	<b>Ww</b>	<b>0</b>
<b>Muestra 1</b>	42,2	38,93	3,27	8,400
<b>Muestra 2</b>	42,2	35,91	6,29	17,516
<b>Muestra 3</b>	42,2	35,2	7	19,886
				<b>15,267</b>
<b>Muestra -LP</b>	44	38,33	5,67	<b>14,793</b>
<b>IP</b>				<b>0,475</b>

Fuente: Desarrollo del ensayo de límite plástico. Elaboración propia

Determinación del límite líquido el cual es de 15,26 el límite plástico es de 14,79 Y el índice de plasticidad es de 0,47

### Ensayo de Proctor:

Se toma la muestra de suelo, se realiza el correspondiente tamizado según la norma INV-142, en el cual se implementó el método C para realizar una debida selección del mismo, la muestra que se toma es la que pasa por el tamiz  $\frac{3}{4}$  y queda retenido en N°40.

### Ilustración 24.

#### Material para ensayo Proctor



Fuente: Preparación y tamizado del material para el ensayo de Proctor para determinar la humedad óptima. Elaboración propia

Preparada la muestra, se le aplica el agua en la bandeja según cada medida correspondiente para obtener la humedad optima, también se alistan los moldes y el martillo para llevar a cabo el procedimiento correspondiente, ya con la muestra pesada se divide en 5 partes iguales,

***Ilustración 25.***

**Procedimiento Proctor**



Fuente: Preparación del material con diferente humedad. Elaboración propia

Lo recomendado es tener las 5 partes de manera proporcional para así tener una compactación más adecuada.

Preparado el material, se agrega en el molde y se realiza la compactación de la muestra según la norma del método C, que nos indica que se deben realizar 56 golpes por cada capa de suelo en el molde.

***Ilustración 26. Compactación de 56 golpes por capa***

**Compactación de 56 golpes por capa**



Fuente: Preparación de la muestra y desarrollo del laboratorio. Elaboración propia

Se toma una muestra de cada cilindro compactado, con la diferente cantidad de agua y se pesa; una vez pesado se pone en el horno y se vuelve a pesar estando seco el material para determinar la humedad óptima.

## Procedimiento de los cálculos

Una vez realizado el procedimiento se toman los datos del molde como lo son el peso del molde, altura interior, diámetro interior y volumen.

**Tabla 12. Datos del molde**

### Datos del molde

<b>Peso (g)</b>	6280
<b>Altura interior (cm)</b>	11,64
<b>Diámetro interior (cm)</b>	15,24
<b>Volumen interior (cm<sup>3</sup>)</b>	2123,31

Fuente: Datos del molde. Elaboración propia

Datos obtenidos de las tres muestras durante el procedimiento como lo son: peso de la muestra ( $W_m$ ), peso volumétrico ( $Y_m$ ), peso de la tara ( $W_t$ ), peso húmedo más el de la tara ( $W_{h+t}$ ), peso húmedo ( $W_h$ ), peso seco más la tara ( $W_{seco+t}$ ), peso del material seco ( $W$ ), porcentaje de agua ( $W\%$ ) y el peso volumétrico seco ( $y$  seco).

**Tabla 13. Datos y cálculos del ensayo Proctor**

### Datos y cálculos del ensayo Proctor

Muestra	$W_m$ (g)	$y_m$ (g/cm <sup>3</sup> )	$W_t$ (g)	$W_{h+t}$ (g)	$W_h$ (g)	$W_{seco+t}$ (g)	$W_{seco}$ (g)	$W$ (%)	$y$ seco
1	3897	1,84	12,6	93,2	80,6	91,21	78,61	3%	1,79
2	4622	2,18	12,17	72,49	60,32	67,55	55,38	8,920%	2,00
3	4620	2,18	12,81	77,74	64,93	71,66	58,85	10%	1,97

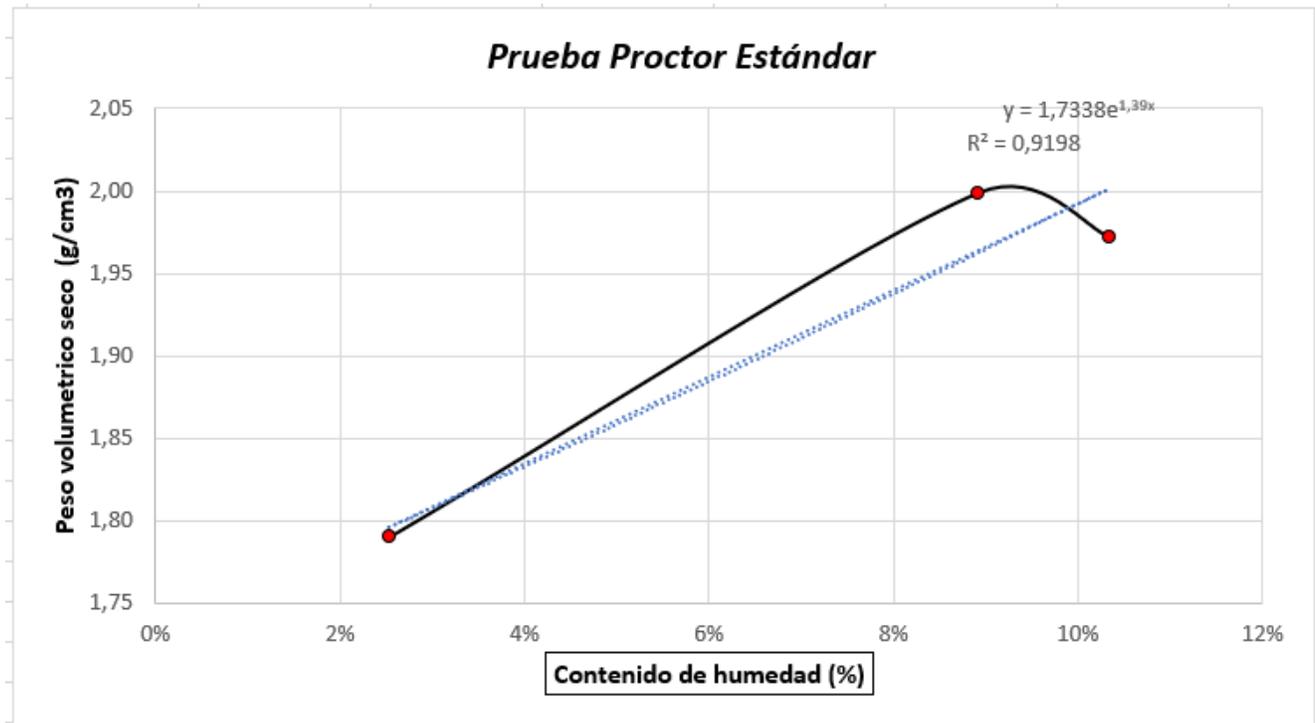
Fuente: Cálculos del ensayo Proctor. Elaboración propia

Porcentaje de agua es de 3%, 8.9% y 10% con un peso volumétrico de 1.79, 2 y 1.97 con estos datos se realiza la gráfica para conocer la humedad óptima.

Con los porcentajes de agua obtenidos y el peso volumétrico seco se realiza la gráfica para poder identificar la humedad óptima del suelo para su correspondiente compactación.

**Ilustración 27. Grafica del contenido de humedad y el peso volumétrico seco**

**Grafica del contenido de humedad y el peso volumétrico seco**



Fuente: Grafica para identificar la humedad óptima del suelo. Elaboración propia

El ensayo Proctor se puede evidenciar que la humedad óptima es de 9,2%, en el cual se obtendrá el máximo peso volumétrico; con una densidad máxima de 2,15 g/cm³

## Ensayo de CBR:

Para realizar el procedimiento del ensayo de CBR, primero se toma una muestra del suelo y se pasa por el tamiz  $\frac{3}{4}$ , el material seleccionado es de 6000g para cada cilindro.

### *Ilustración 28. Tamizado de la muestra para CBR*

#### Tamizado de la muestra para CBR



Fuente: Tamizado de la muestra. Elaboración propia

Conociendo la humedad óptima la cual es de 9%, por lo tanto, se debe aplicar 540 ml de agua.

Conociendo la humedad óptima, se le aplica al material previamente seleccionado el agua, se mezcla homogéneamente para así poder llenar los moldes y aplicar el procedimiento correspondiente.

***Ilustración 29. Preparación del material con la humedad óptima***

**Preparación del material con la humedad óptima**



Fuente: Preparación de la muestra para llevar a cabo el ensayo de CBR. Elaboración propia

Se procede a compactar cada cilindro en 5 capas, con su respectivo número de golpes por molde los cuales son: 10, 25 y 56 por cada capa.

**Ilustración 30.**

**Procedimiento ensayo CBR**

10 golpes por capa

25 golpes por capa

56 golpes por capa



Fuente: Procedimiento del ensayo CBR. Elaboración propia

Una vez compactada cada muestra, se ponen los moldes en agua; pasado el tiempo correspondiente se pone cada molde en la máquina para el ensayo CBR y se le aplica la carga arrojada en kilo newton, las principales deformaciones en pulgadas son 0,1 y 0,2

**Ilustración 31.**

**Ensayo CBR**



Fuente: Aplicación de esfuerzo a la muestra para conocer el CBR. Elaboración propia

## Procedimiento de los cálculos

Recopilación de los datos, tales como peso de la muestra diámetro del molde, volumen del molde.

**Tabla 14.**

### Datos del ensayo CBR

<b>Peso de la muestra</b>	6 kg		
<b>Diámetro del molde</b>	6 in	0,1524 m	
<b>Altura del molde</b>	5 in	0,127 m	
<b>Volumen del molde</b>	0,002316667		
<b>Área piston</b>	3,141592654		
<b>Molde N°</b>	1	2	3
<b>N° capas</b>	5	5	5
<b>N° de golpes/capas</b>	10	25	56
<b>Condiciones de la muestra (%)</b>	9	9	9
<b>peso suelo humedo + molde (kg)</b>	12,385 kg	12,486 kg	12,598 kg
<b>Peso del molde (kg)</b>	7,728 kg	7,709 kg	7,691 kg
<b>peso del suelo humedo (kg)</b>	4,657 kg	4,777 kg	4,907 kg
<b>Volumen del suelo (m3)</b>	0,002316667	0,002316667	0,002316667
<b>densidad humeda (kg/m3)</b>	2010,21589	2062,014453	2118,12956
<b>Humedad (%)</b>	9	9	9
<b>densidad seca (kg/m3)</b>	1844,234761	1891,756379	1943,23813
<b>CBR</b>	7,4	8,9	12,6

