

**Análisis de Calidad de Mezclas Asfálticas en la Planta de Trituración y Asfalto de
*Mikonstrucciones S.A.S***

Nannell Yelithza Lindarte Fuentes



Universidad de Pamplona

Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Química

Pamplona

Diciembre de 2021

**Análisis de Calidad de Mezclas Asfálticas en la Planta de Trituración y Asfalto de
*Mikonstrucciones S.A.S***

Nannell Yelithza Lindarte Fuentes

Trabajo de Grado Para Optar por el Título de

Ingeniera Química

Director

Alexander Luna Cortes

Ingeniero Químico Esp. Ms.



Universidad de Pamplona

Departamento de Ingeniería Ambiental, Civil y Química

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa de Ingeniería Química

Pamplona

Diciembre de 2021

Dedicado a:

Dios,

*Teresa Fuentes, Orlando Lindarte, y Diego Esquivel
quienes me acompañaron durante esta etapa de vida
transmitiendo amor, fortaleza e impulso para continuar.*

Agradecimientos

Para llegar a la realización de este trabajo de grado agradezco principalmente a Dios, por darme la vida y ser la fortaleza en los momentos en que tan solo la mía no alcanzaba, sin su obrar en mí este logro no tendría valor alguno.

A mis padres, Teresa Fuentes y Orlando Lindarte quienes han estado siempre presentes con su apoyo y amor incondicional para lograr cada meta que me he propuesto.

A mis hermanos, principalmente a Brayham Lindarte quien desde que llegó a este mundo ha sido luz en mi vida.

A Diego Esquivel, quien estoy segura Dios puso en mi camino para enseñarme el valor del amor y dar alegría en los días que más lo necesitaba.

Al ingeniero Rodrigo Roa y la empresa Mikonstrucciones SAS por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto, que ha aportado crecimiento profesional y personal a mi vida.

A los integrantes del laboratorio, Yesid Navas, Laura Nuvan y Carlos Lemus, quienes con su carisma fueron apoyo incondicional durante esta etapa práctica.

A mi apreciado director de trabajo de grado Alexander Luna Cortes, por su comprensión y tiempo dedicado para poder desarrollar el trabajo de grado.

Al ingeniero Juan Pablo Mariscal, por su acompañamiento aun en la distancia durante la etapa practica y por transmitir sus conocimientos para realizar el manual de laboratorio.

A Marvel Vilardy y Alexandra Ruidiaz que más que compañeras, se convirtieron en dos grandes amistades, que llenaron mis días de felicidad y apoyo constante.

A mis compañeros por hacer de los días más duros, risas y motivación de que siempre puede suceder algo mejor, Nathalia Hernández, Paula Granados y Brandon Martínez.

Finalmente agradezco a todos los docentes que con sus conocimientos, valores y sabiduría guiaron mi camino durante estos años, motivándome para ser una excelente profesional, sin su guía este proceso no hubiese sido igual.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	5
Lista de Tablas	6
Lista de Figuras	7
Glosario	8
Resumen	9
Abstract	10
1. Introducción	11
2. Marco Conceptual	13
3. Planteamiento del Problema y Justificación	18
3.1. Formulación del Problema	20
4. Objetivos	21
4.1. Objetivo General	21
4.2. Objetivos Específicos	21
5. Metodología	22
5.1. Etapa 1	23
5.2. Etapa 2	23
5.3. Etapa 3	23
5.4. Etapa 4	23
6. Resultados	24
6.1. Identificación del Proceso	24
6.2. Evaluación de las Técnicas de Análisis de Calidad	28
6.2.1. Evaluación cualitativa de las normas de ensayo	29
6.2.2. Verificación de cinco normas de ensayo	30
6.3. Diagnóstico de las Condiciones del Laboratorio	35
6.3.1. Identificación de las fallas y controles en el laboratorio	35
6.4. Elaboración del Manual de Laboratorio	42
7. Conclusiones	44
8. Recomendaciones	45
9. Referencias	46
ANEXOS	48

Lista de Tablas

<i>Tabla 1. Composición química de 4 tipos diferentes de asfalto (Claine Petersen, 1984).....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2. Propiedades relevantes del aglutinante derivadas de las características de rendimiento del asfalto (Southern, 2015).....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 3. Comparación estructural y física de los tipos de asfaltos.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 4. Caracterización de los tipos de pavimentos.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 5. Equipos de trituración y su reducción del tamaño de partícula.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 6. Materiales para la manufactura de mezcla asfáltica en la empresa (INVÍAS, 2013).....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7. Tipos de mezclas que se producen en la planta de Miconstrucciones SAS (INVÍAS, 2013).....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 8. Cumplimiento para los criterios de diseño preliminar de la mezcla asfáltica (INVÍAS, 2013).....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 9. Cumplimiento de los requisitos para los agregados de mezclas asfálticas.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 10. Ensayos a verificar.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 11. Grado de precisión del ensayo 1.1 del manual.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 12. Grado de precisión del ensayo 1.6 del manual.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 13. Grado de precisión del ensayo 1.7 del manual.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 14. Grado de precisión del ensayo 1.8 del manual.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 15. Grado de precisión del ensayo 2.1 del manual.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 16. Grado de veracidad del ensayo 1.1 del manual.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 17. Grado de veracidad del ensayo 1.6 del manual.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 18. Grado de veracidad del ensayo 1.7 del manual.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 19. Grado de veracidad del ensayo 1.8 del manual.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 20. Grado de veracidad del ensayo 2.1 del manual.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 21 Errores comunes llevados a cabo en el laboratorio.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 22. Rango de la evaluación de los controles.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 23. Resultados de la evaluación de los controles.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 24. Formato de ensayo individual.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 25. Secciones y número de ensayos contenido en cada sección.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 26. Formato de registro de reactivos del laboratorio.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 27. Formato de registro de inventario de equipos del laboratorio.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 28. Formato de registro de identificación de los equipos del laboratorio.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 29. Formato de registro de trazabilidad metrológica del laboratorio.....</i>	<i>51</i>

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Clasificación de materiales bituminosos (Kett, 1998).</i>	14
<i>Figura 2. Curvas de gradación (Su et al., 2020).</i>	16
<i>Figura 3. Fm* VFA y Fm/VFA de los sistemas agregados-asfálticos (Su et al., 2020).</i>	16
<i>Figura 4. Antes y después de la vía Yopal - Aguazul.</i>	20
<i>Figura 5. Metodología para el desarrollo de la práctica empresarial.</i>	22
<i>Figura 6. Diagrama de bloques de producción de mezcla asfáltica.</i>	24
<i>Figura 7. Fuente de materia prima, rio Cravo sur (Lindarte, 2021).</i>	26
<i>Figura 8. Acopio de material triturado (Lindarte, 2021).</i>	26
<i>Figura 9. Tolvas de la planta de asfalto (Lindarte, 2021).</i>	26
<i>Figura 10. Tambor mezclador (Lindarte, 2021).</i>	26
<i>Figura 11. Centro de control de la planta de asfalto (Lindarte, 2021).</i>	26
<i>Figura 12. Silo (Lindarte, 2021).</i>	26
<i>Figura 13. Rechazo de la producción de mezcla de asfalto (Lindarte, 2021)</i>	27
<i>Figura 14. Transporte de mezcla asfáltica. (Lindarte, 2021).</i>	27
<i>Figura 15. Principios de las buenas prácticas de laboratorio.</i>	36
<i>Figura 16. Capacitación del personal del laboratorio de la empresa Mikonstrucciones SAS</i>	39
<i>Figura 17. Capacitación del personal del laboratorio de la empresa.</i>	40
<i>Figura 18. Capacitación del personal de laboratorio.</i>	40
<i>Figura 19. Manual de laboratorio de mezclas asfálticas.</i>	43

Glosario

Adhesión: Es la fuerza de atracción entre partículas de diferentes cuerpos.

Adhesividad: Expresa la adhesión entre agregados y asfalto.

Agregado fino: Arenas naturales o manufacturadas cuya porción del agregado se encuentra entre los tamices 4.75mm y 75 μ m (No. 4 y No. 200)

Aglutinante: Compuesto que sirve para unir o pegar, es en este caso específico el ligante o cemento asfáltico.

Agregado grueso: Material obtenido mediante el proceso de trituración y, es retenido el 100% en el tamiz de 4.75mm (No 4).

Agregado pétreo: Son una mezcla de diferentes materiales como la grava, arena o roca triturada. En su forma natural son el resultado de las fuerzas erosivas de los elementos agua y viento.

Densidad bulk o peso unitario: Es la masa de un volumen unitario de un agregado total, el cual incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre ellas.

Equivalente de arena: Es una medida numérica de contaminación de partículas sólidas producidas por desintegración física y alteración química de rocas, que pueden contener o no materia orgánica.

Granulometría de agregado pétreo (GAP): Es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de las partículas de agregado pétreo.

Gravedad específica: Es la característica empleada para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas como las de concreto asfáltico y otras que se dosifican o analizan sobre la base de un volumen absoluto.

Ligante asfáltico: Es un producto derivado de la destilación del crudo cuya composición compleja de compuestos orgánicos tiene una alta proporción de especies moleculares hidrocarbonáceas con altos índices de carbono.

Llenante mineral: Porción de material granular que pasa el tamiz de 75 μ m (No 200). También es conocido como llenante mineral de aporte, cuando este es incorporado a la mezcla asfáltica por separado.

Resumen

Este documento presenta el trabajo que se desarrolló como práctica empresarial en la empresa *Mikonstrucciones S.A.S.* La compañía ofreció sus espacios para cumplir con la fase práctica de aprendizaje, mientras se llevaba a cabo el análisis de las mezclas asfálticas producidas en la planta de trituración y asfalto. Para obtener un producto de óptima calidad el Instituto Nacional de Vías, tiene estipulado en el artículo 450 – 13 las especificaciones para la elaboración de mezclas asfálticas y, dentro de estas estipulaciones se encuentran unas normas de ensayo que contiene los procedimientos que se deben realizar para garantizar un correcto diseño de las mezclas asfálticas, evaluación de los materiales y del producto final.

El propósito de este trabajo consiste en el análisis de calidad de mezclas asfálticas acoplado a la normativa INVIAS y, para cumplir con este objetivo se realizó el diagrama flujo del proceso y la identificación de la materia prima, con la finalidad de comprender de manera más profunda los factores que influyen directamente sobre la calidad del producto. Dado que INVIAS tiene establecidas las normas de ensayo que se deben ejecutar, se llevó a cabo la verificación de 5 normas de ensayo que generaban incertidumbre en sus resultados, y se obtuvo que para estos ensayos de calidad de los agregados y del ligante asfáltico los resultados arrojaron un grado aceptable de precisión y exactitud. Durante la verificación de estos ensayos se identificaron algunas falencias en las condiciones del laboratorio que impiden una correcta ejecución de buenas prácticas de laboratorio que al final repercuten en los resultados de los análisis de calidad, debido a esto se establecieron unos controles correctivos cuyas evidencias se documentan en formatos diseñados para obtener resultados de los análisis, caracterización de equipos y reactivos y un manual de procedimientos y operaciones con el que no contaba el laboratorio.

