



**Pasantía en la empresa Bejarano Núñez S.A.S. para la instalación de mezcla asfáltica**

**José Henry Lesmes Salgado**

**Código 10481923554**

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

**Pasantía en la empresa Bejarano Núñez S.A.S. para la instalación de mezcla asfáltica**

**José Henry Lesmes Salgado**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Civil**

Director (es):

Carlos Martín Molina Gallego

Línea de Investigación:

Ingeniería de pavimentos

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2022

## PÁGINA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Firma del Tutor

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

**Bogotá D.C, mayo del 2022.**

## **Dedicatoria y Agradecimientos**

*Primero que todo quiero agradecer a Dios que me ha permitido llegar a la culminación de mi carrera profesional, quiero agradecer a mis padres porque siempre han estado para apoyarme. A mis hermanos que han sido el fruto de inspiración como profesionales, también a mi esposa, hija e hijo quienes son los que me han impulsado para salir adelante.*

*Atentamente: José Henry Lesmes Salgado.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
1 INTRODUCCIÓN .....	3
2 OBJETIVOS .....	6
2.1 General. ....	6
2.2 Específicos. ....	6
3 MARCO CONCEPTUAL .....	7
3.1 Marco contextual.....	7
3.2 Descripción marco conceptual. ....	9
3.2.1 Asfalto.....	9
3.2.2 Componentes de un pavimento.....	11
3.2.3 Proyecto de un pavimento.....	13
3.2.4 Tipos de pavimentos. ....	15
3.2.5 Pavimento flexible. ....	15
3.2.5.1 Período de diseño de un pavimento flexible.....	15
3.2.6 Pavimento rígido.....	16
3.2.7 Pavimento articulado. ....	17
3.2.8 Proceso de instalación de la mezcla asfáltica. ....	17
3.2.8.1 Localización y replanteo. ....	18
3.2.8.2 Cerramiento y señalización.....	19
3.2.8.3 Excavación para conformación de la subrasante. ....	20
3.2.8.4 Mejoramiento de la subrasante. ....	21
3.2.8.5 Sub-base y base granular. ....	23
3.2.8.6 Riego de imprimación.....	24
3.2.8.7 Carpeta asfáltica.....	25
3.2.8.8 Riego de liga. ....	26
4 MAQUINARIA Y EQUIPOS.....	27
4.1 Compactador apisonador.....	27
4.2 Vibro compactador de cilindro metálico o rodillo vibratorio. ....	27
4.3 Vibro compactador de neumáticos.....	28

4.4	Mini cargador. ....	29
4.5	Volquete. ....	29
4.6	Terminadora de asfalto. ....	30
4.7	Rana compactadora o compactador manual. ....	30
4.8	Motoniveladora. ....	30
4.9	Retroexcavadora de oruga. ....	31
5	METODOLOGÍA. ....	32
5.1	Descripción de las actividades desarrolladas durante la pasantía. ....	32
5.2	Actas y Formatos para el control diario. ....	34
5.2.1	Acta de inicio. ....	34
5.2.1.1	Evaluar las condiciones del terreno. ....	35
5.2.1.2	Evaluar las condiciones del suelo. ....	35
5.2.1.3	Inspección visual. ....	36
5.2.2	Formato control diario de mezcla asfáltica. ....	36
5.3	Ensayo de densidad y resistencia para base granular. ....	37
5.3.1	Ensayo Proctor modificado. ....	37
5.3.2	Control de densidades con cono de arena. ....	38
5.3.3	Ensayo de relación de soporte California (CBR). ....	39
5.3.4	Ensayo densímetro nuclear. ....	39
5.4	Nivelación. ....	41
5.5	Imprimación. ....	43
5.6	Expansión de los niveles sueltos de asfalto. ....	45
5.7	Instalación. ....	46
5.7.1	Proceso constructivo. ....	46
5.8	Proceso de compactación. ....	48
5.8.1	Fases de la compactación. ....	49
5.8.2	Calidad de la compactación. ....	50
5.9	Control de temperatura. ....	50
5.9.1	Proceso de medición de temperatura. ....	51
5.10	Riego de liga. ....	53
5.11	Extracción de núcleos. ....	54
6	APORTE PARA LA EMPRESA BEJARANO NÚÑEZ S.A.S. ....	56

6.1	Manual de usuario.....	56
6.1.1	Arranque del programa.....	56
6.1.2	Funciones del menú.....	57
7	CONCLUSIONES.....	61
8	RECOMENDACIONES.....	63
9	ANEXOS.....	64
9.1	Marco legal.....	64
9.1.1	Instituto Nacional de Vías (INVIAS).....	64
9.1.2	Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).....	65
9.1.3	Método AASHTO.....	65
9.1.4	Método del instituto del asfalto.....	65
9.2	Registro fotográfico.....	66
9.3	Registro fotográfico de formatos y actas.....	68
9.4	Listado del código C++.....	73
10	REFERENCIAS.....	93

## Lista de Tablas

Tabla 1. Consorcios encargados de la construcción del tramo 1 de la troncal Av. Cali. Elaboración: (Cuevas, 2020).....	8
Tabla 2. Funciones de la capa de rodadura. Elaboración: (Universidad Mayor de San Simón, 2004) .....	12
Tabla 3. Funciones de la capa base. Elaboración: (Universidad Mayor de San Simón, 2004) ....	13
Tabla 4. Descripción del tipo de capa. Elaboración: (Universidad Mayor de San Simón, 2004)	13
Tabla 5. Localización y replanteo. Elaboración: (Ortiz, 2017).....	18
Tabla 6. Cerramiento y protección de árboles. Elaboración: (Ortiz, 2017).....	20
Tabla 7. Excavación para conformación de la subrasante. Elaboración: (Ortiz, 2017).....	21
Tabla 8. Mejoramiento de la subrasante. Elaboración: (Ortiz, 2017).....	22
Tabla 9. Sub-base y base granular. Elaboración: (Ortiz, 2017) .....	24
Tabla 10. Carpeta asfáltica. Elaboración: (Ortiz, 2017) .....	25
Tabla 11. Nivelación. Elaboración: Propia .....	42
Tabla 12. Riego de imprimación. Elaboración: (Ortiz, 2017) .....	44
Tabla 13. Riego de liga. Elaboración: (Ortiz, 2017).....	54

## Lista de Figuras

Figura 1. Tramo 1 de la Avenida Ciudad de Cali. Fuente: Comunicaciones IDU .....	7
Figura 2. Sección típica de un pavimento flexible. Fuente: (Universidad Mayor de San Simón, 2004) .....	11
Figura 3. Niveles de la sección de un pavimento. Fuente: Propia .....	12
Figura 4. Actividades pertinentes a un proyecto. Fuente: (Universidad Mayor de San Simón, 2004) .....	14
Figura 5. Estructura del pavimento rígido. Fuente:(Mora, 2015) .....	16
Figura 6. Tipos de pavimentos. Fuente: (Universidad Mayor de San Simón, 2004).....	17
Figura 7. Localización y replanteo. Fuente: (Ortiz, 2017).....	18
Figura 8. Cerramiento y protección de árboles. Fuente: (Ortiz, 2017) .....	19
Figura 9. Procedimiento de la excavación y nivelación del terreno. Fuente:(Ortiz, 2017) .....	20
Figura 10. Extensión de rajón. Fuente: (Ortiz, 2017) .....	21
Figura 11. Proceso para el mejoramiento de la subrasante. Fuente: (Ortiz, 2017).....	22
Figura 12. Extensión del material. Fuente: (Ortiz, 2017) .....	23
Figura 13. Proceso de extensión del material sobre la subrasante. Fuente: (Ortiz, 2017).....	24
Figura 14. Extensión del asfalto. Fuente: Propia .....	25
Figura 15. Proceso de instalación de la carpeta asfáltica. Fuente: Propia .....	26
Figura 16. Compactador apasionador tipo canguro. Fuente: (Maquiequipos de Colombia, 2022) .....	27
Figura 17. Rodillo vibratorio. Fuente:(Caterpillar, 2021).....	28
Figura 18. Vibrocompactador de neumáticos. Fuente: Propia.....	28



Figura 19. Minicargador. Fuente:(Komatsu, 2022) .....	29
Figura 20. Volquete transportando material. Fuente: Propia .....	29
Figura 21. Máquina motoniveladora nivelando la capa granular. Fuente: Propia .....	30
Figura 22. Excavación con la retroexcavadora de oruga en el tramo 1 de la calzada de Transmilenio de la Avenida Cali para realizar cambio de tuberías. Fuente: Propia.....	31
Figura 23. Metodología empleada durante el desarrollo de la pasantía. Fuente: Propia .....	32
Figura 24. Etapas para la instalación del asfalto. Fuente: Propia .....	33
Figura 25. Tipos de formato para control diario de obra. Fuente: Propia.....	34
Figura 26. Formato evaluación preliminar de obras de pavimentación mediante inspección ocular (Acta de inicio). Fuente: Propia.....	35
Figura 27. Formato control diario de mezcla asfáltica. Fuente: Propia .....	36
Figura 28. Ensayos para el control de densidades. Fuente: Propia.....	37
Figura 29. Ensayo Proctor modificado. Fuente:(Murcia, 2016) .....	38
Figura 30. Ensayo de cono realizado de forma in situ. Fuente:(Ortiz, 2017) .....	38
Figura 31. Ensayo CBR. Fuente: (Ramírez & Olano, 2018) .....	39
Figura 32. Ensayo con densímetro nuclear en el tramo 1. Fuente: Propia.....	39
Figura 33. Densímetro nuclear. Fuente: (Cruz, 2020) .....	40
Figura 34. proceso para el ensayo de densímetro nuclear. Fuente: Propia .....	41
Figura 35. Proceso para la nivelación. Fuente: Propia.....	42
Figura 36. Aplicación de la emulsión asfáltica en la capa base. Fuente: Propia .....	43
Figura 37. Beneficios del proceso riego de imprimación. Fuente: Propia.....	44
Figura 38. Niveleta que es el triángulo donde debe quedar terminada la rasante con su respectivo abcisado. Fuente: Propia .....	45
Figura 39. Extendimiento del asfalto en caliente haciendo uso de la maquinaria finisher. Fuente: Propia .....	46
Figura 40. Características que no debe tener la mezcla cuando llega a obra. Fuente: Propia .....	47
Figura 41. Proceso de instalación de mezcla asfáltica. Fuente: Propia .....	48
Figura 42. Compactación de un tramo de la vía en la zona de la Avenida Cali en la localidad de Bosa. Fuente: Propia .....	49
Figura 43. Fases de la compactación. Fuente: (Bonett, 2014) .....	49
Figura 44. Criterios para la calidad de compactación. Fuente: Propia .....	50
Figura 45. Efectos causados por las diferencias de temperatura en el asfalto. Fuente: Propia.....	51
Figura 46. Proceso de medición de temperatura de la mezcla desde que sale de la planta de producción hasta el proceso de compactación. Fuente: Propia.....	52
Figura 47. Control de temperatura durante el proceso de compactación. Fuente: Propia .....	52
Figura 48. Proceso de riego de liga. Fuente: Propia .....	53
Figura 49. Extracción de núcleos. Fuente: Propia .....	54
Figura 50. Procedimiento para la extracción de núcleos. Fuente: Propia.....	55
Figura 51. Ventana de bienvenida del programa. Fuente: Propia.....	57
Figura 52. Funciones del menú. Fuente: propia.....	58
Figura 53. Opciones de cálculo del programa. Fuente: Propia .....	59
Figura 54. Extendimiento del asfalto con la maquinaria finisher. Fuente: Propia.....	66
Figura 55. Compactación de la mezcla. Fuente: Propia.....	66

Figura 56. Control de temperatura con dos termómetros de bulbo. Fuente: Propia .....	67
Figura 57. Control de temperatura en la Avenida Ciudad de Cali en los barrios de Bosa. Fuente: Propia .....	67
Figura 58. Registro fotográfico de las muestras extraídas con el extractor de núcleos. Fuente: Propia .....	68
Figura 59. Control diario de mezcla asfáltica enero de 2022. Fuente: Propia .....	69
Figura 60. Control diario de mezcla asfáltica enero de 2022. Fuente: Propia .....	69
Figura 61. Control diario de mezcla asfáltica febrero de 2022. Fuente: Propia .....	70
Figura 62. Acta de febrero de 2022. Fuente: Propia .....	70
Figura 63. Control diario de mezcla asfáltica marzo de 2022. Fuente: Propia .....	71
Figura 64. Factura de emulsión pura. Fuente: Propia .....	71
Figura 65. Recibo de entrega de la mezcla MDC-25 AMMAN. Fuente: Propia.....	72
Figura 66. Recibo de pago de emulsión pura. Fuente: Propia .....	72

## RESUMEN

Los pavimentos han sido un gran logro para la ciencia y el hombre mostrando la solución eficaz al problema de la movilización vehicular. Su diseño y construcción han permitido un desarrollo tecnológico, económico y social en todo el mundo.

Atreves de esta gran invención se produjo el aumento de proyectos viales, dándose la disminución en el tiempo de transportarse. En la ciudad de Bogotá el tener que transportarse es un desafío, no solo por la cantidad de población o el tiempo de espera del transporte, si no, también por la calidad de las vías. De allí surgió la necesidad del desarrollo del proyecto tramo 1 de la troncal Avenida Ciudad de Cali, el cual busca beneficiar a los barrios aledaños.

Una de las empresas encargadas del desarrollo de este proyecto es la empresa Bejarano Núñez S.A.S., la cual se dedica al sector de la construcción, específicamente en el proceso de instalación de mezclas asfálticas producidas por la planta de asfalto llamada Dromos. Esta brinda la oportunidad a estudiantes de ingeniería civil de realizar la pasantía en el área de obra.

Dentro del desarrollo de la pasantía el practicante tendrá el deber de apoyar las diferentes actividades en cada etapa del proceso de instalación, esta etapa inicia con la búsqueda de la implementación de formatos que permitan el control de calidad, pasando por el proceso de instalación y por último con la extracción de niveles. Además, se desarrolló un código en el lenguaje de programación C++, el cual funciona para calcular el total de una cotización en un proyecto de pavimentación.

*Palabras claves: Pavimentos, asfalto, planta de asfalto, instalación de mezcla asfáltica, cotización., Programación C++.*

## ABSTRACT

The pavements have been a great achievement for science and man showing the effective solution to the problem of vehicular mobilization. Its design and construction have enabled technological, economic and social development throughout the world.

Through this great invention, there was an increase in road projects, resulting in a decrease in transportation time. In the city of Bogotá, having to get around is a challenge, not only because of the amount of population or the waiting time for transportation, but also because of the quality of the roads. From there arose the need to develop the section 1 project of the Avenida Ciudad de Cali trunk, which seeks to benefit the surrounding neighborhoods.

One of the companies in charge of developing this project is the company Bejarano Núñez S.A.S., which is dedicated to the construction sector, specifically in the process of installing asphalt mixtures produced by the asphalt plant called Dromos. This provides the opportunity for civil engineering students to carry out an internship in the construction area.

Within the development of the internship, the intern will have the duty to support the different activities in each stage of the installation process, this stage begins with the search for the implementation of formats that allow quality control, going through the installation process and last with the extraction of levels. In addition, a code was developed in the C++ programming language, which works to calculate the total of a quote in a paving project.

*Keywords: Pavements, asphalt, asphalt plant, asphalt mix installation, quotation, C++ programming.*

# 1 INTRODUCCIÓN

Las obras publicas son un elemento clave en el desarrollo económico del país, además de favorecer el sector productivo, también mejora la calidad de vida de las personas. Los pavimentos fueron un gran logro de la ciencia y el hombre, ya que su construcción ha permitido el desarrollo de ligantes bituminosos y agregados pétreos (Díaz, 2018).

Actualmente se puede ver que los proyectos viales están aumentando, ya que la necesidad de transportarse en menor tiempo es de gran importancia. En la ciudad de Bogotá se están desarrollando diversos proyectos viales, uno de ellos se encuentra ubicado entre la Avenida Circunvalar sur y la Avenida Ciudad de Cali. Esta construcción surgió a causa de los problemas de movilidad que han tenido los varios aledaños a estas avenidas.

El proyecto consiste en la construcción del tramo 1 de Transmilenio, el cual generara conexión con el portal Américas. Una de las empresas que tendrá a cargo el desarrollo del primer tramo de la troncal es la empresa Bejarano Núñez S.A.S.

La empresa Bejarano Núñez S.A.S. se dedica al sector de la construcción, específicamente en el proceso de instalación de mezclas asfálticas producidas por la planta de asfalto llamada Dromos. Actualmente se destaca por su transparencia, puntualidad en la entrega de proyectos y el manejo de la gestión ambiental, cumpliendo con las diferentes normativas del INVIAS y la especificación técnica del IDU.

Actualmente la empresa brinda la oportunidad a estudiantes de ingeniería civil de desarrollar la pasantía en el área de obra. En el transcurso de la práctica el pasante tendrá el deber de apoyar las actividades de instalación de mezcla asfáltica.

En esta pasantía se busca que los estudiantes pongan a prueba todos sus conocimientos y habilidades adquiridos durante la carrera de ingeniería civil; durante el proceso de elaboración de visitas a la obra se observó que desarrollar las cotizaciones en el menor tiempo, ayuda a cumplir las actividades en el tiempo requerido y facilita el cálculo de diferentes variables sin error alguno.

La programación es una gran herramienta en el mundo de la ingeniería, ya que ha brindado diferentes herramientas de trabajo. En este caso se desarrolló un código en el lenguaje de programación C++, el cual funciona para calcular el total de una cotización en un proyecto de pavimentación.

El programa consta de un menú de siete opciones con la finalidad de facilitar su uso, a medida que se vayan ejecutando las ventanas se le solicitara digitar al usuario algunos datos para el cálculo de la cotización.

Esta herramienta de trabajo beneficia a cualquier persona que se encuentre laborando en el área de ingeniería de pavimentos, o, se encuentre estudiando ingeniería civil y no tenga experiencia alguna en el área de cotizaciones. El nivel de dificultad de uso de este código es relativamente bajo, pero aun así es muy útil en su área de trabajo.

Además, por medio de este trabajo escrito se dará a conocer el paso a paso del proceso constructivo del asfalto flexible, que sirve como un manual de instalación de mezcla asfáltica en caliente. Dentro de este documento se encontrarán los diferentes conceptos y procedimientos para llevar a cabo las actividades de instalación del material.

Este trabajo este constituido por los siguientes temas estructurados como se describe a continuación:

### **3. Marco conceptual.**

El objetivo de este capítulo es describir todas las fuentes de consulta relacionadas con el proceso constructivo del pavimento flexible.

### **4. Maquinaria y equipos.**

En esta sección del trabajo se describe la diferente maquinaria y equipos que son utilizados en el proceso de instalación de la carpeta asfáltica.