Fuente: Datos generales recopilados. Elaboración propia

**Tabla 15.**

### Datos obtenidos del ensayo durante el procedimiento de penetración de carga

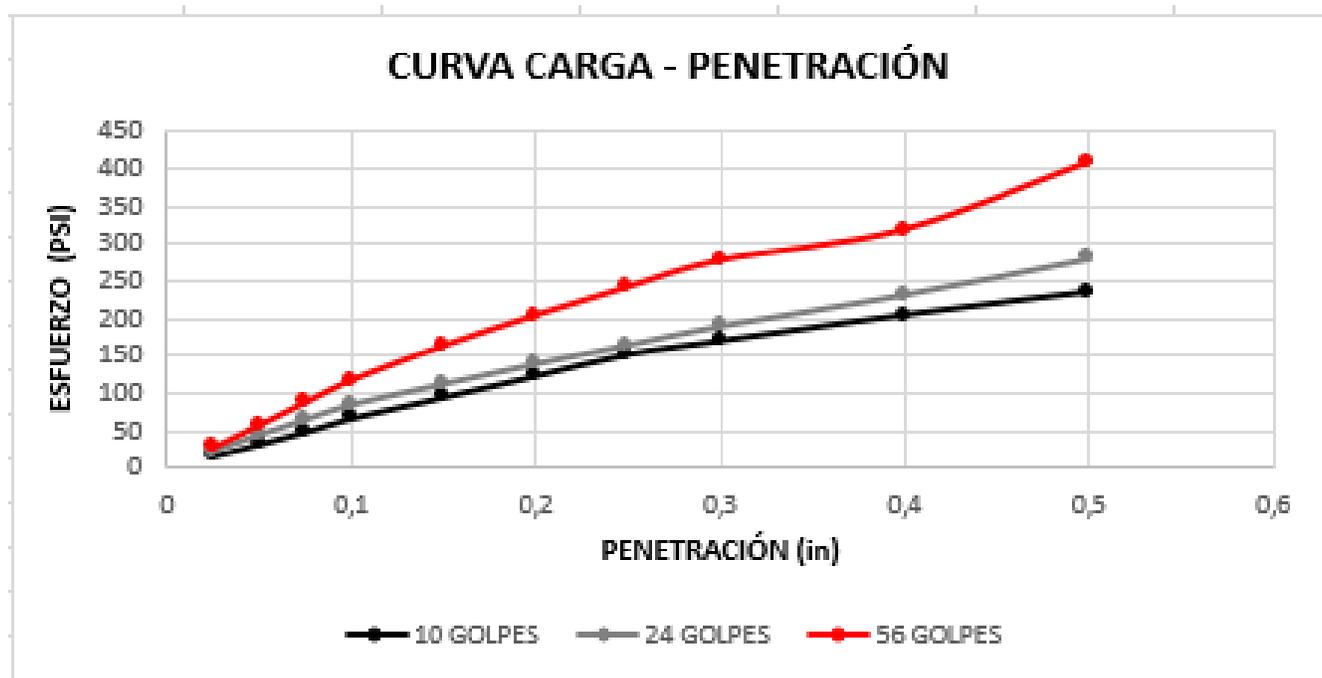
CBR						
Penetracion en pulgadas	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
	Carga de prueba		Carga de prueba		Carga de prueba	
	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2	Lectura	Lb/in2
0,025	51,7060569	16,4585491	71,7140528	22,827292	85,4273984	27,1923855
0,05	101,164024	32,2015091	138,2575	44,0087291	178,72311	56,8893327
0,075	152,870081	48,6600582	203,676902	64,8323716	274,716528	87,4449869
0,1	209,072317	66,5497855	265,274553	84,4395127	366,888195	116,78414
0,15	296,747805	94,45776	352,950041	112,347487	512,56439	163,154313
0,2	385,547337	122,723529	437,253394	139,182078	640,705488	203,942891
0,25	475,470915	151,347093	517,060569	164,585491	758,730183	241,511318
0,3	532,797195	169,594615	595,743699	189,631109	870,01061	276,932978
0,4	640,930297	204,01445	728,380976	231,850865	1000,3998	318,437145
0,5	736,923715	234,570104	879,227776	279,866893	1281,41098	407,885782

Fuente: Datos recopilados de la carga aplicada. Elaboración propia

En la siguiente grafica da a evidenciar las características mecánicas del suelo a unas compactaciones determinadas por la norma, a su mayor grado de compactación mayor esfuerzo se debe aplicar para deformarse, donde el esfuerzo se mide en libas sobre pulgadas cuadradas y la deformación en pulgadas.

**Ilustración 32.**

**Grafica de penetración vs esfuerzo**



Fuente: Grafica de penetración según el esfuerzo. Elaboración propia

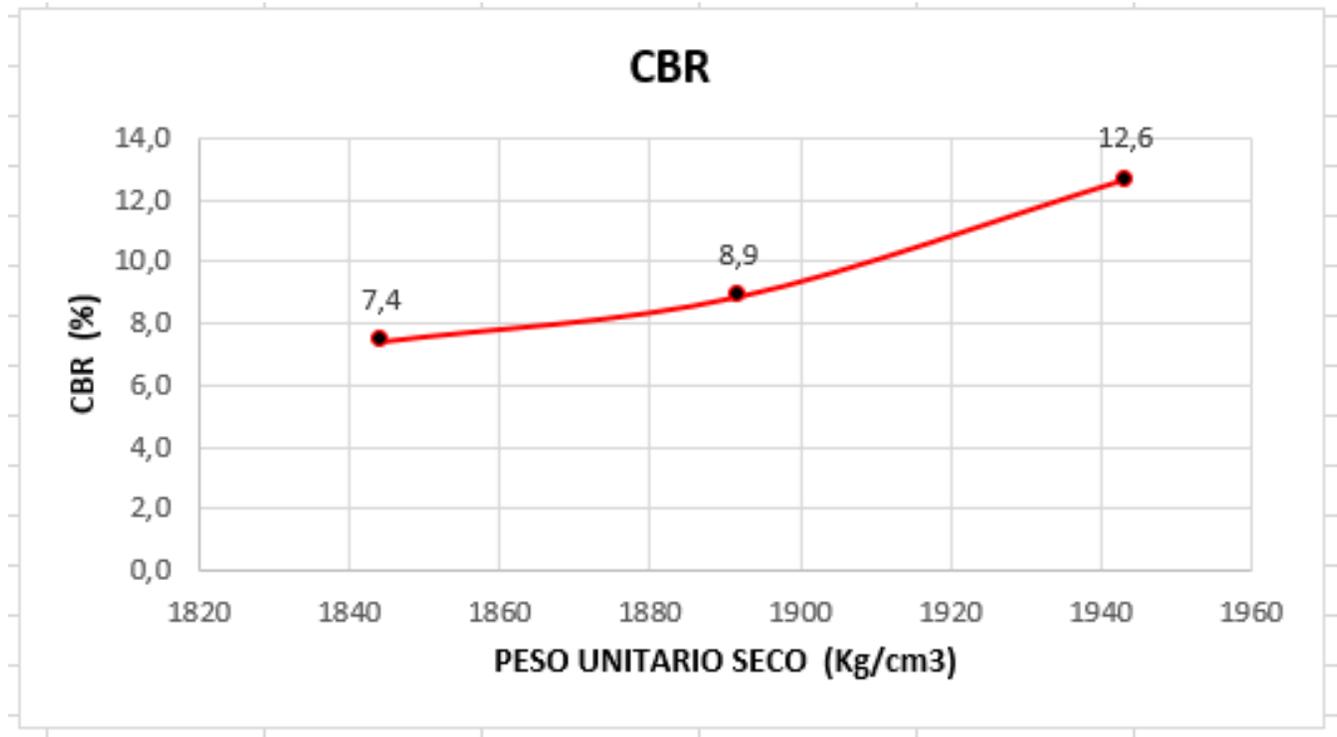
**Tabla 16.**

**Datos seleccionados de 0,1 y 0,2 in para determinación de CBR**

Penetración in	Carga Estándar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		Lb/in	%	Lb/in	%	Lb/in	%
0,1	1	66,5	6,7	84,4	8,4	116,8	11,7
0,2	1,5	122,7	8,2	139,2	9,3	203,9	13,6
<b>Promedio</b>			7,4		8,9		12,6

**Ilustración 33.**

**Grafica de peso unitario seco vs CBR**



Fuente: Grafica de peso unitario seco, según el % de CBR. Elaboración propia

Para el ensayo de CBR, en cuanto a su deformación en 0,1 y 0,2 pulgadas se tiene que: el molde 1 (10 golpes): 7,4%, el molde 2 (25 golpes): 8,9% y el molde 3 (56 golpes): 12,6%.

## Resultados del estudio de suelos

En la siguiente tabla se tienen los resultados de los laboratorios realizados como lo son: La clasificación de los suelos, según la granulometría realizada; límites de Atterberg con ayuda de la cacerola de Casagrande, Proctor modificado y CBR, los laboratorios se encuentran en los anexos.

**Tabla 17.**

### Resultados del estudio de suelos

UBIACION	CLASIFICACION SEGÚN LÍMITES	CLASIFICACION AASHTO	LL	LP	IP	PROCTOR	CBR
	<ul style="list-style-type: none"><li>• A 2-4</li><li>• Suelo de baja cohesión</li><li>• Limos de baja plasticidad</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• GRUPO: GC-GM</li><li>• Grava limos arcillosa con arena</li></ul>	15,25	14,79	0,46%	9,2%	12,6%

Fuente: Resultados de los laboratorios realizados. Elaboración propia

Con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, se puede llevar a cabo el diseño correspondiente del pavimento flexible mediante el método de diseño de pavimento flexible de bajos volúmenes de tránsito y el diseño de pavimento articulado.

## CLIMA Y PRECIPITACION

Un dato importante para el diseño es el clima y la precipitación es por eso que se indaga en climate data para conocer estos datos.

El clima aquí es tropical; es una gran cantidad de lluvia en Girardot, incluso en el mes más seco, utilizando la clasificación de Köppen-Geiger, se identifica que el clima predominante en esta zona está catalogado como Af La temperatura aquí es en promedio 24,8 °C en un año, la precipitación es 4493 mm (Data, Climate, 2023).

## 8.4 DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS

### DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Elaboración del diseño de la estructura del pavimento flexible teniendo en cuenta las incógnitas de diseño como lo son: el tránsito, la serviciabilidad, pérdida del índice de serviciabilidad, confiabilidad, desviación estándar, modulo resiliente y coeficiente estructural.

### INCÓGNITAS DE DISEÑO AASHTO

#### Transito

El transito obtenido anteriormente o número de ejes equivalentes es NESE= 38879

#### Serviciabilidad

Para determinar la serviciabilidad de diseño se debe tener en cuenta la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final para así poder determinar la pérdida del mismo.

**Tabla 18.**

#### Índice de serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad ( <i>p</i> )	Calificación	Tipo de vía	Serviciabilidad final
0 - 1.	Muy mala	Autopista	2.5 - 3.0
1 - 2.	Mala	Carreteras	2.0 - 2.5
2 - 3.	Regular	<b>Zonas industriales</b>	
3 - 4.	Buena	Pavimento urbano industrial	1.5 - 2.0
4 - 5.	Muy buena	Pavimento urbano secundario	1.5 - 2.0

Fuente: índice de serviciabilidad según el tipo de vía (Mendez, 2020)

Servicio inicial (*P<sub>o</sub>*) = 4,2 para pavimentos flexibles

Servicio final (*P<sub>t</sub>*) = 2,5 para vías

#### Perdida o disminución del índice

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

*PSI* = Índice de servicio presente

$\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y el final deseado.

*p<sub>o</sub>* = Índice de servicio inicial

*p<sub>t</sub>* = Índice de servicio final <sup>11</sup>

$$PSI = 4,2 - 2,5 = 1,7$$

La Perdida de serviciabilidad= 1,7

## Confiabilidad

Otra de las incógnitas es la confiabilidad, para ello se debe tener en cuenta la Clasificación de las Vías, la cual para este diseño es: Vías colectoras urbanas

**Tabla 19.**

### **Nivel de confiabilidad**

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad $R$ (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 – 99.9	80.0 – 99.9
Arterias principales	80.0 – 99.9	75.0 – 95.0
Colectoras	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

Fuente: Nivel de confiabilidad según el tipo de carretera (Mendez, 2020)

Una vez determinado la clasificación de las vías y su nivel de confiabilidad, el cual es del 90% se identifica el valor de  $Z_r$

**Tabla 20.**

### **Confiabilidad $Z_r$**

Confiabilidad	$Z_r$
70%	0.524
75%	0.674
80%	0.842
85%	1.036
90%	1.282
95%	1.645
96%	1.751
97%	1.881
98%	2.055
99%	2.328

Fuente: (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2007)

Para una confiabilidad del 90% el valor que le corresponde para  $Z_r$  es 1,282.

## Desviación estándar (So)

La desviación estándar se define según el tipo de proyecto, para el diseño es una construcción nueva y es un pavimento flexible.

**Tabla 21.**

**Desviación estándar según proyecto de pavimento y tipo de pavimento**

Proyecto de pavimento	S <sub>0</sub>	
	Flexible	Rígido
	0.40 – 0.50	0.30 – 0.40
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

Fuente: Desviación estándar (Mendez, 2020)

El valor de la desviación estándar (So) es de 0,44

## Modulo resiliente - subrasante

El módulo resiliente para la subrasante se determina conociendo el valor del CBR el cual es de 12,6 %

$$M_r = 2555 \times (CBR)^{0.64} \quad (6)$$

donde:

$M_r$  : Valor del Módulo Resiliente, en libras por pulgada cuadrada (PSI)

$CBR$  : en porcentaje

$$\text{Subrasante} = 2555 * CBR ^ 0,64$$

$$\text{Subrasante} = 2555 * 12,6 ^ 0,64 = \mathbf{12930 \text{ PSI}}$$

Una vez desarrollado la fórmula para calcular el valor del módulo resiliente de la subrasante, arroja un valor de 12930 PSI.

## Modulo resiliente y coeficiente estructural - Asfalto

Para poder determinar o calcular el módulo resiliente del asfalto y el coeficiente estructural correspondiente se deben conocer primero unas incógnitas como lo son la frecuencia y la temperatura del pavimento.

