

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas
de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

Autor:

Bach. Pelaez Ahon, Rolando Milton

Código ORCID 0009-0003-0117-7211

Asesora:

Ms. Ing. Alvarez Asto, Luz Esther

Código ORCID 0000-0001-9050-7611

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Influencia de la adicción de viruta metálica en las propiedades mecánicas
de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Ms. Álvarez Asto, Luz Esther

Asesor

DNI: 32968961

ORCID: 0000-0001-64916569

NEVO CHIMBOTE – PERÚ
2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**“Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas
de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Dr. León Bobadilla, Abner Itamar
Presidente
DNI: 32942184
ORCID: 0000-0003-2949-6591

Ms. Rivasplata Diaz, Julio Cesar
Secretario
DNI: 32770844
ORCID: 0000-0002-4180-9362

Ms. Álvarez Asto, Luz Esther
Integrante
DNI: 32968961
ORCID: 0000-0001-6491-6569

NUEVO CHIMBOTE – PERÚ
2025



FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

- EPIC -

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

A los 21 días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco, siendo las 11:00 horas, en el Laboratorio de Topografía del edificio de Ingeniería Civil, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante T. Resolución N° 538-2025-UNS-CFI, con fecha 26.09.2025, integrado por los siguientes docentes: Dr. Abner Itamar León Bobadilla (Presidente), Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Secretario), Ms. Luz Esther Álvarez Alto (Integrante), Dra. Jenisse del Rocío Fernández (Accesitaria), en base a la Resolución Decanal N° 810-2025-UNS-FI se da inicio la sustentación de la Tesis titulada: "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA - 2024", presentado por el Bachiller PELAEZ AHON ROLANDO MILTON con código 0201413040, quien fue asesorado por la docente Ms. Luz Esther Álvarez Asto según lo establece la T. Resolución Decanal N° 634-2024-UNS-FI, de fecha 09.10.2024.

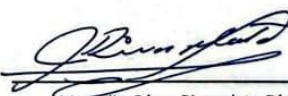
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
PELAEZ AHON ROLANDO MILTON	Dieciséis	REGULAR

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 21 de noviembre de 2025.


Dr. Abner Itamar León Bobadilla
Presidente


Ms. Julio César Rivasplata Díaz
Secretario


Ms. Luz Esther Álvarez Asto
Integrante

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
Rectorado: Av. Pacífico N° 508 - Urb. Buenos Aires
Campus Universitario: Av. Universitaria s/n - Urb. Bellamar
Central telefónica: (51)-43-310445 - Nuevo Chimbote - Ancash - Perú

www.uns.edu.pe

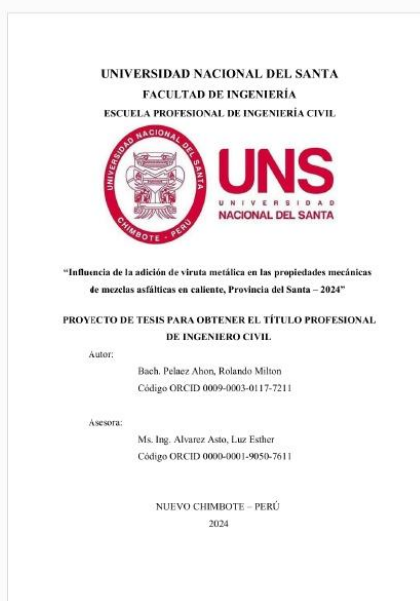


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Rolando Pelaez
Título del ejercicio: Revisión tesis 2025
Título de la entrega: Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades ...
Nombre del archivo: PROYECTO_DE_TESIS-turnitin.docx
Tamaño del archivo: 321.4K
Total páginas: 62
Total de palabras: 14,416
Total de caracteres: 78,281
Fecha de entrega: 10-sept-2025 09:41a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2747040202



Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	19%	2%	12%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	4%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	1%
8	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%

Dedicatoria

Mi investigación se la dedico a mis padres Roció Maribel Ahon Monteza y Linder Milton Pelaez Cornelio, por ser Base y apoyo en el transcurso de mi vida y por su amor incondicional, a mi Hermana Emily Marita Pelaez Ahon que siempre me brindo su apoyo y sintiéndose orgullosa de cada Paso y Logro que doy, A mis Abuelas Adelina Monteza de Ahon y Mauricia Cornelio Benites por su apoyo y amor incondicional.

Rolando Pelaez

Agradecimiento

A Dios, por darme la vida y cuidarme. A mis Padres por su apoyo y sacrificio en este camino de mi vida Universitaria, A mi Familia por guiarme y aconsejarme y estar conmigo en cada momento.

El autor

Índice General

Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	viii
Índice General.....	ix
Lista de Tablas.....	xi
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Fotos.....	xiv
Lista de Ecuaciones.....	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	19
1.1. Antecedentes del Problema	19
1.2. Planteamiento del Problema.....	20
1.2.1. Problema general	20
1.2.2. Problemas específicos.....	20
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	21
1.4. Hipótesis de la Investigación.....	21
1.4.1. Hipótesis general.....	21
1.4.2. Hipótesis específicas.....	21
1.5. Justificación e Importancia de la Investigación	21
II. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	24
2.1. Antecedentes de la Investigación	24
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	26
2.1.3. Antecedentes locales	27
2.2. Bases Teóricas.....	28
2.2.1. Pavimento	28
2.2.2. Mezcla asfáltica	29
2.2.3. Componentes de una mezcla asfáltica	29
2.2.4. Diseño Marshall	31
2.2.5. Requerimiento normativo	32

2.2.6.	Estabilidad Marshall	34
2.2.7.	Flujo Marshall	35
2.2.8.	Nivel de reparación de mezclas asfálticas	35
III.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	38
3.1.	Enfoque de Investigación	38
3.2.	Método de Investigación	38
3.3.	Diseño de Investigación	38
3.4.	Población.....	38
3.5.	Muestra.....	39
3.6.	Variables y Operacionalización	40
3.7.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	44
3.8.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Resultados.....	63
IV.	CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
4.1.	Análisis e Interpretación de Resultados	65
4.1.1.	Definir las propiedades de los agregados en base a las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC, con la finalidad de ser usado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.....	65
4.1.2.	Diseñar una muestra patrón de la mezcla asfáltica en caliente, luego adicionar el 1%, 3%, y 5% de viruta metálica, seleccionando la muestra óptima	70
4.1.3.	Determinar el efecto de la mezcla asfáltica óptima con adición de viruta en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, considerando la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación	73
4.2.	Análisis Estadístico de Datos	77
4.2.1.	Prueba de normalidad	77
4.2.2.	Análisis de varianza (ANOVA).....	80
4.3.	Discusión.....	81
V.	CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1.	Conclusiones	86
5.2.	Recomendaciones.....	87
VI.	CAPÍTULO VI. : REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
VII.	CAPÍTULO VII. : ANEXOS.....	94
	Anexo 1. Ensayos en Laboratorio	94
	Anexo 2. Reporte fotográfico.....	122

Lista de Tablas

Tabla 1 Requerimiento para agregados finos.....	32
Tabla 2 Requerimiento para agregados gruesos	33
Tabla 3 Requisitos para mezclas asfálticas en caliente.....	34
Tabla 4 Cantidad de probetas.....	40
Tabla 5 Operacionalización de variables	42
Tabla 6 Matriz de consistencia	43
Tabla 7 Análisis granulométrico de agregado grueso y fino	45
Tabla 8 Humedad del agregado grueso y fino	46
Tabla 9 Durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso y fino.....	47
Tabla 10 Abrasión Los Ángeles del agregado grueso	47
Tabla 11 Partículas chatas y alargadas del agregado grueso	48
Tabla 12 Caras fracturadas del agregado grueso	49
Tabla 13 Peso unitario suelto del agregado grueso y fino	49
Tabla 14 Peso unitario compacto del agregado grueso y fino	50
Tabla 15 Sales solubles totales del agregado grueso y fino.....	50
Tabla 16 Absorción del agregado grueso.....	51
Tabla 17 Absorción del agregado fino.....	52
Tabla 18 Equivalente de arena del agregado fino.....	53
Tabla 19 Azul de metileno del agregado fino.....	54
Tabla 20 Índice de plasticidad del agregado grueso y fino.....	54
Tabla 21 Gravedad Específica Teórica Máxima.....	56
Tabla 22 Gravedad Bulk de la Mezcla (Gmb).....	58
Tabla 23 Contenido de humedad de agregados	66
Tabla 24 Granulometría de agregados	66
Tabla 25 Peso unitario de agregados	67
Tabla 26 Equivalente arena del agregado fino.....	68
Tabla 27 Azul de metileno del agregado fino.....	68
Tabla 28 Peso Específico de agregados	68
Tabla 29 Índice de plasticidad del agregado fino	68
Tabla 30 Sales solubles de agregados.....	69
Tabla 31 Absorción de agregados.....	69
Tabla 32 Durabilidad al sulfato de magnesio de agregados	69

Tabla 33 Abrasión los ángeles del agregado grueso	69
Tabla 34 Partículas chatas y alargadas del agregado grueso	70
Tabla 35 Caras fracturadas del agregado grueso	70
Tabla 36 ANOVA Estabilidad Marshall.....	80
Tabla 37 ANOVA Flujo Marshall	80
Tabla 38 ANOVA Nivel de autorreparación	81

Lista de Figuras

Figura 1 Estabilidad Marshall	59
Figura 2 Flujo Marshall	60
Figura 3 Esquema del procedimiento de nivel de autorreparación.....	61
Figura 4 Ensayo de nivel de autorreparación en función de los ciclos - 0% viruta metálica ..	61
Figura 5 Ensayo de nivel de autorreparación en función de los ciclos - 1% viruta metálica ..	62
Figura 6 Ensayo de nivel de autorreparación en función de los ciclos - 3% viruta metálica ..	62
Figura 7 Ensayo de nivel de autorreparación en función de los ciclos - 5% viruta metálica ..	63
Figura 8 Curva granulométrica del agregado grueso	66
Figura 9 Curva granulométrica del agregado fino	67
Figura 10 Porcentaje de vacíos de aire	72
Figura 11 Resultados de Estabilidad Marshall.....	73
Figura 12 Resultados de Flujo Marshall	74
Figura 13 Resultados de Nivel de auto reparación de acuerdo a los ciclos	75
Figura 14 Resultados de Nivel auto reparación	76
Figura 15 Resultados Diagrama de cuantiles del Nivel de autorreparación	78
Figura 16 Resultados Diagrama de cuantiles de Estabilidad Marshall.....	79
Figura 17 Resultados Diagrama de cuantiles de Flujo Marshall	79

Lista de Fotos

Foto 1 Obtención de agregado grueso	122
Foto 2 Obtención de agregado grueso	122
Foto 3 Obtención de viruta metálica.....	123
Foto 4 Análisis granulométrico de agregado fino.....	123
Foto 5 Análisis granulométrico de agregado grueso.....	124
Foto 6 Contenido de humedad en agregado fino	124
Foto 7 Contenido de humedad en agregado grueso	125
Foto 8 Gravedad específica y absorción de agregado fino	125
Foto 9 Gravedad específica y absorción de agregado fino	126
Foto 10 Peso unitario suelto y compacto de agregado fino	126
Foto 11 Peso unitario suelto y compacto de agregado grueso	127
Foto 12 Abrasión Los Ángeles para agregado grueso	127
Foto 13 Muestra para ensayo equivalente arena	128
Foto 14 Ensayo azul de metileno	128
Foto 15 Ruptura de probeta para autorreparación.....	129
Foto 16 Probeta en autorreparación	129
Foto 17 Probeta patrón para ensayo Marshall.....	130
Foto 18 Ensayo Marshall	130

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Nivel de reparación	36
Ecuación 2. Número total de probetas	40
Ecuación 3. Porcentaje estimado de cemento asfáltico	55
Ecuación 4. Gravedad específica teórica máxima	56
Ecuación 5. Gravedad Bulk de la mezcla	57

RESUMEN

La presente investigación titulada *"Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024"*, evaluó cómo la adición de viruta metálica afecta las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en comparación con una muestra patrón. Se utilizó un enfoque cuantitativo con un diseño cuasiexperimental, donde se trabajó con mezclas asfálticas en caliente modificadas con viruta metálica en proporciones del 1 %, 3 % y 5 %, además de una mezcla patrón sin adición de viruta, las pruebas incluyeron ensayos de estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación bajo condiciones controladas en laboratorio, se definieron las propiedades de los agregados según las normas del MTC, destacando su idoneidad para mezclas asfálticas en caliente, se diseñó una mezcla patrón con un contenido óptimo de cemento asfáltico de 4.7 %, asegurando niveles de vacíos del 4 % y óptimas propiedades mecánicas, además, se identificó que la adición del 3 % de viruta metálica maximiza la estabilidad Marshall (11 kN), el flujo Marshall (10 mm) y el nivel de autorreparación (0.59) gracias a su capacidad para mejorar la cohesión interna y actuar como conductor térmico durante procesos de autorreparación con microondas, no obstante, porcentajes superiores reducen las propiedades mecánicas de la mezcla debido a una rigidez excesiva, resaltando la necesidad de controlar la proporción de viruta para optimizar el desempeño mecánico, los hallazgos contribuyen al desarrollo de pavimentos sostenibles, más duraderos y eficientes.

Palabras clave: Mezcla Asfáltica, Viruta Metálica, Estabilidad Marshall, Flujo Marshall, Autorreparación, Pavimentos Flexibles.

ABSTRACT

The present investigation entitled “Influence of the addition of metal chips on the mechanical properties of hot mix asphalt, Santa Province - 2024”, evaluated how the addition of metal chips affects the mechanical properties of asphalt mixtures in comparison with a standard sample. A quantitative approach with a quasi-experimental design was used, where hot asphalt mixtures modified with metallic chips in proportions of 1 %, 3 % and 5 % were used, in addition to a standard mixture without the addition of chips, the tests included Marshall stability tests, The tests included Marshall stability, Marshall flow and self-repair level tests under controlled laboratory conditions. The properties of the aggregates were defined according to MTC standards, highlighting their suitability for hot asphalt mixtures. 7 %, ensuring void levels of 4 % and optimum mechanical properties, in addition, it was identified that the addition of 3 % of metal chips maximizes the Marshall stability (11 kN), the Marshall flow (10 mm) and the level of self-repair (0. 59) due to its ability to improve internal cohesion and act as a thermal conductor during microwave self-healing processes, however, higher percentages reduce the mechanical properties of the mix due to excessive stiffness, highlighting the need to control the proportion of chips to optimize mechanical performance, the findings contribute to the development of sustainable, more durable and efficient pavements.