### **5. Metodología.**

En esta sección se describe en detalle la metodología desarrollada en la pasantía realizada en la empresa Bejarano Núñez SAS. Se emplearon tres fases con el fin de contribuir como pasante en la implementación de formatos para el control de obra.

### **6. Aporte para la empresa Bejarano Núñez S.A.S**

En esta sección se describe el aporte desarrollado durante el proceso de la pasantía. Este consta de un código desarrollado en C++.

### **7. Conclusiones.**

En este capítulo se dan las conclusiones más importantes de este trabajo.

### **8. Recomendaciones.**

Como su nombre lo indica, este capítulo contiene las recomendaciones para este tipo de pasantías.

### **9. Anexos.**

Por último, el noveno capítulo muestra los diferentes anexos como son: marco legal, registro fotográfico y el listado del código C++.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 General.

- Realizar la pasantía de ingeniería civil en la empresa contratista Bejarano Núñez, con la finalidad de apoyar las actividades de instalación de la mezcla asfáltica en las diferentes vías de la ciudad de Bogotá.

### 2.2 Específicos.

- Realizar el control y vigilancia de la obra, teniendo en cuenta la normatividad vigente.
- Elaborar las visitas de obra, presupuestos y programación asignados.
- Verificar que las actividades de la obra se cumplan de acuerdo al cronograma.
- Diseñar un código en el lenguaje C++ que tendrá como función principal hacer el costo de cotizaciones para trabajos de pavimentación.



### 3 MARCO CONCEPTUAL

#### 3.1 Marco contextual.

Los barrios ubicados entre la Avenida Circunvalar Sur, la localidad de Bosa (UPZs Bosa Central y Bosa Occidental) y Kennedy UPZs Patio Bonito, Calandaima, Castilla, Corabastos, las Margaritas, Patio Bonito, Tintal Norte), se han visto afectados en los últimos años por la falta de transporte y malla vial. Debido a la problemática que ha estado presentando, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) proyecta el tramo 1 de la troncal Avenida Ciudad de Cali, el cual generará una conexión con el portal Américas.

Este tramo se proyecta en funcionamiento para el año 2024 según los estudios realizados por el IDU, beneficiando a los habitantes de la av. Circunvalar del Sur y Av. Villavicencio con una movilización de 6.400 pasajeros hora sentido, y el tramo comprendido entre la Av. Villavicencio y la Av. Manuel Cepeda Vargas, 26.400 pasajeros hora sentido (Ver Figura 1) (Cuevas, 2020).



Figura 1. Tramo 1 de la Avenida Ciudad de Cali. Fuente: Comunicaciones IDU

Esta obra generará aproximadamente 8.645 empleos directos y 7.948 indirectos. Así mismo beneficiara a 1.100.000 personas de las localidades de Bosa y Kennedy (Cuevas, 2020). Para el desarrollo de esta obra debieron comprar 513 predios de los cuales han ofertado 310 y 74 recibidos; y 126 predios a no adquirir, por ser cesiones y predios públicos.

Los ganadores de la Licitación Pública 004 de 2020, que tendrá a cargo el desarrollo del primer tramo de la Troncal Av. Ciudad de Cali, se pueden observar en la Tabla 1.

<b>Lote</b>	<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Integrantes</b>	<b>%</b>	<b>Valor Adjudicado</b>
Lote No. 1	11	Consortio Conexión 20	JMV Ingenieros SAS	50	\$141,226,481,736
			Teccivil SAS	10	
			Construcción y desarrollo ingeniería SAS	9	
			Vías, Túneles y Pavimentos SAS	1	
Lote No. 2	7	Consortio Santa María 004	Alca Ingeniería S.A.	50	221,019,965,377
			Castro Tcherassi S.A.	50	
Lote No. 3	8	OHL SA. Sucursal Colombia		100	128,484,094,540
Lote No. 4	3	Consortio MAHFER	Mario Alberto Huertas Cortes	25	167,023,565,788
			MHC Ingeniería S.A.S	25	
			Ferrovial Construcción S.A Sucursal Colombia	50	

Tabla 1. Consorcios encargados de la construcción del tramo 1 de la troncal Av. Cali. Elaboración: (Cuevas, 2020)

Mediante cuatro contratos suscritos estas firmas se encargarán de la construcción del tramo 1, en diferentes frentes de obra, ya que se dividió en cuatro grupos con la finalidad de reducir el tiempo de ejecución de la obra y contribuir en la economía y generación de empleo. La ejecución de este primer tramo tendrá un costo de \$903 mil millones, con una longitud de 7.4 Km de corredor intermodal (Cuevas, 2020).

La empresa Bejarano Núñez es una de los diversos participantes en la instalación de asfaltos flexibles, donde estudiantes de ingeniería civil desarrollaran la pasantía con una duración de 460 horas. Esta empresa se encuentra asociada al Consorcio Conexión 20 en el integrante JMV Ingeniero SAS.

### **3.2 Descripción marco conceptual.**

A continuación, se presentan los diferentes conceptos y procedimientos necesarios para la construcción de una vía con pavimento flexible; teniendo en cuenta los materiales, maquinaria y el personal encargado para cada actividad (Chávez, 2016).

#### **3.2.1 Asfalto.**

El asfalto es un material que se logra a partir del residuo de la refinación de yacimientos de petróleo, debido a sus propiedades físicas y a simplicidad para cambiar de estado con la temperatura. Es muy utilizado en la industria de la construcción, particularmente en la pavimentación (mezclas asfálticas), donde se combina el cemento asfáltico y alguno agregados pétreos (Moreno, 2014).

Los asfaltos destilados del petróleo son producidos, ya sea por destilación por vapor o sopladados. La destilación por vapor produce un óptimo asfalto el pavimento, mientras que el producto de

destilación por aire tiene una escasa aplicación en la pavimentación (Ochoa, 2004; Valenzuela, 2003).

Un pavimento rara vez sufre una ruptura con un nivel de gravedad alto, a menos que exista un error en el proyecto geotécnico, como en los casos de pavimentos asentados en terraplenes sobre suelos expansivos. Esa degradación se produce a lo largo del tiempo, por medio de mecanismos donde se van acumulando las deformaciones plásticas debido al tráfico vehicular (Universidad Mayor de San Simón, 2004).

Un pavimento, para cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante la intemperie.
- Presentar una textura adecuada para las velocidades previstas en la circulación de vehículos, para una mayor seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto de las llantas (Amado, 2015).
- Durabilidad.
- Presentar condiciones óptimas en el drenaje.
- Bajo costo.
- Mostrar una regularidad superficial, en lo longitudinal y transversal, que permita una adecuada comodidad a los habitantes en función de las longitudes y velocidad de circulación.
- Poseer el color adecuado para prevenir reflejos y deslumbramientos, ofreciendo seguridad al tránsito (Amado, 2015).

### 3.2.2 Componentes de un pavimento.

La estructura del pavimento flexible está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser resultado de un estudio geotécnico. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está conformada por las capas de sub-base y suelo compactado (ver Figura 2) (Ochoa, 2004; Universidad Mayor de San Simón, 2004).

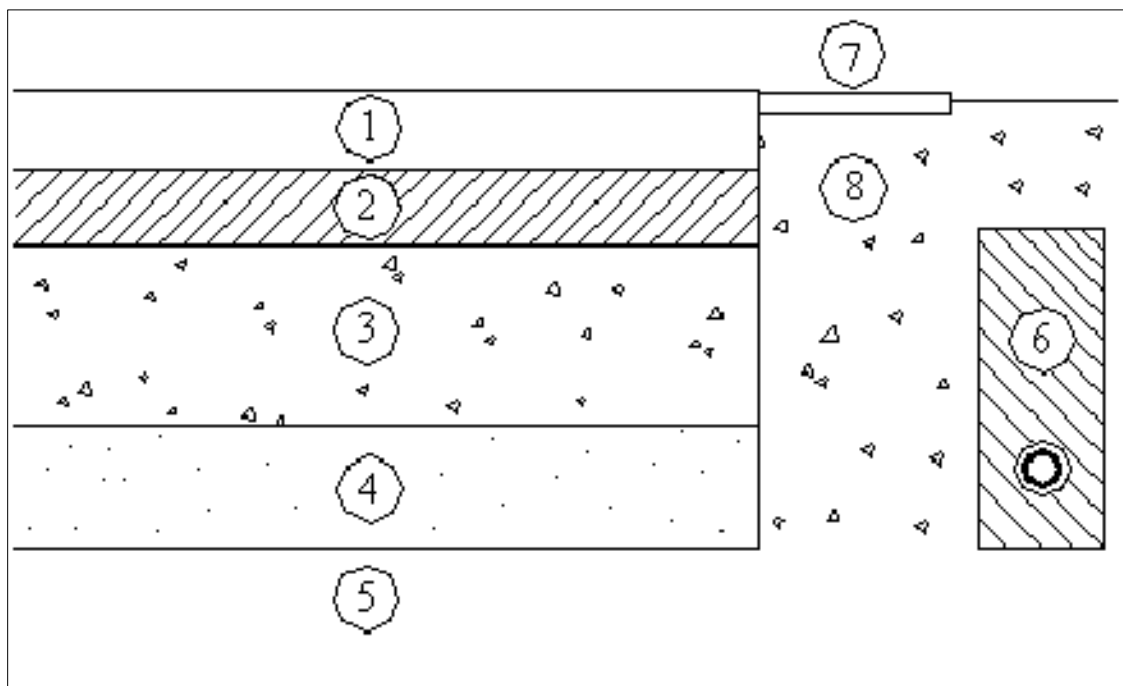


Figura 2. Sección típica de un pavimento flexible. Fuente: (Universidad Mayor de San Simón, 2004)

En la Figura 3 se puede observar los diversos niveles de la sección típica de un pavimento flexible. Los niveles que se describen son los siguientes: 1. Capa de rodadura, 2. Capa base, 3. Capa sub-base, 4. Suelo compacto, 5. Subrasante, 6. Sub-drenaje longitudinal, 7. Revestimiento de hombreras y 8. Sub-base de hombreras (Ochoa, 2004).



Figura 3. Niveles de la sección de un pavimento. Fuente: Propia

La capa de rodadura o revestimiento tiene como función (ver Tabla 2):

Función	Descripción
<p><b>Capacidad de rodadura</b></p>	<p>Impermeabilizar el pavimento para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad.</p> <p>Proveer una superficie resistente al deslizamiento.</p> <p>Disminuir las tensiones verticales que la carga por eje sobre la capa base, para controlar la acumulación de deformaciones de la capa.</p>

Tabla 2. Funciones de la capa de rodadura. Elaboración: (Universidad Mayor de San Simón, 2004)

La capa base tiene como función (ver Tabla 3):

<b>Función</b>	<b>Descripción</b>
<b>Capacidad de la base</b>	Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas de sub-base y suelo natural.
	Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.
	Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento a través de los drenajes.

*Tabla 3. Funciones de la capa base. Elaboración: (Universidad Mayor de San Simón, 2004)*

Las funciones de las diversas capas son (ver Tabla 4):

<b>Tipo de capa</b>	<b>Descripción</b>
Capa Sub-base	Está constituida por un material de capacidad superior a la del suelo compacto y se utiliza para reducir el espesor de la capa base.
Capa de suelo reforzado	Es una estructura de pavimento para reducir el espesor de la capa sub-base.
Suelo compactado	Es el mismo suelo del terraplén, que esta escarificado y compacto.

*Tabla 4. Descripción del tipo de capa. Elaboración: (Universidad Mayor de San Simón, 2004)*

### **3.2.3 Proyecto de un pavimento.**

Realizar un proyecto de un pavimento significa determinar la combinación de materiales, espesores y posiciones de las capas que sea más económica de entre todas las alternativas viables (Ochoa, 2004). En la Figura 4 se describe las actividades pertinentes al desarrollo de un proyecto de asfalto; en la figura de la parte superior y el medio se encuentran las características, en la parte inferior se nombran las especificaciones que se tienen en cuenta.

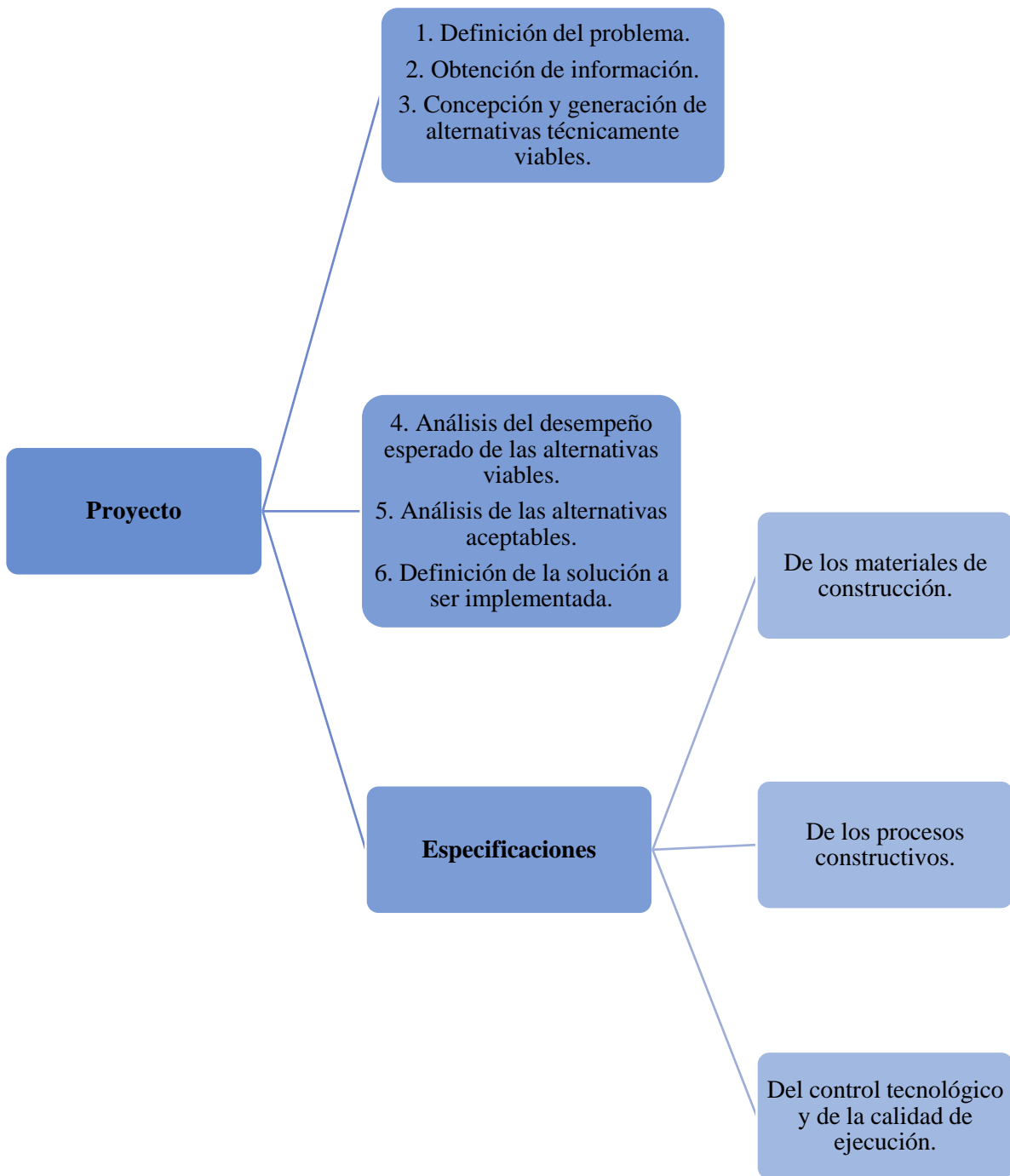


Figura 4. Actividades pertinentes a un proyecto. Fuente: (Universidad Mayor de San Simón, 2004)



### **3.2.4 Tipos de pavimentos.**

A lo largo del tiempo el ser humano ha logrado desarrollar varios tipos de pavimentos con usos y funcionalidades diferentes. En la instalación de la carpeta asfáltica los pavimentos más usados son los pavimentos flexibles y rígidos.

### **3.2.5 Pavimento flexible.**

Son aquellos que presentan una base semirrígida sobre la cual se construye una capa de rodamiento a base de una mezcla bituminosa derivada del petróleo. Su estructura total se flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre este.

Este pavimento se denomina flexible porque al estar expuesto a una carga se da una deformación y recuperación deseada del material. Este pavimento se usa principalmente en zonas de abundante tráfico vial (Silvestre, 2015).

La funcionalidad de la estructura del pavimento se relaciona con el comportamiento de cada componente. La sub-base debe permitir el drenaje, controlar los cambios de volumen en el terreno y controlar ascensión capilar (Silvestre, 2015).

#### **3.2.5.1 Período de diseño de un pavimento flexible.**

Por lo general los pavimentos tienen un tiempo de diseño inicial de ocho años, antes de que necesite de un mantenimiento preventivo. Pero en general la duración óptima debería ser para un período de 20 años; cuanto mayor sea el módulo de capacidad que se añada a la capacidad estructural de las capas del pavimento, la carga se distribuye a lo largo de la sub-base (Pérez, 2010).

### 3.2.6 Pavimento rígido.

Se encuentra constituido por una losa de concreto de cemento Pórtland que se apoya sobre una capa de sub-base (se puede omitir esta base cuando el material de la sub-rasante es granular). La losa tiene características de viga que permiten extenderse de un lado a otro. El período de diseño de estos pavimentos es relativamente alto con muchos años de servicio. (Mora, 2015; Pérez, 2010).

Las fallas en este tipo de pavimento se deben a dos causas:

- **Deterioro del pavimento:** este es provocado por procesos de congelamiento o por el uso de materiales poco durables.
- **Deficiencias en la estructura de la base o en la subrasante:** en este caso un exceso de carga puede generar un bombeo en el pavimento y flujo de material en la base (Pérez, 2010).

En la Figura 5 se muestran las partes del pavimento rígido, como son: espesor, junta longitudinal, junta transversal, pasadores, barras de unión, subrasante y la sub-base o base.