### Determinación de la Frecuencia

La fórmula de la frecuencia necesita valores como la velocidad de diseño en este caso se determinará una velocidad de 40 Km.

$$f = \frac{v}{2\pi}$$
$$f = \frac{40}{2 * 3,1416} = 4,78 \text{ Hz} = 5 \text{ Hz}$$

La frecuencia calculada según la velocidad de 40 km es de 5Hz

### Temperatura

En cuanto a la temperatura del pavimento se debe tener en cuenta la temperatura promedio de la zona en este caso de Girardot el cual es de 24,8 °C Y el espesor mínimo del pavimento (hs) en este caso se tomó un valor de 25,4 mm.

$$T_s = (-0.0093 \cdot T_a^2 + 1.569 \cdot T_a - 1.578)(-0.084 \cdot \ln h_s + 1.55)$$

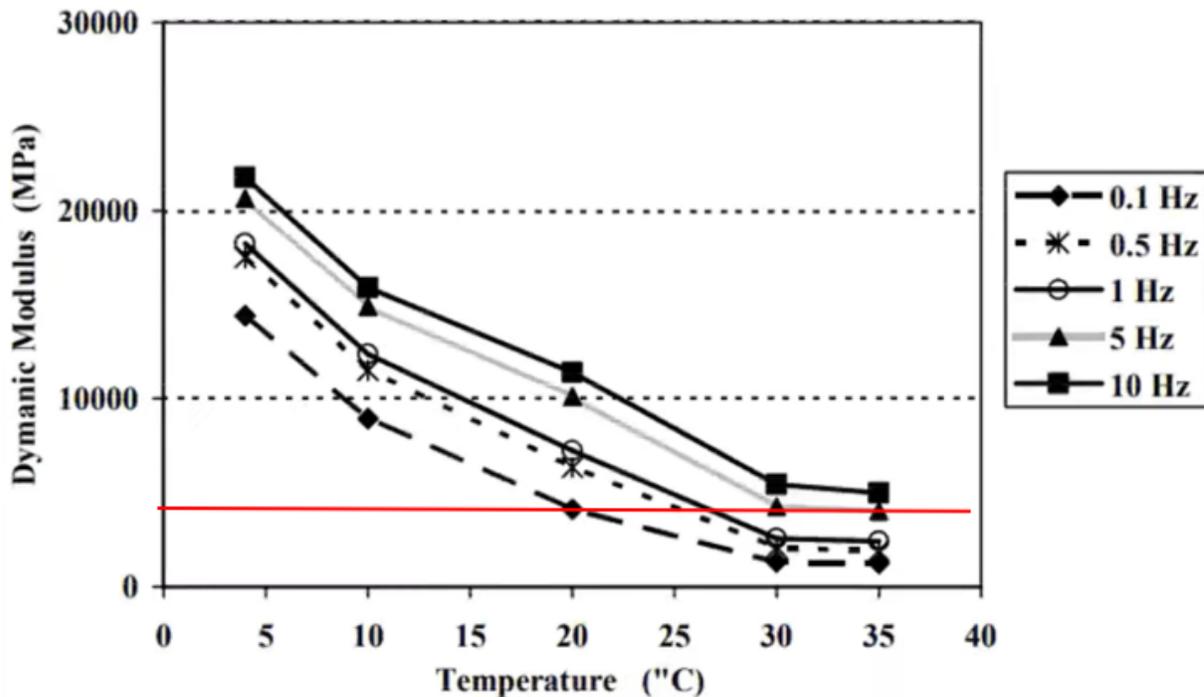
$$T_s = (-0,0093*(24,8^2) + 1,569*24,8 - 1,578) (-0,084*\ln (25,4) + 1,55) = 40.4$$

Desarrollada la formula se tiene que la temperatura del pavimento es de 40 °C

Determinadas las incógnitas de frecuencia: 5 HZ y la temperatura de 40°C; con ayuda de la gráfica se puede determinar el Módulo resiliente (Mr) y el coeficiente estructuras (ai).

**Ilustración 34.**

**Modulo resiliente del asfalto según la frecuencia de carga y su temperatura**



Fuente: Modulo resiliente del asfalto (Mendez, 2020)

Trazada la línea según los datos encontrados se puede determinar que el módulo resiliente (Mr) es de 3102 Mpa (450000 PSI).

**Coeficiente estructural**

Para determinar el coeficiente estructural se debe conocer el Módulo resiliente calculado anteriormente el cual es de 450000 PSI Y desarrollar la siguiente formula.

$$a_i = 0.184 \cdot \ln(450000) - 1.9547 = 0.44$$

$$a_i = 0,44$$

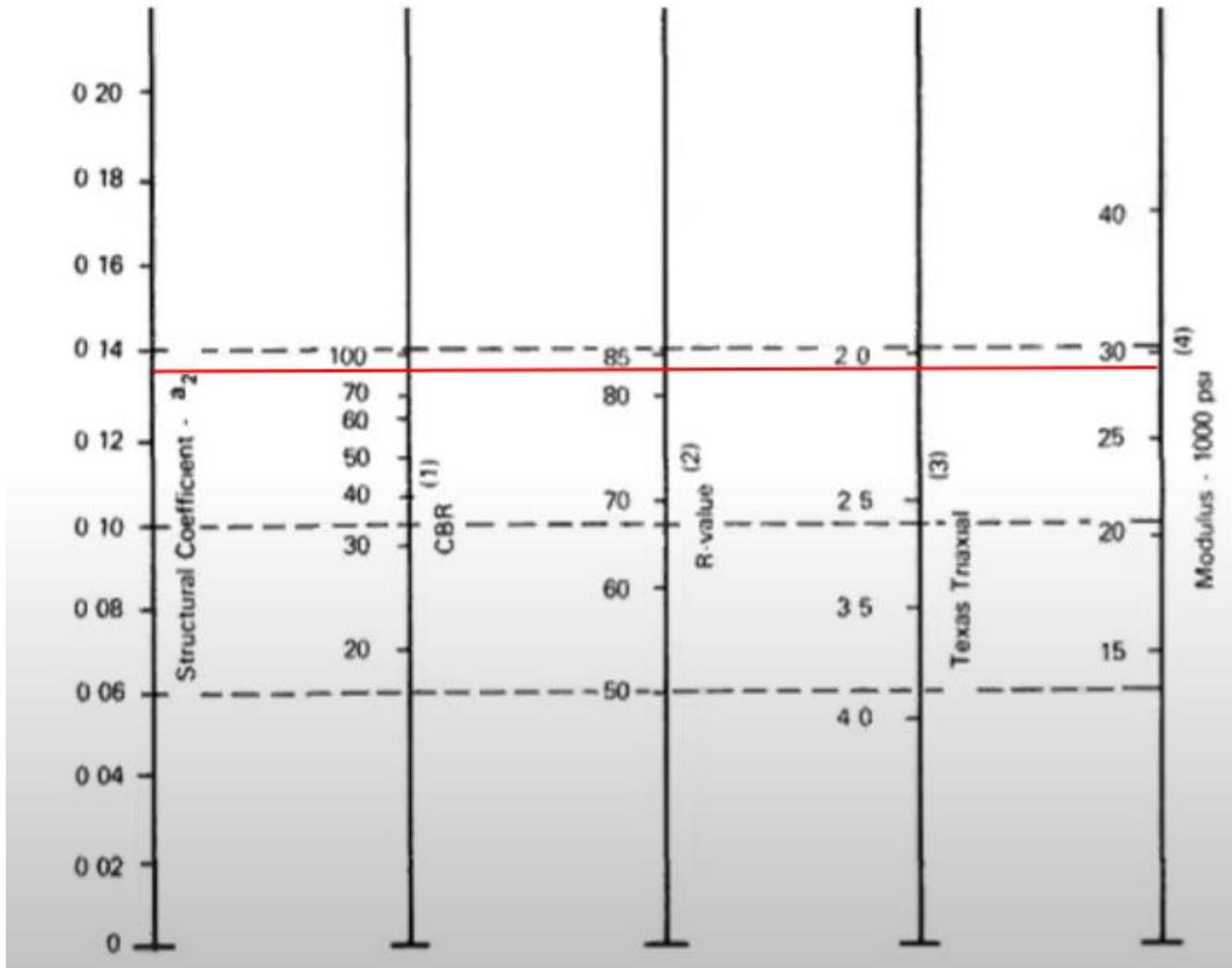
Una vez desarrollada la formula se calculó que el coeficiente estructural (ai) es de 0,44

## Modulo resiliente y coeficiente estructural - Base granular

Para poder determinar o calcular el módulo resiliente la base granular y el coeficiente estructural correspondiente, se deben conocer primero unas incógnitas como lo son el nivel de transito el cual es de clase C y el valor del CBR según la norma de invias 0330 la cual indica que es de 80% mínimo.

### Ilustración 35.

#### Nomograma para identificar el coeficiente estructural de la base granular



Fuente: Nomograma para determinar el coeficiente estructural de la base granular (Mendez, 2020)

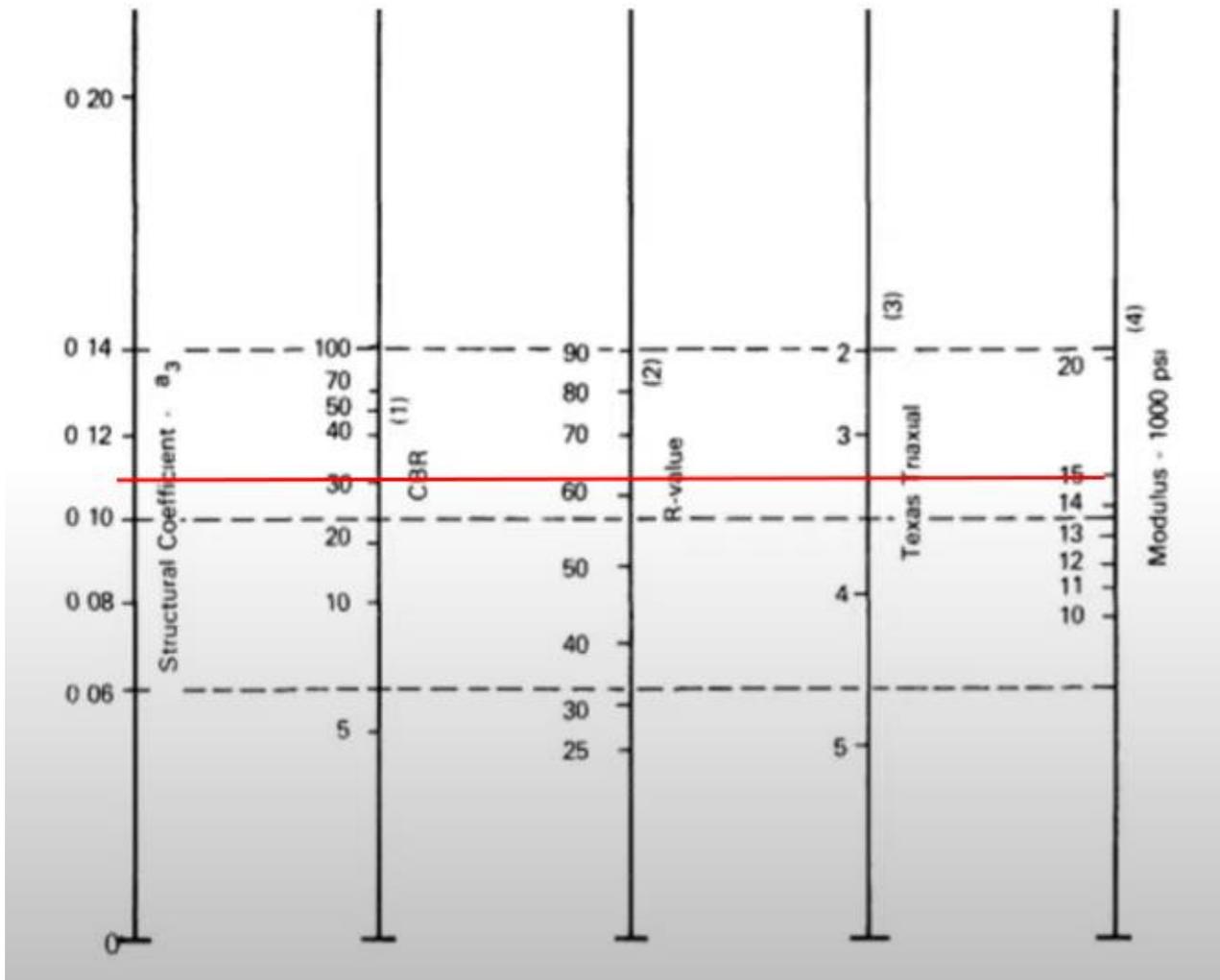
Una vez trazada la línea según el CBR mínimo que es del 80% se pudo determinar que el módulo resiliente ( $M_r$ ) es de 28000 PSI; también se identificó que un valor de coeficiente estructural de 0,13.