Key words: Asphalt Mix, Metal Chips, Marshall Stability, Marshall Flow, Self-Repair, Flexible Pavements.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes del Problema

La presente investigación buscó analizar la influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente, particularmente en el contexto de las vías de la provincia del Santa, en el informe del MTC de 2022, se informó que cerca del 30% de las carreteras pavimentadas presentaban algún nivel de deterioro, con problemas graves en áreas de alto tránsito y regiones con climas húmedos, lo que afecta la durabilidad del pavimento, el desempeño de los pavimentos asfálticos en la región ha sido objeto de preocupación debido al rápido deterioro de las vías, afectado por el tráfico pesado y las condiciones climáticas, los pavimentos expuestos a fluctuaciones de temperatura y altos niveles de humedad tienden a desarrollar grietas, deformaciones y fallas estructurales, lo que incrementa los costos de mantenimiento y afecta la movilidad. (Briones et al., 2020)

La tradicional tecnología de reparación y mantenimiento de pavimentos no ha logrado mitigar eficientemente los efectos del deterioro acelerado, lo que ha generado la necesidad de investigar nuevas alternativas para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas (Silva y Tello, 2023). Estas propiedades, tales como la estabilidad Marshall, el comportamiento frente a la fatiga y la resistencia a la deformación permanente, son críticas para el desempeño y la durabilidad de los pavimentos. En estudios recientes, la incorporación de viruta metálica ha mejorado la estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas en aproximadamente un 15%, lo que sugiere una mayor capacidad de estas mezclas para soportar cargas dinámicas y reducir el agrietamiento por fatiga (Camacho, 2016). Además, el incremento en la resistencia a la deformación permanente ha sido registrado en un 20% al incluir viruta metálica, lo cual contribuye a la reducción del ahuellamiento en el pavimento, una de las principales causas de fallas en carreteras de alto tráfico (Camacho, 2016).

El uso de viruta metálica en las mezclas asfálticas no solo permite mejorar las características mecánicas, sino que también contribuye a la reducción de residuos industriales. La viruta metálica, proveniente de los procesos de mecanizado de metales, es un subproducto que suele ser desechado sin darle un valor adicional. Según estudios, su reutilización en pavimentos reduce la demanda de agregados vírgenes en un 25%, mientras que el aumento de la durabilidad del pavimento en un 10% se ha asociado con

una mejor distribución del calor en las mezclas, lo que genera menor susceptibilidad al envejecimiento y la fatiga (Cortez et al., 2007).

En la provincia del Santa, la falta de estudios que analicen la influencia específica de la adición de viruta metálica en las mezclas asfálticas en caliente plantea un desafío para la implementación de soluciones más avanzadas, se requiere una evaluación técnica rigurosa que considere factores como la modificación de las propiedades volumétricas de la mezcla, la variación en los vacíos llenos de asfalto (VFA) y la influencia de la viruta en el comportamiento estructural del pavimento bajo condiciones de carga repetitiva, la correcta dosificación de este material en las mezclas asfálticas podría optimizar los procesos de rehabilitación de pavimentos y aumentar la vida útil de las carreteras en la región, reduciendo a su vez los costos de mantenimiento a largo plazo. (Aguilar y Infanzón, 2020)

1.2. Planteamiento del Problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024?

1.2.2. Problemas específicos

Los problemas específicos de la investigación son los siguientes.

- ¿Cuáles son las propiedades de los agregados en base a las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC, con la finalidad de ser usado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente?
- ¿Cuál es el diseño de una muestra patrón de la mezcla asfáltica en caliente, luego adicionar el 1%, 3%, y 5% de viruta metálica, seleccionando la muestra óptima?
- ¿Cuál es el efecto de la mezcla asfáltica óptima con adición de viruta en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, considerando la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes.

- Definir las propiedades de los agregados en base a las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC, con la finalidad de ser usado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.
- Diseñar una muestra patrón de la mezcla asfáltica en caliente, luego adicionar el 1%, 3%, y 5% de viruta metálica, seleccionando la muestra óptima.
- Determinar el efecto de la mezcla asfáltica óptima con adición de viruta en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, considerando la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación.

1.4. Hipótesis de la Investigación

1.4.1. Hipótesis general

La adición de viruta metálica en las mezclas asfálticas en caliente influye positivamente en las propiedades mecánicas de dichas mezclas.

1.4.2. Hipótesis específicas

Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes.

- Las propiedades de los agregados cumplen con las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC.
- El diseño de mezcla con el 1%, 3%, y 5% de viruta metálica mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en comparación con el patrón.
- La mezcla óptima de adición de viruta metálica tiene mejores propiedades mecánicas que la mezcla patrón.

1.5. Justificación e Importancia de la Investigación

La investigación sobre cómo la adición de viruta metálica puede influir en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente en la provincia del Santa durante 2024 es relevante **porque** al usar viruta metálica reciclada, se buscó reducir la cantidad de desechos industriales, contribuyendo a la protección del medio ambiente, un aspecto crucial en la actualidad, además, es importante **porque** al mejorar la calidad de nuestras carreteras, se facilitaría el acceso a servicios y oportunidades, impactando positivamente en la calidad de vida de los habitantes, esta innovación es relevante **porque**

podría generar un ahorro significativo en costos de mantenimiento y promover la autorreparación de pavimentos, lo que permitiría que las mezclas asfálticas tengan una mayor capacidad de recuperación frente a daños menores, incrementando su vida útil, esto es fundamental **porque** en un contexto de recursos limitados, la necesidad de intervenciones frecuentes se reduciría, finalmente, esta investigación es importante **porque** no solo ampliará el conocimiento en el campo de la ingeniería civil, sino que también abrirá nuevas posibilidades para el uso de materiales reciclados en la construcción de pavimentos, el estudio se realiza **para que** se logre una mayor durabilidad y capacidad de autorreparación de los pavimentos, **para que** se contribuya a establecer un enfoque más sostenible y eficiente en la infraestructura vial de la región, promoviendo tanto el desarrollo ambiental como el económico

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Los antecedentes utilizados para la presente investigación se subdividen en estudios realizados fuera del país y otros dentro de territorio nacional.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Los antecedentes internacionales empleados en la investigación son los siguientes.

Fakhri et al. (2021) realizaron un estudio titulado *An evaluation of mechanical and self-healing properties of hot mix asphalt containing waste additives*, cuyo objetivo fue evaluar el uso de aditivos de chatarra (virutas de acero, fibras de neumáticos reciclados y escoria de cobre) en mezclas de asfalto para mejorar sus propiedades mecánicas y de autocuración, la metodología incluyó pruebas de resistencia a la humedad y estabilidad Marshall, utilizando técnicas de calentamiento por microondas, los resultados indicaron que la adición de escoria de cobre mejoró la distribución de temperatura, redujo en un 30% la necesidad de fibras y aumentó la resistencia a la humedad en un 12%, además, la estabilidad Marshall mejoró en un 15%, y las pruebas de autocuración mostraron una recuperación del 50% de la resistencia después de tres ciclos de reparación con microondas, concluyeron que los aditivos de desechos industriales mejoran significativamente el desempeño de las mezclas asfálticas en términos de resistencia y autocuración.

Xu et al. (2021), en su estudio titulado *The Prospect of Microwave Heating: Towards a Faster and Deeper Crack Healing in Asphalt Pavement*, propusieron investigar el potencial de la calefacción por microondas para mejorar la eficiencia de la reparación de fisuras en pavimentos de asfalto poroso, a través de una metodología experimental, se incorporaron fibras de lana de acero en proporciones del 3% y 6% a mezclas de asfalto poroso, y se realizaron pruebas de flexión semicircular (SCB) junto con ciclos de calefacción para evaluar la eficiencia de la autocuración, las variables evaluadas fueron la eficiencia de curación, medida mediante el índice de curación, y la temperatura máxima alcanzada, con niveles promedio de 60.4 °C, 97.3 °C y 77.1 °C, dependiendo del diseño de mezcla y del contenido de fibra, los resultados indicaron que la calefacción por microondas permite un calentamiento rápido y profundo, alcanzando temperaturas óptimas para la autocuración en solo 75 segundos, lo que

permitió recuperar las propiedades mecánicas del material tras varios ciclos de curación, los autores resaltaron que la calefacción por microondas es una técnica prometedora, capaz de lograr una curación eficiente y profunda en mezclas asfálticas porosas, mejorando la durabilidad y prolongando la vida útil de los pavimentos.

Reyes et al. (2023), en su estudio titulado *"Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del agregado pétreo"*, tuvieron como objetivo analizar cómo el origen y la granulometría de los agregados influyen en las propiedades mecánicas y dinámicas de mezclas asfálticas, la metodología incluyó ensayos de tracción indirecta (RTI), módulo resiliente (MR) y resistencia conservada (RC), utilizando granulometrías md12 y md20 provenientes de dos fuentes distintas: la cantera Cantol y la cantera Cancún, las variables analizadas fueron el estado del material (seco, húmedo y envejecido) y la granulometría (md12 y md20), que representan tipos de granulometría según el tamaño máximo nominal de los agregados, donde md12 corresponde a partículas de hasta 12 mm (más finas) y md20 a partículas de hasta 20 mm (más gruesas), los resultados mostraron que las mezclas con granulometría md20 presentaron mayor densidad y mejor desempeño mecánico, además, se concluye que el origen de los agregados afecta significativamente la resistencia y la durabilidad, destacando las mezclas md12 de la cantera Cancún como menos susceptibles al agua y las de Cantol como más resilientes, estableciendo una medición entre densidad, módulo resiliente y resistencia a tracción.

Maya J. (2022), en su investigación titulada *"Obtención del porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezclas densas en caliente, con cemento asfáltico normal y modificado, mediante el método Marshall, empleando agregados pétreos de la cantera Briceño Bajo"* tuvo como objetivo determinar el porcentaje óptimo de ligante asfáltico para mezclas densas en caliente, utilizando el método Marshall, empleando agregados pétreos de la cantera Briceño Bajo y asfalto de Barrancabermeja, la metodología incluyó la evaluación de variables como estabilidad, flujo, densidad y vacíos, los niveles de las variables consideran diferentes contenidos de cemento asfáltico, buscando optimizar el diseño para garantizar un desempeño adecuado, los resultados resaltaron la importancia de determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, ya que este influye directamente en las propiedades finales de la mezcla, como su durabilidad, resistencia y trabajabilidad, concluyó que la correcta

dosificación del ligante asfáltico es fundamental para maximizar las propiedades mecánicas y funcionales de las mezclas densas en caliente, asegurando un mejor desempeño y vida útil del pavimento.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Los antecedentes nacionales empleados en la investigación son los siguientes.

Blas A. y Pérez V. (2023), en la tesis titulada "Adición de pavimento asfáltico reciclado y viruta metálica en propiedades volumétricas y nivel de reparación de mezcla asfáltica en caliente", tuvieron como objetivo evaluar el impacto de la incorporación de RAP (0%, 10%, 20%, 30%) y viruta metálica (0%, 1%, 2%, 3%) en las propiedades volumétricas y nivel de reparación de las mezclas asfálticas, utilizando 96 muestras con briquetas de 101.6 mm de diámetro y 63.5 mm de altura, determinaron que la mejor combinación fue 20% RAP y 2% VM, alcanzando un nivel de reparación de 0.72, los resultados también mostraron que a medida que se incrementaba el porcentaje de RAP, disminuye el volumen de vacíos (de 9.0% a 6.8%), mientras que el aumento en la cantidad de viruta metálica incrementa los vacíos de aire (de 6.7% a 10.4%), concluyeron que el uso de RAP reduce la cantidad de vacíos, y la viruta metálica mejora la capacidad de autocuración mediante calor por microondas.

Cruz G. y Delgado R. (2024) en su investigación titulada Propuesta de diseño de pavimentos autorreparables en la ampliación José de Lama entre el km 2+100 – 5+100, Sullana 2024, cuyo objetivo fue proponer un diseño de pavimentos autorreparables en este tramo de carretera, la metodología utilizada fue cuantitativa-descriptiva, de tipo no experimental, evaluando una muestra de 3 km de pavimento flexible en la carretera, se identificaron variables como la evaluación del estado actual del pavimento y la implementación de tecnología de autorreparación con fibras de lana de acero (FLA) y virutas metálicas (VM), los resultados indicaron que el pavimento presentaba un estado deteriorado, con fisuras longitudinales y desprendimiento de agregados, lo que justificó la necesidad de intervención, después de la aplicación de microondas y el uso de fibras metálicas, se observará una recuperación del 50% de la resistencia original del pavimento después de cinco ciclos de agrietamiento y reparación, además, comprobaron que la adición de un 0,2% a

1,5% de FLA mejoraba significativamente la estabilidad del pavimento y reducía el desgaste durante el proceso de autorreparación, concluyeron que la implementación de esta tecnología puede aumentar la durabilidad del pavimento, reducir los costos de mantenimiento y ofrecer una solución sostenible para la infraestructura vial.

Segundo C. y Tesen B. (2021), en su tesis titulada “Autorreparación bajo inducción de calor de la mezcla asfáltica en caliente al incorporar fibras de acero y caucho”, evaluaron la capacidad de autorreparación de las mezclas asfálticas modificadas, en el estudio se utilizaron diferentes combinaciones de fibras de acero (2%, 4%, 8%) y fibras de caucho (0,5%, 1%, 2%), mediante pruebas de estabilidad Marshall y de flexión en tres puntos, los resultados revelaron que la mezcla con un 4% de fibras de acero y un 2% de fibras de caucho proporcionaba un rendimiento óptimo, alcanzando un 85% de autorreparación tras 3 ciclos de calentamiento, la mezcla con un 8% de acero, aunque muy estable, mostró una eficacia de reparación ligeramente inferior, especialmente tras una exposición al calor más prolongada, el estudio concluyó que el uso de fibras de acero y caucho mejora significativamente las propiedades mecánicas y la capacidad de autorreparación del asfalto, con implicaciones para soluciones de pavimentación más duraderas.