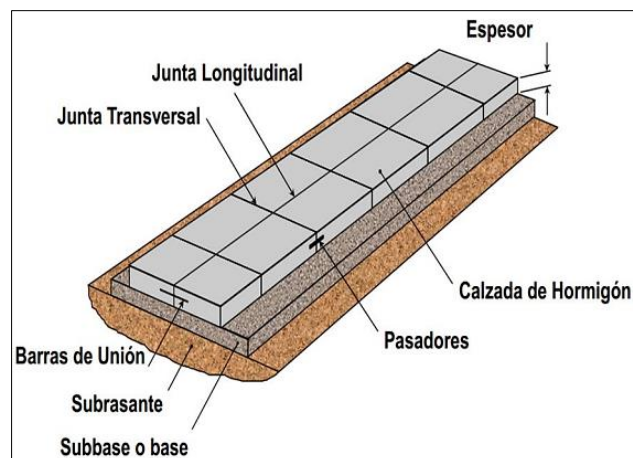


Figura 5. Estructura del pavimento rígido. Fuente:(Mora, 2015)

### 3.2.7 Pavimento articulado.

Son fabricados a partir de un concreto o ladrillo de alta resistencia, los adoquines presentan alta resistencia a las cargas concentradas, a la abrasión y a los agentes atmosféricos. Además, no son afectados por los productos derivados del petróleo. Debido a la innumerable cantidad de juntas que posee el pavimento, la circulación es incómoda generando mayores costos de operación vehicular en relación con otros pavimentos (Mora, 2015).

En la Figura 6 se pueden observar los diferentes tipos de pavimentos.

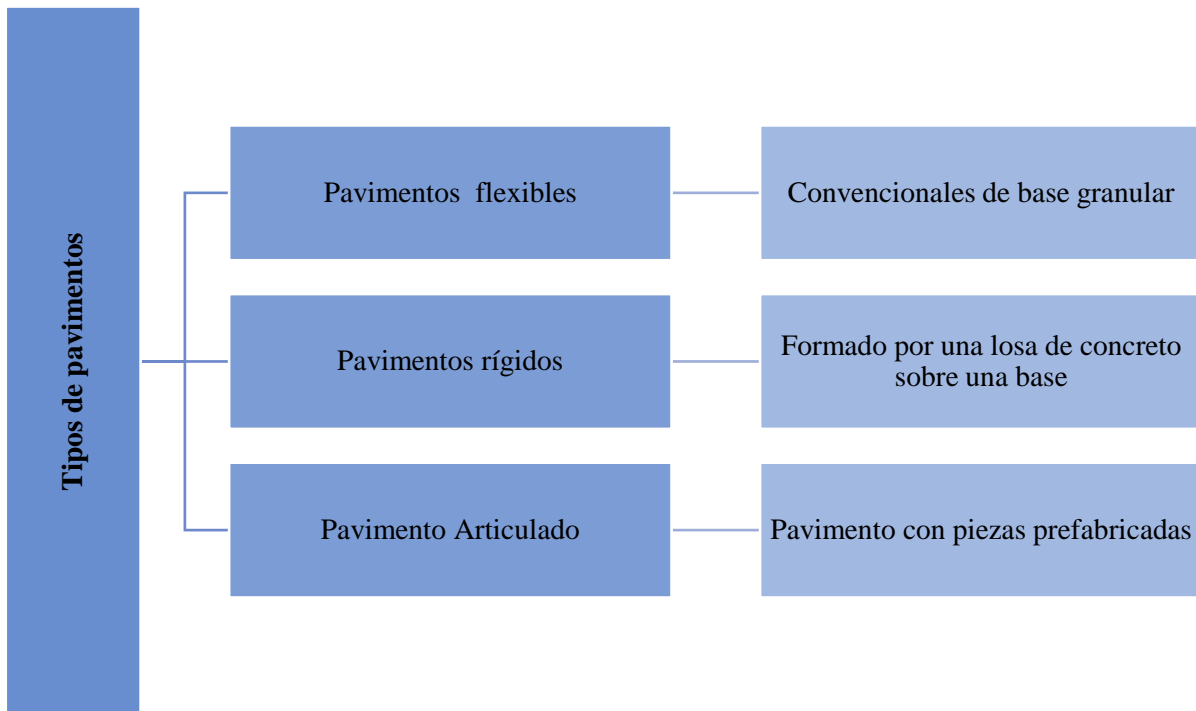


Figura 6. Tipos de pavimentos. Fuente: (Universidad Mayor de San Simón, 2004)

### 3.2.8 Proceso de instalación de la mezcla asfáltica.

Para el proceso de la instalación de la mezcla se deben seguir los siguientes pasos, para pavimentos flexibles.

### 3.2.8.1 Localización y replanteo.

Se debe realizar una localización de planimetría y altimetría del lugar donde se vaya a realizar la vía, en el cual se dejan los puntos de referencia que sirven de base para hacer los replanteos y nivelaciones (Ortiz, 2017). Tal y como se muestra en la Figura 7 donde se observa un técnico en topografía realizando la localización y replanteo.



Figura 7. Localización y replanteo. Fuente: (Ortiz, 2017)

En la Tabla 5 se muestra el personal, material, equipo y norma usados en la localización y replanteo. Para esta actividad se necesita personal calificado, en este caso topógrafo, en esta actividad se requieren niveles y se puede hacer su verificación templando un nylon y chequeando con un metro para verificar las cotas del cereo.

Ítems	Descripción
Personal	Comisión topográfica
Materiales	Pintura, hilo, nylon
Equipo	Nivel de precisión, trípode, mira, flexómetro

Tabla 5. Localización y replanteo. Elaboración: (Ortiz, 2017)

### 3.2.8.2 Cerramiento y señalización.

El cerramiento y señalización se realiza con la finalidad de proteger el área a intervenir, esto también garantiza la seguridad para vehículos y peatones. En la Figura 8 se muestra el cerramiento y señalización provisional en el área a intervenir.



*Figura 8. Cerramiento y protección de árboles. Fuente: (Ortiz, 2017)*

El procedimiento es el siguiente:

- Se debe realizar un cerramiento provisional en el área a intervenir, teniendo en cuenta lo indicado en los planos.
- Luego se colocan los postes de madera a lo largo del tramo vial, los cuales estarán amarrados y apuntillados por tela verde, esta tela debe estar templada sin ningún doblez.
- De la misma forma se realiza la protección de los árboles con postes de madera más cortos.
- Se debe colocar la señalización para los vehículos y peatones garantizando la seguridad durante la obra.
- Durante la ejecución de la obra se debe vigilar el mantenimiento y reparación del cerramiento como de la señalización (Ortiz, 2017).

En la Tabla 6 se muestra el personal, material, equipo que usaron para el procedimiento de cerramiento y protección de árboles. Esta labor se realiza con trabajadores, los cuales deben velar por las especies arboleas que están en la zona de influencia de la obra.

Ítems	Descripción
Personal	Ayudantes
Materiales	Tela verde (polisombra), postes de madera, grapas de acero, alambre
Equipo	Herramienta menor

Tabla 6. Cerramiento y protección de árboles. Elaboración: (Ortiz, 2017)

### 3.2.8.3 Excavación para conformación de la subrasante.

La conformación de la subrasante es de gran importancia, ya que en esta fase se excava y nivela el terreno hasta la cota deseada. En la Figura 9, se puede observar el procedimiento a seguir.

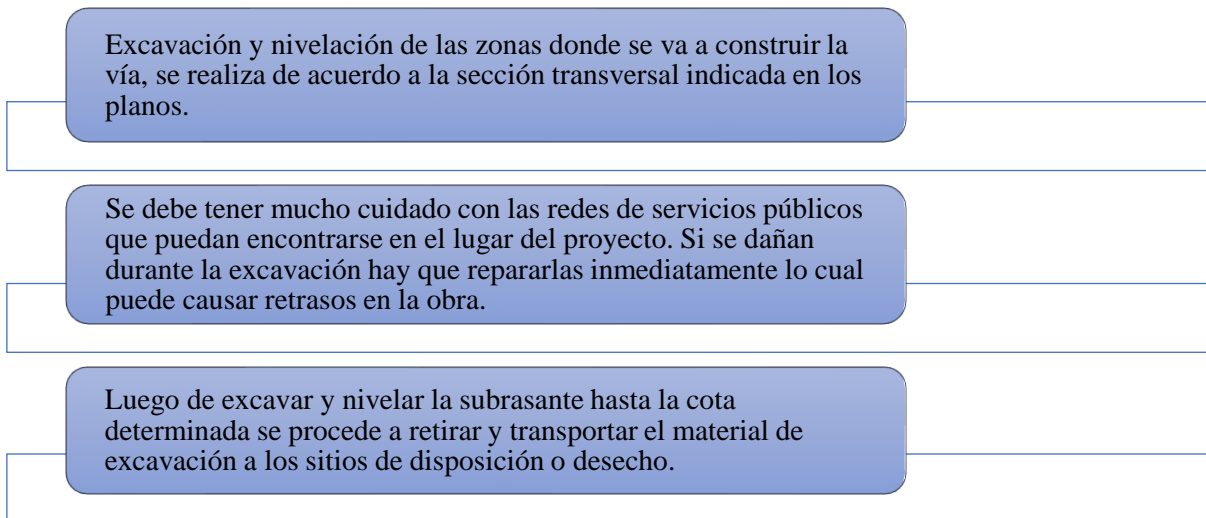


Figura 9. Procedimiento de la excavación y nivelación del terreno. Fuente:(Ortiz, 2017)

Para esta actividad se debe contar con operadores de maquinaria amarilla, los cuales tienen la responsabilidad de excavar la vía con los niveles pertinentes. En la Tabla 7 se muestra el personal, material, equipo y norma que se tuvo en cuenta para la conformación de la subrasante.

Ítems	Descripción
Personal	Operarios, ayudantes
Equipo	Retroexcavadora, minicargador, volqueta
Norma	Especificación técnica IDU 310-11

Tabla 7. Excavación para conformación de la subrasante. Elaboración: (Ortiz, 2017)

### 3.2.8.4 Mejoramiento de la subrasante.

El mejoramiento de la subrasante se realiza en suelos con un CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) muy bajo, este mejoramiento sirve para aumentar la capacidad portante del suelo y se realiza de acuerdo a lo que el diseñador considere, generalmente con (rajón).

En la Figura 10 se muestra la extensión de la piedra rajón con ayuda de la maquinaria pesada retroexcavadora, gracias a su brazo puede extender el material de la forma deseada.



Figura 10. Extensión de rajón. Fuente: (Ortiz, 2017)

El proceso para el mejoramiento de la subrasante se muestra en la Figura 11.

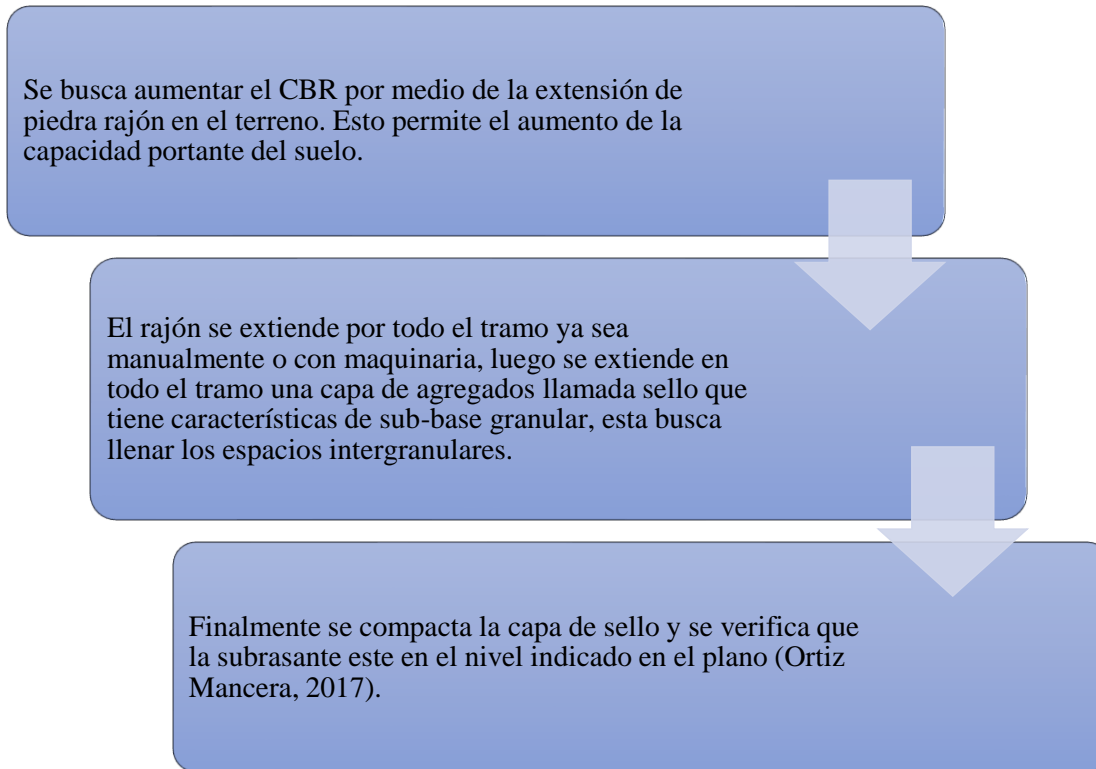


Figura 11. Proceso para el mejoramiento de la subrasante. Fuente: (Ortiz, 2017)

Para el mejoramiento de la subrasante es importante contar con el personal requerido que en este caso son el oficial, ayudante y operarios; el material es importante cuente con el tamaño adecuado para su extensión, y algo muy relevante es cumplir con la norma IDU para lograr un CBR adecuado (Ver Tabla 8).

Ítems	Descripción
Personal	Oficial, Operarios, ayudantes
Materiales	Rajón, material de sello.
Equipo	Retroexcavadora, minicargador, vibrocompactador
Norma	Especificación técnica IDU 321-11

Tabla 8. Mejoramiento de la subrasante. Elaboración: (Ortiz, 2017)



### 3.2.8.5 Sub-base y base granular.

Haciendo uso de la motoniveladora o el minicargador se extiende el material de tal forma que al compactarlo tenga el espesor deseado.

La compactación del material granular se realiza por medio del equipo vibro compactador, dicha compactación se realiza para cerrar completamente los poros y espacios que se encuentren en el material y evitar que se filtre agua, suciedad o cualquier material que afecte las capas que se encuentran debajo; el vibro compactador emite vibraciones por medio de su gran rodillo que es pasado a lo largo de todo el tramo sellando todos los espacios que se encuentren abiertos.

En la Figura 12 se muestra la extensión del material de la sub-base y base por medio del uso de maquinaria pesada.



*Figura 12. Extensión del material. Fuente: (Ortiz, 2017)*

El proceso para la extensión del material se describe en tres etapas teniendo en cuenta el extendimiento y su respectiva compactación (Ver Figura 13).

Las volquetas dejan el material de sub-base sobre la superficie de la subrasante, luego se extiende haciendo uso de la motoniveladora o minicargador con un espesor uniforme, de tal forma que al compactarlo que en el nivel deseado. Esto se realiza con ayuda del topógrafo el cual indica a que nivele debe estar la capa sub-base.

Es importante humedecer o airear el material para obtener una humedad óptima de compactación, luego con la motoniveladora o minicargador se mezcla extendiendo el material.

Finalmente se compacta la capa de sub-base de manera que se alcancen las densidades adecuadas (Ortiz Mancera, 2017).

Figura 13. Proceso de extensión del material sobre la subrasante. Fuente: (Ortiz, 2017)

En el proceso de extensión del material se utiliza el equipo minicargador, nivel de precisión, vibrocompactador, motoniveladora, para ello también es de vital importancia contar con el personal calificado siguiendo la especificación de la norma IDU (Ver Tabla 9).

Ítems	Descripción
Personal	Oficial, Operarios, ayudantes, topografía
Materiales	Agregados pétreos
Equipo	Minicargador, nivel de precisión, vibrocompactador, motoniveladora
Norma	Especificación técnica IDU 400-11

Tabla 9. Sub-base y base granular. Elaboración: (Ortiz, 2017)

### 3.2.8.6 Riego de imprimación.

El riego de imprimación consiste en la aplicación de emulsión asfáltica de forma uniforme, sobre base granular. Este riego busca la adherencia entre la base y la mezcla asfáltica evitando que el material de la base se desplace a causa de las cargas de tránsito.

En el proceso de imprimación la superficie se debe limpiar de forma que se retire las impurezas como (polvo, barro y material suelto), la superficie debe tener una humedad inferior a la humedad de compactación (Ortiz, 2017).

### 3.2.8.7 Carpeta asfáltica.

En esta capa se puede ver la presentación de la vía, y es donde se debe tener un control mayor para lograr que el procedimiento se realice de forma adecuada, y así luzca de forma uniforme y sin grietas. En la Figura 14 se muestra la extensión del asfalto haciendo uso de la maquinaria finisher.



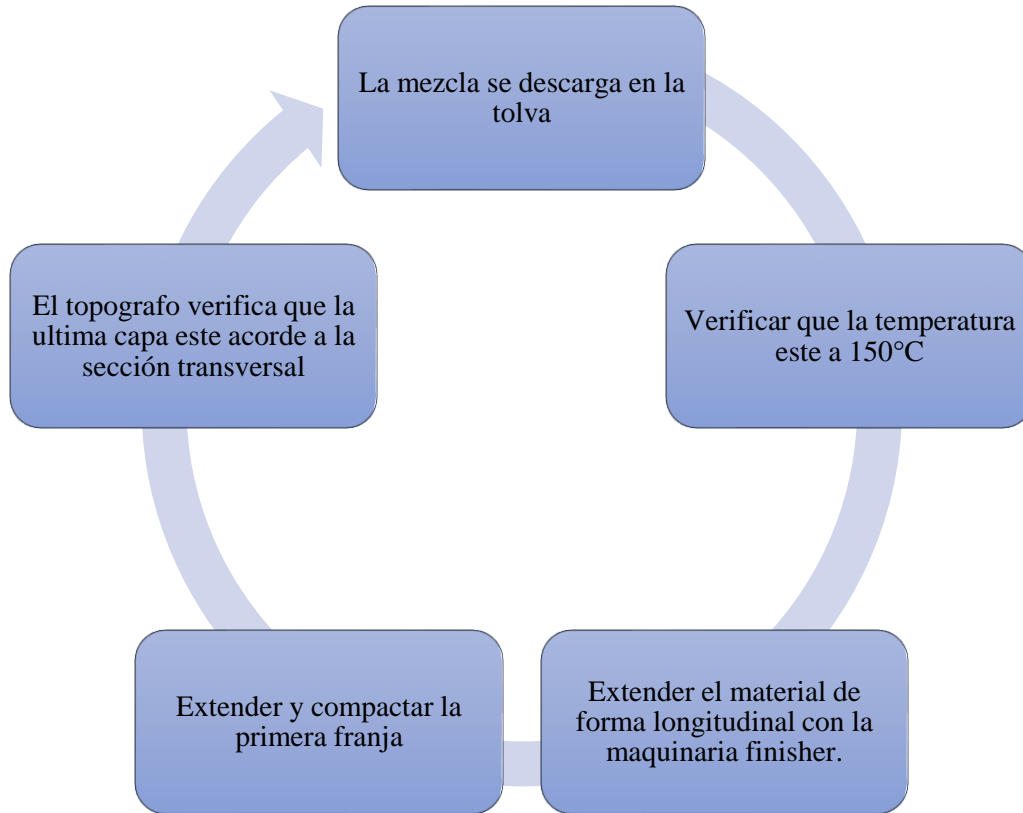
Figura 14. Extensión del asfalto. Fuente: Propia

En la Tabla 10 se muestra el personal, material, equipo y norma, para el procedimiento de la instalación del asfalto flexible.

