

Práctica Empresarial como Ingeniero Auxiliar en Actividades Relacionadas con la Elaboración  
de Mezclas de Concreto Asfáltico y Apoyo en los Proyectos Viales a Cargo de la Empresa

COINOBRAS

Sebastian Román Blanco

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

José Alberto Rondón

Ingeniero Civil, Magister en Geotecnia

Tutor

Laura Nathaly Blanco Rodríguez

Ingeniera Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniera Civil

Bucaramanga

2023

### **Agradecimientos**

En el proceso de culminación de este trabajo de grado, me gustaría expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en esta etapa de mi vida.

En primer lugar, a mis padres, Rosa Blanco y Rene Román, les debo un agradecimiento eterno. Su apoyo incondicional y sacrificio a lo largo de mi educación son la base de mis logros. Gracias por ser mi fuente constante de inspiración y motivación.

Un agradecimiento especial a mi pareja, Yohanna Rodríguez, quien estuvo siempre a mi lado constantemente apoyándome sin titubear. Tu gran ayuda, amor y comprensión me dieron la fuerza para seguir adelante.

Mis más sinceros agradecimientos también van dirigidos a la Ingeniera María Fernanda López, Luz Mary Ribero y a Fredy Rangel, cuyo apoyo, dedicación y especialmente paciencia, fueron invaluable en cada paso de este proceso.

También, deseo agradecer a la Universidad por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos y experiencias que han enriquecido mi formación. A mi director de proyecto, quien me compartió su conocimiento y me orientó durante la elaboración de este trabajo.

Finalmente, quiero agradecer a COINOBRAS por proporcionarme la oportunidad de realizar este trabajo de grado en su entorno. La experiencia que he adquirido en su compañía es invaluable y contribuyó significativamente a mi formación.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este importante capítulo en mi vida. Estoy profundamente agradecido.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	13
1. Objetivos .....	15
1.1 Objetivo General .....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Marco de Referencia .....	16
2.1 Marco Conceptual .....	16
2.1.1 Agregados pétreos.....	16
2.1.2 Trituradora de agregados .....	16
2.1.3 Planta de producción de mezcla asfáltica .....	17
2.1.4 Asfalto de refinería 60/70 .....	17
2.1.5 Aditivo Surfax A S-500 .....	17
2.1.6 Mezcla asfáltica .....	17
2.1.7 Estructura del pavimento .....	18
2.1.8 Drenaje Frances .....	18
2.1.9 Gestión Organizacional.....	19
2.1.10 Diseño de mezclas asfálticas.....	19
2.1.11 Método Marshall.....	19
2.1.11 Mantenimiento vial.....	20
2.2 Marco Legal .....	20
2.2.1 Especificaciones INVIAS 2022 .....	20
2.3 Generalidades sobre la planta de producción de mezcla asfáltica .....	21

2.4 Generalidades sobre el proyecto vial vigente .....	21
3. Desarrollo de la práctica .....	23
3.1 Apoyo en el control de selección de los agregados bajo ensayos de laboratorio .....	23
3.1.1 Obtención de los tamaños necesarios de agregados .....	24
3.1.2 Revisión de calidad de los agregados bajo ensayos de laboratorio .....	26
3.2 Control de calidad de mezclas asfálticas elaboradas en la planta por medio de ensayos de laboratorio.....	32
3.2.1 Ensayos de control de las mezclas asfálticas densas en caliente .....	32
3.2.2 Combinación óptima de agregados.....	36
3.2.3 Porcentaje de asfalto óptimo en una mezcla asfáltica.....	37
3.2.4 Socialización y aplicación de resultados obtenidos .....	40
3.3 Apoyo en el control de actividades, cantidades y mano de obra empleadas en el proyecto de mejoramiento y pavimentación de la vía Socorro - Páramo del departamento de Santander.....	41
3.3.1 Explanación del terreno .....	41
3.3.2 Instalación de filtro francés.....	41
3.3.3 Mejoramiento de la subrasante, aplicación de subbase y base .....	42
3.3.4 Seguimiento en la construcción de muro de contención.....	44
3.3.5 Construcción de cunetas y entradas .....	45
3.3.6 Apoyo con los registros de mano de obra y cantidades .....	46
3.4 Seguimiento y control al proyecto vial vigente y a la producción de materiales en la planta de la empresa COINOBRAS S.A.S. ....	49
4. Conclusiones.....	51
Referencias Bibliográficas .....	53

### Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Localización de la vía que conecta los municipios del Socorro y el Páramo.</i> .....	22
Figura 2 <i>Acopio de 3/8" de Avenza.</i> .....	24
Figura 3 <i>Trituradora ALLIS de la planta de producción de mezcla asfáltica</i> .....	25
Figura 4 <i>Acopio de triturado de 3/8"</i> .....	26
Figura 5 <i>Tamizadora mecánica para granulometría</i> .....	27
Figura 6 <i>Procedimiento de aforado para ensayo de Equivalente de arena</i> .....	28
Figura 7 <i>Revisión de contenido de burbujas de aire dentro del picnómetro</i> .....	29
Figura 8 <i>Tolvas con agregados que alimentan el tambor mezclador</i> .....	31
Figura 9 <i>Ejecución del ensayo para determinar el Gmm en una mezcla asfáltica</i> .....	33
Figura 10 <i>Equipo de centrifugado para extracción</i> .....	33
Figura 11 <i>Compactación de briquetas para el diseño de MDC-19</i> .....	34
Figura 12 <i>Equipo de laboratorio Marshall</i> .....	35
Figura 13 <i>Relación llenante asfalto efectivo vs % de asfalto</i> .....	37
Figura 14 <i>Comparación entre diferentes concentraciones de solución</i> .....	39
Figura 15 <i>Realización del ensayo de agua hervida</i> .....	39
Figura 16 <i>Ejecución del ensayo de TSR para MDC-19</i> .....	40
Figura 17 <i>Comparación de un antes y después de realizar la explanación</i> .....	41
Figura 18 <i>Construcción de filtro francés</i> .....	42
Figura 19 <i>Comparación de altura del terraplén en el k2+810 con la subrasante original</i> .....	43
Figura 20 <i>Aplicación de Subbase en el k2+420</i> .....	43
Figura 21 <i>Construcción del vástago en el módulo 2</i> .....	44

Figura 22 <i>Instalación de filtro francés a lo largo del muro</i> .....	45
Figura 23 <i>Cuneta y entrada tipo para todo el proyecto</i> .....	46
Figura 24 <i>Fundición de cunetas con la ayuda de un mixer</i> .....	46
Figura 25 <i>Extracto del informe de bitácora del día 11 de Julio.</i> .....	47
Figura 26 <i>Comparación de las zarpas de los módulos 2 y 4, respectivamente</i> .....	48
Figura 27 <i>Control de cantidad de concreto y acero para el vástago del módulo 3</i> .....	48
Figura 28 <i>Control de maquinaria para la primera quincena de agosto.</i> .....	49
Figura 29 <i>Seguimiento de cantidades de agregados pétreos</i> .....	50

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Información actual del contrato Socorro - Páramo .....	22
Tabla 2. Parámetros de aceptación en el control de los agregados.....	30
Tabla 3. Parámetros de aceptación en el control de producción de las mezclas asfálticas densas en caliente.....	35
Tabla 4. Resultados de ensayos obtenidos en el diseño de la MDC-19.....	50

**Lista de anexos**

Anexo 1. Informes de laboratorio entregados por INTEROBRAS.

Anexo 2. Resultados de laboratorio obtenidos del control de MDC-19.

Anexo 3. Combinación de agregados obtenidas para los diseños.

Anexo 4. Ensayos de laboratorio de la empresa Concre-Servicios.

Anexo 5. Resultados del diseño de la MDC 19.

Anexo 6. Plano estructural del muro de contención.

Anexo 7. Informe sobre el diseño de MDC-19.

Nota: Los anexos están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

## Glosario

**Caisson:** estructura hermética que se instala en el suelo para permitir la excavación en seco y la colocación de los cimientos (Gorse et al., 2012a).

**Compactación:** proceso de rodadura, apisonamiento o vibración para hacer que las partículas formen una configuración de alta densidad. Utilizado en suelo y hormigón para reducir los vacíos con aire; el resultado es una disminución del volumen, pero un aumento de la densidad (Gorse et al., 2012a).

**Exudación:** descarga de un líquido a través de poros o de un corte superficial (Gorse et al., 2012a).

**Llenante mineral:** polvo u otro material mineral que está completamente seco y libre de grumos que consisten en agregaciones de partículas más finas. El termino llenante mineral se aplica generalmente a la fracción de agregado mineral que pasa completamente el tamiz número 200 (Rahaman & Bahia, 2023).

**Geotextiles:** materiales porosos que se emplean para cumplir funciones mecánicas de protección, refuerzo y separación o funciones hidráulicas de drenaje, filtración y barrera capilar. En el diseño de pavimentos, los geotextiles se utilizan a menudo para mitigar los deterioros de este último (Lin & Zhang, 2018).

**Picnómetro:** frasco de vidrio con una tapa especial que se utiliza para medir la gravedad específica de las partículas del suelo (Gorse et al., 2012a).