2.1.3. Antecedentes locales

Silva R. y Tello D. (2023), en la tesis "Mezcla asfáltica en caliente con fibra de acero en la Av. Camino Real del distrito de Chimbote, Áncash, 2022", investigaron el impacto de la adición de fibras de acero (1%, 5%, y 10%) en las propiedades físicas y mecánicas de mezclas asfálticas, los resultados del ensayo Marshall mostraron que la mezcla con 1% de fibra de acero presentó la mayor estabilidad (1515 kgf) y un flujo de 3.9 mm, cumpliendo con los parámetros de diseño (2-4 mm), además, los vacíos de aire se redujeron al 4.3%, las mezclas con 5% y 10% de fibra de acero mostraron una estabilidad inferior (1354 kgf y 1221 kgf respectivamente), con flujos superiores a los límites recomendados (6.7 mm y 7.5 mm), la investigación concluyó que la adición de fibras de acero mejora significativamente la estabilidad y el flujo de las mezclas asfálticas, pero solo en proporciones controladas, siendo el 1% la dosis óptima para garantizar mejor rendimiento

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Pavimento

Un pavimento hace referencia a una estructura que se sitúa en la zona superficial de una vía, generalmente se compone de un conjunto de capas (carpeta, base, sub base) que le otorga la resistencia a las diferentes cargas cíclicas que pueden actuar sobre la superficie, cumple principalmente una función estabilizadora para evitar que las capas inferiores se dañen debido al tráfico, asimismo busca reducir al mínimo las vibraciones y asegura un drenaje eficiente; los pavimentos según su uso y aplicación se pueden clasificar en 3 principales tipos: pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos semirrígidos. (Artica et al, 2023).

El **pavimento flexible** se distingue por tener una carpeta de rodadura fabricada con concreto asfáltico, también conocido como mezcla asfáltica en caliente o frío, que se produce en las plantas asfálticas, este pavimento se compone de una base granular y una subbase granular, en los pavimentos flexibles, las capas se ubican de tal forma que las más altas poseen una mayor rigidez que las más bajas. (Aguilera, 2017)

Un **pavimento rígido** se compone fundamentalmente de una losa de hormigón simple o armado, que se apoya directamente en una base o subbase, gracias a su rigidez y elevado módulo de elasticidad, absorbe una gran cantidad de los esfuerzos aplicados al pavimento, generando una distribución adecuada de las cargas de rueda, resultando en tensiones muy reducidas en la subrasante. (Bellom, 2018)

Los **pavimentos semirrígidos** son una combinación de pavimentos flexibles y rígidos, formados por un cimientado hecho de cemento u otro material hidráulico y revestidos con una capa asfáltica, la base ofrece una amplia capacidad de soporte, mientras que la capa de rodadura asfáltica proporciona flexibilidad y comodidad al manejar, ofreciendo resistencia frente a deformaciones y desgaste, con una mayor durabilidad que los pavimentos flexibles, pero sin la rigidez extrema de los pavimentos totalmente rígidos. (Artica et al, 2023).

En el sistema de transporte contemporáneo, ya sea marítimo, aéreo o terrestre, está fuertemente marcada la presencia de los pavimentos, por ejemplo, en el transporte aéreo generalmente utilizada en las pistas de aterrizaje y despegue, en el transporte

marítimo en los puertos, muelles y explanadas, y en el terrestre en las vías como carreteras, es por eso que el manejo y gestión de los pavimentos supone un área en extremo importante, debido a que influye en diferentes ámbitos de la sociedad, no solo en transporte, sino que su influencia se extiende tanto al comercio, turismo y muchas otras áreas de la economía de los diferentes países. (Espinoza, 2009)

2.2.2. Mezcla asfáltica

Una mezcla asfáltica se puede describir como una mezcla de agregados minerales, aglomerados a través de un ligante asfáltico y mezclados de forma que los agregados pétreos se encuentren revestidos de una película homogénea de asfalto, las proporciones relativas de estos materiales establecen las características físicas de la mezcla y, finalmente, su funcionamiento como pavimento proceso de fabricación y aplicación. (Cepeda J., 2002).

Para la utilización de las mezclas en vías, se requiere un análisis previo de las características y propiedades consideradas, este es denominado diseño de mezcla asfáltica, y consiste principalmente en la selección y el tipo de granulometría del agregado, el tipo de asfalto a utilizar y sus proporciones, de tal manera que se puedan obtener mezclas que puedan satisfacer las necesidades de un proyecto, generalmente todo pavimento busca que la mezcla realizada ya sea en frío o en caliente cumpla con ciertos parámetros con respecto a propiedades mecánicas, dentro de las cuales se destacan la estabilidad, flexibilidad, resistencia a deformaciones plásticas, durabilidad, resistencia al deslizamiento, impermeabilidad, resistencia a la fatiga y trabajabilidad. (Aulestia, 2017).

2.2.3. Componentes de una mezcla asfáltica

La mezcla asfáltica está compuesta principalmente de agregados, asfalto y en ciertos casos algunos aditivos para la mejora de propiedades específicas, dentro de los agregados, podemos diferenciarlos en agregados gruesos y finos, los **agregados finos** hacen referencia a las arenas tanto naturales como manufacturadas, estos por lo general se encuentran dentro de un rango granulométrico específico, el cual se encuentra entre 0.074 y 4.76 mm, este cumple diferentes funciones dentro de la mezcla asfáltica, principalmente es incorporada para mejorar la cohesión dentro de la mezcla, debido a que al mezclarse con el ligante asfáltico, el agregado fino puede mejorar la

adherencia, lo que mejora su resistencia al desgaste y permeabilidad (Fiallos y Unda, 2018), con respecto al **agregado grueso**, este hace referencia al material obtenido de la desintegración de la roca de procedencia volcánica, que debido a su tamaño se mantiene retenido en el tamiz número 4 (4.75 mm), estos debido a su forma y tamaño aumentan las propiedades de resistencia de la mezcla asfáltica los agregados gruesos constituyen el armazón de la mezcla, albergando la mayoría de las cargas provenientes del tráfico y contribuyendo a repartir las cargas ejercidas, además que, al estar expuestos en la superficie de la mezcla, aportan una textura rugosa que potencia la fricción y optimiza la seguridad en las vías, particularmente en situaciones de precipitación, estos al igual que el agregado fino deben cumplir ciertos requerimientos.

El **asfalto** o ligante asfáltico es otro de los componentes principales de la mezcla, este cumple principalmente una función de ligante, su función principal es unir los diferentes componentes debidos que experimentan transformaciones reológicas que unen los otros agregados, los ligantes se dividen en dos grupos, los aglomerantes y los conglomerantes, para el caso del asfalto, este cae dentro de la categoría de aglomerante, debido a que sufren una transformación física (secado-endurecimiento) que dan cohesión a los demás componentes, estos deben cumplir ciertos criterios o propiedades, por lo general para mezclas asfálticas en caliente se debe tener en cuenta el punto de ablandamiento, perfil de viscosidades, temperaturas de mezclado y temperatura máxima de calentamiento (MTC, 2015), se pueden clasificar en asfaltos sólidos y líquidos, los asfaltos sólidos también conocidos como cementos asfálticos, son asfaltos utilizados en mezclas calientes para construir pavimentos asfálticos debido a sus características de aglomeración e impermeabilización, otorgan propiedades de flexibilidad, longevidad y elevada resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis, se categorizan según su consistencia evaluada por el ensayo de penetración, por otro lado, los asfaltos líquidos se generan al diluir un cemento asfáltico con un disolvente procedente del petróleo o con agua (a través de la incorporación de un emulsificante), los asfaltos líquidos facilitan la combinación con los agregados sin la necesidad de calentamiento, disminuyendo de esta manera los gastos de fabricación, traslado y ubicación de las mezclas, el endurecimiento de la mezcla sucede cuando el solvente del asfalto se evapora o se separa. (Gulisano et al, 2020)

Finalmente tenemos los **aditivos**, estos son sustancias que se incorporan a la mezcla asfáltica principalmente cuando se quiere potenciar o modificar una propiedad debido a las condiciones de trabajo a las cuales será sometida esta mezcla (Quispe y Torres, 2020), estos pueden ser de los siguientes tipos:

- **Aditivos Poliméricos:** se usan para mejorar la elasticidad y la flexibilidad que presenta el asfalto, además de incrementar su resistencia a la fatiga y mejorar su trabajabilidad, podemos encontrarlos en como aditivos poliméricos elásticos y termoplásticos.
- **Aditivos Emulsionantes:** empleados en asfaltos emulsificador, contribuyen a estabilizar la combinación de agua y asfalto, optimizando la sencillez de aplicación y la adherencia en situaciones húmedas.
- **Aditivos Térmicos:** se emplean para modificar la viscosidad del asfalto a diversas temperaturas, optimizando su funcionalidad y eficiencia durante su uso.
- **Aditivos Físicos:** en esta clasificación encontramos las fibras y materiales de relleno, estas se incorporan principalmente para mejorar la resistencia a la fatiga, y estabilizar la mezcla al momento del endurecimiento, evitando agrietamientos.

2.2.4. Diseño Marshall

El método Marshall para el diseño de mezclas se aplica prácticamente en todos los rincones del planeta, es la técnica de diseño combinado más utilizada para pavimentos de carreteras y aeropuertos, este ensayo se lleva a cabo en la mezcla asfáltica con el objetivo de establecer el contenido ideal de asfalto, con el fin de asegurar la estabilidad adecuada y también las demandas del servicio sin desplazamientos o distorsiones, así como un adecuado revestimiento de partículas para alcanzar un óptimo rendimiento, logrando un pavimento resistente. (Rivero, 2018).

El método inicial de Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que incluyan agregados de 25 mm (1”) o menos, el procedimiento modificado fue creado para tamaños superiores a 38 mm (1.5”), está diseñado para el diseño y control en laboratorio de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa, el método Marshall nos permite encontrar diferentes parámetros de la mezcla asfáltica, como también encontrar el porcentaje óptimo de asfalto, este es esencial debido a que nos permite calcular la cantidad de ligante usado para nuestra mezcla, este optimo

tiene en cuenta la caracterización de agregados, el tipo de ligante y el nivel de compactación, el porcentaje optimo se fija un porcentaje de vacíos optimo que se halla mediante el análisis volumétrico, este porcentaje de vacíos se extrapola e intercepta en una curva de porcentaje de asfalto, encontrando el óptimo. (Garnica et al, 2014)

2.2.5. Requerimiento normativo

En la tabla 1, podemos observar los valores mínimos los cuales debe cumplir un agregado fino para mezcal asfáltica, estos están definidos principalmente según la altitud en la cual se encontrará realizando el proyecto, si es que estos se encuentran sobre los 3000 m.s.n.m. o por debajo del mismo, estos deben cumplir con limites requeridos como equivalente en arena, angularidad del agregado fino, índice de plasticidad, durabilidad al sulfato de magnesio, índice de durabilidad, etc.

Tabla 1

Requerimiento para agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3,000	> 3,000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18 % max.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

Nota: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - MTC (2013)

Por otro lado, en la tabla 2 podemos observar el mismo criterio de requerimiento para el agregado grueso, sin embargo, este presenta otra serie de ensayos, dentro de los cuales encontramos abrasión Los Ángeles, adherencia, sales solubles totales, etc.

Tabla 2

Requerimiento para agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		(Altitud msnm)	
		≤ 3,000	> 3,000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Nota: *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (2013)*

La tabla 3 resume los requisitos de diseño para mezclas asfálticas en caliente, especificando parámetros como la compactación, estabilidad, flujo y vacíos con aire para tres clases de mezcla (A, B y C).

Tabla 3

Requisitos para mezclas asfálticas en caliente

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0,6-1,3		
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Min.		

Nota: *Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (2013)*

2.2.6. Estabilidad Marshall

La estabilidad Marshall es un indicador empleado para medir la capacidad de una mezcla asfáltica de resistir la deformación bajo cargas ejercidas, en otras palabras se refiere a la resistencia máxima que la mezcla puede resistir antes de que suceda un fallo, usualmente representada en kilogramos (kg) o en kN, este valor se establece a través de la ejecución de pruebas concretas en muestras de mezclas asfálticas elaboradas de acuerdo al método Marshall, la estabilidad de la mezcla puede ser afectada por diferentes causas, la primera causa es el porcentaje de asfalto, debido a que un contenido de asfalto excesivamente bajo puede provocar una pérdida de

cohesión y una estabilidad reducida, mientras que un contenido excesivamente elevado puede provocar que la mezcla sea excesivamente suave y susceptible a la deformación, también puede verse afectada por el tipo y tamaño del agregado a usar, debido a que la textura y el tamaño de los añadidos afectan la cohesión de la mezcla, por ultimo tenemos la temperatura, la cual en el proceso de producción y uso de la mezcla asfáltica puede influir en su viscosidad y, en consecuencia, en su habilidad para compactarse adecuadamente, las temperaturas extremadamente elevadas o reducidas pueden impactar de manera adversa en la estabilidad. (Speight, 2016)

2.2.7. Flujo Marshall

Es esencial el flujo en el diseño de mezclas asfálticas, dado que señala la fricción interna de la mezcla, lo que influye en su estabilidad y durabilidad, un valor de flujo apropiado indica una mezcla bien balanceada, mientras que un flujo excesivamente bajo puede provocar que la mezcla se agriete debido a la fatiga, la regulación del flujo es crucial para asegurar el óptimo desempeño de las mezclas asfálticas, en mezclas asfálticas, los métodos de medición del flujo comprenden la prueba de estabilidad y el flujo Marshall, en los que se evalúa la deformación de la muestra bajo carga, además, se aplica el procedimiento Superpave, que analiza el flujo mediante parámetros volumétricos y mecánicos particulares, los dos procedimientos posibilitan establecer el comportamiento de la mezcla y su aptitud para usos concretos en la pavimentación. (Gulisano et al, 2020)

2.2.8. Nivel de reparación de mezclas asfálticas

Los procedimientos de reparación y conservación de pavimentos abarcan el uso de selladores para fisuras, el fresado y repavimentación, así como la rehabilitación a través de microondas para autoarreglo, se emplean métodos como el reciclaje de materiales asfálticos y la incorporación de fibras de metal para incrementar la longevidad, estas acciones tienen como objetivo prolongar la durabilidad de los pavimentos y recuperar sus características mecánicas, la calidad de la mezcla asfáltica es vital para el grado de reparación, puesto que afecta directamente la habilidad de autorreparación y la resistencia de la estructura, mezclas de excelente calidad, que incorporan materiales vírgenes y aditivos apropiados, suelen exhibir mejores resultados en la recuperación, la incorporación de elementos como fibras metálicas

puede incrementar notablemente la eficacia de la reparación. (Gonzales, A. et al, 2018)

El nivel de reparación, representado por la ecuación:

$$NR_{i,j} = R_{i,j} / R_{0,j} \dots\dots\dots (1)$$

El nivel de reparación **NR_{i,j}** correspondiente al ciclo i de la muestra semicircular j, se calcula como la relación entre la resistencia a la flexión obtenida mediante el ensayo de tres puntos posterior al ciclo de reparación i, **R_{i,j}**, y la resistencia inicial de la misma muestra, **R_{0,j}** como se observa en la ecuación. (Gonzales, A. et al, 2018)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

III. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Enfoque de Investigación

El enfoque de la investigación fue **cuantitativo**, ya que se basó en la recolección y análisis de datos medibles sobre las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con viruta metálica, se realizaron pruebas de laboratorio para medir parámetros como la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación.