Ítems	Descripción
Personal	Cuadrilla de asfalto
Materiales	Mezcla asfáltica
Equipo	Finisher, vibrocompactador
Norma	Especificación técnica IDU 510-11, IDU 512-11, IDU 514-11 o IDU 520-11

Tabla 10. Carpeta asfáltica. Elaboración: (Ortiz, 2017)

El proceso de instalación para la mezcla asfáltica es el siguiente (Ver Figura 15).



*Figura 15. Proceso de instalación de la carpeta asfáltica. Fuente: Propia*

### **3.2.8.8 Riego de liga.**

El riego de liga consiste en aplicar emulsión asfáltica de forma uniforme cubriendo la superficie de asfalto existente con la capa rodadura. La superficie sobre la cual se va aplicar el riego de liga debe cumplir con los requisitos de calidad.

En el proceso de riego de liga la superficie se debe limpiar de forma que se retire las impurezas como (polvo, barro y material suelto), la superficie debe tener una humedad inferior a la humedad de compactación (Ortiz, 2017).

## 4 MAQUINARIA Y EQUIPOS

Para la instalación de asfalto del proyecto conexión 20 del tramo 1 de la troncal de Transmilenio, se hizo uso de la siguiente maquinaria y equipos.

### 4.1 Compactador apisonador.

Es una herramienta que aplica una carga en la superficie del suelo, mediante impactos consecutivos que ayudan a nivelar de forma uniforme los espacios reducidos de partículas de suelo aumentando la densidad del mismo permitiendo llegar donde el rodillo vibratorio no llega (Murcia, 2016).



*Figura 16. Compactador apisonador tipo canguro. Fuente: (Maquiequipos de Colombia, 2022)*

### 4.2 Vibro compactador de cilindro metálico o rodillo vibratorio.

Es un tipo de maquinaria pesada que se encuentra dotado por unos rodillos que tienen como función dar compacidad al material requerido (Murcia, 2016).



*Figura 17. Rodillo vibratorio. Fuente:(Caterpillar, 2021)*

#### **4.3 Vibro compactador de neumáticos.**

Se usa para la el proceso de compactación de las capas de asfalto, brindando mejor presentación en la carpeta asfáltica. También cuenta con un tren de rodaje dotado de neumáticos (Murcia, 2016).



*Figura 18. Vibrocompactador de neumáticos. Fuente: Propia*

#### 4.4 Mini cargador.

Se usa para transportar extender o cargar material granular o de excavación hacia los camiones. Su cuchara se puede reemplazar por diferentes accesorios, como taladros vibratorios, entre otros (Murcia, 2016).



Figura 19. Minicargador. Fuente:(Komatsu, 2022)

#### 4.5 Volquete.

Es un vehículo que transporta materiales granulares, cuenta con un dispositivo que permite volcar su carga (Murcia, 2016).



Figura 20. Volquete transportando material. Fuente: Propia

#### **4.6 Terminadora de asfalto.**

Es una máquina que se utiliza para extender la mezcla asfáltica y cuenta con unas guías y un tornillo para esparcir la mezcla de forma uniforme, teniendo en cuenta el espesor y ancho de vía (Murcia, 2016).

#### **4.7 Rana compactadora o compactador manual.**

Es un equipo portable que se utiliza para compactar pequeñas porciones de superficie.

#### **4.8 Motoniveladora.**

Es una máquina de gran tamaño que se utiliza para nivelar, mezclar y escarificar las capas granulares que conforman la estructura de pavimento. Este cuenta con una hoja niveladora metálica que puede girar para arrastrar el material, y unos estratificadores, llamados rippers, que arrastran el suelo compactado (Murcia, 2016).



*Figura 21. Máquina motoniveladora nivelando la capa granular. Fuente: Propia*



#### 4.9 Retroexcavadora de oruga.

Es una maquinaria pesada que cuenta con un brazo mecánico articulado, el cual finaliza con un dispositivo que tiene como función desgarrar y romper el suelo. Hay retroexcavadoras de doble función, que en la parte posterior poseen una cuchara para cargar el material excavado (Murcia, 2016).



Figura 22. Excavación con la retroexcavadora de oruga en el tramo 1 de la calzada de Transmilenio de la Avenida

Cali para realizar cambio de tuberías. Fuente: Propia

En la **Figura A**: La retroexcavadora está realizando movimiento de tierras. **Figura B**: La retroexcavadora gira para botar el material que recogió con la cuchara. **Figura C**: La retroexcavadora alza el brazo hidráulico para volver a excavar. **Figura D**: La excavadora baja el brazo hidráulico y recoge material con la cuchara.

## 5 METODOLOGÍA

### 5.1 Descripción de las actividades desarrolladas durante la pasantía.

Durante el desarrollo de la pasantía realizada en la empresa Bejarano Núñez SAS se empleó la siguiente metodología en tres fases (Ver Figura 23). Esto con el fin de contribuir como pasante en la implementación de diversos formatos para el control y vigilancia de obra.

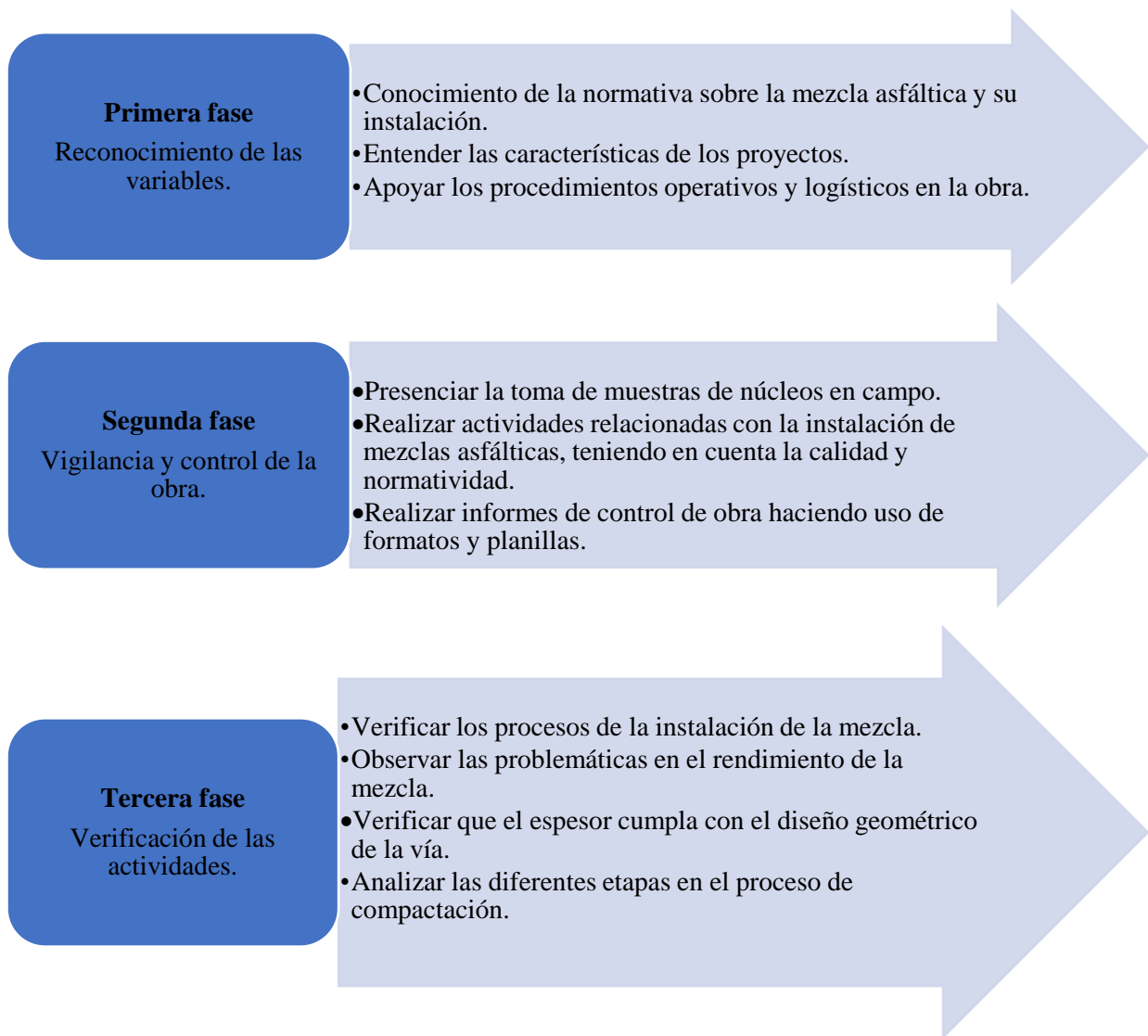


Figura 23. Metodología empleada durante el desarrollo de la pasantía. Fuente: Propia

Las actividades anteriormente descritas en la Figura 23, se tuvieron en cuenta para la ejecución y cumplimiento de las diferentes etapas en la instalación de la carpeta asfáltica. Esta etapa inicia con la búsqueda de la implementación de formatos que permitan el control de calidad, pasando por el proceso de instalación y por último con la extracción de niveles. En la Figura 24, se puede observar las diferentes etapas llevadas a cabo durante la pavimentación del tramo 1 de la Avenida Cali.



Figura 24. Etapas para la instalación del asfalto. Fuente: Propia

A continuación, se describe cada una de las etapas llevadas a cabo durante la instalación de la carpeta asfáltica del tramo 1 de la Avenida Cali.

## 5.2 Actas y Formatos para el control diario.

En ingeniería civil los formatos son de gran importancia para tener un control diario de obra. En esta pasantía se busca la implementación de formatos para tener un control diario de temperatura, trazabilidad, rendimiento y control de mezcla asfáltica. Esto permite tener un control riguroso y aumentar la calidad del producto (Ver Figura 25).

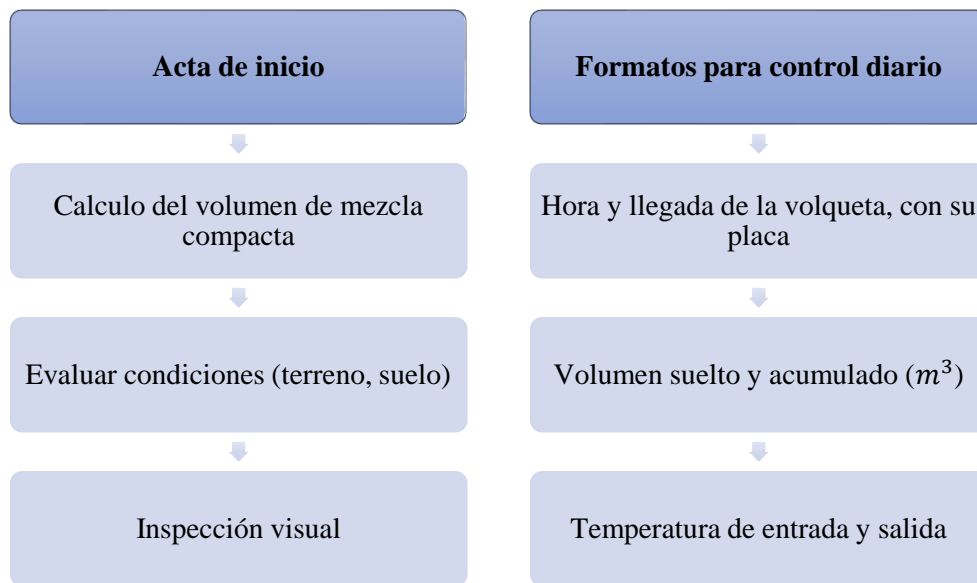


Figura 25. Tipos de formato para control diario de obra. Fuente: Propia

### 5.2.1 Acta de inicio.

Es un documento primordial para evaluar las condiciones en que se encuentra el tramo a intervenir, para ello se tiene en cuenta las pendientes longitudinales y transversales con la finalidad de dar un buen manejo de aguas a la vía (Ver Figura 26).



### 5.2.1.3 Inspección visual.

Se realiza una inspección del terreno, en donde se verifica si el CBR del suelo está muy bajo o está en condiciones óptimas para iniciar la instalación del asfalto.

### 5.2.2 Formato control diario de mezcla asfáltica.

Este formato se usa para evaluar los diferentes factores que afectan a la obra. Este permite tener un control diario especialmente de la temperatura del asfalto.

En la Figura 27, se pueden observar los diferentes ítems de evaluación en el control diario de la mezcla.

		CONTROL DIARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA					CÓDIGO	PDN-F008			
							VERSIÓN	1			
							FECHA	08/06/2021			
							APROBÓ	Director de planta			
OBRA _____											
FECHA	PLACA VOLQUETA	HORA		VOLUMEN SUELTO M <sup>3</sup>	VOLUMEN ACUMULADO M <sup>3</sup>	RECIBO No	TEMPERATURA (°)			LOCALIZACIÓN	MUESTRA No BRIQUETA No
		LLEGADA	EXTENDIDA				SALIDA	LLEGADA	COMPACTACIÓN		

Figura 27. Formato control diario de mezcla asfáltica. Fuente: Propia

### 5.3 Ensayo de densidad y resistencia para base granular.

Una vez se termina el proceso de compactación en la capa sub-base, se realiza un control en el cual se evalúa el que las densidades cumplan de acuerdo al nivel indicado en los planos. Antes de continuar con la siguiente capa (base) se debe realizar un ensayo para determinar y verificar que la densidad de la capa sea la adecuada.

Los ensayos para realizar el control de densidades son los siguientes:

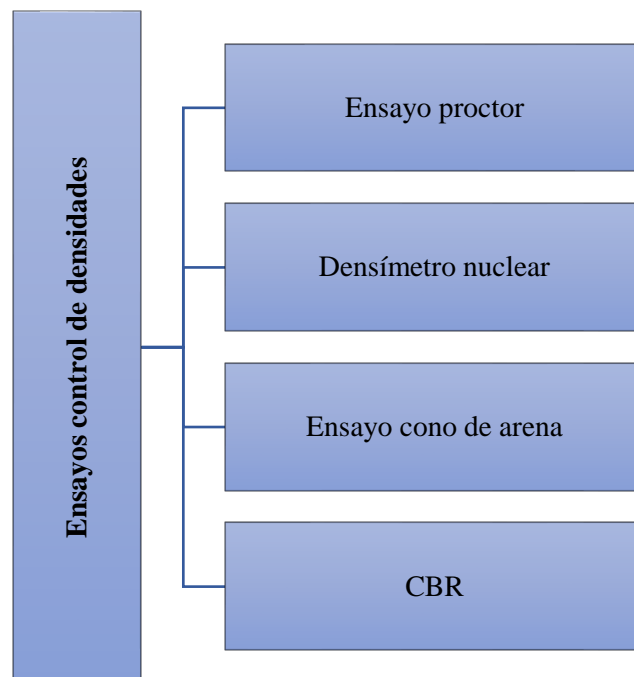


Figura 28. Ensayos para el control de densidades. Fuente: Propia

#### 5.3.1 Ensayo Proctor modificado.

La compactación está relacionada con la densidad máxima o peso seco volumétrico máximo del suelo, que para producirse es necesario que la masa del suelo tenga una humedad definida que se conoce “humedad óptima” al terminar el ensayo (Ver Figura 29) (Plata, 2020).

Este ensayo es utilizado para evaluar la capacidad portante de los suelos donde se va a ser apoyada la estructura de pavimento, mediante la medida indirecta de resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones controladas de densidad y humedad (Plata, 2020).



*Figura 29. Ensayo Proctor modificado. Fuente:(Murcia, 2016)*

### **5.3.2 Control de densidades con cono de arena.**

El ensayo de cono de arena permite calcular de forma in situ el valor de la densidad natural del suelo y el grado de compactación en los materiales (Ver Figura 30).



*Figura 30. Ensayo de cono realizado de forma in situ. Fuente:(Ortiz, 2017)*



### 5.3.3 Ensayo de relación de soporte California (CBR).

Este ensayo tiene como objetivo determinar el índice de resistencia y la deformación de un suelo como lo puede ser una rasante, sub-rasante, sub-base y base, mediante el ensayo de una muestra en condiciones desfavorables (Ver Figura 31) (Ramírez & Olano, 2018).



Figura 31. Ensayo CBR. Fuente: (Ramírez & Olano, 2018)

### 5.3.4 Ensayo densímetro nuclear.

Para la obra del Tramo 1 de Transmilenio se realizó el ensayo con el “**densímetro nuclear**”, ya que es uno de los métodos más empleados para el control de calidad en suelos y agregados compactados (Ver Figura 32). También se cataloga como la forma más rápida y menos destructiva (Cruz, 2020).