Palabras clave: Análisis de calidad, gravedad específica, mezclas asfálticas, normas de ensayo.

Abstract

This document presents the work that was developed as a business practice in the company Mikonstrucciones S.A.S. The company offered its spaces to comply with the practical phase of learning, while the analysis of asphalt mixtures produced in the crushing and asphalt plant was carried out. In order to obtain a product of optimum quality, the National Institute of Roads has stipulated in article 450 - 13 the specifications for the elaboration of asphalt mixtures and, within these stipulations, there are some test norms that contain the procedures that must be carried out to guarantee a correct design of the asphalt mixtures, evaluation of the materials and of the final product.

The purpose of this work consists of the quality analysis of asphalt mixtures coupled to INVIAS standards and, to meet this objective, a process flow diagram and the identification of the raw material were carried out in order to understand in a deeper way the factors that directly influence the quality of the product. Since INVIAS has established the test standards that must be executed, the verification of 5 test standards that generated uncertainty in their results was carried out, and it was obtained that for these aggregate and asphalt binder quality tests the results showed an acceptable degree of precision and accuracy. During the verification of these tests, some shortcomings were identified in the laboratory conditions that prevent a correct execution of good laboratory practices that ultimately affect the results of the quality analysis, because of this some corrective controls were established whose evidence is documented in formats designed to obtain results of the analysis, characterization of equipment and reagents and a manual of procedures and operations that the laboratory did not have.

Keywords: Asphalt mixtures, quality analysis, specific gravity, specific gravity.

1. Introducción

Las vías de transporte son un gran activo financiero. Por ejemplo, la red de carreteras primaria en Colombia hasta el presente año, tiene un total de 11.494.16 km, el 80.92 % se encuentra pavimentada, el 18.93 % sin pavimentar y el restante en interventoría (INVIAS, s. f.). La pavimentación realiza principalmente mediante mezcla asfáltica, lo que contribuye a la activación económica del país, los departamentos y municipios en donde se desarrollan los proyectos viales. El hormigón asfáltico está formado por la combinación de agregado pétreo cubiertos por una película uniforme de ligante asfáltico. Para incorporar estos materiales deben ser calentados antes de proceder a mezclarlos, esto con el fin de utilizar agregados secos y obtener la fluidez y maleabilidad deseada del ligante bituminoso y de esta manera favorecer la adherencia entre los componentes. Se espera que durante su vida útil conserve propiedades como su flexibilidad y trabajabilidad, la resistencia a la deformación plástica, a la fatiga, al fracturamiento por baja temperatura, al daño por humedad y al deslizamiento (Civil et al., 2012).

Tabla 1. Composición química de 4 tipos diferentes de asfalto (Claine Petersen, 1984).

ELEMENTO	ASFALTO ^a			
	B-2959 (México)	B-3036 (Ark-a.)	B-3051 (Boscan)	B-3602 (Calif.)
Carbono (%)	83,77	85,78	82,9	86,77
Hidrógeno (%)	9,91	10,19	10,45	10,94
Nitrógeno (%)	0,28	0,26	0,78	1,1
Azufre (%)	5,25	3,41	5,43	0,99
Oxígeno ^b (%)	0,77	0,36	0,29	0,2
Vanadio (%)	180	7	1,38	4
Níquel (%)	22	0,4	109	6

a De un estudio de Welborn.

b Por diferencia.

La mezcla de asfalto-agregado utilizada para la construcción de vías generalmente se compone de 85% (v/v) de los agregados, el restante de ligante asfáltico y aditivos mejoradores. El desempeño de la carretera (pavimento) está muy influenciado por las propiedades del agregado (Speight, 2016b), sin dejar de lado las características del ligante, que dependen directamente del lugar de obtención. El ligante o cemento asfáltico es una combinación compleja

de compuestos orgánicos que abarca una alta proporción de especies moleculares hidrocarbonáceas con altos índices de carbono, es un material complejo con una variedad de grupos funcionales que contienen heteroátomos (nitrógeno, oxígeno y azufre) y metales como vanadio, níquel, hierro y cobre. Un ejemplo de la composición porcentual del asfalto se observa en la Tabla 1 (Speight, 2016a).

Las especificaciones para los agregados que contribuyen a las propiedades de la mezcla de asfalto y agregado deben ser controladas bajo las condiciones ambientales que existen en el lugar donde se construye y utiliza la carretera. Además, al igual que con los aglutinantes, los métodos de prueba utilizados para especificar las características de los agregados y el hormigón asfáltico llevan a cabo con cuidado y control de calidad (QC), de lo contrario, los datos serán de valor cuestionable o incluso poco fiables (Speight, 2016c). En Colombia el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) es el encargado de realizar la supervisión de la calidad de las mezclas asfálticas y en el artículo 450 de la normativa INVIAS se establecen los parámetros de aceptación.

INVIAS resalta que el constructor es responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos y deberá realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad (INVÍAS, 2013); considerando esto, en el presente trabajo se identificó el proceso de obtención de mezclas asfálticas en la empresa *Mikonstrucciones S.A.S.*, para implementar los procedimientos de laboratorio del estudio fisicoquímico del concreto asfáltico producido, acoplado las variables de producción con los requerimientos establecidos en el artículo 450 de la normativa. Dichos análisis se dividieron en (3) grupos principales: los ensayos sobre los agregados pétreos, el ligante asfáltico y la mezcla asfáltica. Se realizó un diagnóstico de las condiciones del laboratorio donde se llevan a cabo el estudio de calidad, y se identificaron oportunidades de mejora para la implementación de análisis de laboratorio específicos y se obtuvo un manual de procedimientos acoplado con la normativa del Art. 450 de INVIAS. Todo esto se ejecutó con el propósito de mejorar y garantizar las condiciones de alto grado de producción en la planta de trituración y asfalto, teniendo en cuenta que la base del producto se encuentra en el diseño y análisis llevados a cabo en el laboratorio.

2. Marco Conceptual

El asfalto no es en absoluto un producto de nuestra civilización moderna, como demuestra que se hayan encontrado restos de tigres de dientes de sable y otros animales prehistóricos en las fosas de alquitrán de La brea, en Los Ángeles. En realidad, estos llamados "pozos de alquitrán" son depósitos de asfalto natural. El primer uso registrado del se remonta al 3800 a.C. en Mesopotamia, donde el material se utilizaba como mortero adhesivo para piedras de construcción y adoquines con material encontrado en los depósitos naturales de la región (Kett, 1998).

En la actualidad el asfalto es un producto importante de muchas refinerías, forma la base de una industria fundamental y es uno de los materiales indispensables para el desarrollo en gran parte del mundo. Para que el sector progrese y evolucione, es necesario comprender los problemas asociados con la tecnología que rodea la producción y utilización de asfalto, incluida la carga y el transporte de material extraído, la producción del bitumen y la salud, seguridad y cuestiones ambientales (Speight, 2016a).

Para entender lo que es el asfalto, es necesario tener en cuenta algunas definiciones para que pueda evolucionar una descripción ordenada del material (ver Figura 1). Dado que el asfalto es un material bituminoso, consideremos primero la palabra betún. El asfalto (según la ASTM) es un material cementoso sólido o semisólido, de color negro a marrón oscuro, que se licua gradualmente cuando se calienta. Los componentes predominantes son los bitúmenes, todos los cuales se encuentran en forma sólida o semisólida en la naturaleza o se obtienen mediante el refinado del petróleo o son combinaciones de los bitúmenes mencionados o con el petróleo o sus derivados. Hay dos fuentes de asfalto, Los que se producen de forma natural y los que se obtienen mediante el refinado del petróleo.

Los dos tipos de asfalto son el producto de la destilación fraccionada del petróleo, ya sea en períodos cortos de tiempo como en la refinería o en períodos más largos como en la naturaleza. En general, existen otras dos clasificaciones para los crudos, en función de sus componentes básicos o más viscosos. Se trata de 1) parafina o cera y 2) de base mixta. Los de base parafínica o de cera son aquellos en los que el material que queda tras la destilación fraccionada de los componentes más volátiles son esencialmente una cera de parafina y, los crudos de base mixta son aquellos en los que la parte más pesada es una mezcla de cera y asfalto.

Por ejemplo, los crudos de la zona de California son de base asfáltica. Los del centro del continente son de base mixta y los de Pensilvania, por ejemplo, son de base parafínica (Kett, 1998).

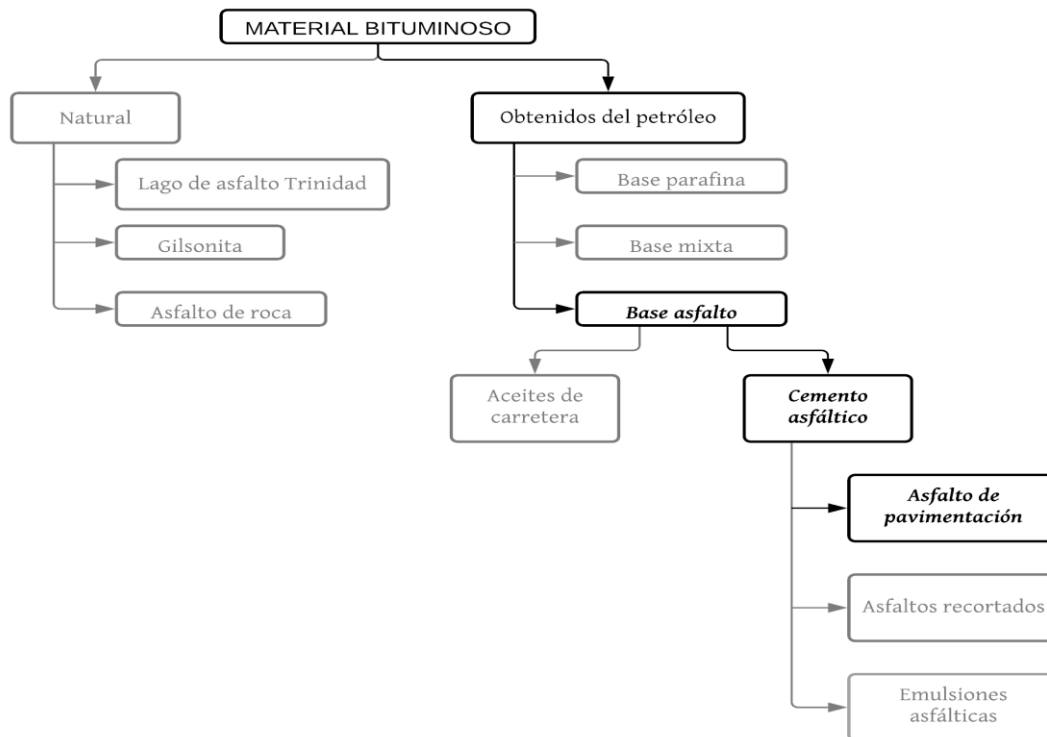


Figura 1. Clasificación de materiales bituminosos (Kett, 1998).