3.2. Método de Investigación

Tipo de investigación

La investigación fue de tipo **aplicada**, ya que buscó comprobar la utilidad práctica de la adición de viruta metálica para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente. (Baena, 2017)

Nivel de investigación

El nivel de investigación fue **explicativo**, ya que se buscó explicar cómo la adición de viruta metálica afecta las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, comparando con un diseño patrón. (Hernández, Fernández y Baptista, 2004)

3.3. Diseño de Investigación

El diseño de investigación fue de tipo **cuasi-experimental**, donde se trabajó con una muestra patrón y varias mezclas asfálticas modificadas con adición de viruta metálica en proporciones del 1%, 3%, y 5%, para comparar sus propiedades mecánicas como la estabilidad Marshall, el flujo Marshall y el nivel de autorreparación, este enfoque permite controlar la variable independiente (viruta metálica) y medir su efecto sobre las variables dependientes bajo condiciones controladas de laboratorio a través de pruebas comparativas, se identificó si la adición de viruta mejora las propiedades de la mezcla asfáltica en comparación con la mezcla patrón. (Gallardo, 2017)

3.4. Población

La población de esta investigación fue compuesta por todas las mezclas asfálticas en caliente elaboradas con viruta metálica de la zona, las cuales se utilizaron en las pavimentaciones de carreteras y vías urbanas en la provincia del Santa, dichas mezclas

deben cumplir con las normativas establecidas por el Manual de Ensayo de Materiales del MTC, y se incluyen tanto las mezclas convencionales como aquellas que puedan ser modificadas con materiales reciclados, como la viruta metálica, el enfoque del estudio estuvo en las mezclas utilizadas en pavimentos flexibles, los cuales requieren propiedades mecánicas adecuadas para soportar el tráfico vehicular y condiciones ambientales.

3.5. Muestra

La muestra fue conformada por mezclas asfálticas en caliente modificadas con adición de viruta metálica en tres proporciones distintas: 1%, 3%, y 5%, además de una mezcla patrón sin adición de viruta, para cada proporción, se realizarán al menos 6 especímenes que serán sometidos a pruebas de estabilidad Marshall, flujo Marshall, y nivel de autorreparación, obteniendo un total de al menos 24 especímenes a lo largo de toda la investigación, las mezclas serán evaluadas para identificar el porcentaje óptimo de viruta metálica que mejora las propiedades mecánicas sin comprometer la calidad del pavimento.

Muestreo

El muestreo probabilístico que se utilizó en esta investigación fue de tipo aleatorio, se seleccionarán muestras representativas de mezclas asfálticas con adición de viruta metálica en proporciones de 1%, 3% y 5%, así como una mezcla patrón sin adición de viruta, las cuales cumplieron con los requisitos necesarios para llevar a cabo las evaluaciones de estabilidad. y confiabilidad. Este enfoque aleatorio aseguró que cada nivel de la variable independiente (proporción de viruta metálica) esté adecuadamente representada, permitiendo obtener datos precisos sobre cómo cada porcentaje impacta en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas y garantizando la validez de los resultados mediante el control de las condiciones experimentales y la coherencia en la selección de las muestras. (Fernández y Baptista, 2014)

Número total de probetas = [(Número Niveles de A) * (Número de réplicas) * (Número de variables dependientes)] + patrón (2)

Número total de probetas = [(3) *(3) *(2)] + 6 = 24

En esta investigación se incluyeron tres variables dependientes: estabilidad, flujo y nivel de autorreparación, en el cálculo se emplearon dos variables debido a que estabilidad y flujo se obtienen en un único ensayo Marshall, se prepararon seis probetas patrón, distribuidas en tres para medir la estabilidad y el flujo, y tres adicionales para evaluar el nivel de autor reparación.

Tabla 4

Cantidad de probetas

Propiedad mecánica	Viruta Metálica				TOTAL
	0%	1%	3%	5%	
Ensayo Marshall					
(Estabilidad y Flujo)	3	3	3	3	12
Nivel de					
Autorreparación	3	3	3	3	12
TOTAL	6	6	6	6	24

Nota: La tabla muestra la cantidad de briquetas necesarias para la investigación

3.6. Variables y Operacionalización

Definición de Variables

A) Variable independiente

- **Viruta metálica (%)**

Se refiere al porcentaje de viruta metálica añadida a las mezclas asfálticas en caliente, este material proviene de residuos metálicos y se incorpora en proporciones del 1%, 3%, y 5% con el fin de mejorar las propiedades mecánicas

de las mezclas, la variación en el porcentaje de viruta metálica será el principal factor a evaluar en el estudio, ya que influirá directamente sobre las variables dependientes

B) Variable dependiente

- **Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas son características de un material que describe su comportamiento bajo diversas condiciones de carga y deformación estas son fundamentales para evaluar su desempeño y durabilidad en la infraestructura vial, la **estabilidad Marshall** mide la resistencia máxima que una mezcla asfáltica puede soportar bajo carga, simulando las condiciones de servicio de un pavimento; un valor alto indica que la mezcla puede resistir mayores esfuerzos sin deformarse o fallar, por otro lado, el **flujo Marshall** se refiere a la deformación vertical de la mezcla bajo carga, medida en milímetros, donde un flujo adecuado sugiere una deformación controlada, lo que contribuye a la flexibilidad del pavimento, además, el **nivel de autorreparación** representa la capacidad de la mezcla para recuperar sus propiedades mecánicas tras ser sometida a esfuerzos repetidos, como los generados por el tráfico vehicular, siendo este nivel un indicador clave de la durabilidad del material y su capacidad para resistir el deterioro. a lo largo del tiempo.

Matriz de Operacionalización de Variables

La matriz de Operacionalización de Variables menciona a las definiciones conceptuales y operacionales, así como sus dimensiones, indicadores, instrumentos y escalas de cada variable, descritos en la siguiente tabla.

Tabla 5

Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALAS
Independiente	Viruta Metálica	Porcentaje de residuos metálicos reciclados añadidos a la mezcla asfáltica.	Proporción de viruta metálica incorporada en la mezcla.	-Propiedades físicas	- Tamaño	Diseño de mezcla	Razón
				-Propiedades químicas	-Composición Química		
				-Dosificación	- (1%, 3%, 5%)		
Dependiente	Propiedades Mecánicas	Características que determinan el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica bajo carga.	Evaluación de las propiedades mecánicas a través de pruebas específicas de laboratorio.	Estabilidad, Flujo, Nivel de Auto reparación	- Estabilidad Marshall	- Máquina de ensayo Marshall	Razón
					- Flujo Marshall - Nivel de autor reparación		

Nota: La tabla operacionaliza las variables del estudio, mediante sus defunciones, dimensiones, indicadores e instrumentos

Matriz de Consistencia

La matriz de consistencia menciona a los problemas generales y específicos, así como a los objetivos, hipótesis y variables de la investigación, descritos en la siguiente tabla.

Tabla 6

Matriz de consistencia

TÍTULO	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024	Problema General: ¿Cuál es la influencia en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente al adicionar viruta metálica en la Provincia del Santa – 2024?	Objetivo General: Evaluar la influencia en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente al adicionar viruta metálica en la Provincia del Santa – 2024.	Hipótesis general: La adición de viruta metálica en las mezclas asfálticas en caliente influye positivamente en las propiedades mecánicas de dichas mezclas.	Variable Independiente: Adición de viruta metálica (%)
	Problema Específico 1: ¿Cuáles son las propiedades de los agregados en base a las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC, con la finalidad de ser usado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente?	Objetivo Específico 1: Definir las propiedades de los agregados en base a las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC, con la finalidad de ser usado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.	Hipótesis Específica 1: Las propiedades de los agregados cumplen con las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC.	Variables Dependientes: Estabilidad Marshall, Flujo Marshall, Nivel de autorreparación

Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Específica
2: ¿Cuál es el diseño de una muestra patrón de la mezcla asfáltica en caliente, luego adicionar el 1%, 3%, y 5% de viruta metálica, seleccionando la muestra óptima?	2: Diseñar una muestra patrón de la mezcla asfáltica en caliente, luego adicionar el 1%, 3%, y 5% de viruta metálica, seleccionando la muestra óptima.	2: El diseño de mezcla con el 1%, 3%, y 5% de viruta metálica mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en comparación con el patrón.

Problema Específico	Objetivo Específico	Hipótesis Específica
3: ¿Cuál es el efecto de la mezcla asfáltica óptima con adición de viruta en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, considerando la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación?	3: Determinar el efecto de la mezcla asfáltica óptima con adición de viruta en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, considerando la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación.	3: La mezcla óptima de adición de viruta metálica tiene mejores propiedades mecánicas que la mezcla patrón.

Nota: La tabla muestra la información más relevante de la investigación.

3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la validación de los instrumentos de laboratorio, fue necesario recalcar que los ensayos se realizaron siguiendo las normativas peruanas aplicables. A continuación, se detallan las técnicas y los ensayos utilizados:

Análisis granulométrico (MTC E 204)

El procedimiento para el análisis granulométrico, conforme a la norma MTC E 204, inició con el secado de la muestra a una temperatura constante de 110 ± 5 °C hasta

alcanzar un peso estable, asegurando la eliminación completa de humedad que podría alterar los resultados, posteriormente, la muestra se redujo mediante cuarteo manual para obtener una cantidad representativa, se seleccionaron tamices normalizados de abertura cuadrada adecuados al material, apilándolos en orden decreciente, y se colocó la muestra en el tamiz superior, el proceso de tamizado se realizó manualmente, una vez completado el tamizado, se pesó el material retenido en cada tamiz con una balanza de precisión ± 0.1 g., finalmente, se calculó los porcentajes acumulados y diferenciales de material retenido y el porcentaje que pasa por cada tamiz, incluyéndose, el material más fino obtenido mediante el método de lavado, los resultados se registraron y reportan en función de las especificaciones técnicas del proyecto. (MTC, 2016)

Tabla 7

Análisis granulométrico de agregado grueso y fino

Abertura de malla (mm)		Agregado grueso		Agregado fino	
		Peso Retenido	Porcentaje pasante (%)	Peso Retenido	Porcentaje pasante (%)
3"	75.000	0.00	100.00%	0.00	100.00%
2"	50.800	0.00	100.00%	0.00	100.00%
1 1/2"	38.100	0.00	100.00%	0.00	100.00%
1"	25.400	0.00	100.00%	0.00	100.00%
3/4"	19.050	2258.27	58.95%	0.00	100.00%
1/2"	12.700	1364.21	34.15%	0.00	100.00%
3/8"	9.525	1009.38	15.80%	5.04	99.60%
No 4	4.750	869.21	0.00%	36.04	96.72%
No 8	2.381	0.00	0.00%	90.16	89.53%
No 16	1.191	0.00	0.00%	331.28	63.12%
No 30	0.595	0.00	0.00%	317.40	37.81%
No 50	0.296	0.00	0.00%	183.05	23.21%
No 100	0.149	0.00	0.00%	186.20	8.36%
No 200	0.075	0.00	0.00%	100.01	0.39%
Base	< 0.075	0.00	0.00%	4.88	0.00%

Nota: Porcentaje pasante en base al tamaño de partícula.

Contenido de humedad (MTC E 215)

El procedimiento para determinar el contenido de humedad según la norma MTC E 215 consistió en obtener una muestra representativa que se colocó en un recipiente limpio y seco, cuyo peso se registró previamente, para luego cerrarlo herméticamente y evitar pérdidas de humedad antes del pesaje inicial, el cual se realizó con una balanza de precisión; posteriormente, el recipiente con la muestra se introdujo en un horno a 110 ± 5 °C, donde permaneció hasta alcanzar un peso constante, tras un período de secado de aproximadamente 24 horas, verificando que la diferencia entre dos pesajes consecutivos no superará el 0.1 %, tras lo cual se dejó enfriar la muestra en un desecador y se pesó nuevamente para registrar el peso seco, permitiendo así calcular el contenido de humedad. (MTC, 2016)

Tabla 8

Humedad del agregado grueso y fino

Repeticición	Agregado Grueso	Agregado Fino
R1	1.72%	0.70%
R2	1.31%	0.42%
R3	1.91%	0.78%

Nota: Ensayo de humedad para cada agregado.