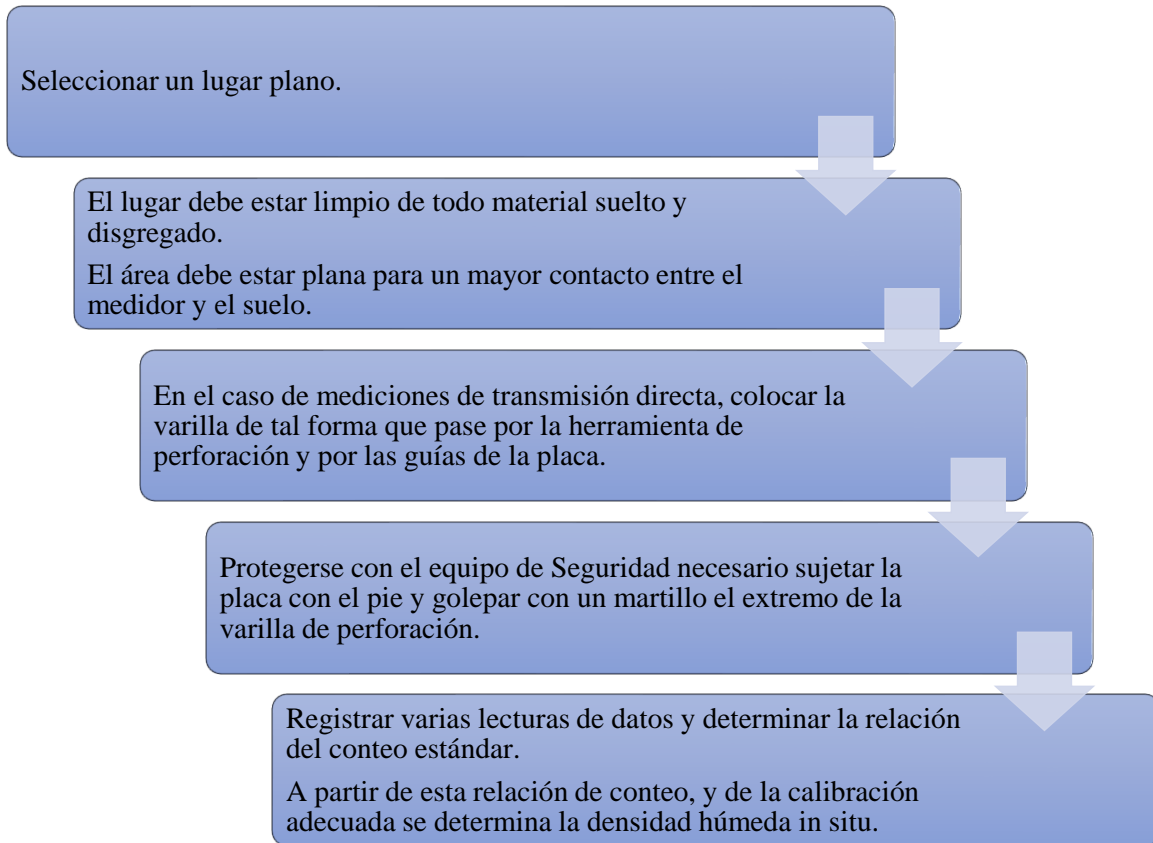
Figura 32. Ensayo con densímetro nuclear en el tramo 1. Fuente: Propia

El densímetro nuclear es un equipo electrónico de medición con gran precisión en el porcentaje de humedad y de la densidad de los suelos o agregados y asfalto, directamente en el sitio sin tener que recurrir al laboratorio (Cruz, 2020). En la Figura 33 se puede evidenciar la medición de la densidad del suelo haciendo uso del densímetro nuclear.



*Figura 33. Densímetro nuclear. Fuente: (Cruz, 2020)*

El proceso que se realizó en la vía del tramo 1 de Transmilenio de la Avenida Ciudad de Cali se describe en la Figura 34. Este tipo de medición in situ tiene grandes ventajas debido a la baja complejidad del ensayo, y a la efectividad de su resultado. También, es de relevancia verificar la calibración del equipo para evitar datos erróneos durante el ensayo. Los datos pueden ser presentados en gráficas, tablas, coeficiente de ecuaciones o almacenados en la celda de medición, para lograr cubrir los datos de conteo para densidad del material (Cruz, 2020).



*Figura 34. proceso para el ensayo de densímetro nuclear. Fuente: Propia*

Una vez terminado el ensayo por el personal capacitado, se procede a la verificación de los datos obtenidos, si estos cumplen con el estándar establecido en la norma se inicia el debido proceso para la compactación de la siguiente capa (base).

#### **5.4 Nivelación.**

En esta etapa se realiza el proceso llamado nivelación, el cual consiste en nivelar el terreno una vez se haya terminado la compactación de la base. Esto se realiza de la siguiente forma (Ver Figura 35).

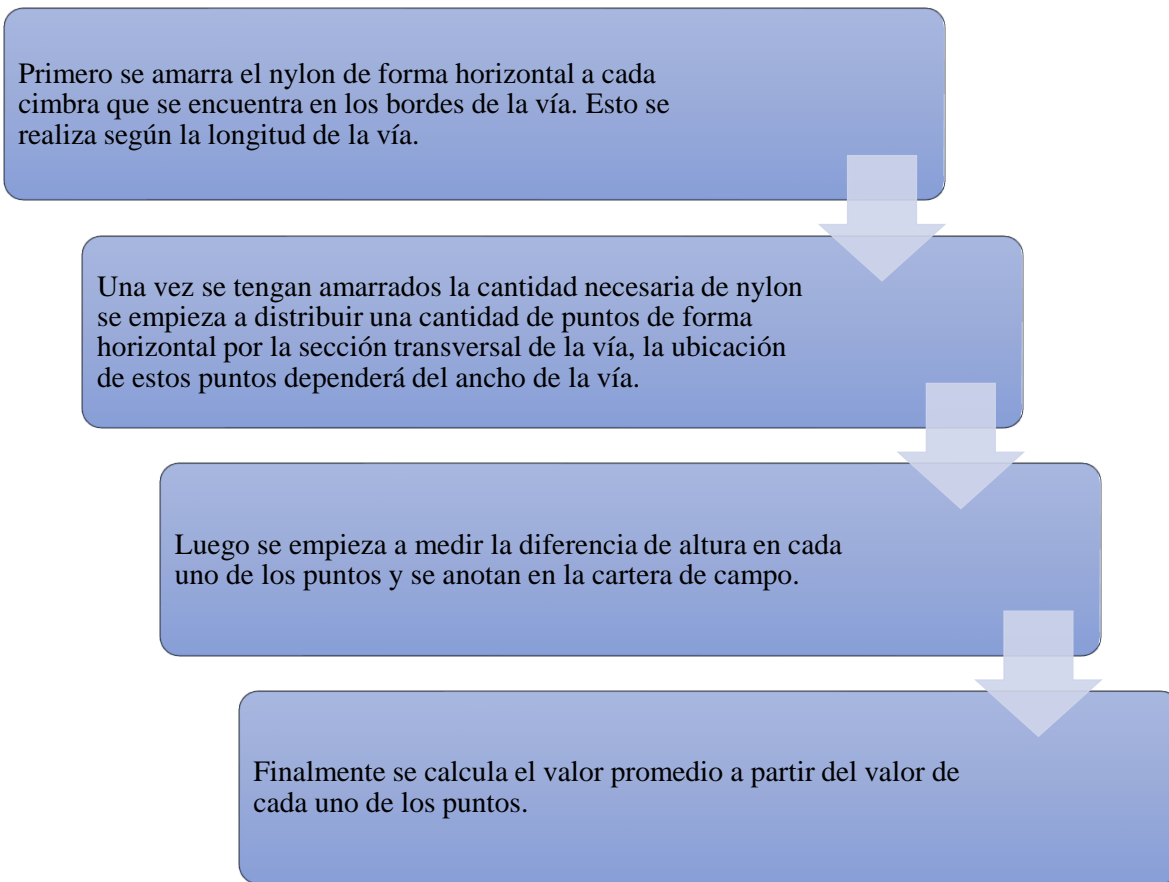


Figura 35. Proceso para la nivelación. Fuente: Propia

Para la nivelación se utilizó en personal a ayudantes, el ingeniero encargado y el topógrafo que ayudará a mantener una guía en la cimbra durante la medición de diferencias de alturas, en cuanto al equipo se hizo uso del nylon, metro, equipo topográfico y cartera de campo (Ver Tabla 11).

Ítems	Descripción
Personal	Ayudantes, Ingeniero encargado, topografía
Equipo	Nylon, metro, equipo topográfico, cartera de campo

Tabla 11. Nivelación. Elaboración: Propia

## 5.5 Imprimación.

En este proceso de imprimación se busca proteger la superficie de la base una vez se ha terminado el proceso de compactación. Se efectúa el suministro y aplicación de un riego de material asfáltico, incluyendo la colocación de material secante en caso de que se requiera, sobre la capa preparada y aprobada de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto en conformidad con los planos (Bonett, 2014; Ochoa, 2004).

Este riego de imprimación es básicamente una aplicación de emulsión asfáltica que cubre la capa llamada base (Ochoa, 2004). La aplicación de esta emulsión o ligante bituminoso se debe realizar de manera uniforme tanto longitudinal como transversal evitando la duplicación en las juntas transversales, para lo cual se debe colocar tiras de papel u otro material con la finalidad que el riego comience y termine sobre estas (Ver Figura 36) (Bonett, 2014; EPM, 2018).



*Figura 36. Aplicación de la emulsión asfáltica en la capa base. Fuente: Propia*

En la Tabla 12, se muestra el personal, material, equipo y norma, necesario para el proceso de imprimación. Este riego se realiza por medio del carrotanque que es manipulado por operarios y

ayudantes de la obra, el material indicado es la emulsión asfáltica CRL-0, CRL-1 o asfalto líquido MC30.

Ítems	Descripción
Personal	Operarios, ayudantes
Materiales	Para el riego se puede usar emulsión asfáltica CRL-0, CRL-1 o asfalto líquido MC30
Equipo	Carrotanque
Norma	Especificación técnica IDU 500-13 e IDU 502-11

Tabla 12. Riego de imprimación. Elaboración: (Ortiz, 2017)

El proceso de imprimación tiene grandes beneficios para la base, en la Figura 37 se describen algunos de sus propósitos.

Beneficios del proceso riego de imprimación				
1. Previene el deslizamiento entre la sub-base y la capa superficial.	4. Impermeabiliza la superficie.	6. Evita que el material de base se desplace bajo las cargas de tránsito, durante la construcción, antes de que se coloque la capa asfáltica.	7. Facilita el mantenimiento.	9. Promueve la unión entre la superficie sobre la cual se coloca y la primera capa de mezcla asfáltica sobre ella colocada.
2. Protege la capa de la interperie.	5. Cierra los espacios capilares.		8. Endurece la superficie.	

Figura 37. Beneficios del proceso riego de imprimación. Fuente: Propia

El riego de la emulsión asfáltica deberá hacerse durante las horas con mayor temperatura del día y por ningún motivo se aplicará cuando la base se encuentre mojada o haya peligro de lluvia.

## 5.6 Expansión de los niveles sueltos de asfalto.

La expansión de los niveles sueltos es el nivel en el cual se va a trabajar para la etapa de instalación de la carpeta asfáltica. Este nivel se debe tener en cuenta a la hora de extender el material suelto (asfalto).

En base al valor de este nivel se define el factor de compactación que una vez se pase la máquina vibrocompactador tiene que llegar a ese nivel compacto.

Básicamente es un nivel suelto y al pasar la máquina el material se comprime y queda el nivel compacto deseado, calculado por los topógrafos el cual es la cota de diseño de la rasante la cual no puede variar su valor. Para este tipo de material se maneja un factor de compactación con un valor de 1,25%, de acuerdo a la normatividad IDU (Ver Figura 38).



*Figura 38. Niveleta que es el triángulo donde debe quedar terminada la rasante con su respectivo abcisado. Fuente: Propia*

El control de niveles y seriado en el material de base, fue de gran importancia para el cumplimiento de la capa en las especificaciones indicadas en el plan de inspección.

## 5.7 Instalación.

Las mezclas asfálticas sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, otorgando unas condiciones adecuadas de rodadura. El comportamiento de la mezcla depende específicamente de las condiciones externas tales como el tiempo de aplicación de carga y la temperatura (Ver Figura 39) (Bonett, 2014; Ochoa, 2004).

Las mezclas asfálticas se pueden fabricar ya sea en caliente o frío, siendo más común el uso en caliente.



Figura 39. Extendimiento del asfalto en caliente haciendo uso de la maquinaria finisher. Fuente: Propia

### 5.7.1 Proceso constructivo.

La fabricación de la mezcla asfáltica en caliente es un proceso industrial, realizado en plantas productoras de mezcla asfáltica en este caso Dromos. Estas son un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con cemento asfáltico para producir la mezcla (Bonett, 2014).



La planta de elaboración de la mezcla puede ser continua (prácticamente en desuso), de mezcla en el tambor o discontinua (Bonett, 2014). Se debe disponer de dispositivos adecuados para calentar y dosificar los agregados y el cemento asfáltico en caliente.

Las operaciones principales de la planta de asfalto son el secado, cribado, proporcionado y mezclado.

Para el transporte del material se emplean camiones tipo volqueta permitiendo el vaciado por el extremo posterior de la caja al ser levantada, en la superficie interna debe impregnarse con un producto que impida la adhesión de la mezcla evitando la alteración de la mezcla asfáltica.

Una vez llega el material a la obra el ingeniero encargado debe hacer una inspección visual de la mezcla. A continuación, se nombran algunas de las características que no debe tener la mezcla (Ver Figura 40).

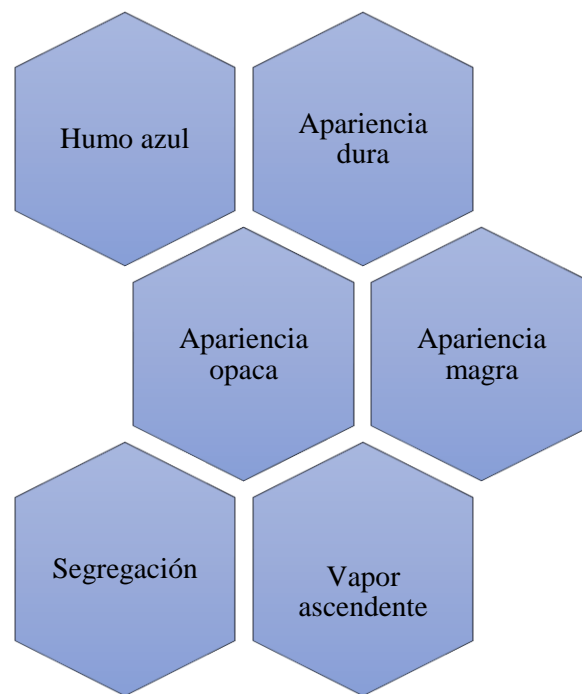


Figura 40. Características que no debe tener la mezcla cuando llega a obra. Fuente: Propia

El proceso principal de construcción del pavimento consiste en extender la mezcla a lo largo de la vía y compactarla adecuadamente hasta la densidad mínima especificada en las normas. El proceso de instalación de mezcla se describe en la Figura 41.

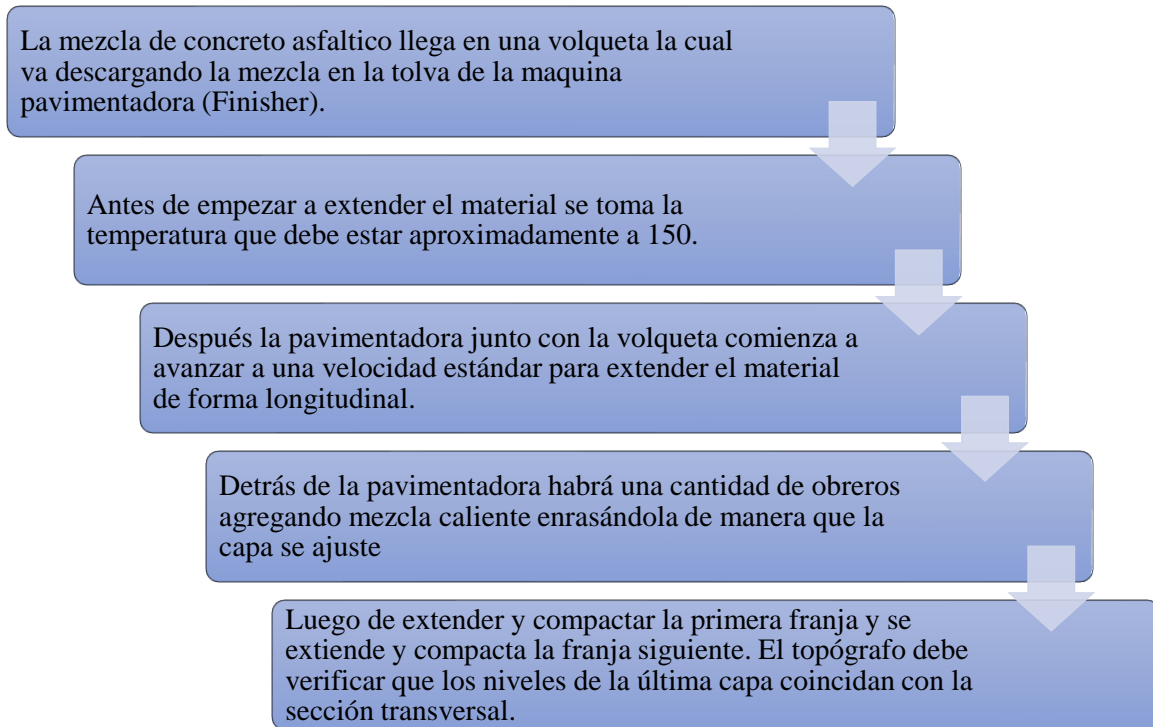


Figura 41. Proceso de instalación de mezcla asfáltica. Fuente: Propia

## 5.8 Proceso de compactación.

La compactación es la última etapa del proceso de pavimentación con mezclas de asfalto a altas temperaturas. En esta parte se desarrolla la resistencia total de la mezcla y se instaura la lisura y textura de la carpeta (Bonett, 2014).

Al compactar la mezcla se alcanza cohesión, impermeabilidad y estabilidad en las capas de rodadura (dura y lisa). Además, la compactación cierra los espacios con el fin de que el aire y el agua no puedan penetrar y ocasionar envejecimiento (ver Figura 42) (Bonett, 2014; Ortiz, 2017).



Figura 42. Compactación de un tramo de la vía en la zona de la Avenida Cali en la localidad de Bosa. Fuente:

Propia

**Figura A:** Los obreros están terminando de extender el asfalto y se está compactando con el vibrocompactador de rodillo.  
**Figura B:** Esta la maquinaria finisher en el proceso de extender el material, y al lado se está compacto con el vibrocompactador de rodillo.

### 5.8.1 Fases de la compactación.

Este procedimiento se realiza en tres fases (ver Figura 43).