## Modulo resiliente y coeficiente estructural – subbase granular

Para poder determinar o calcular el módulo resiliente la subbase granular y el coeficiente estructural correspondiente, se deben conocer primero unas incógnitas como lo son el nivel de transito el cual es de clase C y el valor del CBR según la norma de invias 0330 la cual indica que es de 30% mínimo.

### Ilustración 36.

#### Nomograma para el cálculo del coeficiente estructural de la subbase granular



Fuente: Fuente: Nomograma para determinar el coeficiente estructural de la sub-base granular (Mendez, 2020)

Una vez trazada la línea según el CBR mínimo que es del 30% se pudo determinar que el módulo resiliente ( $M_r$ ) es de 15000 PSI; también se identificó que un valor de coeficiente estructural de 0,11.

## Coeficientes estructurales (ai)

La siguiente tabla es una guía para determinar el coeficiente estructural según el tipo de capa que se implementara en el diseño y según el clima.

**Tabla 22.**

### Coeficientes estructurales (ai)

Tipo de capa		Clasificación climática por temperatura	$a_i$
Descripción de la Capa	Nomenclatura		
Mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2	MDC-2	Frío	0.44
		Templado	0.41
		Cálido	0.37
Mezcla asfáltica densa en frío tipo 2	MDF-2	Frío	0.40
		Templado	0.37
		Cálido	0.34
Suelo estabilizado con emulsión asfáltica	BEE-3	Todas las categorías	0.14
Suelo estabilizado con cemento Portland	BEC	Todas las categorías	0.14
Base granular	BG	Todas las categorías	0.14
Subbase granular	SBG	Todas las categorías	0.12
Afirmado que cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-1	Todas las categorías	0.08
Afirmado que no cumple la especificación INV. Artículo 311	AFR-2	Todas las categorías	0.06

Fuentes: (MINISTERIO DE TRANSPORTE, 2007)

Corroborando lo calculado anteriormente con los nomogramas se pudo concluir que se tomaron valores similares como lo son el de la carpeta asfáltica y el de la subbase granular.

Los coeficientes estructurales identificados son los siguientes: Carpeta asfáltica es de 0,44 Base granular es de 0,11 y para la Subbase granular es de 0,12.

## DRENAJE

El valor de  $m$  depende de los días de lluvia que se presentan en el año, el cual es mayor al 25% y se tomó una calidad de drenaje regular.

**Tabla 23.**

*Drenaje*

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en que la nueva estructura de pavimentos está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	Menos de 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
Deficiente	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

Fuente:

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16959/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE.pdf?sequence=1>

$m_i = 0,8$

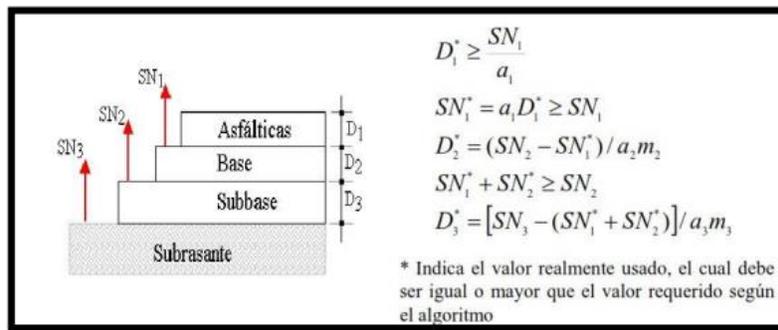
## NUMERO ESTRUCTURAL

La fórmula para calcular el valor del número estructural (SN) requiere de las incógnitas halladas anteriormente.

$$\log N_{80\&N} = Z_r \times S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \left[ \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32 \log M_r - 8.07$$

### Ilustración 37.

#### Estructura



Fuente: Grafica de la estructura (Aristizabal M., Hoyos, Gil, Gomez, & Gomez, 2014)

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16959/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE.pdf?sequence=1>

## DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO)

### CALCULO DEL MODULO ESTRUCTURAL

Las Incógnitas determinadas anteriormente son las siguientes:

Tabla 24.

Datos para determinar el valor de SN

Estructura	Desviación estándar (So)	Servicibilidad (PSI)	CONFIABILIDAD	Mr	W18
Asfalto	0,44	1,7	90%	450000	38879
Base	0,44	1,7	90%	28000	38879
Subbase	0,44	1,7	90%	15000	38879
subrasante	0,44	1,7	90%	12930	38879

Fuente: Elaboración propia

## Calculo del módulo estructural SN1

Para hallar el valor del módulo estructural (SN1) el cual corresponde al de la capa asfáltica, se debe tener en cuenta el módulo resiliente (Mr) de la base granular el cual es de 28000 PSI, quiere decir que para calcular el SN1 se debe colocar el valor del Mr de la capa que lo va soportar en este caso la base.

CAPA ASFALTICA-SN1= 1,16

### Tabla 25.

#### Calculo del Valor de SN1

So	<input type="text" value="0,44"/>	$\Delta$ PSI:	<input type="text" value="1,7"/>
Confiabilidad:	<input type="text" value="90%"/> ▼	Mr (lb/pulg <sup>2</sup> ):	<input type="text" value="28000"/>
Zr:	<input type="text" value="-1,282"/>	Calcular	<input type="button" value="Calcular"/>
W18:	<input type="text" value="38879"/>	SN:	<input type="text" value="1,16"/>

Fuente: (Olavarria)

<https://www.ingenieriaelemental.com/posts/es/numero-estructural-sn>

Ejecutado el programa con los datos correspondientes se puede obtener que el valor del Módulo estructural (SN1) que corresponde a la carpeta asfáltica es de 1,16 pulg

## Calculo del módulo estructural SN2

Para hallar el valor del módulo estructural (SN2) el cual corresponde al de la base granular, se debe tener en cuenta el módulo resiliente (Mr) de la sub-base granular el cual es de 15000 PSI, quiere decir que para calcular el SN2 se debe colocar el valor del Mr de la capa que lo va soportar en este caso la subbase.

BASE GRANULAR-SN2=1,52

**Tabla 26.**

### Calculo del Valor de SN2

So	<input type="text" value="0,44"/>	$\Delta$ PSI:	<input type="text" value="1,7"/>
Confiabilidad:	<input type="text" value="90%"/> ▼	Mr (lb/pulg2):	<input type="text" value="15000"/>
Zr:	<input type="text" value="-1,282"/>	Calcular	<input type="button" value="Calcular"/>
W18:	<input type="text" value="38879"/>	SN:	<input type="text" value="1,52"/>

Fuente: (Olavarria)

<https://www.ingenieriaelemental.com/posts/es/numero-estructural-sn>

Ejecutado el programa con los datos correspondientes se puede obtener que el valor del Módulo estructural (SN2) que corresponde al de la base granular es de 1,16 pulg

### Calculo del módulo estructural SN3

Para hallar el valor del módulo estructural (SN3) el cual corresponde al de la sub-base granular, se debe tener en cuenta el módulo resiliente (Mr) de la subrasante el cual es de 12930 PSI, quiere decir que para calcular el SN3 se debe colocar el valor del Mr de la capa que lo va soportar en este caso la subrasante.

SUBBASE GRANULAR-SN3=1,62

**Tabla 27.**

#### Cálculo del Valor de SN3

So	<input type="text" value="0,44"/>	$\Delta$ PSI:	<input type="text" value="1,7"/>
Confiabilidad:	<input type="text" value="90%"/>	Mr (lb/pulg <sup>2</sup> ):	<input type="text" value="12930"/>
Zr:	<input type="text" value="-1,282"/>	Calcular	<input type="button" value="Calcular"/>
W18:	<input type="text" value="38879"/>	SN:	<input type="text" value="1,62"/>

Fuente: (Olavarria)

<https://www.ingenieriaelemental.com/posts/es/numero-estructural-sn>

Ejecutado el programa con los datos correspondientes se puede obtener que el valor del Módulo estructural (SN3) que corresponde al de la subbase granular es de 1,16 pulg

## CALCULO DE LA ESTRUCTURA

Datos:

Tabla 28.

Datos para calcular las dimensiones de la estructura del pavimento

<b>ESTRUCTURA</b>	<b>A (pulg)</b>	<b>SN</b>	<b>m</b>
<b>Carpeta asfáltica</b>	0,44	1,17	
<b>Base granular</b>	0,14	1,57	0,8
<b>Subbase granular</b>	0,12	1,62	0,8
<b>Subrasante</b>			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29.

Espesores mínimos

<b>Trafico, ESAL's</b>	<b>Carpeta asfáltica(pul)</b>	<b>Base granular(pul)</b>
<b>menos de 50.000</b>	1,0 (o tratamiento superficial)	4
<b>50.000-150.000</b>	2	4
<b>150.001-500.000</b>	2,5	4
<b>500.001-2.000.000</b>	3	6
<b>2.000.001-7.000.000</b>	3,5	6
<b>más de 7.000.000</b>	4	6

Fuente: Espesores mínimos (Aristizabal M. , Hoyos, Gil, Gomez, & Gomez, 2014)

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16959/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE.pdf?sequence=1>

### Espesor de la Carpeta asfáltica

$$D1 = \frac{SN1}{a1}$$

$$D1 = \frac{1,17}{0,44} = 2,66 \text{ pulg} > 1 \text{ pulg}$$

Corrección

$$SN1 = a1 * D1$$

$$SN1 = 0,44 * 2,70 = 1,19$$

### Espesor de la base granular

$$D2 = \frac{SN2 - SN1}{a2 * m2}$$

$$D2 = \frac{1,52 - 1,19}{0,13 * 0,8} = 3,17 \text{ pulg} > 4 \text{ pulg}$$

Corrección

$$SN2 = D2 * a2 * m2$$

$$SN2 = 4 * 0,13 * 0,8 = 0,42$$

### Espesor de la subbase granular

$$D3 = \frac{SN3 - SN2}{a3 * m2}$$

$$D3 = \frac{1,62 - 0,42}{0,11 * 0,8} = 13,64 \text{ pulg} > 4 \text{ pulga}$$

Corrección

$$SN3 = D3 * a3 * m3$$

$$SN3 = 13,7 * 0,11 * 0,8 = 1,20$$

$$\sum SN = 1,19 + 0,42 + 1,20 = 2,81$$

**Comprobación**

$$\sum SN > SN3$$

$$2,81 > 1,20$$

### Diseño de pavimento flexible

Diseño de la estructura del pavimento flexible elaborado en Revit con sus correspondientes espesores.

**Ilustración 38.**

**Diseño del pavimento flexible**



Fuente: elaboración propia Revit

## DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ARTICULADO

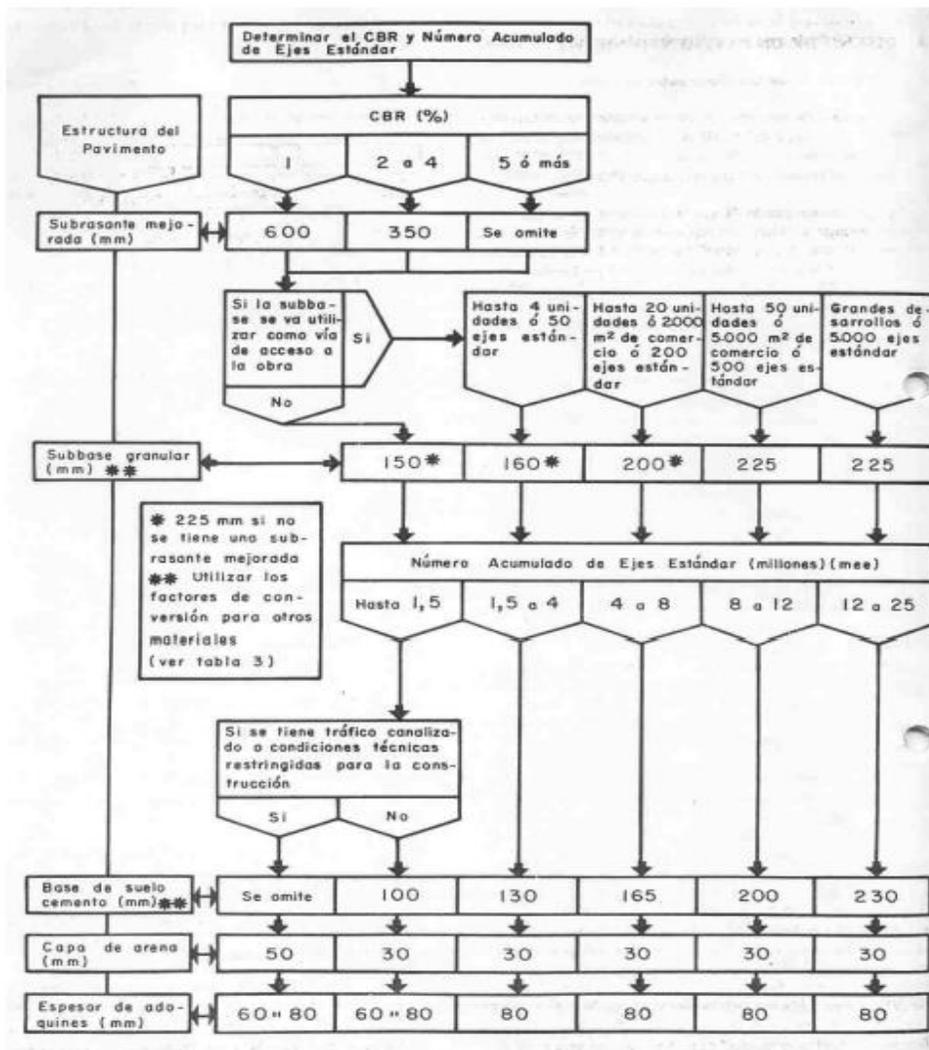
Se pretende implementar el diseño de la estructura del pavimento articulado, identificando el espesor de la subbase granular, base, capa de arena y el espesor de los adoquines.