**Segregación:** separación del agregado fino en una mezcla de concreto debido al exceso de agua en la mezcla o a una compactación y colocación incorrecta (Gorse et al., 2012a).

**Tráfico:** movimiento de vehículos a lo largo de una ruta particular (Gorse et al., 2012a).

**TMN:** tamaño máximo nominal.

**Tolva:** contenedor abierto utilizado para el almacenamiento de materiales (Gorse et al., 2012a).

## Resumen

**Título:** Práctica Empresarial como Ingeniero Auxiliar en Actividades Relacionadas con la Elaboración de Mezclas de Concreto Asfáltico y Apoyo en los Proyectos Viales a Cargo de la Empresa COINOBRAS.\*

**Autor:** Sebastian Román Blanco\*\*

**Palabras Clave:** Ensayo de laboratorio, Mezcla asfáltica, Seguimiento y Organización.

**Descripción:** En este trabajo se abordan dos aspectos fundamentales: los ensayos de laboratorio de mezclas asfálticas y el mantenimiento y pavimentación vial en Santander. Se examinan los ensayos de laboratorio para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas y sus componentes, siguiendo las especificaciones INVIAS 2022. Estos ensayos se llevan a cabo en el laboratorio de la empresa COINOBRAS, ubicado en la planta de concreto asfáltico en la vía Zapatoca – Betulia. La planta de producción de mezcla asfáltica de COINOBRAS, con más de 20 años de funcionamiento, produce una variedad de concretos asfálticos y materiales de cantera que son esenciales para proyectos viales en la región. Además, se detalla la ejecución del proyecto de mejoramiento y pavimentación vial entre los municipios del Socorro y el Páramo de Santander a cargo de la empresa COINOBRAS y se describen las actividades realizadas en este proyecto. El trabajo también aborda temas de seguimiento, control y gestión organizacional, incluyendo la elaboración de informes de control en laboratorio y obra, la organización del personal y actividades, y el seguimiento a los cortes de obra. Los objetivos principales de este trabajo de grado son apoyar el control de selección de agregados, revisar los resultados de los ensayos de laboratorio, medir y registrar las cantidades de materiales y mano de obra utilizadas en proyectos, y generar informes periódicos sobre el seguimiento a la producción de materiales en la planta y proyectos viales de COINOBRAS. En resumen, este trabajo de grado se enfoca en la práctica empresarial de un ingeniero auxiliar en COINOBRAS, abordando aspectos clave de los ensayos de laboratorio de mezclas asfálticas y el mantenimiento y pavimentación vial, con el objetivo de contribuir al conocimiento y la comprensión de estos procesos y proyectos en Colombia.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: José Alberto Rondón. Ingeniero Civil, Magister en Geotecnia. Tutor: Laura Nathaly Blanco Rodríguez. Ingeniero Civil.

### Abstract

**Title:** Business Internship as Assistant Engineer in Activities Related to the Production of Asphalt Concrete Mixtures and Support for Road Projects Managed by the Company COINOBRAS. \*

**Author:** Sebastian Román Blanco \*\*

**Key Words:** Laboratory Test, Asphalt Mixture, Monitoring, and Organization.

#### Abstract:

This work addresses two fundamental aspects: laboratory testing of asphalt mixtures and road maintenance and paving in Santander. Laboratory tests are examined to evaluate the physical and mechanical properties of asphalt mixtures and their components, following the INVIAS 2022 specifications. These tests are carried out in the COINOBRAS company laboratory, located at the asphalt concrete plant on the Zapatoca - Betulia road. COINOBRAS asphalt mixtures plant, with over 20 years of operation, produces a variety of asphalt mixtures and quarry materials essential for road projects in the region. Furthermore, the execution of the road improvement and paving project between the municipalities of Socorro and Páramo of Santander, undertaken by COINOBRAS, is detailed, and the activities carried out in this project are described. The work also addresses topics of monitoring, control, and organizational management, including the preparation of control reports in the laboratory and on-site, organization of personnel and activities, and monitoring of work progress. The main objectives of this degree work are to support aggregate selection control, review laboratory test results, measure and record quantities of materials and labor used in projects and generate periodic reports on monitoring material production at the COINOBRAS plant and road projects. In summary, this degree work focuses on the business practice of an assistant engineer at COINOBRAS, addressing key aspects of asphalt laboratory testing and road maintenance and paving, with the aim of contributing to the knowledge and understanding of these processes and projects in Colombia.

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Civil Engineering. Director: José Alberto Rondón. Civil Engineer, Master in Geotechnics. Tutor: Laura Nathaly Blanco Rodríguez. Civil Engineer.

## Introducción

La infraestructura vial desempeña un papel crucial en el desarrollo económico y social de cualquier país. En Colombia, un territorio diverso y geográficamente complejo, la red de carreteras y vías de comunicación es un elemento fundamental para la conectividad y el progreso regional y nacional. Mantener y mejorar esta red vial es una tarea de importancia crítica para garantizar la movilidad segura y eficiente de personas y mercancías. En este trabajo de grado de ingeniería civil se abordará el tema de los ensayos de laboratorio de mezclas asfálticas y el mantenimiento y pavimentación vial en Colombia.

Se analizarán los diferentes ensayos de laboratorio que se realizan para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas y sus agregados; siguiendo la especificación INVIAS 2022, especialmente el artículo 450 (INVIAS, 2022a). Estos ensayos se ejecutan en el laboratorio de la empresa COINOBRAS, que está ubicado en la planta de mezclas asfálticas en el km 4 vía Zapatoca – Betulia en el departamento de Santander.

A su vez, se detalla la ejecución del proyecto de mantenimiento y pavimentación vial entre los municipios del Socorro y el Páramo de Santander a cargo de la empresa. En este se denota el progreso de las actividades desarrolladas, tales como el mejoramiento de la subrasante, construcción de filtros y cunetas para alargar la vida de la estructura del pavimento y muros de contención, entre otros.

Asimismo, se tratan temas de seguimiento, control y gestión organizacional, de los cuales se desempeñan actividades como lo son la realización de informes de control, tanto en laboratorio como en obra; la organización y el manejo de personal y actividades; y el seguimiento a los cortes de obra.

Con esta práctica empresarial se busca contribuir al conocimiento y la comprensión de los ensayos de laboratorio de mezclas asfálticas, y todo lo que esto conlleva, desde la obtención de las materias primas, los diseños de mezclas y el seguimiento y control de estas. De igual manera, en cuanto al mantenimiento y pavimentación vial, aportar a la discusión sobre la gestión de la infraestructura rural vial en el país. Por último, dar a conocer como son los procesos y proyectos realizados por la empresa y aportar significativamente en ellos.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Apoyar los procesos de COINOBRAS S.A.S. ejerciendo el rol de auxiliar de Ingeniero Civil en actividades relacionadas con la elaboración y control de mezclas de concreto asfáltico y apoyo en los proyectos viales vigentes.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Apoyar con el control de selección de los agregados extraídos de las canteras bajo ensayos de laboratorio.

Revisar los resultados de los ensayos realizados en laboratorio para examinar la calidad de la elaboración de las mezclas de concreto asfáltico siguiendo la norma INVIAS.

Llevar la medición y registro de las cantidades de materiales y mano de obra utilizadas en los proyectos.

Realizar informes semanal y mensualmente para dar a conocer los resultados del seguimiento a la producción de materiales en la planta y proyectos viales actuales a cargo de la empresa COINOBRAS S.A.S.

## **2. Marco de Referencia**

En este apartado se detallan las bases conceptuales y normativas necesarias para poder distinguir y comprender cada uno de los elementos que conlleva al desarrollo de la metodología, con la cual se logró cumplir los objetivos planteados de esta práctica.

### **2.1 Marco Conceptual**

#### ***2.1.1 Agregados pétreos***

En pavimentos, los agregados pétreos hacen referencia a un conglomerado de partículas tales como gravas, arenas o llenante mineral. Los cuales son usados para la elaboración de mezclas asfálticas, construcción de capas como la subbase o base granular, entre otros. En términos generales, por un ensayo de granulometría, las partículas con diámetro entre 7,5 cm y 4,75 mm se conocen como gravas; entre 4,75 mm y 0.075 mm son reconocidas como arenas (gruesas y finas) y las de diámetro inferior a 0.075 mm son arcillas y limos (finos) (Bastidas & Rondón, 2020).

#### ***2.1.2 Trituradora de agregados***

La trituradora de agregados es un equipo usado para el proceso de fragmentación de las rocas y otros materiales. Se emplea con el fin de obtener la granulometría deseada y convertir estos materiales en agregados que cumplan los requerimientos necesarios para ser utilizados en la producción de mezcla asfáltica o para otros fines en la construcción. Se pueden obtener distintos materiales, tal como es el caso de la roca triturada graduada, que puede producirse con cualquier granulometría que se desee, utilizando diferentes tipos de cono de trituración y cribado de materiales (Rodríguez, 2008).