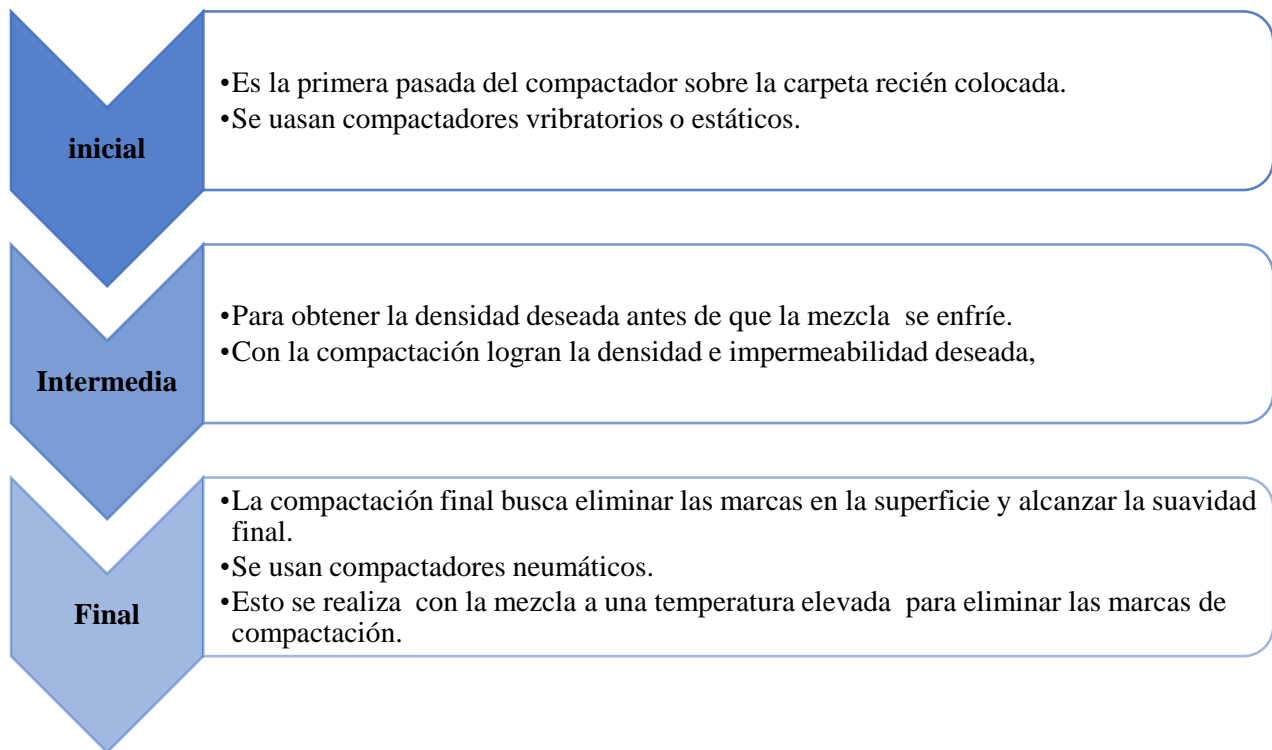


Figura 43. Fases de la compactación. Fuente: (Bonett, 2014)

### 5.8.2 Calidad de la compactación.

La calidad de la carpeta asfáltica depende en gran parte al proceso llamado compactación. Para ello se usan tres criterios con el fin de aprobar la carpeta terminada. Los criterios son: textura superficial, tolerancia de la superficie y densidad (Ver Figura 44).

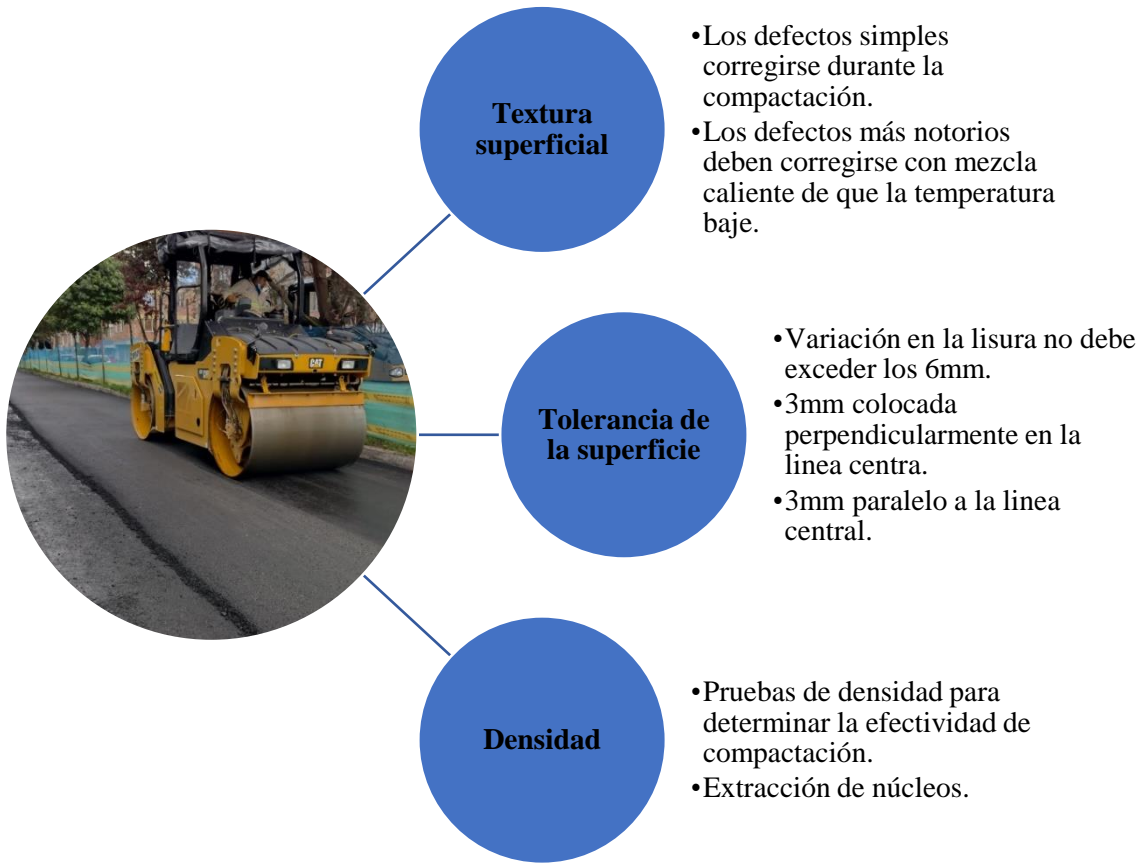


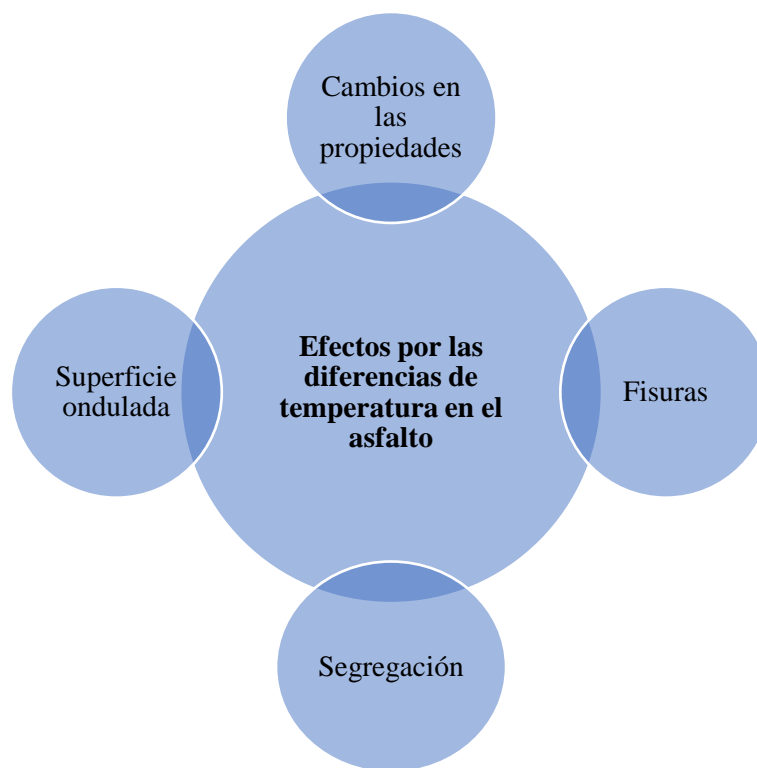
Figura 44. Criterios para la calidad de compactación. Fuente: Propia

### 5.9 Control de temperatura.

En la etapa de instalación de mezcla asfáltica un factor importante es la temperatura, ya que de este depende en gran parte la calidad de las propiedades del material. En el proceso llamado

compactación se debe realizar diferentes mediciones de temperatura, con la finalidad de obtener una superficie lisa y suave.

La temperatura del material varía desde el momento en que se empieza de producir en la planta hasta en la conformación en la estructura de pavimento, particularmente en el proceso de compactación; estas diferencias de temperatura generan los siguientes efectos (Ver Figura 45) (Guerrero, 2019; Reyes et al., 2006).



*Figura 45. Efectos causados por las diferencias de temperatura en el asfalto. Fuente: Propia*

### **5.9.1 Proceso de medición de temperatura.**

El proceso de medición por el cual debe pasar la mezcla desde que sale de la planta hasta que llega a la obra, se describe en la Figura 46. Esto se realiza con el fin de mantener las condiciones del material, y en el proceso de compactación no se genera alguna falla.

La temperatura de producción es aproximadamente 170 °C.  
Una vez se carga la volqueta los residuos se encuentran a 160 °C.

Cuando el carro llega a la obra con el material, se realiza un control de temperatura haciendo uso de un termómetro de bulbo.  
Esta temperatura de llegada debe estar en los 150°C.

Luego el material se descarga en la tolva, y se procede a realizar de nuevo la medición de temperatura.  
Esta temperatura de descarga debe oscilar entre los 145°C y 150 °C.

Para tener un proceso de compactación óptimo, se debe realizar una prueba de Marshall la cual la lleva a cabo la empresa productora de asfalto.  
Esta prueba nos indica a que temperatura se debe compactar.

Por último, es importante tener en cuenta que no se deben instalar mezclas inferiores a 130°C, ya que no es aprobado por la interventoria.  
Según la norma IDU se debe compactar entre 130° a 135°.

Figura 46. Proceso de medición de temperatura de la mezcla desde que sale de la planta de producción hasta el proceso de compactación. Fuente: Propia

En la Figura 47, se muestran algunas de las mediciones realizadas durante el proceso de compactación del material en diferentes tramos de la vía. Se puede verificar que la temperatura fue superior a 140°C, teniendo beneficios en la calidad de su instalación.

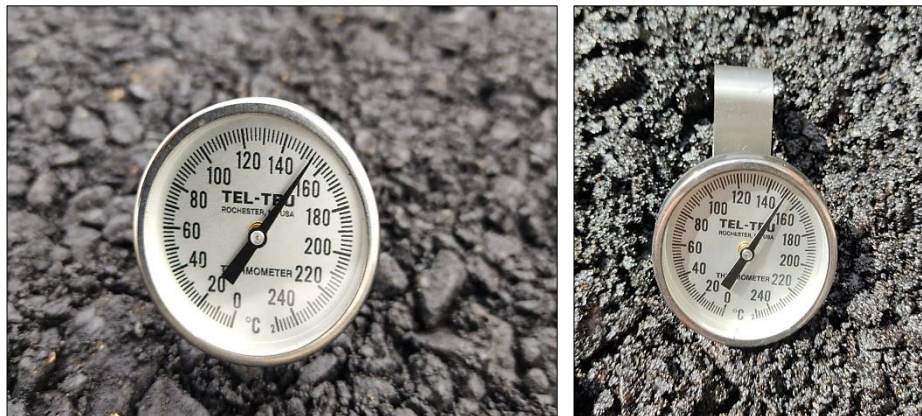


Figura 47. Control de temperatura durante el proceso de compactación. Fuente: Propia

## 5.10 Riego de liga.

Es la aplicación de una capa delgada de emulsión asfáltica por medio de riego a presión sobre una superficie bituminosa o de concreto, preliminar a la colocación de una capa asfáltica. El riego proporciona una adherencia apropiada entre las capas del pavimento (Ver Figura 48) (Salas & Zuñiga, 2019)

Para este proceso la superficie se debe limpiar de forma que se retire las impurezas como (polvo, barro y material suelto), la superficie debe tener una humedad inferior a la humedad de compactación (Ortiz, 2017).



*Figura 48. Proceso de riego de liga. Fuente: Propia*

*Figura A: Están realizando el proceso de riego de liga. Figura B: El proceso de riego de liga ha terminado.*

La dosificación del ligante debe ser definida sobre la base de las pruebas iniciales en obra. En condiciones normales, se recomiendan dosificaciones del orden de doscientos a trescientos gramos de ligante residual por metro cuadrado (200 a 300 g/m<sup>2</sup>) (EPM, 2018).

En la Tabla 13, se especifica el material usado para el riego de liga que es CRR-1 o CRR-2, el cual aplica una vez ya se encuentre el material compactado. Para este proceso es necesario contar con el personal adecuado que son operarios y ayudantes.

Ítems	Descripción
Personal	Operarios, ayudantes
Materiales	Para el riego de liga CRR-1 o CRR-2
Equipo	Carrotanque
Norma	Especificación técnica IDU 500-13 e IDU 502-11

Tabla 13. Riego de liga. Elaboración: (Ortiz, 2017)

### 5.11 Extracción de núcleos.

Una vez se finaliza la etapa de compactación, se procede a realizar el procedimiento de extracción de núcleos con el fin de comprobar los espesores del material. También sirve para determinar la densidad, el módulo dinámico o resiliente, la resistencia a la tensión y la estabilidad, así como el contenido de asfalto y sus propiedades (Ver Figura 49) (INVIAS, 2012a).

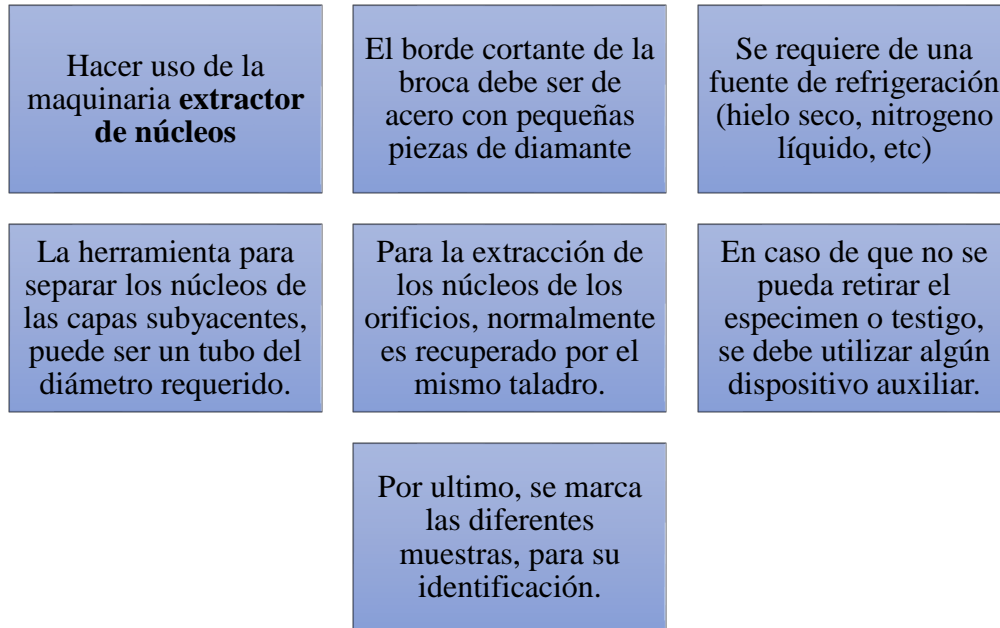


Figura 49. Extracción de núcleos. Fuente: Propia

**Figura A y Figura B:** se observa al equipo realizando la extracción con la perforadora de asfalto. **Figura C:** El ingeniero está realizando la medición de una de las muestras extraídas. **Figura D:** Se observa otra extracción con otro tipo de perforadora.



En esta prueba se realiza la extracción de muestras de capas asfálticas (de base, intermedia o rodadura), con el objetivo de medir los espesores y realizar ensayos de laboratorio. A continuación, se describe el procedimiento de extracción (Ver Figura 50).



*Figura 50. Procedimiento para la extracción de núcleos. Fuente: Propia*

Las muestras que se toman con el equipo saca-núcleos deben tener un diámetro mínimo de 100 mm (4") y abarcar todo el espesor de la capa de la muestra. La cantidad mínima de muestras no debe ser inferior a tres.

## **6 APORTE PARA LA EMPRESA BEJARANO NÚÑEZ S.A.S**

El código que se desarrolló durante el tiempo la pasantía, consta de un programa que realiza la cotización de un proyecto de pavimentación, partiendo del volumen a pavimento y finalizando con el total de la cotización.

Esto se elaboró con la finalidad de generar un aporte para la empresa Bejarano Núñez S.A.S en el cálculo de la cotización total para la instalación de asfalto flexible. Además, sirve como guía para aquellas personas que trabajen en esta área de asfaltos o se encuentren estudiando Ingeniería Civil y deseen ampliar su conocimiento.

Por medio del siguiente Manual de usuario se explica el funcionamiento del programa.

### **6.1 Manual de usuario.**

En este manual se encuentran las instrucciones sobre el uso del programa de cotización de pavimentación desarrollado en el programa C++, a partir de los conocimientos básicos de programación.

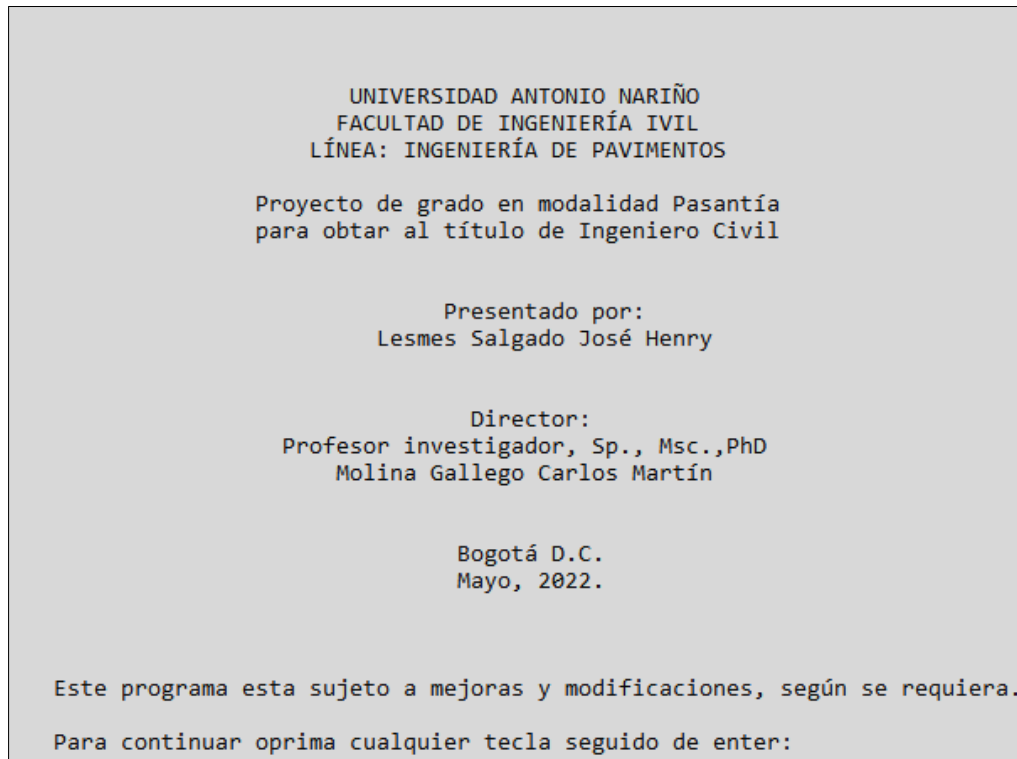
#### **6.1.1 Arranque del programa.**

Abrir el programa C++ o algún visor que permita la compilación y ejecución del código.