### Datos:

- CBR: 12,6%
- NE: 38879
- La subbase va ser utilizada como acceso a la obra hasta 20 unidades o 2000 m<sup>2</sup> de comercio.
- No se espera tráfico canalizado

Tabla 30.

### Procedimiento de diseño de pavimento articulado



Fuente: Diseño de pavimento articulado según CBR y numero de ejes equivalentes.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6f011213-8675-4efb-be13-9a294063ecb5/content>

## Solución:

El CBR obtenido en el estudio de suelos es de 12.6% por lo tanto no necesita subrasante mejorada. Cabe resaltar que:

- Subbase granular: 225mm sino se tiene una subrasante mejorada

El número de ejes equivalentes es de 1533 y no se espera tráfico canalizado; por lo tanto, la estructura que se determinó según el procedimiento de diseño de un pavimento para vías (articulado), con ayuda de los datos ya obtenidos anteriormente como lo son el CBR y el número de ejes equivalente es:

- Espesor de adoquines: 60mm= 6cm
- Capa de arena: 30mm = 3cm
- Base de suelo cemento: 100mm= 10 cm
- Subbase: 225mm=22,5 cm

## Diseño de pavimento articulado

### Ilustración 39.

#### Diseño del pavimento articulado



Fuente: Diseño de la estructura del pavimento articulado elaborado en Revit. Elaboración propia

## 8.5 PRESUPUESTO DE LOS PAVIMENTOS

Según la estructura diseñada para cada pavimento, se implementa el presupuesto para el mismo.

### PAVIMENTO FLEXIBLE

En cuanto al pavimento flexible con una estructura de 5 cm de MDC, 15cm de base granular y 30 cm de subbase granular.

#### Ilustración 40.

#### Presupuesto pavimento Flexible

PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE						
ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	VR.UNITARI	VR.PARCIAL	VR.CAPITULOS
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>					
1.1	CAMPAMENTO 18 M2	UND	1	2.521.506	\$ 2.521.506	
1.2	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO DE CIMIENTOS CON ELEMENTOS DE PR	M2	7.156	\$ 12.564	\$ 89.907.984	
1.2	LETRINA DE 2.0x1.0	UND	2	\$ 1.129.954	\$ 2.259.908	
	<b>Costo total preliminares</b>					<b>\$ 94.689.398</b>
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES</b>					
2.1	EXCAVACIONES VARIAS SIN CLASIFICAR (INCLUYE RETIRO DE SOBRANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	3.721	\$ 25.581	\$ 95.189.971	
	<b>Costo total excavacion</b>					<b>\$ 95.189.971</b>
<b>3</b>	<b>ESTRUCTURA</b>					
3.1	MEZCLA DENSA EN CALIENTE TIPO MDC-10 (INCLUYE CEMENTO ASFÁ	M3	501	1.005.124	\$ 503.486.714	
3.2	RIEGO DE IMPRIMACIÓN	M2	7.156	\$ 5.479	\$ 39.207.724	
3.3	BASE GRANULAR	M3	716	\$ 116.569	\$ 83.416.776	
3.4	SUBBASE GRANULAR	M3	2.505	\$ 105.118	\$ 263.278.543	
	<b>Costo total estructura</b>					<b>\$ 889.389.757</b>
<b>4</b>	<b>SEÑALIZACION</b>					
4.1	LÍNEAS DE DEMARCACIÓN CON PINTURA EN FRÍO	ML	1423	\$ 4.933	\$ 7.019.659	
	<b>Costo total señalizacon</b>					<b>\$ 7.019.659</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS CONSTRUCCIÓN</b>						<b>\$ 1.086.288.785</b>
<b>COSTO TOTAL CONSTRUCCIÓN</b>						<b>\$ 1.086.288.785</b>
	ADMINISTRACION		5%			\$ 54.314.439
	IMPREVISTOS		4%			\$ 43.451.551
	UTILIDAD		4%			\$ 43.451.551
	IVA SOBRE UTILIDAD		19%			\$ 8.255.795
<b>TOTAL COSTO INDIRECTOS</b>						<b>\$ 149.473.337</b>
<b>TOTAL COSTOS DE LA OBRA</b>						<b>\$ 1.235.762.122</b>

Fuente: Presupuesto del pavimento flexible con su estructura correspondiente. Elaboración propia

Para el presupuesto del pavimento flexible, se tienen en cuenta ítem como preliminares el cual está compuesto de campamento, localización y replanteo, y baño portátil esto con un costo de \$ 94.689.398; en cuanto a la excavación de acuerdo a la estructura determinada tiene un costo de \$95.189.971; para la estructura diseñada, que está conformada por MDC, riego de imprimación, base granular y subbase granular tiene un costo de \$889.389.757; por último se tiene el ítem de señalización el cual tiene un costo de \$7.019.659; el total de costo directo es de \$1.086.288.785 , el total de costos indirectos es de \$149.473.337 todo esto para un total aproximado de la obra de **\$1.235.762.122**

## PAVIMENTO ARTICULADO

Teniendo en cuenta la estructura de pavimento diseñada se tiene que la estructura está compuesta de adoquín, arena de peña, base granular y subbase granular.

### Ilustración 41.

#### Presupuesto pavimento articulado

PRESUPUESTO PAVIMENTO ARTICULADO						
ITEM	ACTIVIDAD	UND	CANTIDAD	VR.UNITARIO	VR.PARCIAL	VR.CAPITULOS
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>					
1.1	CAMPAMENTO 18 M2	UND	1	2.521.506	\$ 2.521.506	
1.2	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO DE CIMIENTOS CON ELEMENT	M2	7.156	\$ 12.564	\$ 89.907.984	
1.2	LETRINA DE 2.0x1.0	UND	2	\$ 1.129.954	\$ 2.259.908	
	<b>Costo total preliminares</b>					<b>\$ 94.689.398</b>
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES</b>					
2.1	EXCAVACIONES VARIAS SIN CLASIFICAR (INCLUYE RETIRO DE SOBANTES A UNA DISTANCIA MENOR DE 5 KM)	M3	2.970	\$ 25.581	\$ 75.968.919	
	<b>Costo total excavacion</b>					<b>\$ 75.968.919</b>
<b>3</b>	<b>ESTRUCTURA</b>					
3.1	PAVIMENTO DE ADOQUINES DE CONCRETO	M2	7.156	\$ 81.172	\$ 580.866.832	
3.2	RELLENO TIPO 7 "ARENA DE PEÑA"	M3	215	\$ 80.646	\$ 17.313.083	
3.3	BASE GRANULAR	M3	716	\$ 116.569	\$ 83.416.776	
3.4	SUBBASE GRANULAR	M3	1.610	\$ 105.118	\$ 169.250.492	
	<b>Costo total estructura</b>					<b>\$ 850.847.183</b>
<b>4</b>	<b>SEÑALIZACION</b>					
4.1	LÍNEAS DE DEMARCACIÓN CON PINTURA EN FRÍO	ML	1423	\$ 4.933	\$ 7.019.659	
	<b>Costo total señalizacon</b>					<b>\$ 7.019.659</b>
	<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS CONSTRUCCIÓN</b>					<b>\$ 1.028.525.159</b>
	<b>COSTO TOTAL CONSTRUCCIÓN</b>					<b>\$ 1.028.525.159</b>
	ADMINISTRACION		5%			\$ 51.426.258
	IMPREVISTOS		4%			\$ 41.141.006
	UTILIDAD		4%			\$ 41.141.006
	IVA SOBRE UTILIDAD		19%			\$ 7.816.791
	<b>TOTAL COSTO INDIRECTOS</b>					<b>\$ 141.525.062</b>
	<b>TOTAL COSTOS DE LA OBRA</b>					<b>\$ 1.170.050.221</b>

Fuente: Presupuesto de pavimento articulado. Elaboración propia

Para el presupuesto del pavimento articulado, se tienen en cuenta ítem como preliminares el cual está compuesto de campamento, localización y replanteo, y baño portátil esto con un costo de \$94.689.398; en cuanto a la excavación de acuerdo a la estructura determinada tiene un costo de \$75.968.919; la estructura está compuesta por adoquines de concreto, arena de peña, base granular, subbase granular, con un costo de \$850.847.183; por último se tiene el ítem de señalización que tiene un costo de \$7.019.659; el total de costos directos es de \$1.028.525.159, el total de costos indirectos es de \$141.525.062, todo esto para un total de la obra de **\$1.170.050.221**

## **SUPERVISION TECNICA Y CONTROL DE CALIDAD**

Según la norma NRS10 del 2010 indica los procedimientos de control de calidad, los cuales son: control de planos, control de especificaciones, control de materiales, ensayos de calidad y control de ejecución.

### **Control de planos**

Revisión de los diseños cumpliendo con la estructura diseñada de cada alternativa de pavimento.

### **Control de Especificaciones técnicas**

Cumplimiento de lo estipulado en las especificaciones técnicas de cada material

### **Control de materiales**

Control en el recibo y acopio de los materiales correspondientes, como lo es el tema de la base y la subbase.

### **Control de calidad**

Cumplimiento de los debidos ensayos de laboratorio para determinar la calidad de los materiales:

#### **MEZCLA ASFALTICA NATURAL (MDC):**

Control de calidad según la norma invias en el artículo 422p del 2017, indica que:

Control de la Resistencia para mezclas asfálticas con adición de emulsión Asfáltica: Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada se moldearán probetas (tres por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en los ensayos de Inmersión-Compresión (normas de ensayo INV E-622-13), una muestra se curará en seco y otra en condición húmeda, tanto la resistencia media tras curado seco como tras curado húmedo de las probetas elaboradas, ( $R_m$ ), deberán superar o al menos igualar al noventa por ciento (90%) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (INVIAS, 2017).

Control de las características Marshall para mezclas asfálticas: naturales sin adición de emulsión Asfáltica Para la evaluación de las propiedades Marshall y con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se fabricarán las probetas con los mismos parámetros utilizados en el diseño a nivel de laboratorio (al menos tres por muestra) (INVIAS, 2017).