### ***2.1.3 Planta de producción de mezcla asfáltica***

“Es el conjunto de elementos, dispositivos, mecanismos, equipos y sistemas dispuestos de alguna manera para producir mezcla asfáltica”. El concepto de las plantas asfálticas, en este caso, para mezcla asfáltica en caliente, es la dosificación exacta de los agregados, teniendo en cuenta los límites de temperatura requeridos; de esta forma se obtiene una mezcla de calidad según el diseño de esta.

En las plantas continuas con tambor mezclador, llegan a este último cada uno de los agregados: grueso, fino, llenante mineral y el cemento asfáltico en forma continua. La forma en que se alimenta el tambor es tal que, en todo momento, mantenga las proporciones correspondientes. En este tipo de plantas el proceso de secado y mezclado, ocurren en el mismo tambor (Rodríguez, 2008).

### ***2.1.4 Asfalto de refinería 60/70***

El asfalto 60/70 es un tipo de asfalto en el cual, el ligante derivado de la refinería, se somete a un proceso industrial para lograr cumplir las especificaciones y obtener una característica de penetración comprendida entre 60 y 70  $\frac{1}{10} mm$  (MPI, s.f.).

### ***2.1.5 Aditivo Surfax A S-500***

SURFAX AS-500 es un aditivo promotor de adherencia usado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente. Este aditivo se puede usar en los diferentes tipos de plantas de mezcla en caliente y su uso puede reducir en gran medida el desprendimiento asfalto-agregados (SURFAX, s.f.).

### ***2.1.6 Mezcla asfáltica***

Una mezcla asfáltica se puede precisar como “una combinación de agregados pétreos, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos

queden cubiertos por una película uniforme de asfalto”. Las cantidades relativas de estos materiales proporcionarán las distintas propiedades físicas de la mezcla y, consecuentemente, la calidad como componente de un pavimento (Garnica et al., 2005).

Un tipo de mezcla asfáltica es la Mezcla Asfáltica Densa en Caliente de gradación continua (MDC), de la cual se destacan las siguientes variedades por ser las más empleadas en Colombia: la MDC 25, usada principalmente como capa de base en vías con alto tráfico. La MDC 19, que se utiliza como capa de rodadura para vías con tráfico medio y alto. Por último, la MDC 10, la cual se emplea principalmente como capa de rodadura en vías con bajo tráfico. La diferencia física entre estas es el tamaño máximo de partícula, el cual está descrito en su nombre y se da en milímetros, por ejemplo, para la MDC 19, el tamaño máximo de partícula es 19 mm (Compañía de Trabajos Urbanos, s.f.).

### ***2.1.7 Estructura del pavimento***

El pavimento asfáltico típico está constituido por una capa de mezcla asfáltica apoyada sobre una capa de base y otra de subbase de material granular. Asimismo, todo lo anterior yace sobre la subrasante, que es una capa de suelo natural compactado. Cabe resaltar que la capa de subbase se dispone de materiales de menor calidad y costo que los utilizados en la base y ambos cumplen con una curva granulométrica propia (Giordani & Leone, s.f.).

### ***2.1.8 Drenaje Frances***

Un drenaje francés hace referencia a una tubería perforada dispuesta en el fondo de una zanja y rodeada por un geotextil no tejido y por material de libre drenaje, como grava (Gorse et al., 2012b). Se utiliza en los costados de las carreteras para drenar el agua interna del pavimento y encausarla hacia una alcantarilla. Los drenajes franceses solo sirven para eliminar los sedimentos del agua y no están diseñados para tratar desechos peligrosos (Lidstone & Korte, 2011)

### ***2.1.9 Gestión Organizacional***

La gestión organizacional hace referencia al conjunto de actividades que se realizan en busca de la mejora y el fortalecimiento organizacional. Empleando técnicas y herramientas vinculadas al análisis y diseño organizacional, la planificación, los recursos humanos, los sistemas de gestión de la calidad, el presupuesto, entre otros aspectos (Ropa-Carrión & Alama-Flores, 2022).

### ***2.1.10 Diseño de mezclas asfálticas***

Un diseño de mezcla asfáltica óptimo tiene como principal objetivo definir una gradación individual y combinada de los diferentes tipos de agregados, la unión de estos con el asfalto y cuando se requiera, con algunos aditivos; todo lo anterior cumpliendo con la normativa vigente. Este diseño no solo busca ser de calidad cumpliendo con los estándares, sino también económico, de manera que resulte rentable su fabricación y comercialización (Maila, 2013).

Algunas de las características de una buena mezcla asfáltica, según Maila 2013, son: poseer suficiente asfalto, para proporcionar un pavimento durable. Contar con buena estabilidad, para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos excesivos. Tener suficiente trabajabilidad, para evitar la segregación y un contenido de vacíos alto, que permita una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación (Maila, 2013).

### ***2.1.11 Método Marshall***

Este método para diseño de mezclas asfálticas fue propuesto por Bruce Marshall. El método original de Marshall solo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm. Sin embargo, el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento original y desarrolló un criterio de

diseño de mezclas, este se desarrolló para tamaños de máximo 38 mm. El método se puede usar tanto para realizar diseños en laboratorio como para hacer un seguimiento y control de las mezclas aplicadas en campo (Garnica et al., 2004).

Para el desarrollo del método se requieren briquetas, estas con dimensiones y pasos específicos para su fabricación; en la norma INVIAS E 748-2 menciona el procedimiento de fabricación para dichas briquetas y da información sobre temperatura, compactación y forma de ensayarlas, entre otras cosas.

Los aspectos primordiales del método son, determinar la estabilidad y flujo, y realizar el análisis de densidad y de vacíos (Garnica et al., 2004).

#### ***2.1.11 Mantenimiento vial.***

Según el INVIAS, el mantenimiento vial hace referencia al conjunto de actividades destinadas a preservar la condición de una carretera y de sus componentes, tales como el derecho de vía, calzadas, bermas, elementos de drenaje, estructuras, túneles, dispositivos de seguridad y control de tránsito, etc. Esto con el fin de que sigan prestando de manera efectiva el servicio para el cual fueron construidos o dispuestos (INVIAS, 2016).

## **2.2 Marco Legal**

### ***2.2.1 Especificaciones INVIAS 2022***

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) entre sus funciones tiene la responsabilidad de establecer normas técnicas y especificaciones para la construcción, mantenimiento y mejoramiento de la infraestructura vial. Estas normas aseguran que las obras viales cumplan con estándares de seguridad, calidad y funcionalidad. Además, tienen normas para poder ejecutar los distintos ensayos de laboratorio para caracterizar los distintos materiales usados. Asimismo, cuentan con

especificaciones esenciales que brindan parámetros de aceptación o rechazo y, juzgan los resultados obtenidos en los ensayos realizados.

Mediante la Resolución Número 4561 de 29 de noviembre del 2022 (INVIAS, 2022s), se adoptan algunas Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, como Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional. Específicamente, el Artículo 450-22 del INVIAS “consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una o más capas de mezcla asfáltica de gradación continua, preparada y colocada en caliente” (INVIAS, 2022a).

### **2.3 Generalidades sobre la planta de producción de mezcla asfáltica**

La planta de producción de mezcla asfáltica de la empresa COINOBRAS S.A.S. se encuentra ubicada en el km 4 vía a Zapatoca – Betulia, y está funcionando hace más de 20 años.

Dentro del portafolio de productos se encuentran:

Mezclas densas en caliente con cemento asfáltico de refinería, normalizado con aditivo mejorador de adherencia y modificado tipo: MDC-25 / MDC-19 / MDC-10 y mezclas densas en caliente con grano de caucho reciclado.

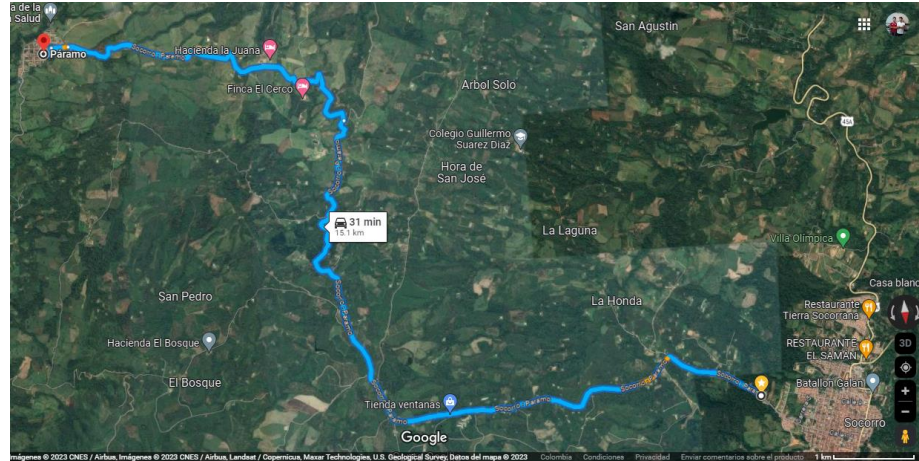
Materiales extraídos de la zona de Pescadero en Santander, en forma de crudo, agregado de  $\frac{3}{4}$ " y de  $\frac{3}{8}$ ", subbase y base (COINOBRAS, 2023).