Para iniciar el programa haga doble clic en el icono Henry\_Lesmes.cpp en el explorador de su computador.

Automáticamente se visualiza una ventana de bienvenida, la cual indica que el programa está sujeto a mejoras y modificaciones, según se requiera. Además, se especifica la información

académica que habla sobre la Universidad, la facultad, semestre e información sobre el autor y tutor de la pasantía.



*Figura 51. Ventana de bienvenida del programa. Fuente: Propia*

### **6.1.2 Funciones del menú.**

Al presionar cualquier tecla seguido de enter se muestra en la siguiente ventana las diferentes funciones que tiene el programa, como son el cálculo del volumen del programa y los costos de las diferentes variables usadas en el proceso de pavimentación. Las funciones que brinda se muestran en la siguiente Figura.

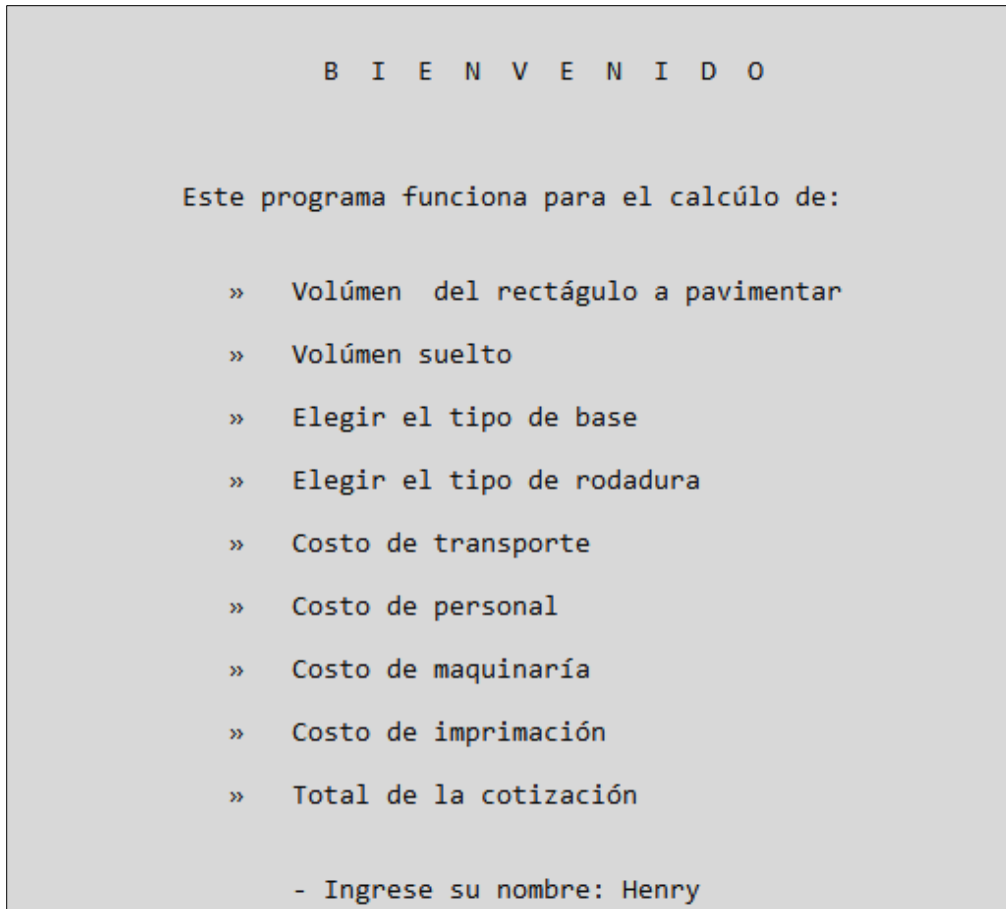


Figura 52. Funciones del menú. Fuente: propia

Una vez se ingresa el nombre y se presiona enter el programa le pide que seleccione la opción que desea realizar. Este menú se encuentra diseñado para realizar el cálculo total de la cotización de la pavimentación de una vía, la mayor parte de las opciones del menú se calculan en función de la variable del volumen suelto calculado en la opción 2.

Para el cálculo del volumen suelto el usuario debe digitar el largo, ancho y el espesor en la unidad de metros. Una vez el programa realiza la operación se indica que se debe tener en cuenta el valor del factor de expansión del 1.25%.

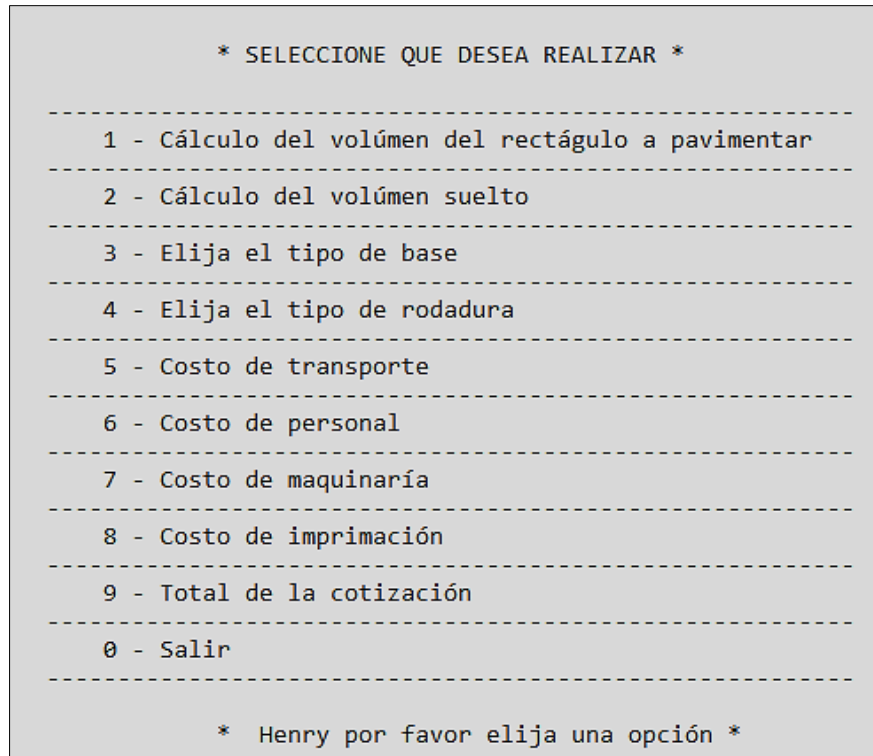


Figura 53. Opciones de cálculo del programa. Fuente: Propia

Dentro de las siete opciones de cálculo el programa se le pedirá que digite los datos necesarios para el cálculo de dichos totales. A continuación, se explican las funciones de cada opción.

- En la **opción 1** se calcula el volumen del lugar a pavimentar, por lo que se le solicitara digitar el largo, ancho y el espesor en metros.
- En la **opción 2** se calcula el volumen suelto del lugar a pavimentar, por lo que se le solicitara digitar el largo, ancho y el espesor en metros. También se tendrá en cuenta el factor de expansión que es del 1.25%.
- En la **opción 3** se calcula el costo de la base a partir del volumen suelto calculado y el costo de la base seleccionada según la necesidad.

- En la **opción 4** se calcula el costo de la rodadura a partir del volumen suelto calculado y el costo de la rodadura base seleccionada según la necesidad.
- En la **opción 5** se calcula el costo del transporte (volqueta de asfalto), por lo que se le solicitará al usuario los kilómetros que recorrerá la volqueta, teniendo presente que el costo del  $m^3$  suelto por Km recorrido es \$ 550 pesos. También se tendrá en cuenta el volumen suelto.
- En la **opción 6** se calcula el costo de mano de obra o personal, este costo total es el valor de la cuadrilla que son \$17.000 por el volumen suelto calculado en la segunda opción en  $m^3$ .
- En la **opción 7** se calcula el costo de la maquinaria, allí hay seis opciones en las cuales usted podrá elegir. Este valor se cobra por  $m^3$ .
- En la **opción 8** se calcula el costo del proceso de imprimación, allí se tiene en cuenta el área a pavimentar y el costo por  $m^2$  de imprimación.
- En la **opción 9** se calcula el total de la cotización a partir de los costos totales de las opciones anteriormente calculados, siempre y cuando el volumen sea mayor de  $40 m^3$ . Si el valor es menor o igual a  $40 m^3$  se le dará un costo aproximado.
- En la **opción 0** se brinda la opción al usuario de salir del programa.

## 7 CONCLUSIONES

En el proceso de pavimentación es de gran importancia cumplir con cada uno de los pasos descritos en la metodología para entregar un producto de calidad y que cumpla con los parámetros establecidos por la norma IDU.

Durante el proceso de la pasantía se llevó un registro escrito y fotográfico de los procesos constructivos y la mayoría de las actividades en obra, los cuales sirvieron como guía para realizar el documento, también se anotaban los imprevistos que se presentaban en la obra, esto con el fin de que los ingenieros encargados dieran una justificación del desarrollo de los procesos constructivos que se estaban llevando a cabo y cuando algún proceso se estaba efectuando de manera correcta.

En el transcurso de la práctica se logró verificar el grosor de las capas granulares según lo estipulado en el diseño de la estructura, todo esto gracias al equipo de topografía que por medio del nivel pudo obtener los valores de las diferentes capas (granulares y de asfalto). Además, este equipo fue de gran ayuda en la colocación y nivelación de los sardineles a lo largo del tramo de la vía.

Se realizaron ensayos de densidad en diferentes puntos a lo largo del tramo de la vía Avenida Ciudad de Cali, estos fueron efectuados por un equipo especializado para ser analizados en el laboratorio. Estos fueron tomados con el equipo del densímetro nuclear, arrojando como resultado una densidad óptima para continuar con la pavimentación.

Finalmente, se desarrolló un código en el lenguaje C++, con el objetivo de realizar la cotización de la instalación del asfalto, donde lo primero que se calcula es el volumen, ya que con este valor

se pueden desarrollar los demás ítems, como el tipo de base, el costo del transporte, el personal y maquinaria; todo esto con el fin de facilitar la realización de esta tarea por medio de una herramienta capaz de ejecutar de forma automática los cálculos correspondientes.



## 8 RECOMENDACIONES

Es de gran relevancia que los practicantes tengan información desde el inicio a fin las especificaciones de construcción del proyecto que se está realizando el control y vigilancia de las diferentes actividades diarias que se realizan.

Es fundamental verificar que las actividades programadas se cumplan según el cronograma, y que cada proceso se realice de acuerdo a la normatividad vigente.

Por otro lado, es relevante que los estudiantes de ingeniería civil sigan generando documentos de este tipo que incluyan lo más novedoso en materiales, maquinarias, procesos, personal, etc. Puesto que sirven como un manual en el proceso de instalación asfáltica.

La maquinaria que se encuentra en obra es de gran importancia para el proceso constructivo, por eso se debe aprovechar al máximo y el tiempo muerto (tiempos inactivos de la maquinaria) sea el menor posible, ya que puede generar costos innecesarios en el proyecto.

## 9 ANEXOS

Dentro de los anexos se encuentran los siguientes capítulos.

### 9.1 Marco legal.

Los métodos de diseño de pavimentos son guías desarrolladas por diferentes entidades con la finalidad de proveer las herramientas necesarias para el diseño y estructuras de pavimentos. Los métodos más empleados actualmente fueron desarrollados por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), el Instituto de Desarrollo Urbano, por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en Estados Unidos de América, y por el instituto del asfalto (Salamanca, 2014). A continuación, se realiza una descripción de los métodos anteriormente mencionados.

#### 9.1.1 Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

El Instituto Nacional de Vías comenzó sus labores el primero de enero de 1994 mediante el decreto 2171 del 30 de diciembre de 1992, que creó un establecimiento público del orden nacional, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio, adscrito al Ministerio de Transporte, que tuviera como objetivo ejecutar las políticas y proyectos relacionados con la infraestructura vial a cargo del país (INVIAS, 2012b).

Tiene como objetivo principal la ejecución de las políticas, estrategias, planes programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los lineamientos del ministro de transporte (INVIAS, 2012b).

El método INVIAS se encuentra fundamentado en una combinación de métodos y la teoría fundamental de comportamiento de estructuras y materiales. Las cartas para la determinación de los espesores de las estructuras fueron desarrolladas a partir del Método ASSHTO.

Para el diseño e instalación de asfalto, Invias cuenta con manuales para el diseño de pavimentos flexibles, con volúmenes bajos, medios y altos de tránsito vehicular (Salamanca, 2014).

### **9.1.2 Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).**

Es una institución dedicada a ejecutar obras viales y de espacio público para el desarrollo urbano de la ciudad capitalina. Tiene como responsabilidad el diseño y construcción vial, dentro de sus funciones se encuentra la pavimentación y construcción, reparación de infraestructuras urbanas (puentes vehiculares, intercambiadores viales, etc) (IDU, 2022).

### **9.1.3 Método AASHTO.**

Este método fue desarrollado en los Estados Unidos en los años 60, basado en un ensayo a escala real durante dos años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar formulas, gráficas y tablas que permitan determinar el deterioro de las secciones de ensayo (Salamanca, 2014)

### **9.1.4 Método del instituto del asfalto.**

Este método considera al pavimento como un sistema elástico multicapa, en los cuales se utilizan conceptos teóricos, experimentales, resultados de ensayos de laboratorios y programas de computador que permiten optimizar los espesores del pavimento, observando la fatiga y ahuellamiento (Salamanca, 2014).

## 9.2 Registro fotográfico.

A continuación, se muestran las fotografías tomadas durante el proceso de instalación de la mezcla asfáltica.



*Figura 54. Extendimiento del asfalto con la maquinaria finisher. Fuente: Propia*



*Figura 55. Compactación de la mezcla. Fuente: Propia*



Figura 56. Control de temperatura con dos termómetros de bulbo. Fuente: Propia



Figura 57. Control de temperatura en la Avenida Ciudad de Cali en los barrios de Bosa. Fuente: Propia



Figura 58. Registro fotográfico de las muestras extraídas con el extractor de núcleos. Fuente: Propia

### 9.3 Registro fotográfico de formatos y actas.

A continuación, se muestran las fotografías tomadas durante el control y vigilancia de la obra.

DROMOS CONTROL DIARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA												CÓDIGO	PON-F008
												VERSION	T
												FECHA	08/01/2022
												APROBADO	Director de planta
OBRA: I.H.C. INGENIERIA HIDRAULICA Y CIVIL LATAM													
FECHA	PLACA VOLADETA	HORA		VOLUMEN SUJETO M <sup>3</sup>	VOLUMEN ACERQUEADO M <sup>3</sup>	RECIBO N°	TEMPERATURA (°C)			LOCALIZACION	RESERVA N°		
		LLEGADA	EXTENSIÓN				SALIDA	LLEGADA	COMPACTADO		BRIDGETA IN		
31 ENE 2022	WPS0	8:00 AM	11:00	17.72	72.72	216750	150	150	130	K01-14(0,50) K01-24.2	MEX-17		
31 ENE 2022	DTP 152	8:00 AM	11:55	4.93	35.65	216757	160	150	130	K01-14.2 K01-24.2	MEX-17		
31 ENE 2022	SM0354	8:00 AM	1:35 PM	16.78	2.43	216758	160	150	130	K01-24.2 K01-650	MEX-17		
31 ENE 2022	TDL680	8:00 AM	2:00 PM	15.20	6.7	216757	160	150	130	K01-150 K01-650	MEX-17		
TOTAL:													
LONGITUD TOTAL:		OBSERVACIONES:											
ESPESOR:		PLANO:											
VOLUMEN COMPACTADO (M <sup>3</sup> )		REVISO Y APROBADO:											
NOMBRE:		FIRMAS:											
FECHA:		FECHA:											
PRIMA:		PRIMA:											

Figura 59. Control diario de mezcla asfáltica enero de 2022. Fuente: Propia

DROMOS CONTROL DIARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA												CÓDIGO	PON-F008
												VERSION	T
												FECHA	08/01/2022
												APROBADO	Director de planta
OBRA: I.H.C. INGENIERIA HIDRAULICA Y CIVIL LATAM													
FECHA	PLACA VOLADETA	HORA		VOLUMEN SUJETO M <sup>3</sup>	VOLUMEN ACERQUEADO M <sup>3</sup>	RECIBO N°	TEMPERATURA (°C)			LOCALIZACION	RESERVA N°		
		LLEGADA	EXTENSIÓN				SALIDA	LLEGADA	COMPACTADO		BRIDGETA IN		
19 ENE 2022	548	10:00	10:20	16.23	16.23	188450	160	155	130	K0100.5 K0105.0	MEX-17		
19 ENE 2022	967	10:30	11:00	35.57	31.50	188454	160	160	130	K0100.5 K0105.0	MEX-17		
19 ENE 2022	548	11:00	11:44	16.02	4.78	188467	160	160	130	K0105.0 K0105.0	MEX-17		
19 ENE 2022	969	11:00	2:30 PM	15.90	6.37	188470	160	160	130	K0105.0 K0105.0	MEX-17		
TOTAL:													
LONGITUD TOTAL:		OBSERVACIONES:											
ESPESOR:		PLANO:											
VOLUMEN COMPACTADO (M <sup>3</sup> )		REVISO Y APROBADO:											
NOMBRE:		FIRMAS:											
FECHA:		FECHA:											
PRIMA:		PRIMA:											

Figura 60. Control diario de mezcla asfáltica enero de 2022. Fuente: Propia





DROMOS CONTROL DIARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA											
CÓDIGO PDM-008											
FECHA: 8/03/22											
APROBADO: Director de planta											
PARA: <u>Conexión 20 AV. Cerebelo de Cali</u>											
FECHA	PLACA VOLQUETA	HORA LLEGADA	HORA EXTENSIÓN	VOLUMEN SUETO m <sup>3</sup>	VOLUMEN ACUMULADO m <sup>3</sup>	RECIBO N°	SALIDA LLEGADA	TEMPERATURA (°C)	LOCALIZACIÓN	MUESTRA N°	PROQUETA N°
4/marzo/22	UFE 917	10:30 am	10:45 pm	15,97	15,97	223226	160°	155°	K07J00 - K07239CD	MD-12	
4/marzo/22	SK9 963	10:30 am	11:00 pm	15,61	31,58	223325	160°	155°	K07239 - K07185CD	MD12	
4/marzo/22	UPO 003	11:00 am	11:40 pm	16,39	47,97	223324	160°	155°	K07183 - K07167CD	MD12	
4/marzo/22	UPO 152	11:00 am	1:00 pm	16,22	64,29	223328	160°	155°	K07167 - K07170CD	MD12	
TOTALES											
OBSERVACIONES:											
ELABORADO: <u>Henny Lainez Salgado</u>											
FECHA: <u>14/marzo/22</u>											
FIRMA: <u>[Signature]</u>											

Figura 63. Control diario de mezcla asfáltica marzo de 2022. Fuente: Propia

**EMULVIAL LTDA.**  
Suministros e Imprimaciones Asfálticas  
NIT. 900.740.861-4- Régimen Común

**ORDEN DE TRABAJO** N° **2222**

Av. Ciudad de Cali No. 163-09 - Tel: 535 32 80 - 536 96 66 - Cels.: 315 330 98 54 - 315 802 21 45  
Email: emulvialltda@outlook.com

CIUDAD: Bogotá D.C FECHA: 12-03-2022

CLIENTE: Diego Bepurano

OBRA: Bosa final de la cali

PLACAS VEHICULO: Jku 176 CONDUCTOR: Hernan Alarcon

CANTIDAD: 1.022 m<sup>2</sup>

INGENIERO Y/O ENCARGADO: [Signature]

FIRMA C.C. [Signature]

OBSERVACIONES: Emulsion pura.