**Tabla 31.****Características técnicas de la mezcla asfáltica**

CARACTERÍSTICAS	Mínimo	Promedio	Máximo
Grado de curado			
% solvente evaporado			
Para mantenimiento		25	
Para pavimentación		50	
Numero de golpes por capa		75	
% Vacíos en la mezcla	3	-	5
% Vacíos en los agregados (VAM)	Ver tabla 442-9		
Estabilidad lb. (25 °c)			
Para mantenimiento	500		
Para pavimentación	750		
Flujo 0.01" (25 °c)	8		16
Estabilidad residual			
Después de inmersión	75		
Durante 4 días a 25°C			

Fuente: (INVIAS, 2017) <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17/file>

**Tabla 32.****Parámetros de resistencia**

PARÁMETRO	NORMA DE ENSAYO INV	VALOR
Resistencia seca $R_s$ , mínimo (MPa)	E-622-13	2.5
Resistencia húmeda $R_h$ , mínimo (MPa)		2.0
Resistencia conservada $R_c = R_h/R_s$ , mínimo (%)		75

Fuente: (INVIAS, 2017) <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17/file>

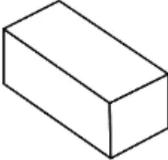
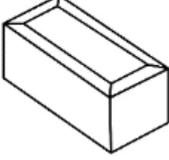
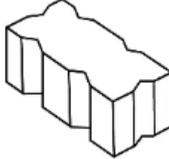
## ADOQUINES:

### Especificaciones técnicas según la NTC 6008

La longitud nominal ( $l_n$ ) de los adoquines debe ser mayor o igual a 100mm y menor o igual a 250 mm, el ancho nominal ( $a_n$ ), de los adoquines debe ser mayor o igual a 100 mm, El espesor estándar ( $e_e$ ) de los adoquines debe ser mayor o igual a 40mm para uso peatonal y mayor o igual a 60mm para uso vehicular. Se prefieren dimensiones que sean múltiplos de 20mm así: 60mm, 80mm y, en algunos casos, 100mm o más, el ancho del Juan estándar debe ser de 2mm, **La relación entre la longitud nominal ( $l_n$ ) y el ancho nominal ( $a_n$ ) de los adoquines no debe ser mayor que 2,5**, este requisito no se aplica a las unidades complementarias o especiales, la relación entre la longitud nominal ( $l_n$ ) y el espesor estándar ( $e_e$ ) de los adoquines no debe ser mayor de 5 (NTC, S.f).

### Ilustración 42.

#### Tipos de adoquines

		
<b>Figura1a. Adoquín no biselado</b>	<b>Figura1b. Adoquín biselado</b>	<b>Figura1c. Adoquín drenante, no biselado</b>

Fuente: Especificaciones técnicas de la norma NTC 6008 (NTC, S.f) [https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-2017/#OBJETO\\_DE\\_CAMPO\\_DE\\_APLICACION](https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-2017/#OBJETO_DE_CAMPO_DE_APLICACION)

“**ABSORCIÓN DE AGUA:** los adoquines de concreto deben tener una absorción de agua total ( $A_a\%$ ) no superior al 7% como valor promedio para los especímenes de la muestra y no superior al 8 para cada espécimen.” (NTC, S.f)

### Ilustración 43.

#### Características de ensayo adoquines

Módulo de rotura $8m_r$ a los 28d, Mínimo, Mpa		Longitud de la huella ( $l_h$ ) Máximo, mm
Promedio de 5 especímenes	Individual	Promedio de 5 especímenes
4,2	3,8	23
<p>El módulo de rotura (<math>m_r</math>) se ha especificado a los 28 d. Sin embargo los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando existe un historial sobre la evolución del módulo de rotura (<math>m_r</math>) de adoquines de igual características, y éste indique que los primeros pueden alcanzar dicho módulo y que poseen la resistencia necesaria para ser colocados. Lo anterior, no exime de la verificación directa de la calidad de los adoquines mediante ensayos a los 28d.</p> <p>Se pueden especificar módulos de rotura (<math>m_r</math>) mayores, o capas superficiales de características especiales, cuando lo requieran las condiciones de servicio como con cargas abrasivas, llantas y orugas metálicas, entre otros, en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines (véase NOTA1).</p>		

Fuente: Características de ensayo para los adoquines. (NTC, S.f) [https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-2017/#OBJETO\\_DE\\_CAMPO\\_DE\\_APLICACION](https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-2017/#OBJETO_DE_CAMPO_DE_APLICACION)

## ARENA DE PEÑA:

Según la alcaldía mayor de Bogotá en el documento de especificación técnica para la instalación de adoquines indica que:

La capa sirve como base de asentamiento para los adoquines, permitiendo así su correcta instalación, compactación y nivelación, la granulometría y espesor de esta capa tienen gran influencia en el comportamiento de la estructura adoquinada, aunque no sea una capa que aporte capacidad estructural o de carga, brinda estabilidad y rigidez a dicha estructura (D.C, S.f.).

Los requisitos o controles de calidad para la arena son los ensayos de laboratorio tales como:

Granulometría según INV-E-133-07

### **Tabla 33.**

#### **Granulometría para la arena**

Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alternativo	
9,50 mm	3/8"	100
4,75 mm	No. 4	90-100
2,36 mm	No. 8	75-100
1,18 mm	No. 16	50-95
600 µm	No. 30	25-60
300 µm	No. 50	10-30
150 µm	No. 100	0-15
75 µm	No. 200	0-5

Fuente: Granulometría correspondiente para la arena de peña. (INVIAS, 2007)  
<https://www.idu.gov.co/web/content/7637/700-11.pdf>

## SUBBASE GRANULAR:

Según la norma invias el artículo 320 del 2013 los requisitos para la calidad de la subbase granular son los siguientes:

**Tabla 34.**

### Características técnicas de la subbase granular según INVIAS 2013

CARACTERISTICAS	NORMA INVIAS	PORCETAJE
Dureza		
Desgaste	INV-E 218	50 %
Degradación por abrasión	INV-E 238	35%
Durabilidad		
Sulfato de sodio	INV-E-220	12%
Sulfato de magnesio		18%
Limpieza		
Limite liquido	INV-E125	25%
Índice de plasticidad	INV-E-125 Y INV-E-126	6%
Cantidad de arena	INV-E-133	25%
Terrones de arcilla	INV-E-211	2%
Resistencia		
CBR	INV-E-148	30%-40%

Fuente: característica para la subbase granular. (INVIAS, 2013)

[https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo\\_3\\_1.pdf](https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo_3_1.pdf)

**Tabla 35.**

### Verificación periódica de calidad

ENSAYO	NORMA INVIAS	FRECUENCIA
Granulometría	INV-E-123	
Limite liquido	INV-E-125	
Índice de plasticidad	INV-E-125 Y INV-E-126	
Equivalente de arena	INV-E-133	
Ensayo modificado de compactación	INV-E.142	

Fuente: Verificación periódica de la calidad de la subbase granular. (INVIAS, 2013)

[https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo\\_3\\_1.pdf](https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo_3_1.pdf)

## BASE GRANULAR:

Según la norma invias el artículo 320 del 2013 los requisitos para la calidad de la subbase granular son los siguientes:

**Tabla 36.**

### Características técnicas de la base granular

CARACTERISTICAS	NORMA INVIAS	PORCETAJE
Dureza		
Desgaste	INV-E 218	40 %
Degradación por abrasión	INV-E 238	30%
Durabilidad		
Sulfato de sodio	INV-E-220	12%
Sulfato de magnesio		18%
Limpieza		
Limite liquido	INV-E125	25%
Índice de plasticidad	INV-E-125 Y INV-E-126	3%
Cantidad de arena	INV-E-133	30%
Terrones de arcilla	INV-E-211	2%
Geometría de las partículas		
Índices de alargamiento y aplanamiento	INV-E-230	35
Caras fracturadas	INV-E-E227	70%
Resistencia		
CBR	INV-E-148	>= 80% - 95%

Fuente: Características técnicas de la base granular. (INVIAS, 2013)

[https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo\\_3\\_1.pdf](https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo_3_1.pdf)

## Control de ejecución

### PAVIMENTO FLEXIBLE

#### *Ilustración 44.*

#### Estructura pavimento flexible



Fuente: Estructura de pavimento flexible. (ORTIZ, 2017)

- La Estructura del pavimento flexible está conformada por carpeta asfáltica, base granular, subbase granular y subrasante; la cual debe tener un proceso constructivo y un control de ejecución en cada capa de la misma.

### 1. Localización y Replanteo

#### *Ilustración 45.*

#### Localización y replanteo



Fuente: Replanteo de una vía. (Escuela posgrado de ingeniería y arquitectura, S.f)

- En el replanteo se deben verificar los niveles y dimensiones según los diseños.

## 2. Excavación:

### *Ilustración 46.*

#### Excavación



Fuente: Excavación de subrasante. (ORTIZ, 2017) (ORTIZ, 2017)

- Al momento de realizar la excavación se debe tener en cuenta las dimensiones de la estructura la cual la profundidad es de 0,5m.
- Verificar las redes de servicios públicos para no causar problemas, rompiendo algún tubo.

## 3. Subrasante

### Escarificación de la subrasante

### *Ilustración 47.*

#### Escarificación de la subrasante



Fuente: Escarificación de la subrasante. (Garzon & Hernández)

- Escarificación de la subrasante para que el suelo este suelto al momento de aplicar el agua para la compactación.

Aplicación del agua para su compactación

**Ilustración 48.**

**Aplicación de agua**



Fuente: Humedad optima según laboratorios. (Garzon & Hernández)

- Humedecer el suelo de la subrasante según la humedad optima determinada en el estudio de suelos, el cual es de 9,2%

**Ilustración 49. Nivelación de subrasante**

**Nivelación de subrasante**



Fuente: Nivelación del material. (Garzon & Hernández)

- Airear el material si la humedad es mayor a la óptima y Nivelar el material con su respectivo espesor

**Ilustración 50.**  
**Compactación de la subrasante**



Fuente: Compactación de la subrasante. (Garzon & Hernández)

- Compactación de la subrasante, verificación con ayuda de la topografía los niveles y tomar las densidades para verificar que el suelo este correctamente compactado.

4. Subbase granular

**Ilustración 51.**

**Trasporte del material**



Fuente: volqueta para el transporte del material.

- Para el transporte de la subbase a la obra, se debe utilizar vehículos apropiados para transitar por las vías de acceso de la urbanización, por lo tanto, se utilizarán Doble troque.

**Tabla 37.**

**Extendido del material**



Fuente: Extendido de subbase granular. (ORTIZ, 2017)

- Extendido y conformación: si el espesor de la estructura es mayor a 200mm, se debe colocar en dos capas, por lo tanto, en este diseño se debe realizar en dos capas de 15 cm cada una ya que es de 300mm (30cm).
- Compactación de la subbase granular: Se debe realizar la compactación una vez tenga la humedad optima, iniciando desde los bordes hasta el centro y terminado: Ajuste de perfiles

**5. Base granular**

**Ilustración 52.**

**Descargue del material**



Fuente: Descargue de la base granular. (Garzon & Hernández)

- Transporte de la base: Utilizar vehículos apropiados para transitar por las vías de acceso: Doble troque

- Extendido y conformación: Si el espesor de la estructura es mayor a 200mm, se debe colocar en dos capas, por lo tanto, en este diseño se debe realizar en dos capas de 15 cm cada una ya que es de 300mm (30cm).

**Ilustración 53.**

**Compactación base**



Fuente: Compactación de la base granular. (Garzon & Hernández)

- Compactación de la base granular: Se debe realizar la compactación una vez tenga la humedad óptima, iniciando desde los bordes hasta el centro y terminado: Ajuste de los perfiles.

**6. Mezcla asfáltica**

**Ilustración 54.**

**Riego de imprimación**



Fuente: Riego de imprimación (ORTIZ, 2017)

- Riego de imprimación: Una de las principales funciones es proteger la base granular.
- Transporte de la mezcla asfáltica: tener en cuenta la temperatura, tener las llantas limpias del vehículo, tener presente los permisos de tránsito.

**Ilustración 55.**

**Extendido del asfalto**



Fuente: Extendido del asfalto con la finisher. (Garzon & Hernández)

- Extendido de la mezcla: con ayuda de la volqueta y la finisher se realizará el debido extendido del asfalto cumpliendo con el espesor el cual es 5 cm.

**Nota:** Se debe tomar la temperatura del asfalto antes de extenderlo.

**Ilustración 56.**

**Compactación del asfalto**



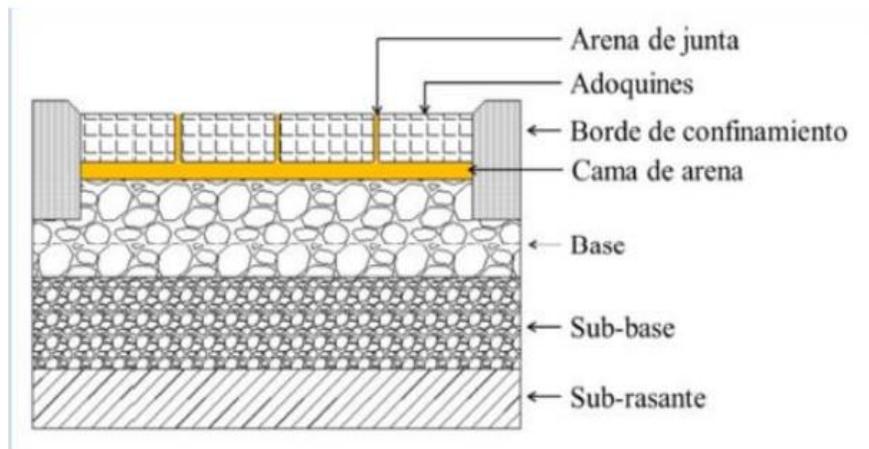
Fuente: Compactación del asfalto. (ORTIZ, 2017)

- La Compactación del asfalto se debe realizar estando en una temperatura mínima para compactar debe ser de 115° C

## PAVIMENTO ARTICULADO

### Ilustración 57.

#### Estructura del pavimento articulado



Fuente: Estructura pavimento articulado.