Durabilidad al sulfato de magnesio (MTC E 209)

El ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio, según la norma MTC E 209, consistió en evaluar la resistencia de los agregados a la desintegración provocada por soluciones saturadas de sulfato de magnesio, para lo cual se prepararon muestras representativas de agregados finos y gruesos, que fueron sumergidas en una solución saturada de sulfato de magnesio a una temperatura de 25-30 °C durante un período de 16 a 18 horas, asegurando que la solución cubría completamente las muestras; tras la inmersión, las muestras se dejaron escurrir por 15 minutos y luego se colocaron en un horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante, repitiéndose este ciclo de inmersión y secado cinco veces para simular condiciones de intemperismo; finalmente, se calculó la pérdida de masa comparando el peso inicial y final de las muestras, calculando el porcentaje de pérdida

para evaluar la durabilidad de los agregados frente a la acción del sulfato de magnesio. (MTC, 2016)

Tabla 9

Durabilidad al sulfato de magnesio del agregado grueso y fino

Repetición	Agregado Grueso	Agregado Fino
R	14.04%	9.84%

Nota: Ensayo de durabilidad para los agregados.

Abrasión Los Ángeles (MTC E 207)

El ensayo de abrasi3n Los 1ngeles, conforme a la norma MTC E 207, se realiz3 para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos de tama1os menores a 37,5 mm (1 1/2") mediante la m1quina de Los 1ngeles, se prepar3 una muestra representativa del agregado, lav1ndola y sec1ndola en horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar un peso constante, posteriormente, se seleccion3 una cantidad espec1fica de la muestra seg1n las gradaciones establecidas en la norma y se introdujo en el cilindro de la m1quina junto con una carga abrasiva compuesta por esferas de acero, el cilindro se cerr3 y se gir3 a una velocidad de 33 revoluciones por minuto, completando un total de 500 revoluciones. Al finalizar, se descarg3 el material y se tamiz3 utilizando un tamiz de 1,70 mm (N°12) para separar las part1culas finas producidas, el material retenido se lav3, se sec3 nuevamente en horno a 110 ± 5 °C y se pes3 con una precisi3n de 1 g, la p3rdida de masa se calcul3 como porcentaje del peso original de la muestra, determinando as1 la resistencia del agregado a la abrasi3n e impacto. (MTC, 2016)

Tabla 10

Abrasi3n Los 1ngeles del agregado grueso

Repetici3n	Agregado Grueso
R1	18.0%
R2	17.4%
R3	18.5%

Nota: Ensayo de abrasi3n para el agregado.

Partículas chatas y alargadas (ASTM 4791)

Para el ensayo de partículas chatas y alargadas, según el Método A de la norma ASTM D4791, se evaluaron seleccionando una muestra representativa de agregados gruesos previamente lavados y secados, los cuales se tamizaron para obtener fracciones de tamaños específicos; cada partícula se midió con un calibrador proporcional para determinar su relación entre longitud y espesor, clasificándose como chatas si la relación de ancho a espesor excedía 3:1, como alargadas si la relación de longitud a ancho superaba 5:1, o como chatas y alargadas si cumplieron ambas relaciones simultáneamente; finalmente, las partículas clasificadas se pesaron y se calculó el porcentaje correspondiente en relación al peso total de la muestra, permitiendo caracterizar la forma de las partículas presentes en el agregado grueso. (ASTM 4791)

Tabla 11

Partículas chatas y alargadas del agregado grueso

Partículas	Agregado Grueso
Chatas	1.70
Alargadas	2.60
Chatas y alargadas	1.90

Nota: Ensayo de absorción para el agregado.

Caras fracturadas (MTC E 210)

El ensayo de caras fracturadas, según la norma MTC E 210, se evaluó mediante un ensayo de laboratorio en el que se obtuvo una muestra representativa de agregados, la cual fue tamizada para seleccionar partículas en el rango de 37.5 mm (1 ½") a 9.5 mm (3/ 8") y se prepararon submuestras de peso específico según el tamaño; las partículas se inspeccionaron visualmente para identificar aquellas con una o más caras fracturadas, clasificándolas en sin caras fracturadas, con una cara fracturada, y con dos o más caras fracturadas, procediendo a pesarlas con precisión de 1 g; finalmente, se calcularon los porcentajes en peso de partículas con una y con dos o más caras fracturadas respecto al peso total, obteniendo información relevante sobre la calidad del agregado para garantizar la resistencia y estabilidad de las mezclas asfálticas. (MTC, 2016)

Tabla 12

Caras fracturadas del agregado grueso

Partículas	Agregado Grueso
Con una cara	38
Con dos o más caras	34

Nota: *Ensayo de caras fracturadas para el agregado.*

Peso unitario (MTC E 209)

El ensayo de peso unitario, según la norma MTC E 203, consistió en anotar la masa del recipiente metálico, luego se adicionó el material en el recipiente del ensayo con ayuda de un cucharón y caída por gravedad, registrando la masa del recipiente con el agregado con lo cual se determinó el peso unitario suelto, para el peso unitario compacto se repite el proceso con la diferencia que se material adicionado fue compactado con una varilla metálica en 3 capas y dando 25 golpes por cada capa, registrando la masa del recipiente con el agregado compactado. (MTC, 2016)

Tabla 13

Peso unitario suelto del agregado grueso y fino

Repetición	Agregado Grueso	Agregado Fino
R1	1526	1624
R2	1529	1634
R3	1453	1625

Nota: *Ensayo de peso unitario suelto para los agregados.*

Tabla 14

Peso unitario compacto del agregado grueso y fino

Repetición	Agregado Grueso	Agregado Fino
R1	1508	1654
R2	1576	1668
R3	1503	1677

Nota: Ensayo de peso unitario compacto para los agregados.

Sales solubles totales (MTC E 219)

El ensayo de sales solubles totales, según la norma MTC E 219, se realizó obteniendo una muestra representativa de agregados que se secó en horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante, posteriormente se colocó en un recipiente con agua destilada y se calentó hasta ebullición, agitándose de manera regular; tras decantar el líquido sobrenadante, se realizaron pruebas cualitativas para identificar cloruros y sulfatos, repitiendo el proceso hasta eliminar rastros de sales; el líquido decantado se reunió en un matraz aforado, se tomó una alícuota que fue evaporada y cristalizada en horno a 100 ± 5 °C, obteniéndose así la cantidad de sales presentes, lo que permitió evaluar la calidad de los agregados en relación con su idoneidad para pavimentos flexibles. (MTC, 2016)

Tabla 15

Sales solubles totales del agregado grueso y fino

Repetición	Agregado Grueso	Agregado Fino
R1	0.42	0.45
R2	0.36	0.46
R3	0.42	0.45

Nota: Ensayo de sales para cada agregado.

Absorción de agregados gruesos (MTC E 206)

El ensayo de absorción de agregados gruesos, conforme a la norma MTC E 206, se realizó para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso después de 24 horas de inmersión en agua, inicialmente, se obtuvo una muestra representativa del agregado, la cual se secó en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante; una vez enfriada a temperatura ambiente, se registró su peso en aire, posteriormente, la muestra se sumergió en agua durante 24 ± 4 horas para permitir la saturación de los poros accesibles, transcurrido este tiempo, se retiró la muestra del agua y se secó superficialmente con un paño absorbente para eliminar el exceso de humedad en la superficie de las partículas, obteniendo así el estado de saturado con superficie seca (SSS); en este estado, se pesó nuevamente en aire, a continuación, se determinó el peso de la muestra sumergida en agua, utilizando una balanza equipada con un dispositivo de suspensión adecuado para medir el peso bajo el agua. Finalmente, la muestra se secó nuevamente en horno a 110 ± 5 °C hasta masa constante y se pesó para confirmar el peso seco, con estos datos, se calcularon los diferentes pesos específicos y el porcentaje de absorción del agregado grueso, proporcionando información esencial sobre sus propiedades físicas para su uso. (MTC, 2016)

Tabla 16

Absorción del agregado grueso

Repetición	Agregado Grueso
R1	0.44%
R2	0.48%
R3	0.54%

Nota: Ensayo de absorción para el agregado.

Absorción de agregados finos (MTC E 205)

El ensayo de absorción de agregados finos, según la norma MTC E 205, se realizó para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino después de 24 horas de

inmersión en agua, inicialmente, se obtuvo una muestra representativa de aproximadamente 1 kg de agregado fino, la cual se secó en horno a 110 ± 5 °C hasta alcanzar una masa constante, una vez enfriada a temperatura ambiente, la muestra se sumergió en agua durante 24 horas para permitir la saturación de los poros accesibles, transcurrido este tiempo, se utilizó un molde cónico metálico para evaluar la condición de saturado con superficie seca (SSS) del agregado, llenándolo con la muestra y compactándola con una varilla metálica; al retirar el molde, se controló si el cono formado se mantenía o colapsaba, indicando la presencia o ausencia de humedad superficial, al alcanzar la condición SSS, se introdujo una porción de la muestra en un frasco volumétrico de 500 cm³ (picnómetro), llenándolo parcialmente con agua a 23 °C y eliminando las burbujas de aire mediante agitación, después de ajustar el volumen del frasco hasta la marca calibrada, se calculó el peso total del frasco con el agregado y el agua, posteriormente, se retiró el agregado del frasco, se secó nuevamente en el horno hasta masa constante y se registró su peso seco, con estos datos, se calcularon los diferentes pesos específicos y el porcentaje de absorción del agregado fino, proporcionando información esencial sobre sus propiedades físicas para su uso. (MTC, 2016)

Tabla 17

Absorción del agregado fino

Repetición	Agregado Fino
R1	0.48%
R2	0.44%
R3	0.48%

Nota: Ensayo de absorción para el agregado.

Equivalente de arena (MTC E 114)

El ensayo de equivalente de arena, según la norma MTC E 114, consistió en determinar la proporción de materiales finos y arcillosos en agregados que pasan por el tamiz N°4; para ello, se preparó una muestra representativa, seca y homogénea, que se mezcló con solución de cloruro de calcio en un cilindro graduado, agitándose durante 45 segundos

para dispersar las partículas, tras lo cual se dejó sedimentar durante 20 minutos; se midieron las alturas de las capas de arena y arcilla en el cilindro, calculándose el equivalente de arena como el porcentaje de la altura de la arena respecto a la altura total, lo que permitió evaluar la calidad del agregado en términos de su contenido de fino (MTC, 2016)

Tabla 18

Equivalente de arena del agregado fino

Repetición	Agregado Fino
R1	86.3%
R2	84.2%
R3	75.0%

Nota: Ensayo de equivalente de arena para el agregado.

Azul de metileno (AASHTO TP 57)

El ensayo de azul de metileno, según la norma AASHTO TP 57, se realizó para determinar la cantidad de partículas finas y arcillosas presentes en agregados y su capacidad de absorción, utilizando como indicador la interacción del azul de metileno con las partículas arcillosas; para ello, se preparó una muestra representativa, seca y homogénea, que se mezcló con una solución de azul de metileno en un recipiente, agitándose durante 1 minuto para lograr una adecuada dispersión; posteriormente, a intervalos regulares, se aplicaron gotas de la mezcla sobre papel filtro, observando la aparición de un halo azul alrededor de la gota principal, repitiendo el procedimiento hasta que el halo indique saturación; finalmente, el volumen de solución empleado se registró para calcular el valor de azul de metileno, lo que permitió evaluar la calidad del agregado en términos de su contenido de partículas finas perjudiciales. (AASHTO TP 57)

Tabla 19

Azul de metileno del agregado fino

Repetición	Agregado Fino
R1	5.0
R2	5.5
R3	5.2

Nota: *Ensayo de azul de metileno para el agregado.***Índice de plasticidad (MTC E 111)**

El índice de plasticidad, según la norma MTC E 111, se halló calculando la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de una muestra de suelo que pasa por el tamiz N°40, el límite líquido se realizó utilizando el aparato de Casagrande, colocando una pasta de suelo en el recipiente del aparato y cortándola con una ranura estándar, luego se aplicaron golpes al recipiente a una velocidad de 2 golpes por segundo hasta que los bordes de la ranura se unieron en 13 mm, registrando el contenido de humedad correspondiente, el límite plástico se determinó amasando la muestra humedecida hasta obtener cilindros de 3.2 mm de diámetro, observando el punto en el que estos se desmoronaron, registrando el contenido de humedad en ese estado, finalmente, el índice de plasticidad se calculó como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, proporcionando información sobre la plasticidad y el comportamiento del suelo frente a variaciones de humedad. (MTC, 2016)

Tabla 20

Índice de plasticidad del agregado grueso y fino

Repetición	Agregado Grueso	Agregado Fino
R1	-	NP
R2	-	NP
R3	-	NP

Nota: *Ensayo para hallar el índice de plasticidad para los agregados.*

Optimización del diseño de mezcla

El Instituto del Asfalto propuso un método para determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico en mezclas asfálticas, este método se basó en el análisis granulométrico de los áridos y su combinación siguiendo el procedimiento Fuller, considerando los resultados tanto del agregado grueso como del fino, para este cálculo, se empleó la siguiente fórmula:

$$CA=0,035 \times a + 0,045 \times b + k \times c \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

CA : Porcentaje estimado de cemento asfáltico en peso de la mezcla.

a : Porcentaje de agregado grueso.

b : Porcentaje de agregado fino.

k : Valor que varía según el porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 200:

- 0,15 para un 11-15% de material pasante.
- 0,18 para un 6-10% de material pasante.
- 0,20 para un 5% o menos de material pasante.

c : Porcentaje de material que pasó por el tamiz N° 200.

Aunque la fórmula proporcionó un punto de partida teórico para el contenido de cemento asfáltico, se realizaron ajustes experimentales mediante pruebas de laboratorio, en estas pruebas, se variaron los porcentajes de cemento asfáltico $\pm 1\%$ respecto al valor teórico, con un incremento de $\pm 0.5\%$ en cada ensayo, los resultados permitieron determinar el porcentaje de vacíos en las mezclas, buscando alcanzar el 4% recomendado por el Instituto del Asfalto, este porcentaje óptimo se identificó graficando el contenido de vacíos en función del cemento asfáltico, siendo el punto de intersección con la línea del 4% el valor práctico a emplear.