### **2.4 Generalidades sobre el proyecto vial vigente**

Uno de los proyectos vigentes a cargo de la empresa COIONBRAS S.A.S., es el mejoramiento y pavimentación de la vía Socorro – Páramo, del departamento de Santander, que se ilustra en la **Figura 1**. Estos municipios están separados por aproximadamente 15 km, de los cuales se van a intervenir 5.9 km. En el municipio del Páramo se pavimentarán 2 kilómetros y en El Socorro serán 3,9 kilómetros.

**Figura 1**

*Localización de la vía que conecta los municipios del Socorro y el Páramo.*



*Nota:* Tomada de [Trayecto Socorro – Páramo], Google Maps (s.f.).

Dentro de las actividades a ejecutar se encuentran: desmonte, corte de taludes, construcción de filtro francés, retiro de fallos, mejoramiento de la subrasante, conformación de la estructura típica del pavimento (subbase, base y capa de mezcla asfáltica), construcción de alcantarillas, cunetas y muros de contención, entre otras.

En la **Tabla 1** se muestra información general del contrato, incluyendo el número de este, costos, tiempos y valores adicionales y algunas fechas importantes.

**Tabla 1**

*Información actual del contrato Socorro - Páramo*

<b>TIPO DE CONTRATO:</b>	Obra
<b>CONTRATO No. Y FECHA:</b>	CO1.PCCNTR.2875233 17/11/2021 NÚMERO INTERNO 2972 DE 2021
<b>CONTRATISTA:</b>	COINOBRAS S.A.S. RL. MILTON VILLARREAL MURILLO
<b>Nit o C.C. No.</b>	804.000.152-8

<b>OBJETO:</b>	LOTE No. 2 MEJORAMIENTO Y PAVIMENTACIÓN DE LA VÍA SOCORRO - PÁRAMO DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER.
<b>VALOR INICIAL:</b>	\$14.438.640.939,00
<b>VALOR ADICIONAL:</b>	\$ 5.551.292.065,00
<b>VALOR TOTAL:</b>	\$19.989.933.004,00
<b>ANTICIPO INICIAL:</b>	\$00.000.00
<b>ANTICIPO ADICIONAL:</b>	\$00.000.00
<b>ANTICIPO TOTAL:</b>	\$00.000.00
<b>PLAZO INICIAL:</b>	DOCE (12) MESES
<b>PLAZO ADICIONAL:</b>	CINCO (5) MESES
<b>PLAZO TOTAL:</b>	DIECISIETE (17) MESES
<b>FECHA DE INICIACIÓN:</b>	02/05/2022
<b>ACTAS DE SUSPENSIÓN</b>	
No. 01	Fecha: 21/04/2023
No. N/A	Fecha: N/A
<b>ACTAS DE REINICIO</b>	
No. 01	Fecha: 20/06/2023
No. N/A	Fecha: N/A
<b>FECHA DE TERMINACIÓN:</b>	01/12/2023
<b>OFICINA GESTORA:</b>	SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

*Nota:* Adaptada de “Informe No. 11 para el Mejoramiento y pavimentación de la vía Socorro - Páramo del departamento de Santander”, por M. López, 2023, Gobernación de Santander.

### 3. Desarrollo de la práctica

#### 3.1 Apoyo en el control de selección de los agregados bajo ensayos de laboratorio

En este apartado, se muestran las actividades que se realizan en la planta de producción de mezcla asfáltica de COINOBRAS S.A.S., desde la adquisición de materia prima por parte de proveedores, la producción de los diferentes tamaños de agregados bajo el uso de una trituradora

tipo cono, y los análisis que se le realizan a cada uno de estos en el laboratorio para determinar si pueden ser empleados.

### ***3.1.1 Obtención de los tamaños necesarios de agregados***

Los agregados utilizados por la empresa son explotados de canteras ubicadas en el Cañón del Chicamocha. El triturado (con TMN de 1”) y la gravilla (TMN de 3/8”) son provenientes de la empresa Avensa, este último material se puede evidenciar en la **Figura 2**. Dicha empresa se encarga de extraer, triturar, examinar y transportar estos agregados.

### **Figura 2**

*Acopio de 3/8" de Avensa*



Por otra parte, la empresa Arena Chicamocha es la encargada de suministrar “crudo”, el cual es el material extraído de la cantera al que no se le realiza ningún tratamiento. Por tanto, al llegar a la planta, será procesado por la trituradora marca ALLIS (ilustrada en la **Figura 3**) para así, obtener triturado (TMN de 3/4”) y gravilla (TMN de 3/8”).

**Figura 3**

*Trituradora ALLIS de la planta de producción de mezcla asfáltica*



La metodología para poder lograr estos tamaños de los agregados usando la trituradora tipo cono es la siguiente.

1. Se deposita el crudo en el acopio cerca a la tolva que recibe el material en la trituradora.
2. Antes de encender el equipo, se debe ajustar el cono, para lograr el tamaño máximo nominal deseado.
3. Después de poner a funcionar las bandas y el cono, se alimenta la trituradora con el crudo empleando un cargador, garantizando que la cantidad de material suministrado sea constante.

Esta trituradora posee 2 bandas transportadoras, las cuales agilizan el trabajo debido a que, se ajusta el cono al tamaño del agregado más grande (3/4") y se filtra a través de una malla o criba, la cual clasifica el material de tamaño deseado y desvía el restante por otra banda; dejando como resultado un acopio con material de 3/4" y otro de 3/8", como se puede ver en la **Figura 4**.

**Figura 4**

*Acopio de triturado de 3/8"*

**3.1.2 Revisión de calidad de los agregados bajo ensayos de laboratorio**

Para determinar la calidad de los agregados, se tomaron muestras de los diferentes acopios siguiendo el procedimiento establecido en la norma (INVIAS, 2022d). Una vez estas muestras ingresaban al laboratorio, se realizaba el procedimiento de cuarteo con la ayuda de un cuarteador mecánico hasta lograr muestras representativas, esto con el fin de poder realizar los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico (INVIAS, 2022e). Siguiendo la normativa, se tomó el peso inicial y seco para obtener el porcentaje de humedad, luego se lavó a través del tamiz No.200, con el fin de descartar los finos. Seguido de lo cual, se secó y se realizó el respectivo tamizado usando la tamizadora mostrada en la **Figura 5**, para determinar si cumplía con los parámetros establecidos de porcentaje de material que pasa por cada tamiz.

**Figura 5**

*Tamizadora mecánica para granulometría*



- Equivalente de arenas (INVIAS, 2022c), se tomaron y pesaron 3 muestras de material en un cilindro metálico, luego se llevaron al horno para eliminar toda la humedad. Después, se agregó cada muestra a probetas diferentes que contenían una solución de stock (cloruro de calcio). Transcurridos 10 minutos, los tubos de ensayo se agitaron vigorosamente y luego se aforaron hasta 381 mL, como se muestra en la **Figura 6**. Al cabo de 20 minutos y con la ayuda de indicador de lectura de arena, se tomaron las lecturas correspondientes a la arcilla y la arena. Finalmente, con dichos datos se calculó el equivalente de arena.

**Figura 6**

*Procedimiento de aforado para ensayo de Equivalente de arena*



- Limpieza superficial del agregado grueso (INVIAS, 2022h), se tamizó una muestra a través del tamiz No.4, con el objetivo de separar las gravas de las arenas. Después, se tomó su peso inicial, se lavó, secó y nuevamente se pesó, con lo que se calculó el coeficiente de limpieza superficial.
- Densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso (INVIAS, 2022g), se tomó la muestra de material, se pesó y se saturó durante 24 horas. Luego de esto, se secó superficialmente (estado SSS), se pesó en este estado y luego de sumergido en agua. Con estos pesos se calcularon dichas propiedades según lo indica el procedimiento de esta norma.
- Densidad, gravedad específica y absorción del agregado fino (INVIAS, 2022f). En este ensayo se estudió el material que pasa por el tamiz No. 4 y es retenido en el No. 200. Se pesaron 500 g de material y se saturaron durante 24 horas. Luego, se

secó superficialmente (esto se evidenció a través de la prueba del cono). Dicha muestra se incorporó en un picnómetro, se aforó con agua, luego se eliminaron las burbujas de aire, así como se ilustra en la **Figura 7**, y se tomaron los pesos de: el picnómetro con el material, el picnómetro con agua a la misma temperatura de la muestra y el picnómetro vacío.

- Gravedad específica del llenante mineral (INVIAS, 2022b), para este ensayo se realizó el mismo procedimiento del ensayo anterior, analizando el material que pasa el tamiz No. 200.

### **Figura 7**

*Revisión de contenido de burbujas de aire dentro del picnómetro*



Algunos otros ensayos como lo son: Valor de azul de metileno en agregados finos, solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de magnesio, vacíos de llenante seco compactado, resistencia mecánica de los agregados gruesos por el método del 10% de finos, determinación de la resistencia del agregado grueso

a la degradación por abrasión Micro Deval y el de abrasión en la máquina de los ángeles, no es posible realizarlos en el laboratorio de la empresa por falta de equipos. Por tanto, se relevaron a la empresa INTEROBRAS para su análisis correspondiente y se observan en el **Anexo 1 – Informes de laboratorio entregados por INTEROBRAS.**

En la **tabla 2** se recopilan los requerimientos que debían cumplir los agregados y para los cuales se realizaban los anteriores ensayos.