A. Fonseca , DG Herrera , R. Raz, en 1999 realizaron un estudio sobre la aplicación del crudo de castilla en Colombia, en donde presentan los resultados de la investigación llevada a cabo por la Escuela Colombiana de Ingeniería de Bogotá, Colombia, y el Centro de investigación Elpidio Sánchez Marcos, España, en el marco del proyecto "Viabilidad Técnica de la Emulsificación o Modificación del Crudo de Castilla para su empleo en Pavimentación de Vías", partiendo de que en Colombia existe abundancia de un *crudo de naturaleza asfáltica* denominada Crudo de Castilla. Al analizar el Crudo de Castilla en su estado original y el de su residuo de destilación; análisis de mezclas en caliente fabricadas con su residuo de destilación tienen como una de sus conclusiones que mediante un proceso de refinado este Crudo puede ser utilizado para la obtención de un cemento asfáltico 60/70 apto para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente (MONTEJO FONSECA et al., 1999).

El asfalto es un material viscoelástico de impermeabilización y construcción. Se comporta como un líquido newtoniano a altas temperaturas. ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$), presenta un comportamiento reológico relativamente complejo a temperaturas intermedias, y es un sólido elástico a bajas temperaturas ($<0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Las principales características de betún que lo hacen adecuado como aglutinante para asfalto son su adhesividad, impermeabilidad, que es termoplástico, duradero, económico, modificable y reciclable. La designación del ligante asfáltico está asociada con su grado de penetración en décimas de mm, el cual indica la susceptibilidad térmica del asfalto. La disponibilidad de los asfaltos que se producen en Colombia, permite categorizarlos de tres maneras: 40-50, 60-70 u 80-100 (Southern, 2015) (INVÍAS, 2013). En la Tabla 2 se listan algunas de las propiedades relevantes del aglutinante asfáltico.

Tabla 2. Propiedades relevantes del aglutinante derivadas de las características de rendimiento del asfalto (Southern, 2015).

Característica de la mezcla de asfalto	Propiedad aglutinante relevante para esa característica
Stripping	Adhesividad
Endurecimiento durante la mezcla	Envejecimiento - Corto plazo
Resistencia al envejecimiento en carretera	Envejecimiento - Largo plazo
Resistencia al fretting y agrietamiento	Cohesión
Resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas	Combinación de propiedades reológicas y de fallo (Fraass-BBR)
Resistencia al agrietamiento por fatiga	Propiedad de fatiga
Eliminación de explosiones	Inflamabilidad/ punto de inflamación
Resistencia estructural	Ensayo de tracción
Resistencia al agrietamiento reflectante	Tenacidad
Recuperación de la iniciación de grietas	Viscosidad del aglutinante

Los componentes de la mezcla asfáltica incluyen el aglutinante asfáltico y el agregado mineral, junto con cualquier relleno mineral y aditivos. Debido a su naturaleza orgánica, el aglutinante asfáltico sufre un envejecimiento oxidativo a medida que pasa el tiempo, cuyo efecto es más prominente en forma de endurecimiento. Por lo tanto, la oxidación (y, el envejecimiento oxidativo o el endurecimiento oxidativo) del asfalto es de importancia práctica para comprender

la vida útil del pavimento, sin embargo, no es el único factor encargado de producir desgaste en el pavimento. La interacción de la interfaz del sistema agregado-asfalto es un factor clave que afecta la formación de resistencia y el deterioro de la mezcla de asfalto, lo que tiene una gran influencia en el desgaste y la durabilidad del pavimento (INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO, s. f.; Southern, 2015).

Las mezclas de asfalto no son materiales granulares ideales y las propiedades reológicas del aglutinante de asfalto se ven significativamente afectadas por la temperatura. El contacto entre las partículas y la unión y lubricación del aglutinante de asfalto existen en su interfaz de contacto. Por lo tanto, la mezcla de asfalto es un sistema agregado-asfalto con respuestas mecánicas más complejas. Para estudiar la interacción de la interfaz entre agregados y asfalto, el agregado graduado se considera como un sistema de fragmentos compuesto por partículas de diferentes tamaños, y la mezcla asfáltica se considera como un sistema agregado-asfalto. Jinfei Su a, Peilong Li realizaron en el año 2020 un análisis de la interacción de la interfaz del sistema agregado-asfalto y su efecto sobre el comportamiento de corte-deslizamiento de la mezcla asfáltica. Ellos seleccionaron cinco tipos sistema de agregado con diferentes porcentajes de asfalto y las señalaron como AC-13U, AC-13M, AC-13L, AC-16M y AC-20M para la prueba de deslizamiento de contacto, con las curvas de gradación que se presentan en la Figura 2. Figura 2. Curvas de gradación Realizaron la prueba Marshall para determinar el contenido óptimo de asfalto y el vacío lleno de asfalto (VFA) lo calcularon para representar el contenido relativo de asfalto de diferentes mezclas. (Southern, 2015; Su et al., 2020)

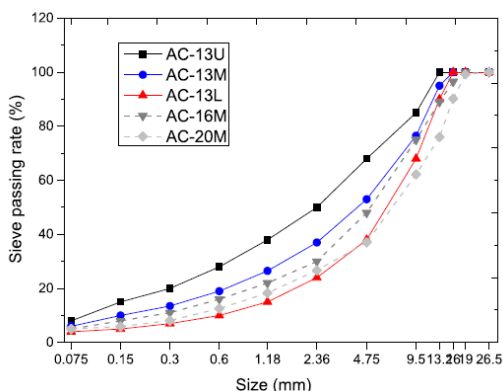


Figura 2. Curvas de gradación (Su et al., 2020).

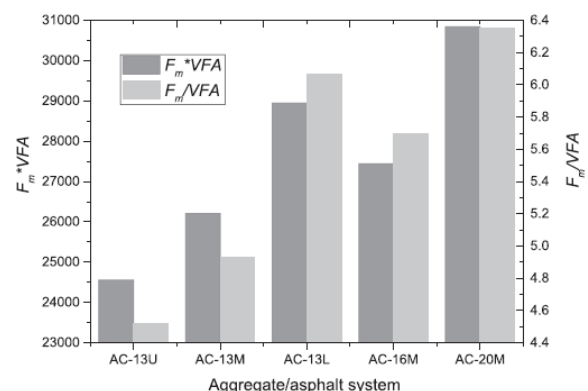


Figura 3. $F_m * VFA$ y F_m / VFA de los sistemas agregados-asfálticos (Su et al., 2020).

Obtuvieron como resultado visualizado en la Figura 3, que el $F_m \cdot VFA$ del sistema de asfalto agregado AC-20M es mayor que la del sistema de asfalto agregado AC-13L. Cuanto mayor sea el tamaño del agregado, más significativo será el efecto de contacto del correspondiente sistema de partículas de tamaño de archivo único. Generalmente se cree que cuanto mayor es el número de agregados gruesos, más significativo es el efecto de lubricación del aglutinante asfáltico sobre el sistema de partículas (Su et al., 2020).

Debido a la amplia información que es necesaria para el diseño y supervisión de la calidad de las mezclas asfálticas se han establecido especificaciones para tener un control regulatorio de estas. De este modo, diferentes personas que miden el mismo producto obtienen resultados iguales o similares por esto es importante que las especificaciones y los métodos de prueba estén armonizados dentro de un área regulatoria determinada. Hasta la fecha, hay pocas normas que sean completamente internacionales y las especificaciones generalmente se restringen a las fronteras nacionales o regionales. Dentro de estos límites, existen organismos responsables de desarrollar y mantener los métodos de prueba y las especificaciones que se utilizan dentro de su jurisdicción. Dos de las áreas geográficas más grandes cubiertas por especificaciones son Europa y Estados Unidos. ASTM International, participa en el establecimiento de estándares técnicos para todas las fases del desarrollo del sistema de carreteras y emiten normas para el diseño, la construcción de carreteras y puentes, materiales y otras áreas técnicas. En Colombia el organismo encargado de la supervisión y establecimiento de las especificaciones es el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). La normativa para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico) se encuentra en el artículo 450-13 del capítulo 4 de pavimentos asfálticos.

3. Planteamiento del Problema y Justificación

Para la mejora del tránsito vehicular en la zonas urbanas y rurales de nuestro país es necesaria la pavimentación de las vías. En Colombia contamos con tres tipos de pavimentos, entre los que se destacan los convencionales o flexibles cuya estructura está formada por tres capas (pavimento, base y subbase) (Ingeniería y Construcción Colombia, s. f.). En la Tabla 3 se pueden diferenciar estructural y físicamente los tipos de pavimentos y en la Tabla 4 las características propias de cada uno, como su color, durabilidad y composición.

Tabla 3. Comparación estructural y física de los tipos de pavimentos.

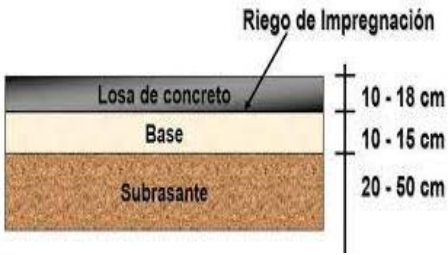

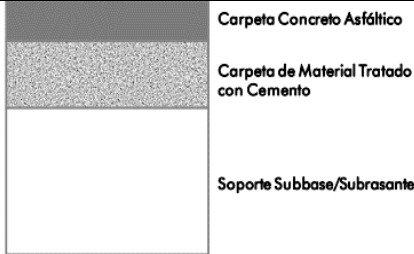

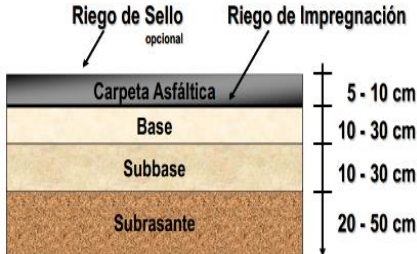

TIPO DE PAVIMENTO	COMPONENTE ESTRUCTURAL	ACABADO VIAL
RÍGIDO (CEMENTO)		
SEMI RÍGIDO (SUELO CEMENTO)		
FLEXIBLE (ASFALTO)		
<p>Imágenes tomadas de:</p> <ol style="list-style-type: none"> Manual de diseño de pavimentos de concreto. <i>INVIAS</i> (Londoño & Alvarez, 2008) Guía para el diseño de vías de alto volumen pavimentos semirrígidos. <i>EPSA LABCO</i> (Adocem, 2001) Mezclas asfáltica en caliente de gradación continua (concreto asfáltico). <i>INVIAS</i> (INVÍAS, 2013) 		

Tabla 4. Caracterización de los tipos de pavimentos.