Determinación del porcentaje de vacíos

Para calcular el porcentaje de vacíos, fue necesario realizar los siguientes ensayos:

a) Gravedad Específica Teórica Máxima (Gmm)

Se empleó el procedimiento descrito en las normas ASTM D 2041 y AASHTO T 209, la muestra fue separada y pesada, sumergida en agua y desairada mediante vacío parcial (4 kPa) durante 5-15 minutos, posteriormente, se calculó el peso bajo agua utilizando equipos calibrados, el valor de Gmm se calculó mediante la fórmula:

$$Gmm = \frac{A}{A + D - E} \dots\dots\dots (4)$$

Dónde:

A : Peso seco en aire.

D : Peso del matraz lleno de agua a 25 °C.

E : Peso del matraz con la muestra sumergida en agua.

Tabla 21

Gravedad Específica Teórica Máxima

Cemento Asfáltico (%)	Descripción	Repetición			Gmm		
		1	2	3	1	2	3
3	A	1,188.10	1,196.37	1,191.32			
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.52	2.52	2.53
	E	5,817.81	5,821.18	5,820.02			
3.5	A	1,206.48	1,202.21	1,211.26			
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.48	2.48	2.51
	E	5,819.73	5,818.88	5,829.51			
4	A	1,216.25	1,218.61	1,213.22			
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.46	2.45	2.48
	E	5,821.64	5,821.77	5,823.66			

Cemento Asfáltico (%)	Descripción	Repetición			Gmm		
		1	2	3	1	2	3
4.5	A	1,224.67	1,230.52	1,228.50			
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.44	2.44	2.45
	E	5,822.86	5,826.23	5,826.93			
5	A	1,236.75	1,237.03	1,238.73			
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.43	2.45	2.43
	E	5,827.90	5,832.36	5,828.82			

Nota: *Ensayo para hallar la gravedad Específica.*

b) Gravedad Bulk de la Mezcla (Gmb)

Se siguió el procedimiento establecido en la normativa MTC E 514, los especímenes compactados fueron sumergidos en agua a 25 °C, pesados en el agua y luego en el aire tras secar su superficie, además, se secaron al horno a 110 ± 5 °C para obtener un peso constante. La fórmula empleada fue:

$$Gmb = \frac{A}{B - C} \dots\dots\dots (5)$$

Dónde:

A : Peso seco en aire.

B : Peso en aire del espécimen saturado.

C : Peso del espécimen bajo agua.

Tabla 22

Gravedad Bulk de la Mezcla (Gmb)

Cemento Asfáltico (%)	Descripción	Repetición			Gmb		
		1	2	3	1	2	3
3	Wa	1,184.37	1,182.15	1,181.86			
	Wss	1,188.00	1,196.10	1,195.07	2.28	2.27	2.28
	Ww	668.62	674.88	676.82			
3.5	Wa	1,187.60	1,189.22	1,188.18			
	Wss	1,193.36	1,196.41	1,195.24	2.29	2.29	2.27
	Ww	675.23	677.15	672.44			
4	Wa	1,186.27	1,206.19	1,194.77			
	Wss	1,192.20	1,210.38	1,196.04	2.33	2.30	2.32
	Ww	683.31	685.73	680.95			
4.5	Wa	1,185.19	1,187.20	1,192.04			
	Wss	1,193.01	1,192.20	1,205.05	2.32	2.34	2.34
	Ww	681.25	685.79	694.88			
5	Wa	1,188.92	1,185.95	1,185.84			
	Wss	1,193.96	1,191.97	1,190.25	2.36	2.34	2.35
	Ww	690.84	686.19	686.59			

Nota: *Ensayo para hallar la gravedad Específica.***Conformado de mezclas asfálticas**

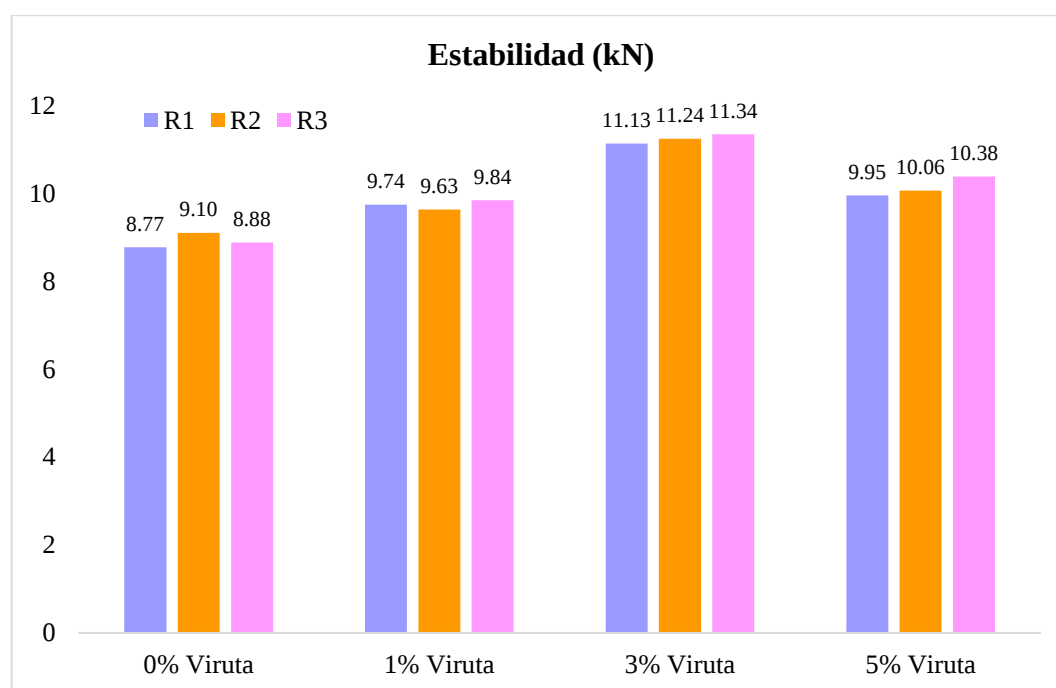
El método Marshall, regulado por la normativa MTC E 504 se utiliza para la preparación de las mezclas asfálticas, los agregados se secaron a 110 °C, se tamizaron y se mezclaron en proporciones calculadas, la temperatura de mezcla y compactación fue de 170 °C, los agregados se calentaron previamente, mezclándose en seco antes de agregar el cemento asfáltico calculado, logrando una mezcla homogénea. Posteriormente, la mezcla fue compactada en moldes cilíndricos aplicando 75 golpes por cara con un martillo, obteniendo especímenes de $63,5 \pm 2,5$ mm de altura, finalmente, los especímenes compactados se extrajeron con un extractor adecuado, garantizando su integridad durante el proceso. (MTC, 2016)

Estabilidad y Flujo Marshall (MTC E 504)

El ensayo de estabilidad Marshall, según la norma MTC E 504, se realizó para evaluar la resistencia y el flujo de mezclas asfálticas bajo cargas aplicadas, utilizando especímenes cilíndricos compactados. Inicialmente, se prepararon las muestras compactando la mezcla asfáltica en un molde cilíndrico, aplicando 75 golpes en cada lado con un pistón manual para garantizar la densidad y uniformidad requeridas, una vez compactadas, las briquetas se dejaron enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se sumergieron en un baño de agua a 60 ± 1 °C durante 30 a 40 minutos, luego, cada espécimen fue colocado en la máquina de ensayo Marshall, donde se aplicó una carga vertical a una velocidad constante de 50 mm/min hasta el punto de falla, registrándose la carga máxima como estabilidad Marshall y el desplazamiento correspondiente como flujo Marshall. (MTC, 2016)

Figura 1

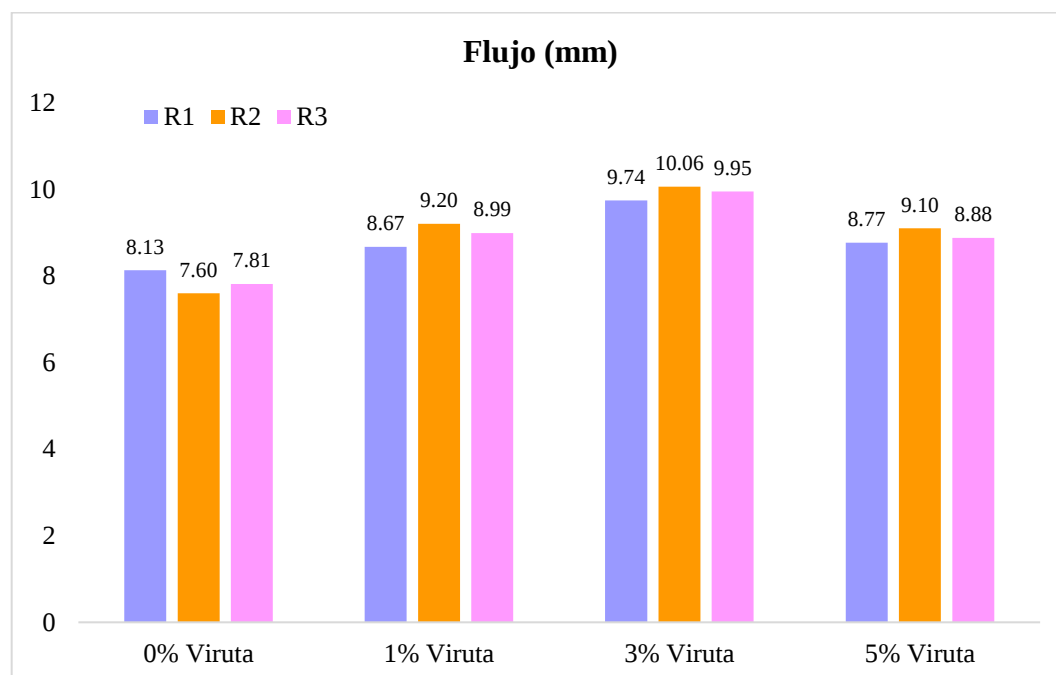
Estabilidad Marshall



Nota: Ensayo Marshall – Estabilidad.

Figura 2

Flujo Marshall



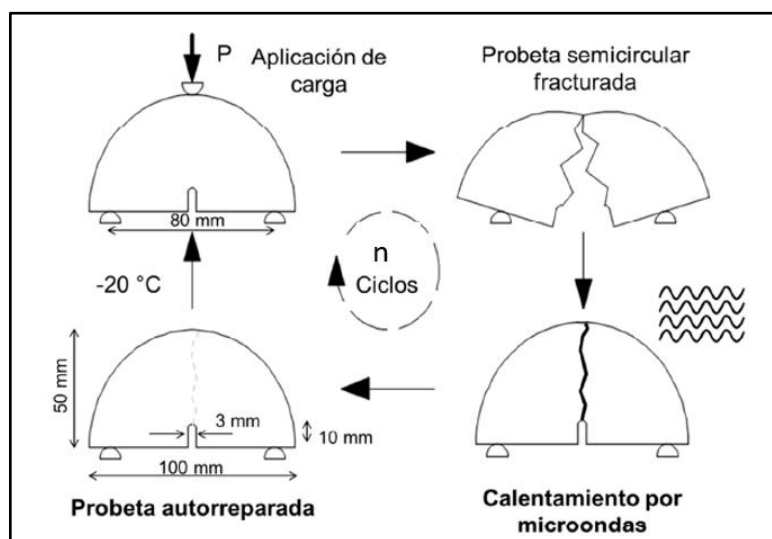
Nota: Ensayo Marshall – Flujo.

Nivel de autorreparación

El procedimiento para evaluar el nivel de autorreparación en mezclas asfálticas, representado en el esquema (figura 1), comenzó con la fabricación de briquetas semicirculares obtenidas al cortar briquetas Marshall, a las que se les realizó una hendidura central de 10 mm de altura y 3 mm de ancho para inducir grietas, estas briquetas fueron ensayadas a flexión a tres puntos, con una separación entre apoyos de 80 mm, a 20 °C tras un enfriamiento de 20 horas, midiendo su resistencia inicial bajo una carga aplicada de forma monotónica a 0.5 mm/ mín, posteriormente, las briquetas fracturadas fueron reparadas mediante exposición a radiación de microondas (700 W, 2,45 GHz) durante 40 segundos, lo que permitió la autorreparación al elevar la temperatura del asfalto, las briquetas reparadas fueron dejadas en un ambiente ventilado y seco por 24 horas antes de ser nuevamente sometidas al ensayo de flexión para determinar la resistencia tras cada ciclo de reparación, este proceso fue repetido en varios ciclos, evaluando cómo el contenido de agregado metálicos, y el número de ciclos influyen en la capacidad de autorreparación. (González, A. et al, 2018)

Figura 3

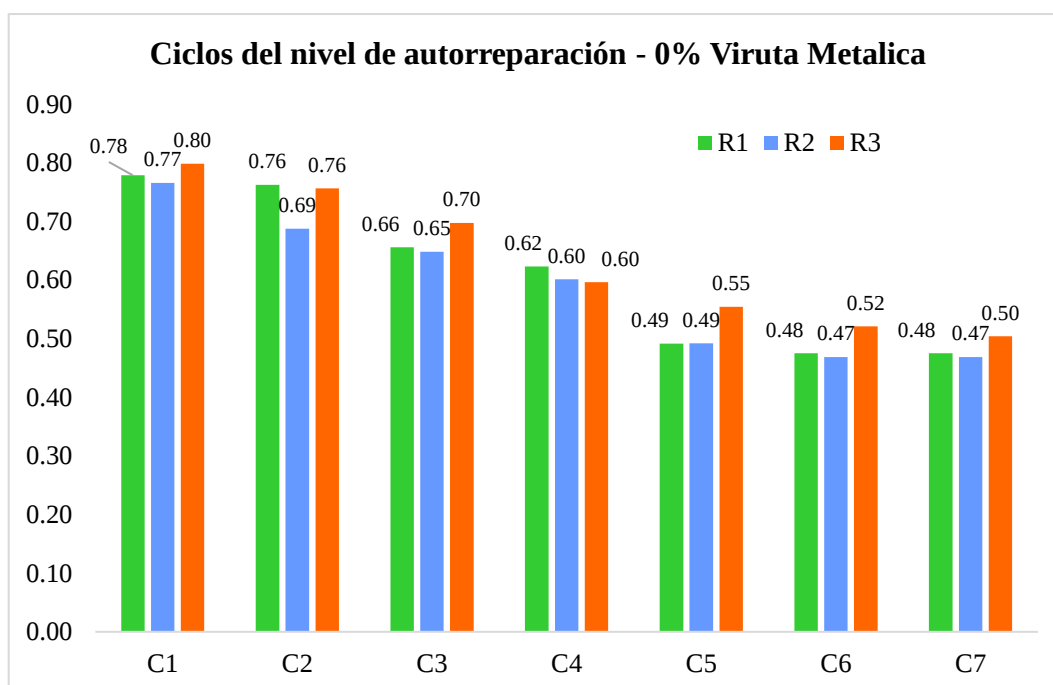
Esquema del procedimiento de nivel de autorreparación



Nota: La figura muestra el ensayo de autorreparación mediante la aplicación de ondas.