**Tabla 2**

*Parámetros de aceptación en el control de los agregados.*

Ensayo	Especificación	Característica	Criterio
Análisis granulométrico de los agregados	INVIAS, E-213	Gradación	Tabla 450 – 5. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua
Equivalente de arenas y agregados finos, mín (%)	INVIAS, E-133	Porcentaje de equivalencia	50
Impurezas en agregado grueso, máx (%)	INVIAS, E-237	Coefficiente de limpieza	0.5
Valor de azul de metileno en agregados finos, máx	INVIAS, E-235	Relación de pesos	10
Solidez frente a la acción de soluciones de sulfato de magnesio, máx (%)	INVIAS, E-220	Durabilidad	18
Vacíos de llenante seco compactado, mín (%)	INVIAS, E-229	Contenido de vacíos	38
Resistencia de los agregados por el método del 10% de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínima (%)	INVIAS, E-224	Dureza	110/90/75 75/75/75
Degradación por abrasión Micro Deval	INVIAS, E-238	Resistencia	20/25/25

---

Abrasión en la máquina de los ángeles, máx (%) a 500 y 100 revoluciones.	INVIAS, E-218	Resistencia	25/35/35 5/7/7
--	------------------	-------------	-------------------

---

*Nota:* En los últimos tres ensayos, los criterios hacen referencia a las capas de rodadura/intermedia/base, respectivamente. Adaptada de “Artículo 450. Tabla 450 – 2. Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua”, por INVIAS, 2022, Ministerio de Transporte.

Asimismo, para asegurar que los agregados a emplear en cada lote de producción de mezcla asfáltica, ver **Figura 8**, cumplan con los parámetros establecidos en la normativa del INVIAS (INVIAS, 2022a). Se ejecutaban los ensayos anteriormente descritos de granulometría, equivalente de arena y limpieza superficial con una frecuencia de una vez por semana para cada tipo de mezcla a producir.

### **Figura 8**

*Tolvas con agregados que alimentan el tambor mezclador*



### **3.2 Control de calidad de mezclas asfálticas elaboradas en la planta por medio de ensayos de laboratorio**

En cada lote de producción de mezcla asfáltica, se realizaron ensayos de control con el objetivo de revisar la calidad de esta, dichos ensayos se hacían tanto para los agregados como para la mezcla. Lo anterior, con el fin de revisar el cumplimiento de proporciones y parámetros establecidos.

Cabe recalcar que, en el laboratorio de COINOBRAS existen formatos preestablecidos para poder realizar anualmente los diseños de mezclas. Estos se hacen con esta periodicidad para revisar y comparar con el diseño actual y estudiar si es posible mejorarlo, ya sea en virtud de sus propiedades o en términos económicos, sin que disminuya su calidad.

#### ***3.2.1 Ensayos de control de las mezclas asfálticas densas en caliente***

Se tomaban muestras de los diferentes tipos de MDC, las cuales se extraían directamente de la banda transportadora que lleva la mezcla asfáltica de la planta al vehículo de transporte. Una parte se usaba para realizar el ensayo de gravedad específica máxima teórica o Gmm (INVIAS, 20221), que consiste en enfriar la muestra con agitación continua hasta conseguir temperatura ambiente y que las partículas no estén adheridas entre sí, después de lo cual, se pesa la muestra. Seguido de esto, la muestra se introduce en un picnómetro de vacío y se le agrega agua a 25° C hasta cubrirla. Luego, como se puede ver en la **Figura 9**, se somete a condiciones de vacío empleando una bomba, se termina de aforar el recipiente, se enrasa con un vidrio y se pesa. Por último, se llena el recipiente con agua y se pesa junto con el vidrio, con el objetivo de determinar la masa de referencia y compararla con la de la muestra, para así obtener el Gmm.

**Figura 9**

*Ejecución del ensayo para determinar el Gmm en una mezcla asfáltica*



Con otra parte de la muestra se realizaba el ensayo de extracción (INVIAS, 2022j), con el fin de conocer el porcentaje de asfalto que tenía la mezcla. Para esto, se pesa la muestra y luego se emplea la centrífuga de la **Figura 10** y gasolina para limpiar los agregados. Seguido de lo cual, dichos agregados son lavados, secados y pesados para comparar este dato con el peso inicial.

**Figura 10**

*Equipo de centrifugado para extracción*



El resto de la muestra se utilizaba para fabricar las briquetas mencionadas en el método Marshall (INVIAS, 2022m). Se alistaban 3 moldes metálicos con las dimensiones descritas en la normativa, en los cuales se agregaban aproximadamente 1180 gr de muestra por briqueta. Lo anterior, para lograr que el espesor después de compactado estuviese alrededor de los 63 mm. La compactación se efectuaba golpeando la briqueta con 75 golpes por cada cara con un martillo de dimensiones descritas en la norma, como se muestra en la **Figura 11**.

### **Figura 11**

*Compactación de briquetas para el diseño de MDC-19*



Asimismo, se le realizaba el ensayo de gravedad específica bulk (INVIAS, 2022k), en el cual se calcula el volumen de cada briqueta, luego se toma el peso en el aire, el sumergido y el SSS (saturado superficialmente seco), con estas medidas se puede calcular el porcentaje de agua absorbida y la gravedad bulk.

Finalmente, se llevaba a cabo el ensayo de estabilidad y flujo (INVIAS, 2022m), donde se someten las briquetas a baño maría a 60 °C durante media hora. Luego de esto, se fallan utilizando el equipo Marshall de la **Figura 12**, el cual arroja directamente los valores de estabilidad y flujo, que se comparan con los establecidos en la norma. Estos resultados y su análisis se encuentran en el **Anexo 2 – Resultado de laboratorio obtenidos del control de MDC-19**.

### Figura 12

*Equipo de laboratorio Marshall*



En la **tabla 3** se reúnen los requerimientos que debían cumplir las mezclas asfálticas y para los cuales se realizaban los ensayos mencionados anteriormente.

### Tabla 3

*Parámetros de aceptación en el control de producción de las mezclas asfálticas densas en caliente.*

Ensayo	Especificación	Propiedad	Parámetro
Extracción cuantitativa de asfalto (%)	INVIAS, E-732	Porcentaje de asfalto	6 – 6.3*
			5 – 5.4*
			4.9 – 5.4*
Gravedad específica bulk (g/cm <sup>3</sup> )	INVIAS,	Densidad	2.29 – 2.33*

	E-733		2.34 – 2.39*
			2.34 – 2.38*
Estabilidad mín. (N)	INVIAS, E-748	Resistencia	9000
Flujo (mm)	INVIAS, E-748	Deformación	2.0 – 3.5

*Nota:* Para las dos primeras filas, se hace referencia a la MDC 10, MDC 19 y MDC 25, respectivamente, y corresponden a parámetros de laboratorio. *\*Estos datos son tomados de los diseños de mezcla asfáltica establecidos en la planta de producción.* Adaptada de “Artículo 450. Tabla 450 – 9. Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall”, por INVIAS, 2022, Ministerio de Transporte

### 3.2.2 Combinación óptima de agregados

Las combinaciones de agregados para los diferentes tipos de MDC que se producen actualmente en la planta de producción de mezcla asfáltica se analizan bajo ensayos granulométricos. Lo anterior, con el fin de revisar las proporciones de cada uno de los agregados que se incorporan, comparando los resultados con los límites granulométricos descritos en la especificación (INVIAS, 2022a) y los límites de la fórmula de trabajo. Cabe recordar, que los agregados que se manejan para los diseños son: acopio de 3/8”, acopio de 3/4”, ambos obtenidos en la empresa por la fragmentación de crudo en la trituradora, acopio de 3/8” y otro de 1”, provenientes de la empresa Avenza.

Para la MDC-10 se utiliza solo agregado con TMN de 3/8”, empleando una combinación 50/50 del agregado producido en la planta y del de la empresa Avenza. Por otra parte, para la MDC-19 se usaron los agregados de los acopios de 3/4” y de 3/8”, con una proporción de 25% y 75%, respectivamente, utilizando la misma combinación 50/50 para el agregado 3/8”. Por último, para la MDC-25 la combinación óptima estaba conformada por 24% de agregado de 1”, 8% de

3/4" y 68% de 3/8" (50/50). El detalle de estas combinaciones se evidencia en el **Anexo 3 – Combinación de agregados obtenidas para los diseños.**

### 3.2.3 Porcentaje de asfalto óptimo en una mezcla asfáltica

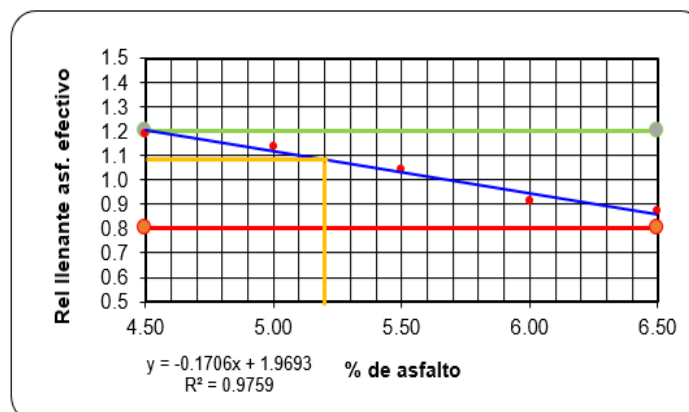
El objetivo de encontrar un contenido óptimo de asfalto para una mezcla es, lograr el balance entre el desempeño y la economía. Esto debido a que un alto porcentaje de asfalto se vería representado en mayores costos de fabricación y no se cumpliría con algunos ensayos requeridos en el artículo 450 del INVIAS. Por otra parte, un porcentaje muy bajo sería bueno económicamente; pero, seguirá incumpliendo la normativa (INVIAS, 2022a).