TIPO DE PAVIMENTO	RÍGIDO	SEMI RÍGIDO	FLEXIBLE
	(CEMENTO)	(SUELO CEMENTO)	(ASFALTO)
COMPOSICIÓN	Cemento y materiales granulares. ^A	Cemento como base o subbase, con una superficie de rodadura bituminosa. ^B	Ligante asfáltico y materiales granulares. ^C
DURABILIDAD (años)	15 - 20 ^a	15 - 20 ^b	7 ^c
COLOR ^a	Gris ^a	Negro grisáceo ^b	Negro ^c
COSTO APROX (\$/m ³)	410,613,00 ^d	487.840,83 ^b	442977 ^d
Información tomada:			
a. Manual de diseño de pavimentos de concreto. <i>INVIAS</i> (Londoño & Alvarez, 2008)			
b. Manual para el diseño de vías de alto volumen pavimentos semirrígidos. <i>EPSA LABCO</i> (Adocem, 2001).			
c. Mezclas asfáltica en caliente de gradación continua (concreto asfáltico). <i>INVIAS</i> (INVÍAS, 2013)			
d. Análisis de precios unitarios vías <i>ICCU</i> (La et al., 2015)			

En el 2018 se inició el mejoramiento de uno de los tramos más importantes del sector que es la vía Yopal- Aguazul (Covioriente, 2019), en donde empresas constructoras nacionales y departamentales se han encargado de estos proyectos que no solo favorecen la circulación automovilística sino a su vez ayudan al desarrollo económico del departamento (ver Figura 4). Teniendo en cuenta que la Mezcla Asfáltica es un material compuesto esencialmente por agregados pétreos que están impregnadas de asfalto, siendo este parámetro común para la mayoría de los depósitos que se encuentran en el territorio colombiano. El material pétreo presente en la mezcla asfáltica deberá estar exento de materia orgánica como, trozos de madera y hojas provenientes del río o cualquier otra sustancia perjudicial, y es por esto que el constructor es el responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos y deberá realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados a utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en esta especificación (INVÍAS, 2013).



a) Tramo vial Yopal-Aguazul antes del año 2018.



b) Tramo vial Yopal aguazul año 2021.

Figura 4. Antes y después de la vía Yopal - Aguazul.

El Instituto Nacional de Vías como organismo encargado de supervisar la ejecución de las obras de su competencia conforme a los planes y prioridades nacionales, genera a empresas constructoras como *Mikonstrucciones .S.A.S*, la obligación de contar dentro de su infraestructura con un laboratorio para realizar análisis de calidad de su producto, es en este caso específico de las mezclas asfálticas, sin embargo, el laboratorio de la planta de trituración y asfalto ubicado en la vereda Guayaque perteneciente al municipio de Yopal, en el departamento de Casanare, no cuenta con todos los requerimientos para un desarrollo óptimo de las pruebas estipuladas por la normativa. Por este motivo, el objetivo de este proyecto es realizar algunos análisis de calidad establecidos en la normativa e identificar cuáles son las falencias durante su ejecución, que impiden un desarrollo y obtención de datos confiables; de esta manera incluir dentro de su inventario normas de ensayos que no se han sido realizados, formatos de control y finalmente elaborar un manual de procesos de laboratorio acoplado con la norma, para garantizar que se trabaje bajo las mismas directrices y mejorar la veracidad de los ensayos de calidad de las mezclas asfálticas.

3.1. Formulación del Problema

¿De qué manera incide la ausencia de un sistema de control interno en el laboratorio de la empresa MIKONSTRUCCIONES S.A.S para la ejecución de los análisis de calidad de mezclas asfálticas y, la veracidad de los resultados obtenidos?

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Implementar procedimientos para el análisis fisicoquímico de mezclas asfálticas establecidos en el artículo 450 de INVIAS producidas en la empresa *Mikonstrucciones S.A.S*, alineados con los requerimientos de cumplimiento de estándares de calidad.

4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Evaluar las técnicas de análisis de calidad de mezclas asfálticas por el método Marshall que deben llevarse a cabo y su relación con los estándares de cotidiano cumplimiento en la empresa *Mikonstrucciones S.A.S*.
- ✓ Diagnosticar las condiciones actuales del laboratorio de calidad en la empresa *Mikonstrucciones S.A.S* identificando oportunidades de mejora para la implementación de análisis de laboratorio específicos.
- ✓ Elaborar un manual de procedimientos que relacione análisis, técnicas e interpretación de resultados

5. Metodología

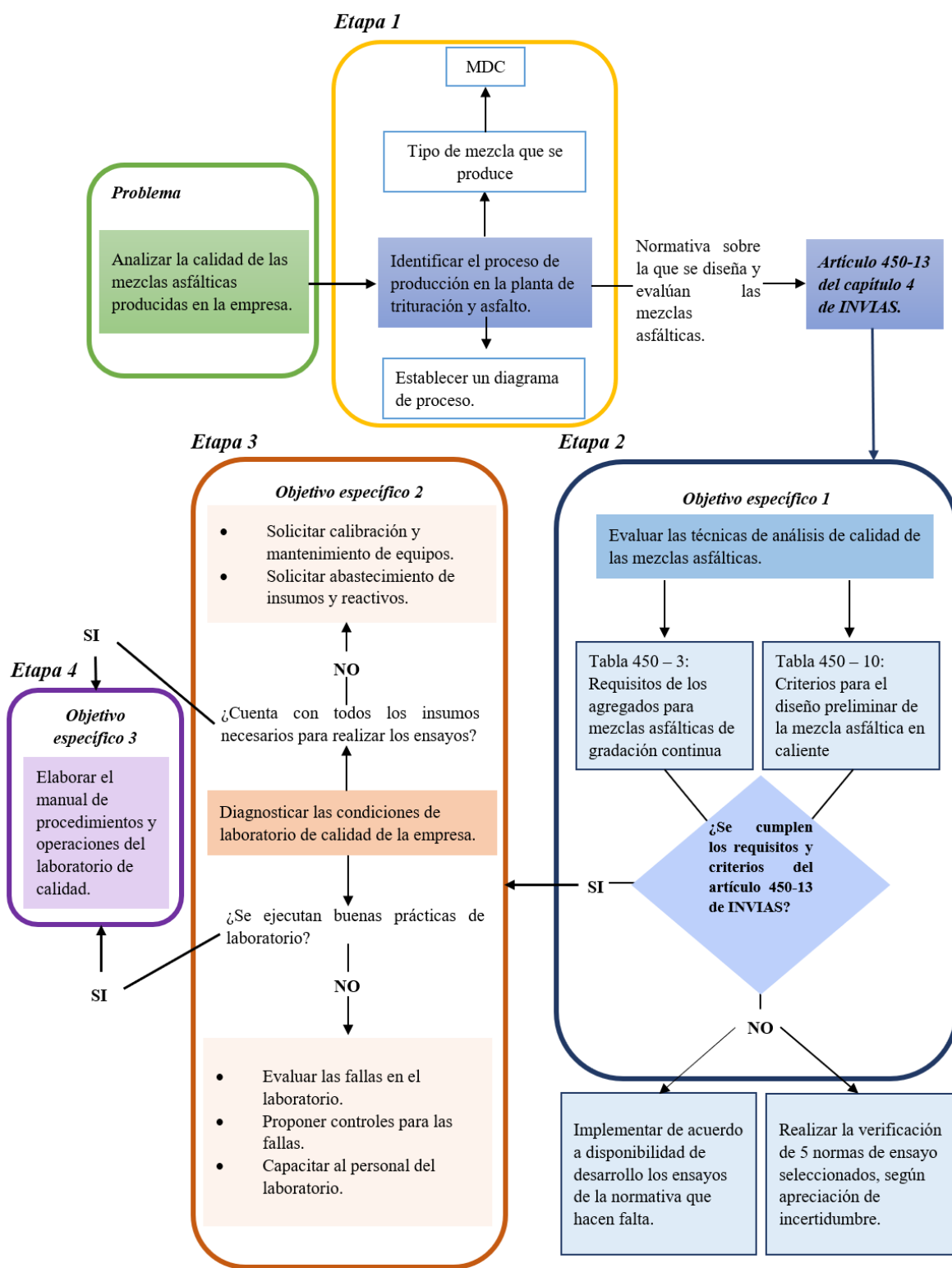


Figura 5. Metodología para el desarrollo de la práctica empresarial.

La Figura 5 presenta la metodología planteada para el desarrollo de la práctica empresarial, la cual se divide en 4 etapas de realización.

5.1.Etapa 1

Identificación del proceso: En esta primera etapa, se realizó el diagrama de flujo para fabricar las mezclas asfálticas y a su vez, se identificó la materia prima necesaria para ejecutar las operaciones.

5.2. Etapa 2

Evaluación de las técnicas de análisis de calidad:

- Teniendo como base el artículo 450-13 de INVIAS se realizó una evaluación cualitativa sobre las normas de ensayo establecidas en las tablas 450-3 y 450-10.
- Se seleccionaron 5 normas de ensayo para realizar la verificación de los métodos de acuerdo a la norma ISO 17025 sección 7.2.

5.3.Etapa 3

Diagnóstico de las condiciones del laboratorio: Durante esta etapa se realizó una identificación de las fallas más comunes que ocurren dentro del laboratorio de la empresa y se establecieron unos controles para minimizar dichos errores junto con sus respectivas evidencias de control.

5.4.Etapa 4

Elaboración del manual de laboratorio: En la etapa final del desarrollo de las practicas se diseñó y elaboro un manual de laboratorio acoplado a la normativa INVIAS con las condiciones del laboratorio y los formatos de documentación de resultados.

6. Resultados

6.1. Identificación del Proceso

El inicio para el desarrollo de las practicas se estableció en la identificación del proceso de producción llevado a cabo en la planta de trituración y asfalto Mikonstrucciones S.A.S, el cual se evidencia en la Figura 6.