Figura 4

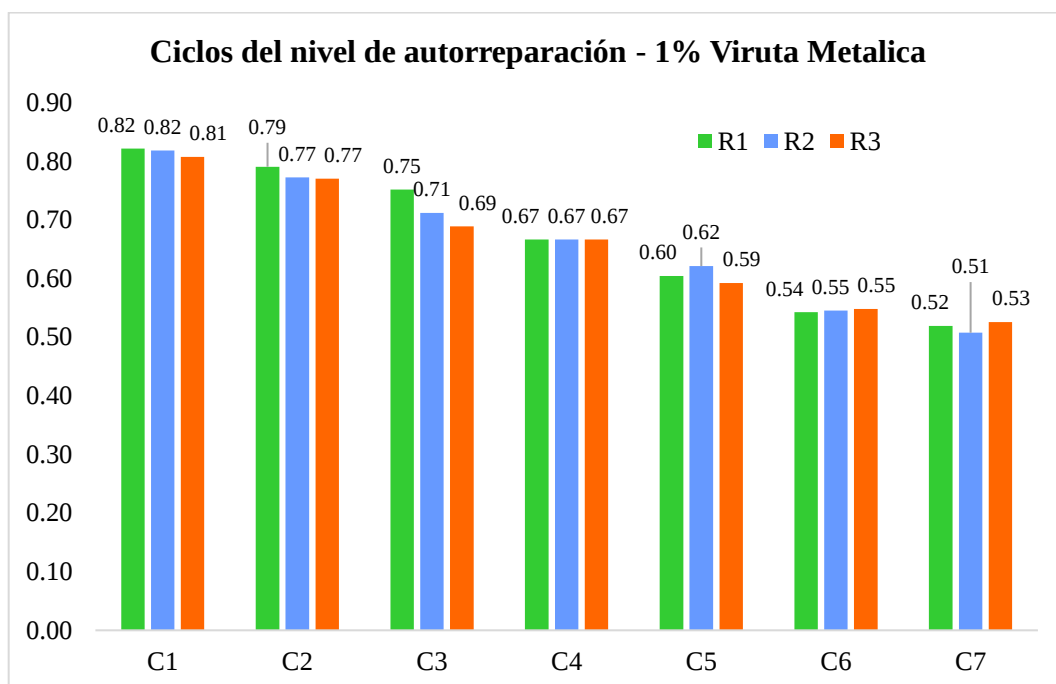
Ensayo de nivel de autorreparación en función de los ciclos - 0% viruta metálica



Nota: Autorreparación para las briquetas con 0% viruta metálica.

Figura 5

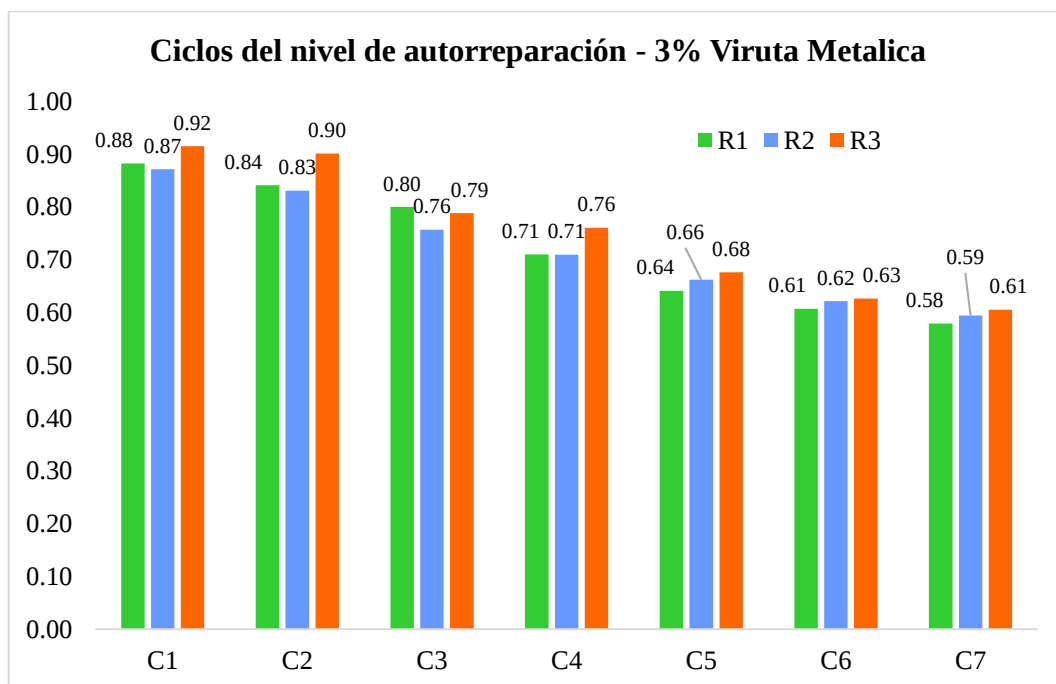
Ensayo de nivel de autorreparación en función de los ciclos - 1% viruta metálica



Nota: Autorreparación para las briquetas con 1% viruta metálica.

Figura 6

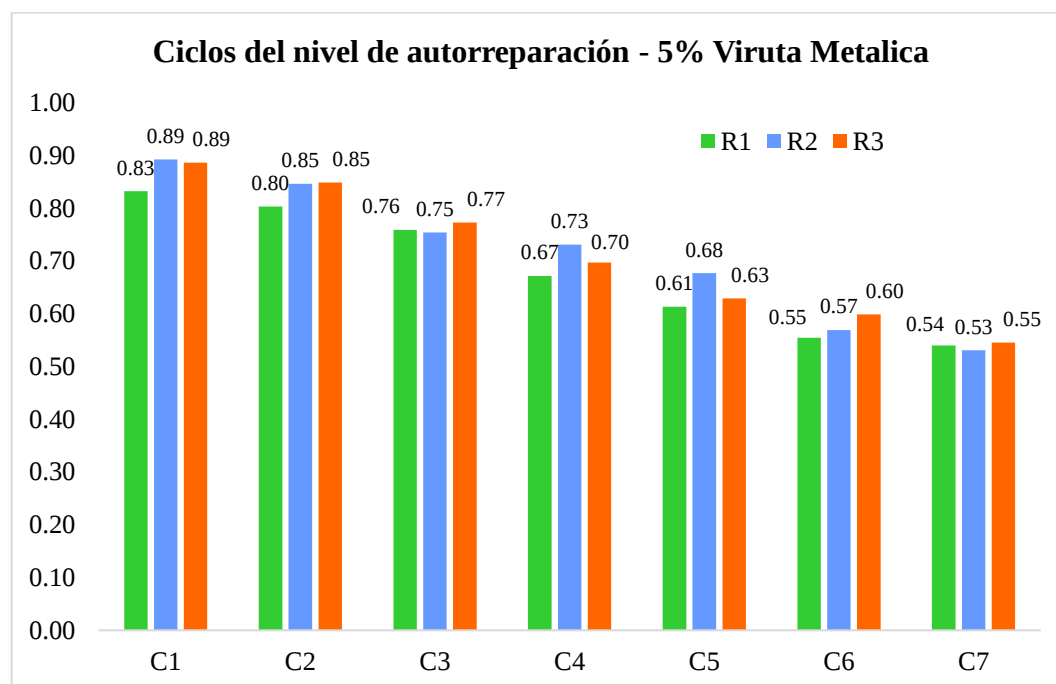
Ensayo de nivel de autorreparación en función de los ciclos - 3% viruta metálica



Nota: Autorreparación para las briquetas con 3% viruta metálica.

Figura 7

Ensayo de nivel de autorreparación en función de los ciclos - 5% viruta metálica



Nota: Autorreparación para las briquetas con 5% viruta metálica.

3.8. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Resultados

Los datos obtenidos fueron procesados mediante un análisis estadístico descriptivo, que incluye los medios, desviación estándar y coeficiente de variación. Se aplicó una prueba de normalidad, para verificar si los datos siguen una distribución normal, posteriormente, se utilizó ANOVA para comparar las medias de los diferentes porcentajes de viruta metálica y analizar su influencia en la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación, el procesamiento se realizó en Excel y Minitab, presentando los resultados gráficamente para facilitar su interpretación

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y

DISCUSIÓN

IV. CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis e Interpretación de Resultados

4.1.1. Definir las propiedades de los agregados en base a las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC, con la finalidad de ser usado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente

En respuesta al objetivo, el análisis de las propiedades de los agregados gruesos y finos, cuyos resultados se presentan desde la Tabla 7 hasta la Tabla 19, se realizó conforme a las normas establecidas por el Manual de Ensayo de Materiales del MTC, permitiendo definir su idoneidad para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, el agregado grueso presentó una humedad de 1.65 %, un peso específico de 2570 kg/m³, una abrasión Los Ángeles de 17.95 %, un índice de partículas chatas de 1.70 %, alargadas de 2.60 % y combinadas de 1.9 %, además de un 38 % con una o más caras fracturadas y un 34 % con dos o más caras, valores que cumplen con los límites establecidos. Por su parte, el agregado fino presentó una humedad de 0.63 %, un peso específico de 2560 kg/m³, un módulo de finura de 2.82 y un equivalente de arena de 81.84 %, superando el mínimo requerido de 60 %, ambos agregados presentaron valores de sales solubles totales de 0.40 % y 0.45 % para el agregado grueso y fino, respectivamente, ambos inferiores al máximo permitido de 0.5 %, además, la absorción fue de 0,48 % en el agregado grueso y 0,47 % en el agregado fino, dentro del límite máximo de 1 %, mientras que la durabilidad al sulfato de magnesio fue de 14,04 % para el agregado grueso y 9,84 % para el agregado fino, valores menores al máximo permitido de 18 %, por último, el agregado fino no presentó índice de plasticidad (NP), cumpliendo el límite máximo establecido de 4 %. Los datos de la Tabla 7 confirman que ambos agregados cumplen con las especificaciones normativas, lo que asegura su aptitud para ser empleados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente según los parámetros del MTC.

Tabla 23

Contenido de humedad de agregados

Ensayo	Agregado Grueso	Agregado Fino	Requerimiento
Humedad (%)	1.65	0.63	-

Nota: La tabla muestra el contenido de humedad promedio de los agregados.

Tabla 24

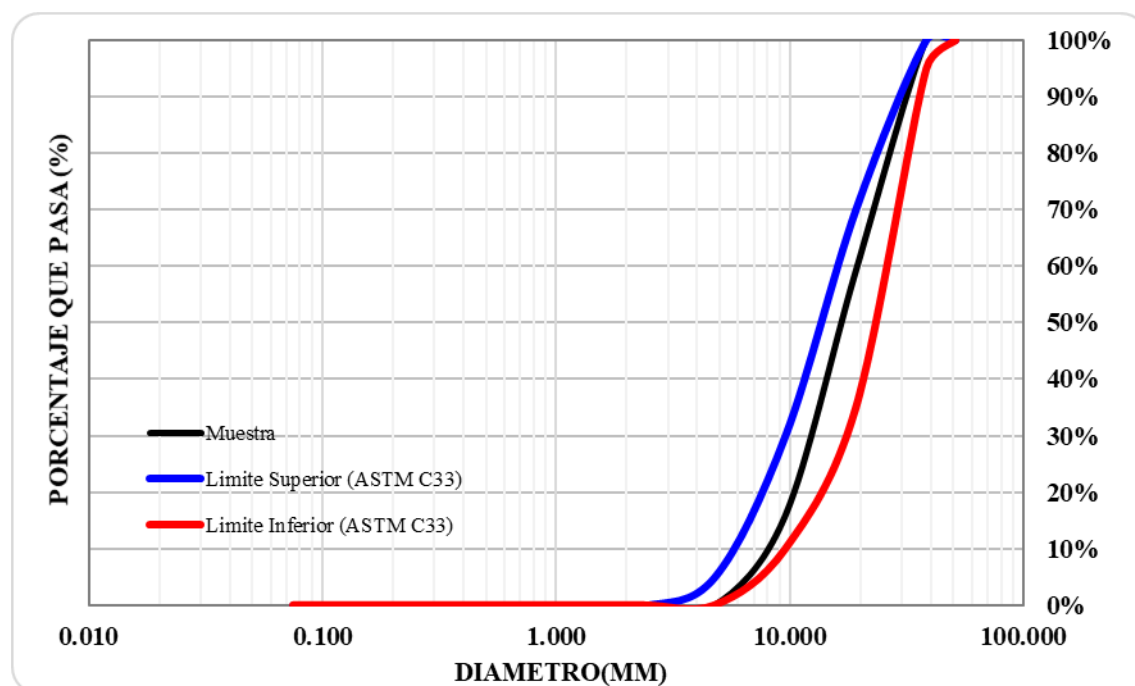
Granulometría de agregados

Ensayo	Agregado Grueso	Agregado Fino	Requerimiento
Granulometría	T.M. 1" T.M.N. 3/4"	M. Finura 2.82	-

Nota: La tabla muestra la granulometría de los agregados.