Cuando ya se tiene el diseño de las combinaciones de agregados, se comienza a variar el porcentaje de asfalto. Se realizan 5 puntos, cada uno con 3 briquetas, variando entre sí 0.5% de contenido de asfalto, dependiendo del tipo de mezcla, este rango puede estar entre 4.0% y 7.0%.

Para cada punto, se le realizan los ensayos de gravedad específica máxima, densidad específica bulk y el ensayo de estabilidad y flujo. Luego, se grafican y correlacionan los resultados obtenidos, para tener una representación visual de estos, que facilite la búsqueda del punto óptimo. Una de las gráficas para el diseño de la MDC-19 resultantes se muestran en la **Figura 13.**

**Figura 13**

*Relación llenante asfalto efectivo vs % de asfalto*



*Nota:* Las líneas de color verde y rojo representan los límites permitidos por la especificación INVIAS Artículo-450 (INVIAS, 2022a), mientras que las de color amarillo, indican el punto de asfalto óptimo del diseño.

En este caso, se encontró que el porcentaje idóneo de asfalto es de 5.2%, por tanto, se procedió a analizar la mezcla utilizando este porcentaje calculado, con el fin de corroborar el comportamiento de esta. Donde además de someterse a los mismos ensayos, se realizan los ensayos de: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos, método Riedel–Weber (INVIAS, 2022q) el cual busca dar un margen de seguridad al usar ese tipo de agregados, revisando la adhesividad del ligante a estos, como se aprecia en la **Figura 14**. De igual manera, el ensayo efecto del agua sobre las mezclas asfálticas sueltas (INVIAS, 2022p), que sirve como indicador de la susceptibilidad relativa del agregado que está cubierto de asfalto a la acción del agua, mostrado en la **Figura 15**. Por último, se procede a efectuar la prueba o ensayo de tracción indirecta (TSR) (INVIAS, 2022i), el cual busca establecer la susceptibilidad al daño por humedad, determinar si el aditivo mejorador de adherencia (Surfax A S-500), es efectivo o no y, encontrar la cantidad óptima de este para maximizar su efectividad. Se puede detallar la ejecución y resultado de este último en la **Figura 16**.

**Figura 14**

*Comparación entre diferentes concentraciones de solución*



*Nota:* El tubo de ensayo a la izquierda tiene una concentración molar de carbonato de sodio M/0, mientras que el de la derecha tiene una concentración de M/9.

**Figura 15**

*Realización del ensayo de agua hervida*



**Figura 16**

*Ejecución del ensayo de TSR para MDC-19*



Por falta de equipos en el laboratorio de la empresa, se enviaron muestras al laboratorio de Concre-Servicios. Esto con el fin de realizar los ensayos de: resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio (INVIAS, 2022o), ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas (INVIAS, 2022n) y el ensayo para la determinación de las leyes de fatiga de mezclas asfálticas compactadas en caliente sometidas a flexión dinámica (INVIAS, 2022r). Cuyos resultados se encuentran en el **Anexo 4 – Ensayos de laboratorio de la empresa Concre-Servicios.**

### ***3.2.4 Socialización y aplicación de resultados obtenidos***

Una vez determinada la combinación de agregados y el porcentaje de asfalto óptimo en el laboratorio, estos se compartían con el jefe y operarios de la planta. Lo anterior, con el propósito de que fueran revisados y aprobados. Una vez aceptados, se incorporaban estos nuevos valores al

proceso de manufactura y así, se actualizaban todos parámetros de diseño. El documento que detalla este diseño está plasmado en el **Anexo 5 – Resultados del diseño de la MDC 19**.

### **3.3 Apoyo en el control de actividades, cantidades y mano de obra empleadas en el proyecto de mejoramiento y pavimentación de la vía Socorro - Páramo del departamento de Santander.**

#### **3.3.1 Explanación del terreno**

Para comenzar a conformar la vía, se llevó a cabo el corte de los chaflanes del terreno natural, que es necesario debido a la nueva amplitud que requiere la vía que se está realizando, esto se ve reflejado en la **Figura 17**. Esto se ejecutó con la ayuda de un retrocargador, con el cual se retiró todo el material y se cargaron las volquetas, para posteriormente ser vaciadas en el botadero autorizado.

**Figura 17** Comparación de un antes y después de realizar la explanación



#### **3.3.2 Instalación de filtro francés**

Parte de las obras de drenaje son los filtros, los cuales desvían el agua que se infiltra por los taludes hacia las alcantarillas, protegiendo la estructura del pavimento y así, alargando su vida útil. Para la obra se implementó un filtro francés de 1.2 x 0.6 m, el cual consta de un tubo para

filtro de 4" en la base, rodeado de piedra filtro (limpia) y esta, a su vez, recubierta por geotextil no tejido, lo anterior se ve reflejado en la **Figura 18**. Dicho filtro se ubica dependiendo a la pendiente natural del terreno, con el fin de desviar el flujo de agua infiltrada que pudiese llegar a la vía.

### **Figura 18**

*Construcción de filtro francés*



#### **3.3.3 Mejoramiento de la subrasante, aplicación de subbase y base**

Se excavó la subrasante, lo suficiente como para eliminar el material saturado y contaminado (en este caso arcillas), y llegando a la cota necesaria cuando sea corte. Lo anterior, con el fin de tener un terreno firme, resistente y confiable que permita construir las capas restantes del pavimento sin que estas fallen. Una vez retirado ese material, con la ayuda del retrocargador y el vibro compactador, se extendió material de afirmado, se compactó y se llevó al nivel necesario en caso de ser terraplén, como se evidencia en la **Figura 19**.

**Figura 19**

*Comparación de altura del terraplén en el k2+810 con la subrasante original*



La aplicación de la subbase y base se hizo con la ayuda de una motoniveladora, ilustrada en la **Figura 20**. Esto con el fin de lograr los espesores y pendientes establecidas en el diseño y plasmadas por la topógrafa cada 5 m.

**Figura 20**

*Aplicación de Subbase en el k2+420*



### 3.3.4 Seguimiento en la construcción de muro de contención

Una parte crítica para el desarrollo de este proyecto es la construcción de muros de contención. Estos son vitales en 3 puntos, debido a que el terreno natural es bastante inestable y no soportaría cargas extras, tanto así que debido a los constantes deslizamientos el paso existente es cada día más angosto.

El muro que actualmente se viene desarrollando se encuentra entre las abscisas del k2+835 al k2+795 Páramo – Socorro. Está conformado por 4 módulos, cada uno constituido de: una zarpa, el vástago y soportado en caissons (donde el terreno lo requería). En el **Anexo 6 – Plano estructural del muro de contención**, se puede observar el despiece de este.

A continuación, se puede visualizar el encofrado y armado del refuerzo del vástago del módulo 2 en la **Figura 21**. Además, se ilustra la instalación de un filtro francés a lo largo de todo el muro en la **Figura 22**, esto con el fin drenar el agua infiltrada y alargar la vida del proyecto.

#### **Figura 21**

*Construcción del vástago en el módulo 2*



**Figura 22**

*Instalación de filtro francés a lo largo del muro*

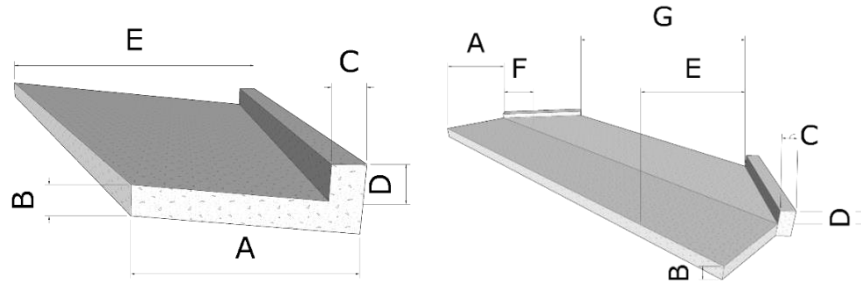
**3.3.5 Construcción de cunetas y entradas**

Las cunetas conectan dos alcantarillas entre sí, con el fin de desviar el agua hacia el desagüe más cercano. Una de las funciones principales de las cunetas es recoger y canalizar el agua de lluvia lejos de la carretera, esto ayuda a prevenir el desgaste prematuro del pavimento debido al contacto constante con el agua. Asimismo, estas evitan que el agua se infiltre y comprometa la integridad de la estructura subyacente de la vía.