La estructura del pavimento flexible este compuesto por adoquín, capa de arena, base y subbase granular, el cual debe tener un proceso constructivo y un control de ejecución en cada capa de la misma.

#### 1. Replanteo

- Verificación de niveles según las dimensiones de la estructura y diseño de pavimento

#### 2. Excavación

- Tener en cuenta las dimensiones de la estructura
- Verificar las redes de los servicios públicos

#### 3. Subrasante

- Compactación de la subrasante teniendo en cuenta la humedad optima que es de 9,2%

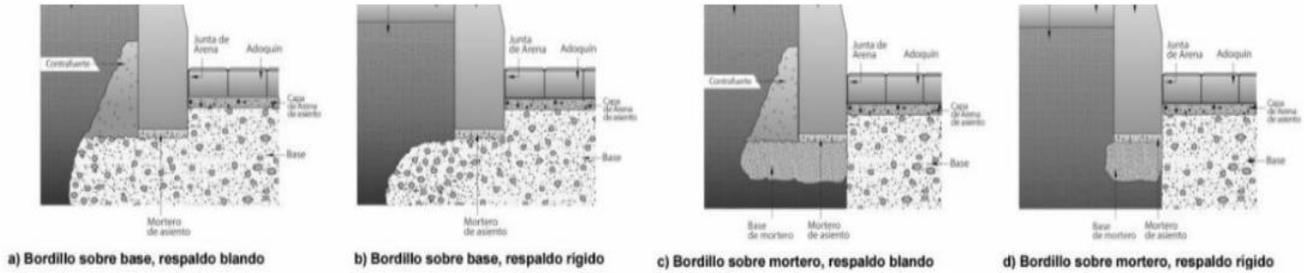
#### 4. Subbase granular

- Extendido de material
- Nivelación
- Compactación de la subbase granular

#### 5. Base

- Extendido
- Nivelación
- Compactación de la base

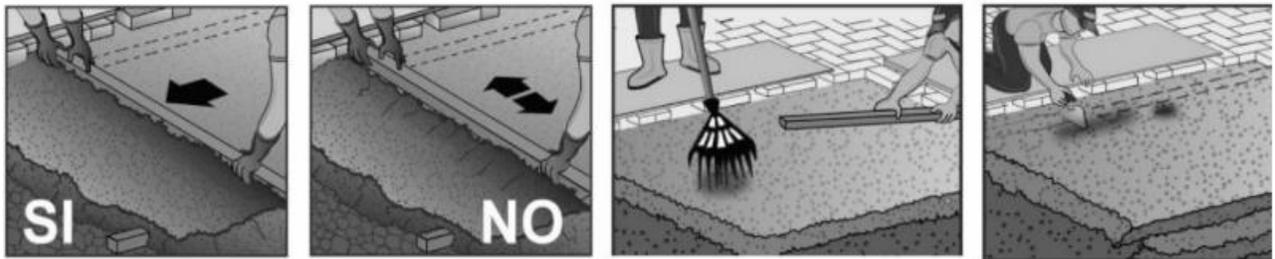
## 6. Elementos de confinamiento



Fuente: Elementos para confinar los adoquines (Gutierrez, 2016)

[https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru\\_iv](https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru_iv)

## 7. Relleno arena de peña

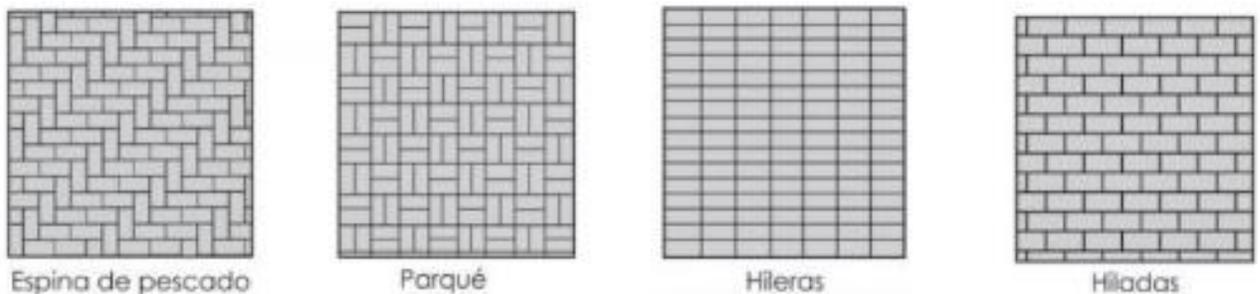


Fuente: Arena de base para pavimento articulado (Gutierrez, 2016)

[https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru\\_iv](https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru_iv)

- Extendido y nivelación de la arena con ayuda de una regleta y con ayuda de sus guías o maestras, cumpliendo con el espesor que es de 0,03m (3cm)

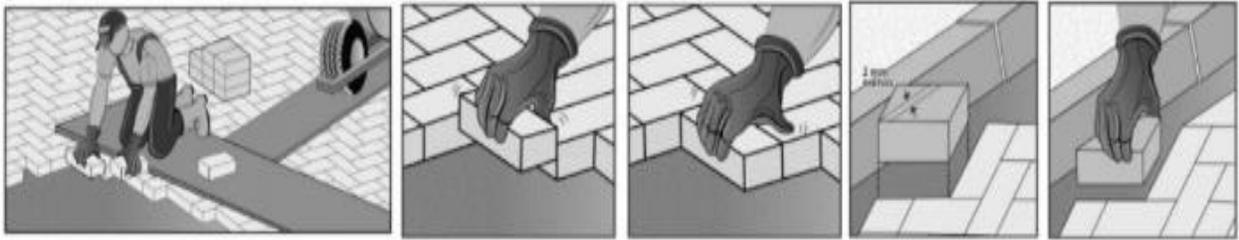
## 8. Adoquines



Fuente: tipos de configuración de forma para instalación de adoquines (Gutierrez, 2016)

[https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru\\_iv](https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru_iv)

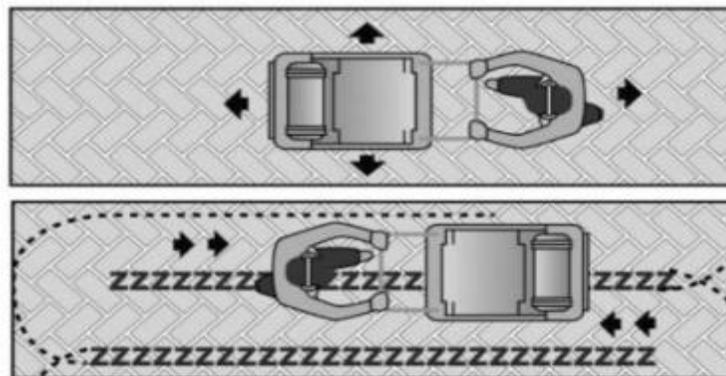
- Colocar los adoquines en los centros de acopio o si es el caso ir dejándolos cerca del lugar de trabajo para no tener que trasladarlos.



Fuente: Instalación de adoquines (Gutierrez, 2016)  
[https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru\\_iv](https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru_iv)

- La Instalación de los adoquines directamente sobre la capa de arena serán con el patrón de espina de pescado
- Dejar las juntas no mayores a 5 mm

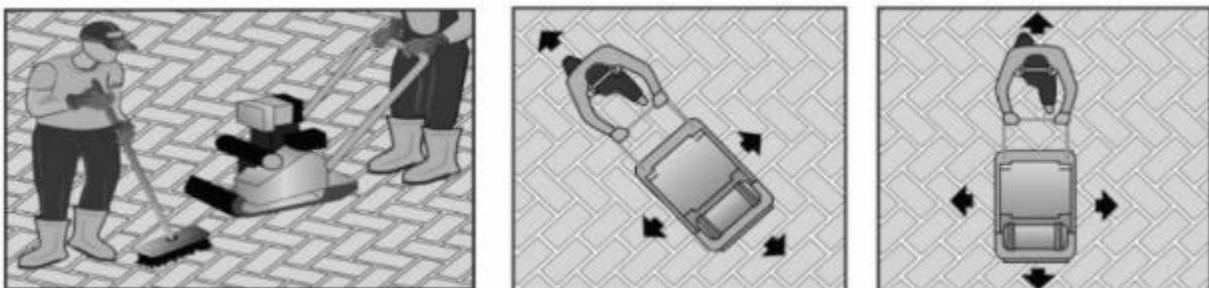
### 9. Compactación del pavimento



Fuente: Compactación de los adoquines (Gutierrez, 2016)  
[https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru\\_iv](https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru_iv)

- Una vez instalado el adoquín: Realizar 2 o 3 veces el procedimiento de compactación en diferentes direcciones.

### 10. Sello de juntas



Fuente: procedimiento del sello de juntas (Gutierrez, 2016) (Gutierrez, 2016)  
[https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru\\_iv](https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru_iv)

- Extendido: Una vez realizado el procedimiento de vibración se extiende la arena fina
- Compactación: 2 a 3 veces
- Sobrantes: Se limpia el exceso de arena.

## 9. CONCLUSIONES

- En la exploración de campo se pudo evidenciar un gran deterioro en la vía, presentando fallas como BACHES y EROSION en el terreno, generadas por las escorrentías de aguas lluvias y por el abandono de estas, por lo tanto, el resultado mediante el método VIZIRET es NIVEL 3 ya que presenta más de 20 baches en una sección de 100 m, por lo tanto, justifica la reconstrucción.
- Según el aforo vehicular, realizado en campo en las diferentes horas del día, en el cual se considera que son las horas pico, o de mayor tráfico vehicular, se pudo obtener que el TPD es de 93 vehículos con la corrección y el número de ejes equivalentes es de 38879 ejes equivalentes proyectados a los 10 años.
- Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio son los siguientes; en cuanto a la granulometría, de acuerdo con la clasificación de los suelos y de las partículas, el suelo contiene: 44,3% de grava, 27,57% de arena y 28,12% de finos; se ubica en CL-ML, en el grupo que se simboliza GC-GM y su nombre es grava limo arcillosa con arena.

Para el ensayo de límites del suelo estudiado dio como resultado que el limite liquido es de 15,27%, limite plástico es de 14,79% dando como resultado un índice de plasticidad del 0,47%; ubicando el índice de plasticidad con el limite plástico, indica que es un A 2-4, el cual es un suelo de baja cohesión, limos de baja plasticidad.

Desarrollando el ensayo Proctor se puede evidenciar que la humedad optima es de 9,2%, en el cual se obtendrá el máximo peso volumétrico; con una densidad máxima de 2,15 g/cm<sup>3</sup>.

Con la humedad optima se realizó el ensayo de CBR, en cuanto a su deformación en 0,1 y 0,2 pulgadas, el molde 1 (10 golpes): 7,4%, el molde 2 (25 golpes): 8,9% y el molde 3 (56 golpes): 12,6%; se puede concluir que el mayor grado de compactación del suelo es de 12,6% a los 56 golpes con una humedad optima de 9,2% lo cual significa que es un suelo regular.