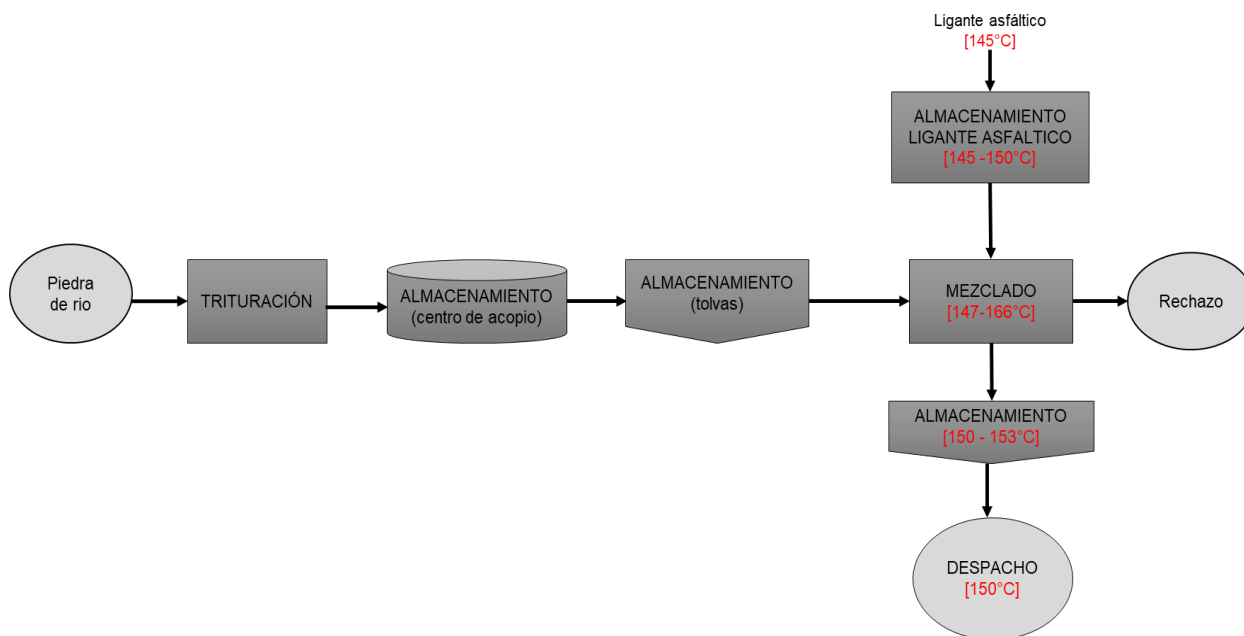


Figura 6. Diagrama de bloques de producción de mezcla asfáltica.

El proceso de fabricación de las mezclas asfálticas inicia en la extracción del material crudo o también conocido como piedra de río (*ver Figura 7*), el cual se transporta hacia las 3 unidades de trituración para reducir su tamaño de partícula (*ver Tabla 5*). Una vez se obtienen los tamaños deseados, estos son almacenados en forma de pilas en el centro de acopio de acuerdo a su tamaño nominal (*ver Figura 8*), con el fin de que se puedan trasladar fácilmente a las tolvas de agregados (*ver Figura 9*). La planta de asfalto tiene 3 tolvas con capacidad de 11m^3 , destinados para los agregados finos y agregados gruesos (*ver glosario*); estas tolvas son abastecidas con un cargador frontal y los agregados caen por gravedad hacia el fondo, y son transportados hacia el tambor mezclador mediante las bandas transportadoras. El mezclado se lleva a cabo en este tambor secador mezclador (*ver Figura 10*), el cual trabaja en dos fases, la primera fase se ejecuta cuando el tambor es alimentado de forma dosificada, con los agregados

provenientes de la banda transportadora, y son dirigidos a la zona del secador, donde mediante un quemador son calentados para eliminar la presencia de humedad y asegurar que la temperatura de los agregados sea igual a la del ligante. En la segunda fase se realiza el mezclado del ligante asfáltico con el agregado pétreo (*ver glosario*). El cemento asfáltico es inyectado al mezclador, mediante un sistema de bombeo desde los tanques fijos forrados con caldera, para mantener la temperatura entre los 145 y 150°C, temperatura que asegura la circulación hacia el interior del tambor. La mezcladora de asfalto funciona a base de combustible diésel y es operado mediante un tablero electrónico en una cabina de control (*ver Figura 11*). La mezcla realizada en el tambor mezclador, se transporta por un sistema de paletas y banda transportadora hacia silo (*ver Figura 12*) y de allí se deposita a las unidades de transporte de la mezcla, que son las volquetas (*ver Figura 14*); por otro lado, el material que no cumple con las condiciones establecidas de producción, es eliminado de la banda transportadora antes de llegar al silo, a este material se le conoce como rechazo (*ver Figura 13*).

Tabla 5. Equipos de trituración y su reducción del tamaño de partícula

TRITURACIÓN			
	<i>Equipo</i>	<i>Tamaño partícula</i>	<i>Trituradora en planta</i>
1	Trituradora de martillo.	3/4" - 1/2" (Agregado grueso)	
2	Trituradora de martillo.	3/8" (Agregado fino)	
3	Trituradora de impacto.	No. 4- No.200 (Arena)	



Figura 7. Fuente de materia prima, rio Cravo sur (Lindarte, 2021)



Figura 8. Acopio de material triturado (Lindarte, 2021).



Figura 9. Tolvas de la planta de asfalto (Lindarte, 2021).



a). Tambor mezclador parte frontal.
b). Tambor mezclador parte trasera.

Figura 10. Tambor mezclador (Lindarte, 2021)



Figura 11. Centro de control de la planta de asfalto (Lindarte, 2021).



Figura 12. Silo (Lindarte, 2021).



Figura 14. Transporte de mezcla asfáltica.
(Lindarte, 2021)



Figura 13. Rechazo de la producción de
mezcla de asfalto (Lindarte, 2021)

Las mezclas asfálticas producidas la empresa son elaboradas con los materiales especificados en la Tabla 6.

Tabla 6. Materiales para la manufactura de mezcla asfáltica en la empresa (INVÍAS, 2013)

MATERIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA		
1	LIGANTE ASFÁLTICO ¹	
	A	B
TIPO	Asfalto 60-70 normalizado	Modificado tipo III aditivado al 0,5 %
PROVEEDOR	hq (Humberto Quintero)	hq (Humberto Quintero)
TEMPERATURA DE MEZCLADO	150 °C	163 °C
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN	139 °C	144 °C

¹ La información indicada en la Tabla 6 es suministrada por la empresa *HUMBERTO QUINTERO O Y CIA SCA* en los reportes que son emitidos a *Mikonstrucciones S.A.S.* durante el proceso de la compra del material.

2	AGREGADO
TIPO	Agregado pétreo obtenido de trituración
FUENTE	Rio Cravo sur - Yopal Casanare
PROVEEDOR	<i>Mikonstrucciones S.A.S.</i>

6.2.Evaluación de las Técnicas de Análisis de Calidad

Parte fundamental dentro del proceso de fabricación de mezclas asfálticas es el diseño de las mismas, antes de realizar el diseño, la cliente especifica el tipo de mezcla de acuerdo a sus necesidades. En la Tabla 7 se encuentran los tipos de mezclas que son producidas en la planta de trituración y asfalto de la empresa, sin embargo, a lo largo del desarrollo de las prácticas empresariales solo se producían mezclas densas en caliente.

Tabla 7. Tipos de mezclas que se producen en la planta de Mikonstrucciones SAS (INVÍAS, 2013)

TIPO	DENOMINACIÓN
POR TIPO DE GRANULOMETRÍA	
Mezclas densas	MDC
Mezclas semidensas	MSC

Para realizar el diseño de la mezcla y la verificación de la misma en la producción, existen unos requisitos establecidos por la normativa colombiana INVIAS y, teniendo como base el artículo 450 – 13, se seleccionaron 2 tablas que identifican las normas de ensayo que se deben ejecutar para realizar las mezclas asfálticas. En la Tabla 8, se reporta que el laboratorio cumple con el 100% de los ensayos que la norma exige como criterio para el diseño preliminar del concreto asfáltico, mientras que en la Tabla 9, se destacan 4 ensayos que no dan cumplimiento por la falta de reactivos y materiales para llevar la ejecución de esos análisis.

6.2.1. Cumplimiento de las normas de ensayo en el laboratorio

Tabla 8. Cumplimiento para los criterios de diseño preliminar de la mezcla asfáltica (INVÍAS, 2013)

CARACTERÍSTICA		NORMA DE ENSAYO INV	CUMPLIMIENTO EN EL LABORATORIO (SI / NO)	OBSERVACIONES
Compactación (golpes / cara)		E -	SI	<i>Todas las normas de ensayo mencionadas en esta tabla tienen el 100% de cumplimiento debido a que son indispensables para el diseño de mezclas asfálticas.</i>
Estabilidad mínima (N)		748	SI	
Flujo (mm)		(E-800)	SI	
Relación estabilidad/ flujo (kN/mm)			SI	
Vacíos con aire (Va), %	Rodadura	E -	SI	
	Intermedia	736 o	SI	
	Base	E -799	SI	
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38mm	E -	SI	
	T. Máx. 25mm	799	SI	
	T. Máx. 19mm		SI	
	T. Máx. 10mm		SI	
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %		E - 799	SI	
Relación Llenante / ligante efectivo, en peso		E - 799	SI	
Concentración de llenante, valor máximo		E - 745	SI	
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo μm		E - 741	SI	
Nota 1: Se deberá usar la norma de ensayo E - 800 en lugar de la INV - 748 cuando los agregados tengan un tamaño máximo superior a 25mm (1").				
Nota 2: Esta tabla no cuenta con los valores correspondientes al requisito mínimo en la tabla 450 - 10 del artículo 450 de la norma INVÍAS, debido a que sólo es necesario la característica y la norma para evaluar cualitativamente el cumplimiento en el laboratorio de la planta de trituración y asfalto. Dirigirse al manual de laboratorio de mezclas asfálticas para observar los requisitos de la norma.				

Tabla 9. Cumplimiento de los requisitos para los agregados de mezclas asfálticas (INVIAS, 2013)

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO	CUMPLIMIENTO EN EL LABORATORIO (SI / NO)	OBSERVACIONES
Dureza, agregado grueso (o)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%) - Capa de: rodadura/intermedia.	E-218	25/35	SI	
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, Máximo (%)	E-220	18	NO	No hay disponibilidad de materiales y reactivos necesarios.
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0,5	SI	
Limpieza, gradación combinada (F)				
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	SI	
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	10	NO	No hay disponibilidad reactivos.
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1 máximo (%)			SI	
Caras fracturadas, mínimo (%)			SI	
Una cara: rodadura/intermedia	E-227	75/60	SI	
Dos caras: rodadura/intermedia			SI	
Adhesividad (O)				
Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%).	E-757	Reportar	NO	No hay disponibilidad de material volumétrico.
Agregado fino: Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	E-774	4	NO	No hay disponibilidad de materiales y reactivos.
<p>Nota: El presente análisis cualitativo sobre el cumplimiento de realización de las normas de ensayo estipuladas en la tabla 450 - 3, es realizado el día 20 de marzo del año 2021, con el objetivo de mejorar el desempeño de ejecución de los mismos en el laboratorio de la planta de trituración y asfalto de la empresa MIKONSTRUCCIONES SAS.</p>				

6.2.2. Verificación de cinco normas de ensayo

Una vez se identificaron según la normativa los ensayos que son establecidos como requisitos y criterios para la manufactura de mezclas asfálticas y a su vez los que no se habían

efectuado, se seleccionaron cinco (5) ensayos (ver Tabla 10) para realizar la verificación de estos conforme establece la norma ISO 17025 sección 7.2.1.5 (ONUDI, 2021).