Su diseño y construcción requirió concreto de 21 MPa, y parrillas de acero de refuerzo con varilla corrugada #3. En la **Figura 23** y la **Figura 24**, se puede apreciar el diseño de estos elementos y su construcción, respectivamente.

**Figura 23**

*Cuneta y entrada tipo para todo el proyecto*

**Figura 24**

*Fundición de cunetas con la ayuda de un mixer*



### ***3.3.6 Apoyo con los registros de mano de obra y cantidades***

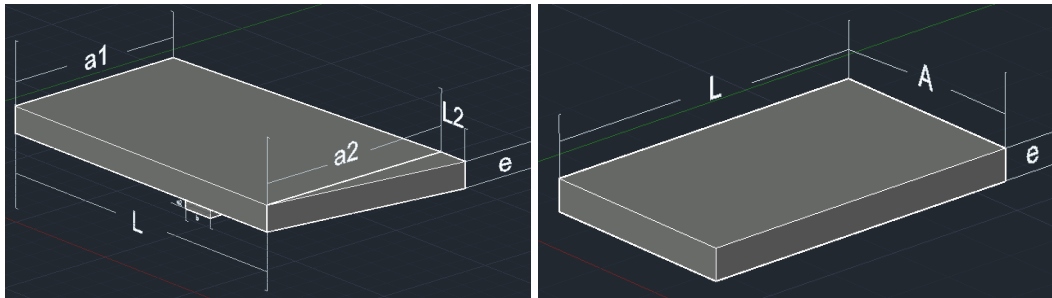
Debido a la alta cantidad de actividades que se estaban desarrollando, fue indispensable llevar un registro del personal y de las cantidades de materiales empleados en estas. Lo anterior, con el fin de poder realizar un seguimiento y control no solo al correcto desarrollo del proyecto, los materiales y cantidades utilizadas, sino también al personal, para revisar sus progresos y falencias, con el fin de posteriormente mejorar y determinar dónde ubicarlos para que realicen un trabajo idóneo.



entre sí por las desigualdades del terreno existente, estas desigualdades se ven plasmadas en la **Figura 26**. Parte de este análisis y control de cantidades, se muestra en la **Figura 27**.

**Figura 26**

Comparación de las zarpas de los módulos 2 y 4, respectivamente



**Figura 27**

Control de cantidad de concreto y acero para el vástago del módulo 3

VASTAGO									
<b>CONCRETO</b>									
L [m]	12.64								
a [m]	0.3								
b [m]	0.9								
c [m]	4.02								
d [m]	3.01								
								Vol [m <sup>3</sup> ]	26.66
<b>Acero Longitudinal (incluido el refuerzo)</b>									
Tipo	S1 [m]	n1	L1 [m]	S2 [m]	n2	L2 [m]	L total [m]	W [kg/m]	W [kg]
#4	0.30	42.00	4.52	0.00	0.00	0.00	189.84	0.99	188.70
#6	0.30	42.00	4.58	0.30	41.00	3.00	315.36	2.24	704.83
<b>Acero Transversal</b>									
Tipo	S [m]	n	L [m]	L total [m]	W [kg/m]	W [kg]			
#4	0.20	40.00	12.81	572.40	0.99	568.97			
<b>Acero Constructivo</b>									
Uso	Tipo	H / S [m]	n	L [m]	L total [m]	W [kg/m]	W [kg]		
Separador	#4	0	22	0.9	19.80	0.99	19.68		
		1.2	44	0.66	29.04	0.99	28.87		
		2.4	44	0.42	18.48	0.99	18.37		
		3	44	0.3	13.20	0.99	13.12		
		4.02	22	0.3	6.60				
Pines	#5	0.45	28	0.2	5.6	1.55	8.70		


### 3.4 Seguimiento y control al proyecto vial vigente y a la producción de materiales en la planta de la empresa COINOBRAS S.A.S.

Por la cantidad de tareas que se llevaban a cabo diariamente en el proyecto, fue preciso tener un registro de dichas actividades realizadas para ir plasmando su progreso y de esta manera realizar un correcto avance del proyecto.

También, se llevó un control para la maquinaria alquilada, el cual se debía presentar semanalmente. Este consistía en un cuadro de relación con especificaciones de trabajo, así como la fecha y ubicación de trabajo, el registro inicial y final del horómetro y las actividades realizadas. En la **Figura 28**, se presenta parte de estos controles semanales.

**Figura 28**

Control de maquinaria para la primera quincena de agosto.


 <b>CONTROL DE ALQUILER MAQUINARIA AGOSTO 01 - 15 DE 2023</b>												
FECHA	RECIBO	LUGAR	UBICACIÓN	CLIENTE	OPERADOR	REF.	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	TOTAL HORAS	OBSERVACIONES	VALOR POR HORA	
											\$	
martes, 1 de agosto de 2023	917	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3128	3136.4	8.4	Excavación, fallo filtro y sobrancho	\$	
miércoles, 2 de agosto de 2023	918	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3136.4	3144.5	8.1	Excavación, fallo filtro y sobrancho	\$	
jueves, 3 de agosto de 2023	919	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3144.5	3153.7	9.2	Excavación, fallo filtro y sobrancho	\$	
viernes, 4 de agosto de 2023	920	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3153.7	3159.7	6	Excavación, fallo filtro y sobrancho	\$	
martes, 8 de agosto de 2023	921	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3159.7	3167.9	8.2	Excavación, fallo filtro y sobrancho	\$	
miércoles, 9 de agosto de 2023	922	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3167.9	3176.7	8.8	Excavación, fallo filtro y sobrancho	\$	
jueves, 10 de agosto de 2023	923	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3176.7	3185.3	8.6	Cargue huella, ext botadero	\$	
viernes, 11 de agosto de 2023	924	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3185.3	3193.9	8.6	Demolición huella y sobrancho	\$	
sábado, 12 de agosto de 2023	925	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3193.9	3198	4.1	Excavación, fallo filtro y sobrancho	\$	
lunes, 14 de agosto de 2023	927	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3198	3205.7	7.7	Excavación y sobrancho	\$	
martes, 15 de agosto de 2023	928	Socorro	K3	COINOBRAS S.A.S	Armando Gómez	416E	3205.7	3214.3	8.6	Excavación, fallo filtro y sobrancho	\$	
									<b>TOTAL</b>	<b>86.3</b>	Factura 24 de agosto de 2023	\$

Para el seguimiento de las cantidades de materiales empleados, tales como los agregados pétreos, afirmado, material filtrante, subbase o base, se realizó un control mensual. En este se evidenciaba la fecha, conductor, vehículo, tipo de material cargado, sitio de descargue y números de recibos de talonarios. Este estricto seguimiento fue necesario para llevar un control adecuado del material utilizado. Lo anterior, dado que, por las diferentes actividades y frentes, se hacía más

probable cometer errores. En la **Figura 29**, se evidencia un cuadro de relación de volquetas con el control de los agregados para el mes de Julio.

**Figura 29**

Seguimiento de cantidades de agregados pétreos

COINOBRAS		CONTROL AGREGADOS PÉTREOS						
FECHA	VEHÍCULO	CONDUCTOR	TIPO MATERIAL	RECIBO PLANTA	RECIBO COINOBRAS	CANTIDAD	DESCARGUE	Valor
26-jul-23	UFQ 143	Eudes Peña	Afirmado	54402	4695	7.00[m3]	Socorro	\$ [REDACTED]
26-jul-23	XMC 753	Hector Iancheros	Afirmado	54403	4696	7.00[m3]	Socorro	\$ [REDACTED]
27-jul-23	ZKG 256	Saul Guevara	Material Filtrante	54410	4697	7.00[m3]	Socorro	\$ [REDACTED]
27-jul-23	UFQ 143	Eudes Peña	Material Filtrante	54420	4698	7.00[m3]	Socorro	\$ [REDACTED]
27-jul-23	TND 276	Bernardo Arenas	Material Filtrante	54423	4699	7.00[m3]	Socorro	\$ [REDACTED]
27-jul-23	XVB 681	Javier Useda	Sub base Clase C	54125	13001	7.00[m3]	Páramo	\$ [REDACTED]
27-jul-23	XVB 681	Javier Useda	Sub base Clase C	54173	13002	7.00[m3]	Páramo	\$ [REDACTED]
27-jul-23	UFQ 143	Eudes Peña	Material Filtrante	54433	13003	7.00[m3]	Socorro	\$ [REDACTED]
27-jul-23	TND 276	Bernardo Arenas	Afirmado	54439	13004	7.00[m3]	Socorro	\$ [REDACTED]
27-jul-23	ZKG 256	Saul Guevara	Afirmado	54455	13005	7.00[m3]	Socorro	\$ [REDACTED]

Para el control de las mezclas asfálticas y sus diseños se realizó un informe detallado, en el cual se describen las bases teóricas, normativas, la metodología y los resultados obtenidos en cada uno de ellos. Dicho informe se presenta en el **Anexo 7 - Informe sobre el diseño de MDC-19**. En la **Tabla 4**, se muestran algunos de los resultados del diseño de MDC-19 junto con los límites establecidos en el artículo 450 del INVIAS (INVIAS, 2022a).