- Diseñar la estructura de los pavimentos
  - Pavimento flexible
    - MDC= 7 cm diseño, - 10 cm recomendado
    - BG= 10 cm
    - SBG= 35 cm
  - Pavimento articulado
    - ADOQUIN=60 mm = 6 cm
    - Capa de arena= 30 mm = 3 cm
    - BASE =100 mm = 10cm
    - SBG=225 mm = 22,5 cm

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la carpeta asfáltica sea de 10 cm ya que en el proceso constructivo pueden variar sus dimensiones en su terminación final.
- Cumplir con las especificaciones técnicas durante el proceso constructivo, tales como: control de planos, control de materiales, ensayos de calidad de los materiales
- Realizar el diseño de pavimento rígido para la urbanización villa Cecilia

## REFERENCIAS

- Arce, C., Katerine, C., Leidy, L., & Diana, R. (2021). Recuperado el 2024, de <https://es.scribd.com/document/507995738/PLANEACION-INTEGRAL-DE-OBRA-PARA-LA-CONSTRUCCION-DE-LAS-VIAS-INTERNAS-DE-LA-URBANIZACION-VILLA-CECILIA-DEL-MUNICIPIO-DE-GIRARDOT-CUNDINAMARCA>
- Aristizabal, M., Hoyos, F., Gil, L., Gomez, A., & Gomez, A. (2014). Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16959/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE.pdf?sequence=1>
- Aristizabal, M., Hoyos, F., Gil, L., Gomez, M., & Gomez, A. (2014). Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16959/DISE%C3%91O%20DE%20UN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE.pdf?sequence=1>
- canarias, G. d. (11 de 02 de 2022). *Gobierno de canarias* . Obtenido de [https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/calidad-del-suelo/el\\_suelo\\_en\\_canarias/que\\_es\\_el\\_suelo/formacion\\_y\\_estructura\\_del\\_suelo/](https://www.gobiernodecanarias.org/medioambiente/temas/calidad-del-suelo/el_suelo_en_canarias/que_es_el_suelo/formacion_y_estructura_del_suelo/)
- D.C, A. M. (S.f.). *especificacion tecnica: instalacion de adoquines*. Obtenido de <https://www.idu.gov.co/web/content/7637/700-11.pdf>
- DANE. (2018). Obtenido de <https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/territorio/analisis-cnpv-2018/>
- Data, Climate. (2023). Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cundinamarca/girardot-876022/>
- Escuela posgrado de ingenieria y arquitectura. (S.f). *postgradoingenieria.com*. Recuperado el 2024, de <https://postgradoingenieria.com/que-es-replanteo-de-obras/>
- FACIL, AULA. (2022). *AULA FACIL*. Obtenido de <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/introduccion-a-la-edafologia/fases-del-suelo-l36884>
- FACIL, G. (2018 ). *GEOTECNIA FACIL* . Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-cbr-laboratorio/>
- facil, G. (2018). *Geotecnia facil* . Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-cbr-laboratorio/>
- FACIL, G. (2019). *Geotecnia facil*. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/>
- facil, G. (s.f.). *GEOTECNIA FACIL*. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/ensayo-proctor-normal-y-modificado/>
- FACIL, GEOTECNIA. (2019). *Geotecnia facil*. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/>
- Gardey, J. P. (2020). *Definicion.de*. Obtenido de <https://definicion.de/grava/>
- Gardey., J. P. (2011). Obtenido de <https://definicion.de/humedad/>
- Garzon, R. A., & Hernández, M. L. (s.f.). Recuperado el 2024, de <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5711/CARTILLA.pdf?sequence=2>
- Gutierrez, C. A. (21 de 07 de 2016). *ISSUU*. Obtenido de [https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru\\_iv](https://issuu.com/alejandragutierrezcastro/docs/constru_iv)
- Hernandez, F., & Baptista. (s.f.). Recuperado el 2024, de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lcp/texson\\_a\\_gg/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcp/texson_a_gg/capitulo4.pdf)
- INVIAS. (2007). *ARENA CAPA DE SOPORTE* . Obtenido de <https://www.idu.gov.co/web/content/7637/700-11.pdf>
- INVIAS. (2013). Recuperado el 2024, de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-126-13.pdf>
- INVIAS. (2013). *ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS GRUESO Y FINO* . Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-213-13.pdf>
- INVIAS. (2013). *ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO*. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/36263/inv-123>
- INVIAS. (2013). *Articulo 320*. Obtenido de [https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo\\_3\\_1.pdf](https://www.findeter.gov.co/system/files/convocatorias/PAF-ATJAMUNDI-O-021-2022/capitulo_3_1.pdf)
- INVIAS. (2013). *CBR DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO Y SOBRE MUESTRA*

- INALTERADA. Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-148-13.pdf>
- INVIAS. (2013). *DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO EN EL TERRENO POR EL MÉTODO DEL CONO Y ARENA*.
- INVIAS. (2013). *DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE EQUILIBRIO DE LA MASA UNITARIA (DENSIDAD) SECA Y DE LA HUMEDAD DE UN SUELO DE SUBRASANTE*. Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-146-13.pdf>
- INVIAS. (2013). *DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO INV-E 125*. Obtenido de <https://www.studocu.com/gt/document/universidad-de-san-carlos-de-guatemala/mecanica-de-suelos-i/inv-125-13-para-el-estudio-de-la-mecanica-de-suelos/25098413>
- INVIAS. (2013). *invias cbr*. Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-148-13.pdf>
- INVIAS. (2013). *PORCENTAJE DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN UN AGREGADO GRUESO*.
- INVIAS. (2013). *RELACIONES HUMEDAD-PESO UNITARIO SECO EN LOS SUELOS (ENSAYO MODIFICADO DE COMPACTACIÓN)*. Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-142-13.pdf>
- INVIAS. (2013). *RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 mm (3/4") POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES*.
- INVIAS. (2013). *RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA Y CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ LIBRE*.
- INVIAS. (2016). Obtenido de [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Evaluaci%C3%B3n\\_condici%C3%B3n\\_actual\\_pavimento\\_Afirmados.pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Evaluaci%C3%B3n_condici%C3%B3n_actual_pavimento_Afirmados.pdf)
- INVIAS. (2017). *Mezcla asfáltica natural ARTICULO 442P-17*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7032-mezcla-asfaltica-natural-articulo-442p-17/file>
- INVIAS. (2023). *RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES*.
- Martinez, G. (02 de 04 de 2020). *ingenieria y construccion*. Obtenido de Tipos de pavimento. Conoce sus características y clasificación.: <https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/tipos-de-pavimento/>
- Mendez, R. (09 de 05 de 2020). Obtenido de [https://www.google.com/search?q=modul+estructural+pavimento&oq=modul+estructural+pav&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUqCQgBECEYChigATIGCAAQRrg5MgkIARAhGAoYoAEyCQgCECEYChigATIJCAMQIRgKKGABMgkIBBAhGAoYoAHSAQoxMTE3OWowajE1qAllsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&ip=1](https://www.google.com/search?q=modul+estructural+pavimento&oq=modul+estructural+pav&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqCQgBECEYChigATIGCAAQRrg5MgkIARAhGAoYoAEyCQgCECEYChigATIJCAMQIRgKKGABMgkIBBAhGAoYoAHSAQoxMTE3OWowajE1qAllsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8#fpstate=ive&ip=1)
- Minerales, R. y. (2016). *Rocas y Minerales*. Obtenido de <https://www.rocasyminales.net/limo/>
- MINISTERIO DE TRANSPORTE. (04 de 2007).
- NTC. (S.f). Recuperado el 2024, de [https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-2017/#OBJETO\\_DE\\_CAMPO\\_DE\\_APLICACION](https://metroblock.com.co/norma-tecnica-colombiana-ntc-2017/#OBJETO_DE_CAMPO_DE_APLICACION)
- Olavarria, B. J. (s.f.). Recuperado el 2014, de <https://www.ingenieriaelemental.com/posts/es/numero-estructural-sn>
- ORTIZ, M. A. (2017). Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6833/OrtizManceraAngieLorenaAne xo-1.pdf?sequence=2>
- ORTIZ, M. A. (2017). Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6833/OrtizManceraAngieLorenaAne xo-1.pdf?sequence=2>
- Pineda, J. (1998-2022). *encolombia* . Obtenido de <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-arcillosos/>
- Planeación, D. N. (02 de 2017). *Proyectos tipo*. Obtenido de Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>

- Planeación, D. N. (02 de 2017). *Proyectos tipo*. Obtenido de Construcción de pavimento rigido en vias urbanas de bajo transito :  
<https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>
- Porto, J. P. (2021). *Definicion.de*. Obtenido de <https://definicion.de/granulometria/>
- SACSA, G. (2021). *Grupo SACSA*. Obtenido de <https://www.gruposacsa.com.mx/propiedades-de-los-suelos-arenosos/>
- Salamanca, M. A., & Zuluaga, S. A. (2014). *DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE*. Recuperado el 2024
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGRAW-HILL .
- Sampieri, R., Fernandez, C., & Pilar. (2010). *Metodología de la investigación*. Recuperado el 2024, de <file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n,%205ta%20Edici%C3%B3n-%20Sampieri.pdf>
- Sanchez, S. F. (23 de 12 de 2016). *slideshare*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/castilloaroni/mdulo-4-caracterizacin-del-trnsito-fernando-snchez-sabogal>
- Tarback, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la tierra: una introducción a la geología física (8ª edición)*. Madrid, España: Pearson Educación. Obtenido de <https://www.hidroambientecr.com/notas/estratigrafia>
- Vazques, M. F. (1980). *Memoria sobre concepto, método y fuentes de Edafología*. Obtenido de Universidad de Santiago: <https://www.mecanicasuelosabcchile.com/formacion-suelos/>
- Vias, I. N. (2016). *Descripcion del metodo vizirt*. Obtenido de [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Evaluaci%C3%B3n\\_condici%C3%B3n\\_actual\\_pavimento\\_Afirmados.pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Evaluaci%C3%B3n_condici%C3%B3n_actual_pavimento_Afirmados.pdf)

## ANEXOS

- Contenido de humedad y % humedad de la muestra

### Anexo 1.

#### Contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD	
Muestra humeda	Muestra seca
129,8	119,1
<b>10,61</b>	
%Humedad de la muestra	
Wm	%Humedad
3000	13%
<b>381,57</b>	

- Peso del solido(WS) y peso del agua

### Anexo 2.

#### Peso del solido

PESO DEL SOLIDO (WS)	
Muestra seca	Peso tara
119,1	35,27
<b>83,87</b>	
PESO DEL AGUA	
Wm	Wm seca
3000	1893
<b>1107</b>	

- Contenido de humedad (W%) y solidos finos

**Anexo 3.**

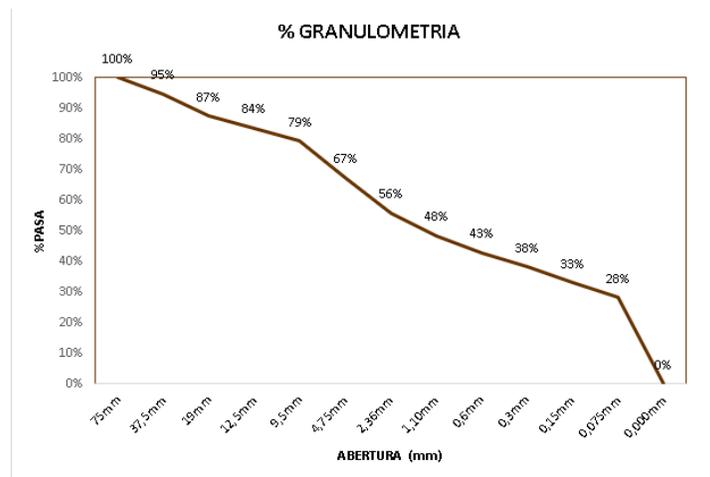
**Contenido de humedad**

<b>CONTENDO DE HUMEDAD (W%)</b>	
<b>Ww</b>	<b>Ws</b>
<b>10,61</b>	<b>83,87</b>
<b>12,7%</b>	
<b>SOLIDOS FINOS</b>	
<b>Ww muestra</b>	<b>Humedad de la m</b>
<b>1107</b>	<b>381,57</b>
<b>725,43</b>	

- Grafica granulométrica

**Anexo 4.**

**Grafica de granulometría**



- **Datos calculados**

### CANTIDADES DE MATERIALES

#### Pavimento flexible

ESCAVACION PAVIMENTO FLEXIBLE						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M3	7.156	0,52	1		3.721
MDC						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M3	7.156	0,07	1		500,92
BASE GRANULAR						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M3	7.156	0,1	1		716
SUB- BASE GRANULAR						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M3	7.156	0,35	1		2.505

#### Pavimento articulado

ESCAVACION PAVIMENTO ARTICULADO						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M3	7.156	0,42	1		2.970
ADOQUIN						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M2	7.156		1		7.156
BASE GRANULAR						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M3	7.156	0,1	1		716
SUB- BASE GRANULAR						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M3	7.156	0,225	1		1.610
ARENA						
DESCRIPCION	UNIDAD	M2	ALTO	UNIDADES		TOTAL
	M3	7.156	0,03	1		215