Tabla 10. Ensayos a verificar.

COD INTERNO	INV E-	NOMBRE DEL ENSAYO
<i>ENSAYOS SOBRE AGREGADOS PÉTREOS</i>		
1.1	128	Gravedad específica de la llenante mineral.
1,6	222	Gravedad específica del agregado fino.
1,7	223	Gravedad específica del agregado grueso.
1,8	225	Densidad bulk de la llenante mineral en queroseno.
<i>ENSAYO SOBRE EL LIGANTE ASFÁLTICO</i>		
2.1	774	Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos.
<i>Nota: El código interno hace referencia a la numeración que se le ha sido asignada al ensayo en el manual de laboratorio de mezclas asfálticas.</i>		

Los ensayos de la Tabla 10 se verificaron de acuerdo a las siguientes características de incertidumbre en los resultados que se han obtenido a lo largo de perfil histórico con el que cuenta el laboratorio:

- Las fórmulas utilizadas para hallar las características no coinciden con lo estipulado en la norma de ensayo.
- Se observó falta de conocimiento en el correcto uso del material volumétrico.
- No ha sido realizado por el laboratorio de la empresa (es este el caso específico del ensayo 2.1 del manual de mezclas asfálticas).

Según establece ISO 17025 requisito 7.2.1 Verificación de los métodos: Un método se debe verificar y *no validar* cuando el laboratorio realiza ensayos que ya se encuentran normalizados, como es en el caso de las normas INV E que ha establecido el Instituto Nacional de Vías. La verificación de los métodos se llevó a cabo mediante la medición del grado de precisión y veracidad.

Precisión de las normas de ensayo. El grado de precisión se determinó mediante la desviación estándar de seis pruebas realizadas para cada norma de ensayo, como establece INVIAS, por seis días seguidos (el tiempo más corto de ejecución posible) y, cumpliendo las condiciones de:

- ✓ Un solo analista.
- ✓ Los mismos equipos o materiales para todos.
- ✓ En el mismo laboratorio.
- ✓ Tiempo corto de realización.

En la Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15, se presenta el grado de precisión para cada uno de las 5 normas de ensayos establecidas en la Tabla 10 y en el mismo orden.

Tabla 11. Grado de precisión del ensayo 1.1 del manual.

PRECISIÓN DEL ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL LLENANTE MINERAL						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Promedio $G_{20^{\circ}C}$	2,7257	2,7178	2,7145	2,7114	2,7062	2,7348
\bar{x}	2,7184					
PRECISIÓN	Repetitividad (desviación estándar) 0,0104					

Tabla 12. Grado de precisión del ensayo 1.6 del manual.

PRECISIÓN DEL ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Promedio G_{sH}	2,61	2,59	2,60	2,61	2,60	2,61
\bar{x}	2,60					
PRECISIÓN	Repetitividad (desviación estándar) 0,0069					

Tabla 13. Grado de precisión del ensayo 1.7 del manual.

PRECISIÓN DEL ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
G_{sH}	2,58	2,58	2,59	2,58	2,57	2,56
\bar{x}	2,58					
PRECISIÓN	Repetitividad (desviación estándar) 0,0102					

Tabla 14. Grado de precisión del ensayo 1.8 del manual.

PRECISIÓN DEL ENSAYO: DENSIDAD BULK DEL LLENANTE MINERAL EN QUEROSENO						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Promedio densidad bulk (g/ml)	0,711	0,708	0,711	0,698	0,716	0,714
\bar{x}	0,710					
PRECISIÓN Repetitividad (desviación estándar)	0,0063					

Tabla 15. Grado de precisión del ensayo 2.1 del manual.

PRECISIÓN DEL ENSAYO: ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS AGREGADOS FINOS						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Índice de adhesividad	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0
\bar{x}	8,2					
PRECISIÓN Repetitividad (desviación estándar)	0,4082					

Las 5 normas de ensayo presentaron desviaciones estándar menores a 0.5000, lo que indica que los resultados obtenidos en la verificación de las pruebas de ensayo, no se encuentran dispersos respecto al valor medio obtenido en el laboratorio de la planta y se puede estimar que los datos son precisos, lo cual genera confiabilidad de los resultados. También se tomaron como punto de referencia valores de gravedad del agregado fino igual a 2.75 ± 0.03 y la gravedad específica del agregado grueso igual a 2.68 ± 0.03 dando el comparativo desviaciones estándar menores a las encontradas en los resultados obtenidos por Jinfei Su y Peilong Li en el análisis que realizaron de la interacción de la interfaz del sistema agregado – asfalto en el año 2020.

Veracidad de las normas de ensayo. El grado de veracidad se determinó mediante la evaluación del sesgo de seis pruebas realizadas para cada una de las 5 normas de ensayo; estas pruebas fueron realizadas seis días seguidos (el tiempo más corto posible), cumpliendo las siguientes condiciones:

- ✓ 3 analistas diferentes.
- ✓ Los mismos equipos o materiales para todos.
- ✓ En el mismo laboratorio.
- ✓ Tiempo corto de realización.

La Tabla 16, Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y la Tabla 20, presentan el grado de veracidad evaluado para cada uno de las 5 normas de ensayos establecidas en la *Tabla 10*.

Tabla 16. Grado de veracidad del ensayo 1.1 del manual.

VERACIDAD DEL ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL LLENANTE MINERAL						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Promedio G20°C	2,6821	2,7101	2,7456	2,6985	2,7112	2,7348
\bar{x}	2,713716667					
VERACIDAD	Sesgo		0,1566			

Tabla 17. Grado de veracidad del ensayo 1.6 del manual.

VERACIDAD DEL ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Promedio G _{sH}	2,62	2,59	2,60	2,58	2,59	2,58
\bar{x}	2,59					
VERACIDAD	Sesgo		1,3129			

Tabla 18. Grado de veracidad del ensayo 1.7 del manual.

VERACIDAD DEL ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
G _{sH}	2,58	2,58	2,58	2,58	2,60	2,60
\bar{x}	2,59					
VERACIDAD	Sesgo		0,9407			

Tabla 19. Grado de veracidad del ensayo 1.8 del manual.

VERACIDAD DEL ENSAYO: DENSIDAD BULK DEL LLENANTE MINERAL EN QUEROSENO						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Promedio densidad bulk (g/ml)	0,709	0,754	0,713	0,801	0,795	0,699
\bar{x}	0,745					
VERACIDAD	Sesgo		0,3918			

Tabla 20. Grado de veracidad del ensayo 2.1 del manual.

VERACIDAD DEL ENSAYO: ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS AGREGADOS FINOS						
PRUEBA	1	2	3	4	5	6
Índice de adhesividad	8,0	9,0	8,0	9,0	8,0	8,0
\bar{x}	8,3					
VERACIDAD	Sesgo		0,9682			

El sesgo evaluado para cada una de las normas de ensayo, es el sesgo de información que analiza las características propias de cada una de las 6 muestras tomadas para las normas de

ensayo que se ejecutaron. Los resultados arrojaron que el sesgo más alto, con un valor superior a 1.0 fue para el ensayo de gravedad específica del agregado grueso, mientras que la gravedad específica de la llenante mineral presentó un sesgo de 0.1566, el más bajo de los cinco ensayos. La variabilidad en los resultados se debe a que la evaluación realizada pretendía analizar la exactitud de los resultados, cuando estos son ejecutados por diferentes analistas del laboratorio y, pese a que la magnitud del sesgo se puede prevenir en el protocolo, durante la elaboración de estos ensayos, el laboratorio no contaba con un manual guía para unificar el procedimiento de dichas normas de ensayo y garantizar que todos los operarios trabajen bajo las mismas directrices². Debido a esto se le puede atribuir los valores relativamente altos en los 3 ensayos de adhesividad, gravedad específica del agregado grueso y del agregado fino.

6.3. Diagnóstico de las Condiciones del Laboratorio

6.3.1. Identificación de las fallas y controles en el laboratorio

La verificación de las normas de ensayo elegidas, permitió reconocer algunas falencias en el laboratorio para desarrollar de forma eficiente las pruebas de calidad. A causa de esto se establecieron unos parámetros de diagnóstico basados en las buenas prácticas de laboratorio (*Figura 15*). Sobre los cuales se identificaron:

- Fallas más comunes en el laboratorio.
- Formatos de control para las fallas.

Conforme a los principios indicados en la *Figura 15*, se detectaron las fallas más comunes que ocurren en el laboratorio de la planta de trituración y asfalto Guayaque y se registraron en la *Tabla 21*, teniendo en cuenta las consecuencias que estos generan sobre la entidad, sobre los análisis que se desarrollan y la calidad que se transmite dentro de la organización.

² Para comprender de mejor manera lo referente al protocolo o metodología de ejecución de los ensayos, puede dirigirse al manual de laboratorio elaborado como parte del trabajo en las instalaciones de Mikonstrucciones S.A.S, este contiene la metodología de las 5 normas de ensayo que se verificaron.

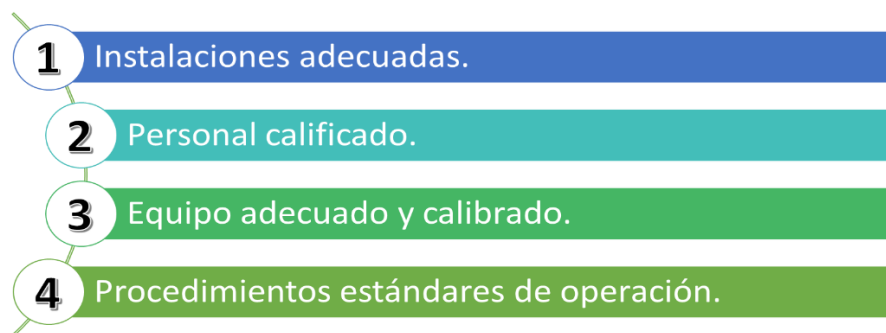


Figura 15. Principios de las buenas prácticas de laboratorio.