**Tabla 4**

*Resultados de ensayos obtenidos en el diseño de la MDC-19*

PARÁMETRO	VALOR	ESPECIFICACIÓN	
		Min.	Max.
Contenido óptimo de asfalto, %	5,2	5,0	5,4
Vacíos con aire (Va), %	4,8	4,0	6,0
Densidad aparente briqueta, g/cm <sup>3</sup>	2,368	Dato diseño	
Gmm Máxima medida (Rice), g/cm <sup>3</sup>	2,487	Dato diseño	
Estabilidad, N	19947	9000	-

<b>Flujo, mm</b>		3,4	2	3,5
<b>Vacíos en los agregados (VAM), %</b>		16,6	15	-
<b>Vacíos llenos con asfalto (VFA), %</b>		71,3	65	75
<b>Relación llenante/ligante</b>		1,1	0,8	1,2
<b>Relación estabilidad/flujo</b>		5,9	3,0	6,0
<b>Concentración real del llenante</b>		0,282	-	0,32
<b>Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método de Bailey</b>	Relación de agregado grueso (Ag)	0,9		Reportar
	Porción gruesa del agregado fino (Afg)	0,5		Reportar
	Porción fina del agregado fino (AFf)	0,3		Reportar
<b>Espesor promedio de película de asfalto mínimo, <math>\mu\text{m}</math></b>		9,28	7,5	-

#### 4. Conclusiones

Se apoyó a la empresa COINOBRAS en la fabricación, inspección y control, de los diferentes agregados pétreos que se utilizan en la planta de producción de mezcla asfáltica para la producción de mezclas asfálticas, y material para base y subbase. En todo este proceso, se siguieron de cerca las especificaciones INVIAS 2022, esto con el fin de proporcionar productos de calidad que cumplan con los requisitos solicitados, especialmente del Artículo 450. Estas revisiones de agregados se hacían de forma semanal y otros como están preestablecidos en la norma.

A su vez, se ayudó a realizar la actualización de los diseños de mezclas asfálticas tipo MDC-25, MDC 19 y MDC-10, ejecutando todo el procedimiento. Desde la obtención de la materia prima, seguido de los cálculos de porcentajes de cantidades de materiales, realizando los ensayos pertinentes descritos nuevamente en el Artículo 450 y empleando el método Marshall para conocer los valores de estabilidad y flujo de cada mezcla. De igual manera, para cada mezcla asfáltica se realizó un informe detallado, en el cual se describían las bases teóricas, normativas, la metodología

y los resultados obtenidos en cada una de ellas. Gracias a estos esfuerzos, se logró que los diseños fueran aceptados y que la empresa Concay adquiriera la mezcla tipo MDC-19.

En el proyecto de mejoramiento y pavimentación de la vía Socorro - Páramo del departamento de Santander, se apoyó en todas las actividades que se ejecutaron en el momento de la práctica. Tales como el cálculo de cantidades para la solicitud de materiales, cortes en explanación, instalación de filtro francés, supervisión del proceso del mejoramiento de la subrasante, y la aplicación de la subbase y la base. Asimismo, se ejecutó un seguimiento estricto en el espesor y compactación de estas últimas, basado en los diseños, construcción de cunetas y entradas a fincas aledañas en los primeros 300 metros del proyecto, donde la ejecución de la pavimentación ya había concluido.

Por último, se llevaba un seguimiento a todas las actividades realizadas en bitácoras diarias, con el fin de encontrar posibles falencias en los procesos y de esta manera poder corregirlos y optimizarlos. Igualmente, esto se realizó para llevar un control pertinente en los trabajadores y agilizar la producción, llevando con cabalidad los tiempos establecidos por el contrato.

Con esto, se llevó a cabo un seguimiento semanal de la maquinaria alquilada y mensual de las cantidades de materiales empleados, que fue necesario para llevar un control riguroso que permitiera disminuir al máximo el riesgo de cometer errores que perjudicaran económicamente al proyecto.

Logrando así, repercutir significativamente en la zona campesina aledaña al proyecto, mejorando el progreso regional, especialmente en el ámbito de la movilización eficiente de personas y de mercancías.

### Referencias Bibliográficas

Bastidas, J., & Rondón, H. (2020). *Caracterización de mezclas de concreto asfáltico*.  
Universidad Piloto de Colombia.

COINOBRAS. 2023, *Mezclas densas en caliente*. Retrieved Aug 29, 2023, from  
<https://dardo.online/coinobras/pavimento/mezclas-densas-en-caliente/>

Compañía de Trabajos Urbanos. (s.f., s.f.). *Tipos de mezclas asfálticas*. Recuperado 27/08/2023,  
de <https://ctu.com.co/tipos-mezclas-asfalticas/>

Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J., Alonso, S., & Alarcón, H. (2004). *Aspecto del diseño  
volumétrico de mezclas asfálticas*

Garnica, P., Mayra, F., Gómez, J., & Delgado, H. (2005). *Caracterización geomecánica de  
mezclas asfálticas*.

Giordani, C., & Leone, D. (s.f.). *Pavimentos*.

[https://www.frrro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_ano/civil1/files/IC%20I-  
Pavimentos.pdf](https://www.frrro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)

Gorse, C., Johnston, D., & Pritchard, M. (2012a). *Dictionary of Construction, Surveying and  
Civil Engineering*. Oxford University Press.

Gorse, C., Johnston, D., & Pritchard, M. (2012b). *Dictionary of Construction, Surveying and  
Civil Engineering - fire-suppression system* (1st ed.). Oxford University Press.

INVIAS. (2016). *Manual de mantenimiento de carreteras*.

<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/proyectos-de-norma/11316-manual-de-mantenimiento-de-carreteras-2016-volumen-2-especificaciones-generales/file>

INVIAS. (2022a). *Artículo 450. Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua*.

INVIAS. (2022b). *E-128. Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua*.

INVIAS. (2022c). *E-133. Equivalente de arenas de suelos y agregados finos*.

INVIAS. (2022d). *E-201. Muestreo de agregados para construcción de carreteras*.

INVIAS. (2022e). *E-213. Análisis granulométrico para los agregados grueso y fino*.

INVIAS. (2022f). *E-222. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino*.

INVIAS. (2022g). *E-223. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso*.

INVIAS. (2022h). *E-237. Determinación de la limpieza superficial de las partículas de agregado grueso*.

INVIAS. (2022i). *E-725. Evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta*.

INVIAS. (2022j). *E-732. Extracción cuantitativa del asfalto en mezclas para pavimentos*.

- INVIAS. (2022k). *E-733. Gravedad específica bulk y densidad de mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficialmente secos.*
- INVIAS. (2022l). *E-735. Gravedad específica máxima de mezclas asfálticas para pavimentos.*
- INVIAS. (2022m). *E-748. Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall.*
- INVIAS. (2022n). *E-749. Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas.*
- INVIAS. (2022o). *E-756. Resistencia a la deformación plástica de las mezclas asfálticas mediante la pista de ensayo de laboratorio.*
- INVIAS. (2022p). *E-757. Efecto del agua sobre las mezclas asfálticas sueltas.*
- INVIAS. (2022q). *E-774. Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método riedel–weber).*
- INVIAS. (2022r). *E-784. Determinación de las leyes de fatiga de mezclas asfálticas compactadas en caliente sometidas a flexión dinámica.*
- INVIAS. (2022s). *Resolución Número 4561 de 29 de noviembre del 2022.*
- Lidstone, C., & Korte, A. (2011). *Water and Sediment Control Systems*

- . *SME Mining Engineering Handbook* (3rd ed., pp. 1714). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).
- Lin, C., & Zhang, X. (2018). Laboratory Drainage Performance of a New Geotextile with Wicking Fabric. *Journal of Materials in Civil Engineering*,
- Maila, M. (2013). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (eva)*
- MPI. (s.f.). *Ficha técnica cemento asfáltico 60-70*.  
[https://b2bmarketplace.procolombia.co/sites/default/files/products/cemento-asfaltico-60-70-1\\_compressed.pdf](https://b2bmarketplace.procolombia.co/sites/default/files/products/cemento-asfaltico-60-70-1_compressed.pdf)
- Rahaman, M. Z., & Bahia, H. (2023). Effects of Filler Properties on Fatigue Performance and Bond Strength of Asphalt Mastics. *Journal of Materials in Civil Engineering*,
- Rodríguez, G. (2008). *Montaje, operación y mantenimiento de plantas para mezcla asfáltica en caliente* <https://docplayer.es/11349418-Montaje-operacion-y-mantenimiento-de-plantas-para-mezcla-asfaltica-en-caliente.html>
- Ropa-Carrión, B., & Alama-Flores, M. (2022). Gestión organizacional: un análisis teórico para la acción. *Revista Científica De La UCSA; Rev.Ciente.UCSA*.
- SURFAX. (s.f.). *Aditivo surfax A S-500*. SURFAX COLOMBIA. Recuperado 27/08/2023, de <https://www.surfax.com.co/detalleProd.php?id=3>