2022/3/12 1

Figura 64. Factura de emulsión pura. Fuente: Propia

  
**DROMOS**  
 RECIBO ENTREGA DE MATERIAL  
  
 216964  
 Cliente: DROMOS PAVIMENTOS S.A.S -  
 900215394  
 Obra: OB-172 I.H.C SAS-INGENIERIA  
 HIDRÁULICA Y  
 No Vale: TEMP.160°C  
 Fecha: 01-02-22 05:27:47  
 Producto: MEZCLA MDC-25 AMMAN  
 Volumen: 17.07 M3  
 Transporta: DROMOS PAVIMENTOS  
 S.A.S  
 Placa: UFP152  
 Conductor: JONATHAN MALDONADO  
 Identificación: 1073230753  
 Cliente

Figura 65. Recibo de entrega de la mezcla MDC-25 AMMAN. Fuente: Propia

**EMULVIAL LTDA.**  
 Suministros e Imprimaciones Asfálticas  
 NIT. 900.740.8614- Régimen Común

**ORDEN DE TRABAJO** Nº 5569

Av. Ciudad de Cali No. 163-09 - Tel: 535 32 80 - 536 96 66 - Cels.: 315 330 98 54 - 315 802 21 45  
 Email: emulvialtda@outlook.com

CIUDAD: Bogotá FECHA: 22 Enero 2022

CLIENTE: Diego Rojas

OBRA: Carretera Diagonal 37 entre TULIO y TULLO

PLACAS VEHICULO: SLJ 227 CONDUCTOR: María Maldonado

CANTIDAD: 644 m<sup>2</sup>

INGENIERO Y/O ENCARGADO  FIRMA: <u>[Firma]</u> C.C.	OBSERVACIONES: <hr/> <hr/> <hr/>
--	-------------------------------------

Figura 66. Recibo de pago de emulsión pura. Fuente: Propia

## 9.4 Listado del código C++.

A continuación, se presenta el código con el que se realizó el programa.

```
#include<iostream>
#include<stdio.h>
#include <cstdlib>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <cmath>

using namespace std;
void pausa()

{
    cout<<endl<<< "\t\t\tPulsa una tecla para continuar...";
    getch();

    getch();
}

int main(int argc, char *argv[])

{
    system("color 70");
    bool programa=false;

    double La, Es, An, area, Vo, n=10, maqt;
```





```

        cout<< "\t\t -----" <<endl;
        cout<< "\t\t 1 - C" <<char(160)<<"lculo del vol" <<char(163)<<"men del
rect" <<char(160)<<"gulo a pavimentar" <<endl;
        cout<< "\t\t -----" <<endl;
        cout<< "\t\t 2 - Elija el tipo de base" <<endl;
        cout<< "\t\t -----" <<endl;
        cout<< "\t\t 3 - Costo de transporte" <<endl;
        cout<< "\t\t -----" <<endl;
        cout<< "\t\t 4 - Costo de personal" <<endl;
        cout<< "\t\t -----" <<endl;
        cout<< "\t\t 5 - Costo de maquinar" <<char(161)<<"a" <<endl;
        cout<< "\t\t -----" <<endl;
        cout<< "\t\t 6 - Total de cotizaci" <<char(162)<<"n" <<endl;
        cout<< "\t\t -----" <<endl;
        cout<< "\t\t 7 - Salir" <<endl;
        cout<< "\t\t -----"
<<endl<<endl;
        cout<< "\t\t\t * " <<nombre<<" por favor elija una opci" <<char(162)<<"n
*" <<endl<< endl<< endl;
        cin>>tecla;
        system("cls");

        switch(tecla)
        {
            case '1':
                //volumen

                system("cls");
                cout<<endl<<endl;

```

```

VOL"<<char(233)<<"MEN          DEL          cout<<  "\t\t *C"<<char(181)<<"LCULO  DEL
PAVIMENTAR*"<<endl<<endl<<endl;          RECT"<<char(181)<<"NGULO          A

                                cout<<"\t\t\t\t LxA=area"<<endl<<endl;
                                cout<<"\t\t\t\t Donde L es Largo y A es el
ancho"<<endl<<endl;
                                cout<<"\t\t\t\t "<<endl;

                                cout<<"\t\t\t\t AreaxE=Volumen "<<endl<<endl;
                                cout<<"\t Donde E es espesor y area el valor anteriormente
mencionado"<<endl<<endl<<endl<<endl;

                                cout<<"Para continuar oprima cualquier tecla seguido de
enter: ";
                                cin>>cualquierteclea;

                                system("cls");
                                cout<<endl<<endl;
                                cout<< "\t*PARA UN EXITOSO CALCULO POR
FAVOR INGRESE LOS DATOS SOLICITADOS*"<<endl<<endl<<endl<<endl;
                                cout<<"\t\t RECUERDE: Los datos a ingresar deben ser
en metros (m)"<<endl<<endl;

                                cout<<"\tIngrese el largo (L): ";
                                cin>>La; ///////////////////////////////////7
                                cout<<"\tIngrese el ancho (a): ";
                                cin>>An; //////////////////////////////////
                                cout<< "\tIngrese el espesor (E): ";
                                cin>>Es;

```





```

system("cls");

//Tipo de base

cout<<endl<<endl<<endl;

cout<< "\t\t\t* ELIJA EL TIPO DE BASE
SEG"<<char(233)<<"N IDU *"<<endl<<endl<<endl<<endl;

cout<< "\t\tIngrese la opcion del tipo de base que desea
seg"<<char(163)<<"n:"<<endl<<endl;

cout<<"\t\t 1. MD12(m"<<char(252)<<") =
$405.000"<<endl;

cout<<"\t\t 2. MD19(m"<<char(252)<<") =
$405.000"<<endl;

cout<<"\t\t 3. MD20(m"<<char(252)<<") =
$401.000"<<endl;

cout<<"\t\t 4. MD25(m"<<char(252)<<") =
$401.000"<<endl;

cout<<"\t\t 5. MD12(m"<<char(252)<<") y
MD19(m"<<char(252)<<") = $810.000"<<endl;

cout<<"\t\t 6. MD20(m"<<char(252)<<") y
MD25(m"<<char(252)<<")= $802.000"<<endl;

cout<<"\t\t 7. Costo total todas la bases =
$1'612.000'"<<endl<<endl;

cin>>tbase;

cout<<endl;

```













```

        pausa();
        break;

        case '5':

            system("cls");
            cout<<endl<<endl<<endl;
            cout<< "\t\t\t*COSTO DE MAQUINARIA*"<<endl<<endl;

            cout<<"\t Seleccione la maquina" <<char(161)<<"a que
requiera: "<<endl<<endl;

            cout<<"\t1. Finisher = $17.000 el
(m"<<char(252)<<")"<<endl;

            cout<<"\t2. Vibrocompactador = $12.000 el
(m"<<char(252)<<")"<<endl;

            cout<<"\t3. Vibrocompactador Neumatico = $10.000 el
(m"<<char(252)<<")"<<endl;

            cout<<"\t4. Finisher y Vibrocompactador= $29.000 el
(m"<<char(252)<<")"<<endl;

            cout<<"\t5. Finisher y Vibrocompactador Neumatico=
$27.000 el (m"<<char(252)<<")"<<endl;

            cout<<"\t6. Costo total de toda la maquinaria"<<endl;
            cin>>maqu;

            cout<<endl;

            system("cls");

            switch (maqu)
            {

```





```

                                cout<<"\tEl costo de la
maquinar"<<char(161)<<"a seleccionada es:"<<endl<<endl;

                                cout<<"\tCosto =
$" <<12000<<"*" <<Vo<<endl<<endl;

                                maq1=12000*Vo;

                                cout<<"\tCosto maquinaria =
$" <<maq1<<endl<<endl;

```

```
break;
```

```
case '3':
```

```

                                cout<<endl<<endl<<endl;

                                cout<<"\t\t *Usted selecciono Vibrocompactor
Neumatico"<<endl<<endl;

                                cout<<"\t\tTeniendo en cuenta los datos ingresados
anteriormente"<<endl<<endl;

                                cout<<"\t\t\tVolumen =
" <<Vo<<"m"<<char(252)<<". "<<endl<<endl;

```

```

                                cout<<"\tEl costo de la
maquinar"<<char(161)<<"a seleccionada es:"<<endl<<endl;

                                cout<<"\tCosto =
$" <<10000<<"*" <<Vo<<endl<<endl;

                                maq1=10000*Vo;

                                cout<<"\tCosto maquinaria =
$" <<maq1<<endl<<endl;

```

```
break;
```



```

                                cout<<"\tEl costo de la
maquinar"<<char(161)<<"a seleccionada es:"<<endl<<endl;

                                cout<<"\tCosto =
$"<<27000<<"*"<<Vo<<endl<<endl;

                                maq1=27000*Vo;

                                cout<<"\tCosto maquinaria =
$"<<maq1<<endl<<endl;

                                break;

                                case '6':

                                cout<<endl<<endl<<endl;

                                cout<<"\t\t *Usted selecciono costo total de
toda la maquinaria"<<endl<<endl;

                                cout<<"\t\tTeniendo en cuenta los datos ingresados
anteriormente"<<endl<<endl;

                                cout<<"\t\t\tVolumen =
"<<Vo<<"m"<<char(252)<<". "<<endl<<endl;

                                cout<<"\tEl costo de la
maquinar"<<char(161)<<"a seleccionada es:"<<endl<<endl;

                                maq1=((10000*Vo)+(12000*Vo)+(17000*Vo));

                                cout<<"\tCosto total de la maquinaria =
$"<<maq1<<endl<<endl;

```





## 10 REFERENCIAS

- Amado, J. (2015). *Análisis del sistema de reparación de pavimentos flexibles por inyección neumática de mezclas asfálticas en frío, tecnología velocity patching* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas].  
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3216/TESIS.pdf?sequence=1>
- Bonett, G. (2014). *Guía de procesos constructivos de una vía en pavimento flexible* [Universidad Militar Nueva Granada].  
[https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12010/GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VIA EN PAVIMENTO FLEXIBLE 2014.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12010/GUÍA%20DE%20PROCESOS%20CONSTRUCTIVOS%20DE%20UNA%20VIA%20EN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE%202014.pdf?isAllowed=y&sequence=1)
- Caterpillar. (2021). *Rodillo Vibratorio en Tándem*. <https://h-cpc.cat.com/cmms/v2?&f=product&it=product&cid=406&lid=es&sc=P420&gid=288&pid=18243186&nc=1>
- Chávez, I. (2016). *Pavimento Flexible*. <https://vsip.info/pavimento-flexible-11-pdf-free.html#Chavez+Mamani+Ingrid>
- Cruz, L. D. (2020). *COMPARACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA ENTRE EL DENSÍMETRO NUCLEAR Y EL MÉTODO DE CONO Y ARENA EN LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD IN SITU* [Universidad Nacional de Piura].  
<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2332/ICIV-CRU-ANG-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cuevas, A. M. (2020, October 15). *Adjudican tramo 1 de la troncal Avenida Ciudad de Cali / Bogota.gov.co*. Alcaldía de Bogotá. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/movilidad/adjudican-tramo-1-de-la-troncal-avenida-ciudad-de-cali>
- Díaz, L. D. (2018). *PASANTIA COMO AUXILIAR DE INTERVENTORIA CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N°119 DE 2015 SUSCRITO ENTRE EL FONDO DE DESARROLLO LOCAL DE KENNEDY Y LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS* [Universidad Francisco José de Caldas].  
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22430/DiazBetancourtLeonelDavid2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EPM. (2018, January 1). *NORMA DE CONSTRUCCIÓN IMPRIMACIÓN, RIEGO Y LIGA PARA PAVIMENTO*. CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y LABORATORIOS.  
[https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores\\_y\\_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-](https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-)

tecnicas/NC\_MN\_OC05\_03\_Imprimacion\_riego\_y\_liga\_para\_pavimento\_compressed.pdf?ver=dJhs7Le5OA-qEHB4NzXAeg%3D%3D

Guerrero, E. A. (2019). *INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE MEZCLADO EN LA MODIFICACIÓN DE UN CEMENTO ASFÁLTICO* [Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17724/2019edwinguerrero.pdf?sequence=1>

IDU. (2022). *Instituto de Desarrollo Urbano* . <https://www.idu.gov.co/page/quienes-somos-2>

INVIAS. (2012a). *Secciones 700 y 800-MATERIALES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS Y PROSPECCIÓN DE PAVIMENTOS E-758. EXTRACCIÓN DE TESTIGOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS*. <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-758-13.pdf>

INVIAS. (2012b, November 20). *Objetivos y Funciones de Inviás*. Objetivos y Funciones. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/objetivos-y-funciones>

Komatsu. (2022). *Komatsu Latinoamérica* . Tienda Virtual. <https://www.komatsulatinamerica.com/colombia/donec-eget-elit-vel-sem-mollis-commodo-sit-amet-sit-amet-justo-5/>

Maquiequipos de Colombia. (2022). *Apisonador Gasolina GX160* . [https://maquiequiposdecolombia.com/producto/apisonador-gasolina-gx160/?attribute\\_pa\\_opciones-de-motor=gasolina&utm\\_source=Google%20Shopping&utm\\_campaign=Google%20Shopping&utm\\_medium=cpc&utm\\_term=1469&gclid=CjwKCAjw9LSSBhBsEiwAKtf0n6VQTxWkBmrDDPxczWT6NstDA7DvjKejh7z3pFXlbNslbkQecjIHTBoCW-gQAvD\\_BwE](https://maquiequiposdecolombia.com/producto/apisonador-gasolina-gx160/?attribute_pa_opciones-de-motor=gasolina&utm_source=Google%20Shopping&utm_campaign=Google%20Shopping&utm_medium=cpc&utm_term=1469&gclid=CjwKCAjw9LSSBhBsEiwAKtf0n6VQTxWkBmrDDPxczWT6NstDA7DvjKejh7z3pFXlbNslbkQecjIHTBoCW-gQAvD_BwE)

Mora, A. D. (2015). *DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO PARA LA URBANIZACION CABALLERO Y GONGORA, MUNICIPIO DE HONDA-TOLIMA*. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2687/1/dise%C3%B1o%20de%20pavimento%20rigido%20para%20la%20urbanizaci%C3%B3n%20Caballero%20Gongora,%20Municipio%20de%20Honda-Tolima.pdf>

Moreno, L. (2014). Vista de Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado. *L'éstrit Ingenieux*, 1–9. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1231/1202>

Murcia, L. M. (2016). *INFORME DE PASANTÍA COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN EL ÁREA DE INTERVENTORÍA EN CONVENIO CON IDEXUD* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/5325/MurciaBetancourtLuisMiguel2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ochoa, A. M. (2004). *Cartilla del pavimento asfáltico* (Asopac, Ed.). Panamericana Formas e Impresos S.A. <https://idoc.pub/documents/cartilla-de-asfalto-m34m0dpmpel6>



- Ortiz, A. L. (2017). Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible. In *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.  
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6833/2/OrtizManceraAngieLorenaAnexo-1.pdf>
- Pérez, R. A. (2010). *DISEÑO DEL PAVIMENTO RIGIDO DEL CAMINO QUE CONDUCE A LA ALDEA EL GUAYABAL, MUNICIPIO DE ESTANZUELA DEL DEPARTAMENTO DE ZACAPA* [Universidad San Carlos de Guatemala].  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3151\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3151_C.pdf)
- Plata, Luis A. (2020). *Verificación y propuesta de diseño en pavimento flexible y rígido para la nueva Av. Guayacanes (Grupo 5: Av. Bosa entre la Av. Ciudad de Cali y Av. Tintal)*. [Universidad Militar Nueva Granada].  
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37325/PlataGutierrezLuisAndres2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, V., & Olano, J. C. (2018). *Evaluación CBR de sub-base granular mezclada con tereftalato de polietileno (PET); para uso en vías terciarias* [Universidad Libre].  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17063/EVALUACION%20CBR%20DE%20SUB-BASE.pdf?sequence=1>
- Reyes, O. J., Camacho, J. F., & Lizcano, Fredy. (2006). Influencia de la temperatura y nivel de energía de compactación en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 121–130.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-62302006000200010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302006000200010)
- Salamanca, M. A. (2014). *Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para la vía la ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre los abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el departamento del Cesar* [Universidad Católica de Colombia].  
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2569/2/Dise%C3%B1o-estructura-pavimento-flexible-Aashto-Invias-Insituto-Asfalto-Barranca\\_Lebrija.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2569/2/Dise%C3%B1o-estructura-pavimento-flexible-Aashto-Invias-Insituto-Asfalto-Barranca_Lebrija.pdf)
- Salas, M., & Zuñiga, Andrea. (2019). Guía para Inspectores Aplicación de riego de liga. *LanammeUCR*, 1–64.  
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1420?fbclid=IwAR1kFE8RD-WQ7Z2eVANA3unyGjszjvWnKbcASTGJrrF4uQGxzsFjDsgLqdU>
- Silvestre, A. (2015). *Estudio comparativo de las normas técnicas para la construcción de pavimentos flexibles en Colombia y Brasil* [Universidad Libre Seccional Pereira].  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17107/ESTUDIO%20COMPARATIVO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Universidad Mayor de San Simón. (2004). *Pavimentos texto guía contenido general*. Facultad de Ciencias y Tecnología. [https://www.academia.edu/16406141/Libro\\_de\\_Pavimentos](https://www.academia.edu/16406141/Libro_de_Pavimentos)

Valenzuela, M. (2003). El asfalto, en la conservación de pavimentos. *Universidad Austral De Chile*, 1–97. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfciv161a/doc/bmfciv161a.pdf>