Tabla 21 Errores comunes llevados a cabo en el laboratorio

CAUSAS		CONSECUENCIAS	CONTROLES EXISTENTES	CONTROLES PROPUESTOS	REGISTRO QUE EVIDENCIA LA APLICACIÓN DEL CONTROL
C1	* Falta de mantenimiento y calibración de equipos.	Daño a la imagen y confiabilidad de los resultados obtenidos en el laboratorio.	X	Programa de intervenciones metrológicas.	Formato para el registro de intervenciones metrológicas.
C2	*Personal no capacitado.	Afectación en los resultados de los análisis de calidad.	Procedimiento para contratar, capacitar, autorizar y supervisar al personal.	Capacitar al personal de laboratorio sobre las buenas prácticas de laboratorio.	Formato para el registro de la contratación, autorización y supervisión. Capacitación al personal semestral, anual o según se identifique la necesidad.
C3	*Realización de los ensayos de forma incorrecta.	Reprocesamiento de muestras	X	Manual de procedimientos de estándares de operación.	Documento de procedimientos estándares de operación
C4	*Reactivos vencidos.	Inhabilita la realización de análisis de calidad.	X	Procedimiento para la gestión de insumos.	Formato para el registro de material vigente y vencido.
C5	*Incumplimiento de la condición de las variables.	- Error sistemático en los resultados de los análisis. - Reprocesamiento de los ensayos de análisis de calidad.	X	Procedimiento para la evaluación que impide el cumplimiento.	Formato de los ensayos individuales y registro de condiciones de las variables.

Las causas o también llamados errores, fueron indicados en la tabla de manera general, para proponer controles que disminuyan el impacto sobre la calidad de los ensayos. La sección de los controles se realizó tomando como base el reporte histórico de los controles en la empresa, y el monitoreo propuesto se planteó para realizar el registro de la evidencia de la aplicación desde cero, explícitamente cada uno de los 4 registros expuestos en la tabla deben ser sometidos a control interno para establecer si los formatos quedan como parte de los documentos empresariales.

A causa de los errores señalados anteriormente y sus respectivos controles, se realizó una evaluación de estos, teniendo como referencia la Tabla 22.

Tabla 22. Rango de la evaluación de los controles.

EVALUACIÓN DE LOS CONTROLES		
VALOR CUANTITATIVO	VALOR CUALITATIVO	DESCRIPCIÓN
1	NO EXISTEN CONTROLES	No existen controles para ese riesgo.
2	NULA	Significa que dicho control no es efectivo, porque no ha sido útil para lograr el objetivo para el cual fue diseñado. Es un control no documentado, no se hace seguimiento, ni se tienen responsables, ni recursos para su implementación.
3	BAJA	Significa que dicho control es poco efectivo, porque no ha sido útil para lograr el objetivo para el cual fue diseñado. Es un control no documentado, aunque tiene seguimiento, unos responsables y unos recursos para su implementación.
4	MODERADA	Significa que dicho control es efectivo, porque ha sido útil para lograr el objetivo para el cual fue diseñado, aunque no en su totalidad. Es un control documentado, tiene seguimiento, unos responsables y unos recursos para su implementación.
5	ALTA	Significa que dicho control es efectivo, porque ha permitido el total cumplimiento del objetivo para el cual fue diseñado. Es un control documentado, tiene seguimiento, unos responsables y unos recursos para su implementación.

La evaluación de los controles se llevó a cabo tomando como referente los valores cuantitativos y cualitativos y la descripción que cada uno de ellos representa. El resultado de la evaluación presentado en la Tabla 23 dio un ponderado cuantitativo de 3.2, que expresado en palabras representa poca efectividad al momento de lograr la disminución de dicho error.

Tabla 23. Resultados de la evaluación de los controles.

CAUSAS	CONTROLES	REGISTRO QUE EVIDENCIA LA APLICACIÓN DEL CONTROL	EVALUACIÓN DE LOS CONTROLES	
			Valor cuantitativo	Valor cualitativo
CI	Programa de intervenciones metrológicas.	Formato para el registro de intervenciones metrológicas.	3	Baja

C2	Procedimiento para contratar, capacitar, autorizar y supervisar al personal.	Formato para el registro de la contratación, autorización y supervisión.	4	Moderada
	Capacitar al personal de laboratorio sobre las buenas prácticas de laboratorio.	Capacitación al personal semestral, anual o según se identifique la necesidad.		
C3	Manual de procedimientos de estándares de operación.	Capacitación semestral o anual, según sea requerido.	3	Baja
C4	Procedimiento para la gestión de insumos.	Formato para el registro de material vigente y vencido.	3	Baja
C5	Procedimiento para la evaluación que impide el cumplimiento.	Formato de los ensayos individuales y registro de condiciones de las variables.	3	Baja

Que dichos controles presentaran una baja efectividad se debe a que los formatos propuestos aún no se encuentran aplicados, ya que deben ser evaluados en un control interno de la empresa y además requieren un estudio significativo sobre lo que se va a documentar.

Evidencia de la aplicación de controles propuestos.

Ver en anexos los formatos de registro de las evidencias de aplicación de control:

- Tabla 26. Formato de registro de reactivos del laboratorio.
- Tabla 27. Formato de registro de inventario de equipos del laboratorio.
- Tabla 28. Formato de registro de identificación de los equipos del laboratorio.
- Tabla 29. Formato de registro de trazabilidad metrológica del laboratorio.

Para los causales 2 y 3 se propuso como control realizar capacitación al personal sobre las buenas prácticas de laboratorio, la primera capacitación fue realizada el 9 de junio de 2021, donde se presentaron los temas:

- ✓ *Instalaciones adecuadas:* Cumplimiento de las normas de seguridad que aplican para el trabajo que se realiza en el laboratorio como por ejemplo la regulación de la temperatura, la ventilación, iluminación, los controles existentes y los que se propusieron, entre otros.
- ✓ *Personal capacitado:* Se presentaron algunas correcciones sobre el manejo de reactivos e insumos de laboratorio, para garantizar que el personal conoce la técnica y sabe utilizar el equipo o materiales empleados. También se presentaron los elementos prioritarios de uso por parte del personal de laboratorio, como la bata, guantes de nitrilo, botas y gafas de seguridad, guantes aislantes térmicos y mascarilla de gases.
- ✓ *Las prácticas de laboratorio seguras:* cómo utilizar gradillas y soportes, que desconocían debido a la falta de estos insumos en el laboratorio; no tocar ni probar los productos químicos y no manipular un producto sin conocer sus características físico- químicas y toxicológicas.
- ✓ *Calibración de equipos:* Se informó sobre la importancia de realizar la calibración y mantenimiento de los equipos del laboratorio para garantizar la confiabilidad de los resultados y se presentó el formato de trazabilidad metrológica para seguimiento de estos.
- ✓ *Procedimientos estándares de operaciones (SOPs):* Se presento el manual de laboratorio de mezclas asfálticas de la empresa y su contenido.

Las evidencias fotográficas se observan en la Figura 16, Figura 17 y la Figura 18.



Figura 16. Capacitación del personal del laboratorio de la empresa Mikonstrucciones SAS



Figura 17. Capacitación del personal del laboratorio de la empresa.



Figura 18. Capacitación del personal de laboratorio.


Para el causal 5, se diseñaron algunos formatos de las normas de ensayo, estos formatos son propios para cada una de las normas de ensayo y registran:

- ✓ Nombre, código interno y norma INV
- ✓ Proyecto
- ✓ Fecha
- ✓ Mediciones realizadas
- ✓ Fórmulas de trabajo
- ✓ Resultados
- ✓ Observaciones
- ✓ Firma de analista y aprobación.

Estos y otros formatos necesarios para un correcto registro de datos se encuentran vinculados al manual de laboratorio.

La Tabla 24 se presenta un ejemplo de los formatos que se diseñaron.

Tabla 24. Formato de ensayo individual.

Código:	GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL LLENANTE MINERAL	 Mikonstrucciones SAS NIT. 900.556.045-2
Versión N° 2		
Fecha: 30-06-21		
Página 1 de 1		
COD INTERNO I.1 / INV E-128		

PROYECTO:	_____	LOCALIZACIÓN:	_____
EMPRESA:	_____	FECHA:	_____
DESCRIPCIÓN:	_____	CÓDIGO:	_____
IDENTIFICACIÓN:	_____	MUESTRA N°:	_____
FUENTE:	_____	ENSAYO:	_____

PRUEBA	1	2	3
Temperatura (° C)			
Matraz No.			
Ms [g]			
Mpws,t [g]			
Mpw,t [g/cm3]	696,2	693,6	695,5
G_t	0	0	0
K			
G_{20°C}	0	0	0
Promedio G_{20°C}	0		

Ms: masa del filler seco.
 Mpws: masa del matraz con agua y sólidos a la temperatura de ensayo.
 Mpw,t: Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de ensayo (calibrado).
 K: factor de corrección por temperatura.
 G_t: Gravedad específica del filler a la temperatura de ensayo.
 G_{20°C}: Gravedad específica del filler a 20°C.

T (°C)	ρ _w	K	T (°C)	D _R	K
18	0,9986244	1,0004	28	0,9962652	0,9980
19	0,9984347	1,0002	29	0,9959761	0,9977
20	0,9982343	1,0000	30	0,9956780	0,9974
21	0,9980233	0,9998	FÓRMULA PARA HALLAR LA GRAVEDAD ESPECÍFICA.		
22	0,9978018	0,9996	$G_t = \frac{\rho_s}{\rho_{w,t}} = \frac{M_s}{[M_{pw,t} - (M_{pw,t} - M_s)]}$		
23	0,9975702	0,9993			
24	0,9973286	0,9991			
25	0,9970770	0,9989			
26	0,9968156	0,9986			
27	0,9965451	0,9983			

MASA DEL MATRAZ LLENO DE AGUA			
PRUEBA	1	2	3
Matraz No.	1	2	3
Temperatura °C	25,5	25,5	25,5
Mp	74	73	75
Vp	624,1	622,5	622,4
ρ _{w,t}	0,99694	0,99694	0,99694
Mpw,t	696,2	693,6	695,5

Mp: Masa promedio de calibración del matraz seco
 Vp: Volumen promedio de calibración del matraz seco
 ρ_{w,t}: Densidad del agua a la temperatura de ensayo.
 Mpw,t: Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de ensayo.

Nota: Los datos registrados en esta tabla son los obtenidos después de la calibración de los matraces.

FÓRMULA PARA HALLAR LA MASA DEL MATRAZ LLENO DE AGUA A LA TEMPERATURA DE ENSAYO

$$M_{pw,t} = M_p + (V_p * \rho_{w,t})$$

OBSERVACIONES:	La gravedad específica obtenida (promedio G _{20°C}) durante este ensayo es:

 ANALISTA _____
 APROBÓ

DIRECCIÓN	_____
CELULAR	_____
EMAIL	_____

6.4.Elaboración del Manual de Laboratorio

La Figura 19, muestra la portada del manual de laboratorio de mezclas asfálticas que se realizó durante el desarrollo de las prácticas empresariales. En la *Tabla 25* se presentan las secciones en las que se dividió el manual de laboratorio de mezclas asfálticas.

Tabla 25. Secciones y número de ensayos contenido en cada sección.

<i>Sección</i>	<i>Ensayo</i>	<i>No. De ensayos</i>
1	Ensayos sobre los agregados pétreos.	15
2	Ensayos sobre el ligante asfáltico.	1
3	Ensayos sobre la mezcla asfáltica.	5

1. *Ensayos sobre agregados pétreos:* Contiene las normas de ensayo llevadas a cabo en el laboratorio, con el fin de caracterizar, evaluar y analizar si los agregados pétreos que se están utilizando para la manufactura de mezclas asfálticas, cumplen los requisitos establecidos en la norma.
2. *Ensayos sobre el ligante asfáltico:* Contiene la norma de ensayo INV 774 (adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos), esta norma fue implementada en el manual después de realizar el diagnóstico de cumplimiento al inicio de la etapa práctica y detectar que no había sido realizada siendo un requisito del artículo 450-13. Además, se verificó según la norma ISO 17025.
3. *Ensayos sobre la mezcla asfáltica:* Contiene las normas de ensayo que se realizan para evaluar las mezclas asfálticas diseñadas y producidas en la empresa.

Es importante destacar que cada uno de los ensayos contenidos en la norma son fundamentales para el diseño de las mezclas asfálticas que se producen en la empresa. Cada uno de los ensayos documentados en el manual permiten caracterizar, evaluar y analizar los materiales para identificar si pueden ser utilizados en la elaboración de las mezclas asfálticas (como en el caso de los ensayos sobre los agregados pétreos y el ligante asfáltico), o en su defecto evaluar la producción diaria.

El objetivo principal del manual es que los procedimientos de ensayo llevados a cabo en el laboratorio, normalizados por el Instituto Nacional de Vías, queden plasmados de forma clara para que cualquier persona que trabaja en el laboratorio pueda seguirlos al pie de la letra y de esta forma garantizar que todos los operarios trabajan bajo las mismas directrices además, especifica equipos, materiales, insumos y reactivos que dispone el laboratorio e imágenes

tomadas en el laboratorio de la planta. Todo esto lo hace un manual de procedimientos y operaciones característico del laboratorio de la empresa *Mikonstrucciones. SAS*³.

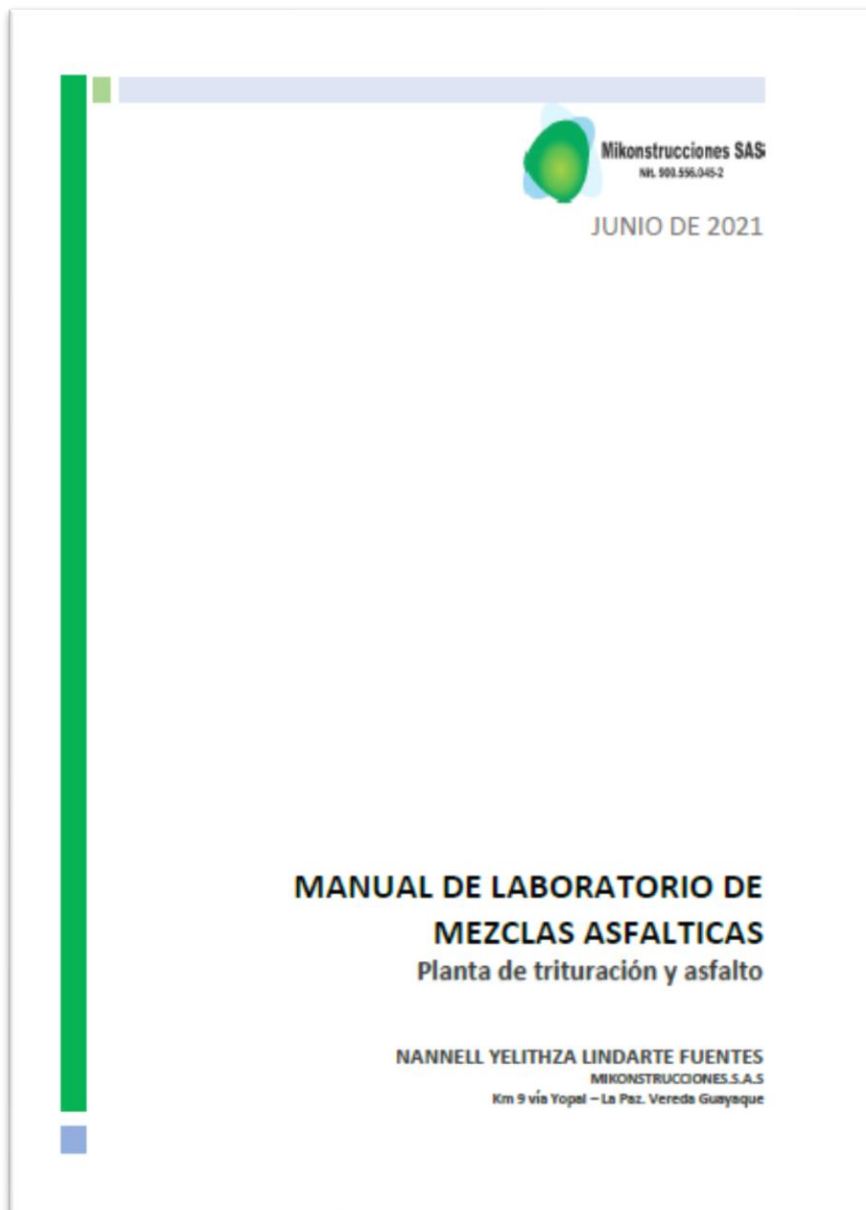


Figura 19. Manual de laboratorio de mezclas asfálticas.

³ Para mayor claridad sobre los procedimientos de las normas de ensayo registradas en el manual de laboratorio de mezclas asfálticas, dirigirse al documento que se encuentra adjunto.

7. Conclusiones

La identificación del proceso de fabricación de mezclas asfálticas permitió reconocer las etapas de producción llevadas a cabo durante el proceso y como cada una de estas etapas arroja información característica, que debe ser analizada en el laboratorio para garantizar que se da cumplimiento a los requisitos y criterios establecidos en la normativa INVIAS.

Las evaluaciones cualitativas de las normas que establece el artículo 450 – 13, resaltaron la ausencia de ejecución de 4 normas de ensayo que no se habían realizado por la falta de disponibilidad de los reactivos necesarios para llevarlos a cabo; luego de esta evaluación se solicitaron algunos materiales para implementar el ensayo INV E - 774 Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos, que junto a 4 ensayos más que generaban incertidumbre se verificaron según establece la norma ISO 17025 sección 7.2; la verificación arrojó resultados de los grados de precisión y veracidad aceptables durante la realización de los análisis en el laboratorio.

Debido a que el laboratorio de la planta de trituración y asfalto de *Mikonstrucciones S.A.S* no se encuentra certificado, carece de medidas de control internas que afectan el cumplimiento de los protocolos de análisis de calidad que se ejecutan allí mismo; esa falencia se observó durante el proceso de verificación de los ensayos y se comprobó mediante el diagnóstico de las condiciones del laboratorio que requirió la implementación de formatos de caracterización de reactivos, equipos y normas de ensayo y capacitación del personal respecto a las buenas prácticas de laboratorio.

El manual de procedimientos y operaciones de mezclas asfálticas en la planta de asfalto, se diseñó para garantizar que todos los operarios dentro de las instalaciones del laboratorio trabajen bajo las mismas directrices y de esta manera reducir el riesgo de error durante la ejecución de los análisis de calidad, además, el diseño permite una fácil y rápida comprensión de los ensayos y acopla el completo cumplimiento de las normas de ensayo con los formatos de registro y control de resultados.

8. Recomendaciones

Se sugiere realizar una reunión de control interno para:

- ✓ Aplicar los formatos de registro propuestos durante la práctica empresarial.
- ✓ Abastecer los materiales y reactivos necesarios para poder ejecutar las normas de ensayo.

9. Referencias

- Adocem. (2001). *Diseño De Vías De Alto Volumen*.
- Civil, I., Arnoldo, C., & Rosales, M. (2012). *Asfalto Modificado , Revisión Y Propuesta De*.
- Claine Petersen, J. (1984). Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability: State of the Art. *Transportation Research Record*, 999, 13-30.
- Covioriente. (2019). *Tramo Aguazul – Yopal se inició el mejoramiento de la vía*.
<https://www.covioriente.co/estado-de-la-via-en-el-tramo-aguazul-yopal-iniciara-el-mejoramiento-de-la-via-existente/>
- Ingeniería y Construcción Colombia. (s. f.). *Tipos de pavimento*. 2020. Recuperado 14 de septiembre de 2021, de <https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/tipos-de-pavimento/>
- INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO. (s. f.). *Sección: 200-11. Cemento asfáltico*. 1-5.
http://app.idu.gov.co/espec_tecnicas/Capitulo_2/200-11.pdf
- INVIAS. (s. f.). *Estado de la Red Vial*. Recuperado 23 de octubre de 2021, de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>
- INVÍAS. (2013). Capítulo 4. Pavimentos asfálticos. *Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras*, 1-440.
- Kett, I. (1998). Asphalt Materials and Mix Design Manual. En *Asphalt Materials and Mix Design Manual* (pp. 92-94).
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780815514251500331>
- La, H. D. E., Bambamarca, R. E. D., La, E. N., Cajamarca, P. D. E., Cajamarca, R., & Sostenimiento, M. D. E. (2015). *Análisis de precios unitarios*. 92-95.
- Lindarte, N. (2021).
- Londoño, C., & Alvarez, J. (2008). *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo->

y-documentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file

MONTEJO FONSECA, A., GONZALEZ HERRERA, D., & TOMAS RAZ, R. (1999).

APLICACION DEL CRUDO DE CASTILLA (COLOMBIA) EN LA PAVIMENTACION ASFALTICA. *CARRETERAS, REVISTA TECNICA DE LA ASOCIACION ESPANOLA DE LA CARRETERA*, 103.

ONUDI. (2021, mayo 14). *Capacitación - Interpretación de la norma ISO/IEC 17025:2017.*

Sesión 2 - YouTube. ONUDI Colombia.

https://www.youtube.com/watch?v=cIqS_LdXO9g&t=4439s&ab_channel=ONUDIColombia

Southern, M. (2015). A perspective of bituminous binder specifications. *Advances in Asphalt Materials: Road and Pavement Construction*, 1-27. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100269-8.00001-5>

Speight, J. G. (2016a). Asphalt Chemistry. En *Asphalt Materials Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800273-5.00006-4>

Speight, J. G. (2016b). Test Methods for Aggregate and Asphalt Concrete. En *Asphalt Materials Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800273-5.00005-2>

Speight, J. G. (2016c). Test Methods for Aggregate and Asphalt Concrete. En *Asphalt Materials Science and Technology* (pp. 205-251). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800273-5.00005-2>

Su, J., Li, P., Wei, X., Sun, S., Zhu, L., & Dong, C. (2020). Analysis of interface interaction of aggregate-asphalt system and its effect on shear-slip behavior of asphalt mixture.

Construction and Building Materials, 264.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120680>