Figura 8

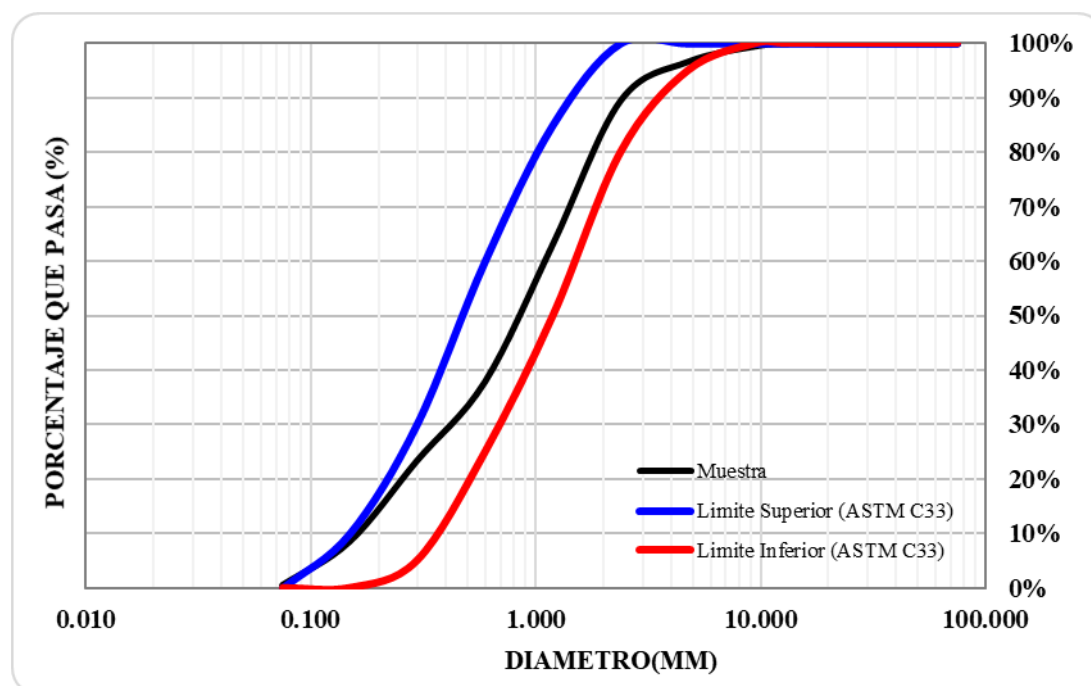
Curva granulométrica del agregado grueso



Nota: La figura muestra la distribución granulométrica del agregado grueso en base al tamaño de partícula.

Figura 9

Curva granulométrica del agregado fino



Nota: La figura muestra la distribución granulométrica del agregado fino en base al tamaño de partícula.

Tabla 25

Peso unitario de agregados

Ensayo		Agregado Grueso	Agregado Fino	Requerimiento
Peso	Unitario	1503	1628	-
Suelto (kg/m ³)				
Peso	Unitario	1529	1666	-
Compacto (kg/m ³)				

Nota: La tabla muestra el peso unitario promedio de los agregados.

Tabla 26

Equivalente arena del agregado fino

Ensayo	Agregado Fino	Requerimiento
Equivalente arena (%)	81.84	60 % min

Nota: La tabla muestra la equivalente arena promedio del agregado fino.

Tabla 27

Azul de metileno del agregado fino

Ensayo	Agregado Fino	Requerimiento
Azul de Metileno	5.2	-

Nota: La tabla muestra el azul de metileno promedio del agregado fino.

Tabla 28

Peso Específico de agregados

Ensayo	Agregado Grueso	Agregado Fino	Requerimiento
Peso Específico (kg/m ³)	2570	2560	-

Nota: La tabla muestra el peso específico promedio de los agregados.

Tabla 29

Índice de plasticidad del agregado fino

Ensayo	Agregado Fino	Requerimiento
Índice de plasticidad	NP	4 % máx.

Nota: La tabla muestra el índice de plasticidad promedio del agregado fino.

Tabla 30

Sales solubles de agregados

Ensayo	Agregado Grueso	Agregado Fino	Requerimiento
Sales solubles totales (%)	0.40	0.45	0.5 % máx.

Nota: La tabla muestra las sales solubles totales promedio de los agregados.

Tabla 31

Absorción de agregados

Ensayo	Agregado Grueso	Agregado Fino	Requerimiento
Absorción (%)	0.48	0.47	1 % máx.

Nota: La tabla muestra la absorción promedio de los agregados.

Tabla 32

Durabilidad al sulfato de magnesio de agregados

Ensayo	Agregado Grueso	Agregado Fino	Requerimiento
Durabilidad al sulfato de magnesio (%)	14.04	9.84	18 % máx.

Nota: La tabla muestra la durabilidad al sulfato de magnesio promedio de los agregados.

Tabla 33

Abrasión los ángeles del agregado grueso

Ensayo	Agregado Grueso	Requerimiento
Abrasión los ángeles (%)	17.95	-

Nota: La tabla muestra la abrasión los ángeles promedio del agregado grueso.

Tabla 34

Partículas chatas y alargadas del agregado grueso

Ensayo	Agregado Grueso	Requerimiento
Partículas chatas y alargadas (%)	Chatas: 1.70	10 % máx.
	Alargadas: 2.60	
	Chatas y alargadas:	
	1.9	

Nota: La tabla muestra las partículas chatas y alargadas promedio del agregado grueso.

Tabla 35

Caras fracturadas del agregado grueso

Ensayo	Agregado Grueso	Requerimiento
Caras fracturadas (%)	Con 1 cara de	90/70 máx.
	fractura: 38	
	Con 2 o más caras	
	de fractura: 34	

Nota: La tabla muestra las caras fracturadas promedio del agregado grueso.

4.1.2. Diseñar una muestra patrón de la mezcla asfáltica en caliente, luego adicionar el 1%, 3%, y 5% de viruta metálica, seleccionando la muestra óptima

En respuesta al objetivo, para diseñar una muestra patrón de mezcla asfáltica en caliente mediante la selección del porcentaje óptimo de cemento asfáltico, garantizando el cumplimiento de las propiedades mecánicas y volumétricas requeridas para su desempeño óptimo según las normativas establecidas, se realizó una mezcla de los agregados gruesos y finos utilizando el método de Fuller, como se detalla en el anexo, este procedimiento permitió obtener una distribución granulométrica óptima, determinando que la mezcla final consistía en un 47.86 % de agregado fino y un 52.14 % de agregado grueso, estos resultados son fundamentales para el cálculo del porcentaje teórico de cemento asfáltico, ya que establecen las proporciones necesarias

para alcanzar una mezcla balanceada que cumpla con los requisitos técnicos de estabilidad, durabilidad y resistencia, según los estándares normativos.

El Instituto del Asfalto propuso un método para determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico en mezclas asfálticas, este método se basa en el análisis granulométrico de los áridos y su combinación siguiendo el procedimiento Fuller, considerando los resultados tanto del agregado grueso como del fino, para este cálculo, se emplea la siguiente fórmula:

$$CA=0,035 \times a + 0,045 \times b + k \times c \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

CA : Porcentaje estimado de cemento asfáltico en peso de la mezcla.

a : Porcentaje de agregado grueso.

b : Porcentaje de agregado fino.

k : Valor que varía según el porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 200:

- 0,15 para un 11-15% de material pasante.
- 0,18 para un 6-10% de material pasante.
- 0,20 para un 5% o menos de material pasante.

c : Porcentaje de material que pasó por el tamiz N° 200.

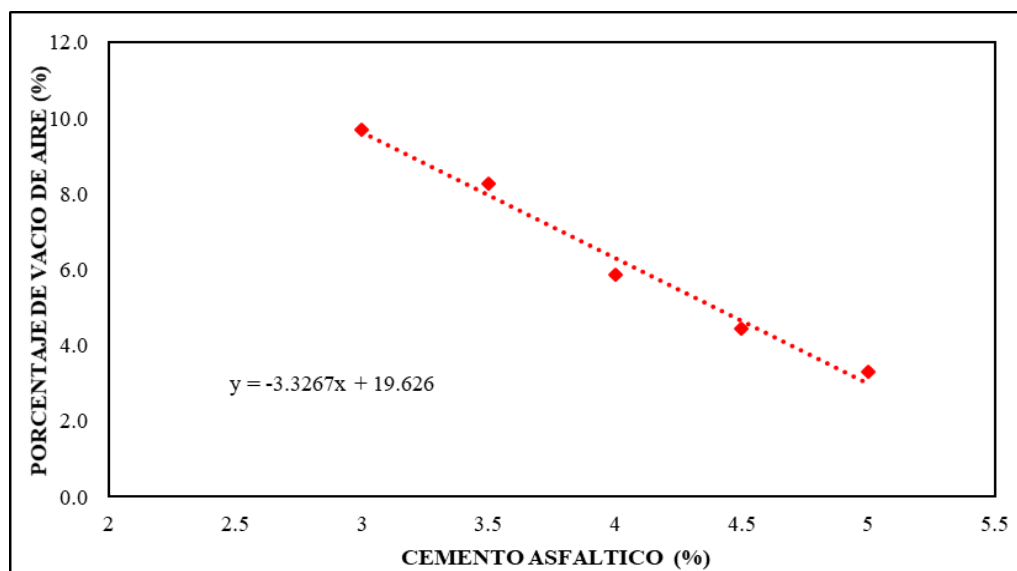
Aunque la fórmula proporciona un punto de partida teórico para el contenido de cemento asfáltico, se realizaron ajustes experimentales mediante pruebas de laboratorio, en estas pruebas, se variaron los porcentajes de cemento asfáltico $\pm 1\%$ respecto al valor teórico, con un incremento de $\pm 0.5\%$ en cada ensayo, los resultados permitieron determinar el porcentaje de vacíos en las mezclas, buscando alcanzar el 4% recomendado por el Instituto del Asfalto, reemplazando los datos obtenidos por el método Fuller se obtienen un 4% de cemento asfáltico como valor teórico.

En la figura 2 se observa la relación inversa entre el porcentaje de cemento asfáltico y el porcentaje de vacío de aire en la mezcla asfáltica, representada por la ecuación de la línea de tendencia $y = -3,3267x + 19.626$ a medida que aumenta el contenido de cemento asfáltico, el porcentaje de vacíos de aire disminuye, mostrando una mayor compactación de la mezcla, para determinar el porcentaje de cemento asfáltico necesario, se tomó un 4 % de vacíos de aire, ya que es el valor recomendado por el

Instituto del Asfalto y también está dentro del rango establecido por el MTC (3 % a 5 %), eligiendo el valor central de 4 % como referencia, al reemplazar este valor en la ecuación, se obtuvo un porcentaje de cemento asfáltico de 4.7 %, lo cual difiere del valor teórico calculado previamente, que fue de 4 %, este resultado destaca la importancia del procedimiento experimental, ya que permite ajustar los valores teóricos a las condiciones reales de los materiales, garantizando que la mezcla asfáltica cumpla con las propiedades mecánicas y volumétricas requeridas para un óptimo desempeño, siguiendo tanto las recomendaciones del Instituto del Asfalto como los estándares del MTC.

Figura 10

Porcentaje de vacíos de aire



Nota: La figura muestra la relación de vacíos por cada dosificación de cemento asfáltico.

4.1.3. Determinar el efecto de la mezcla asfáltica óptima con adición de viruta en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, considerando la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación

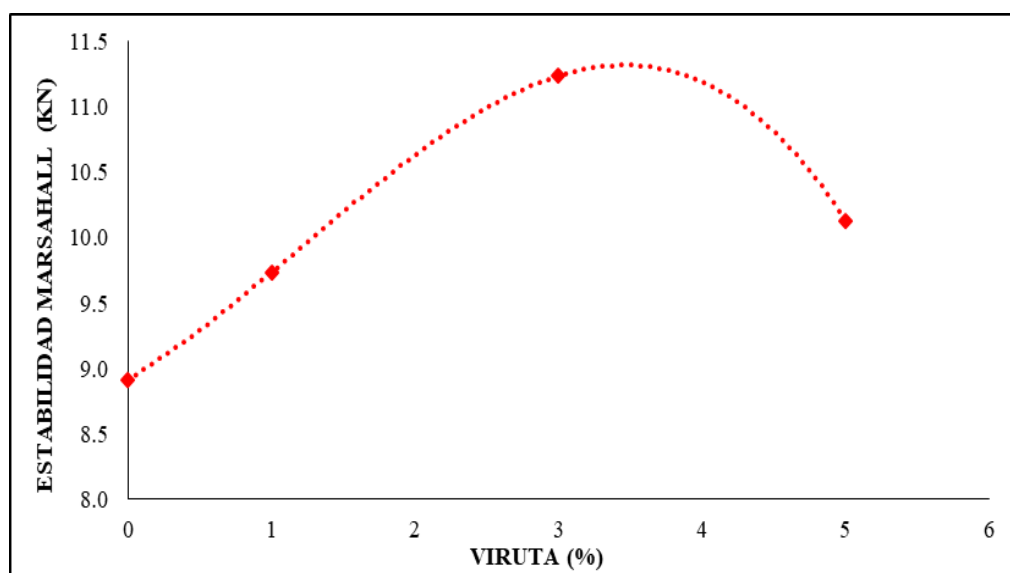
En respuesta al objetivo, se describe lo siguiente para cada propiedad.

Estabilidad Marshall

En la figura 3 se observa la relación entre el porcentaje de viruta metálica adicionada y la estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica, se evidencia un comportamiento parabólico, donde la estabilidad Marshall aumenta conforme incrementa el porcentaje de viruta metálica hasta alcanzar un valor máximo cercano a los 11 kN con un 3 % de viruta, posteriormente, al superar este porcentaje, la estabilidad comienza a disminuir, llegando a valores inferiores a los 10 kN cuando se alcanza un 5 % de viruta, este comportamiento indica que existe un porcentaje óptimo de adición de viruta metálica, alrededor del 3 %, que maximiza la estabilidad de la mezcla asfáltica, esto destaca la importancia de controlar adecuadamente el contenido de viruta, ya que cantidades excesivas pueden generar efectos contraproducentes en las propiedades mecánicas.

Figura 11

Resultados de Estabilidad Marshall



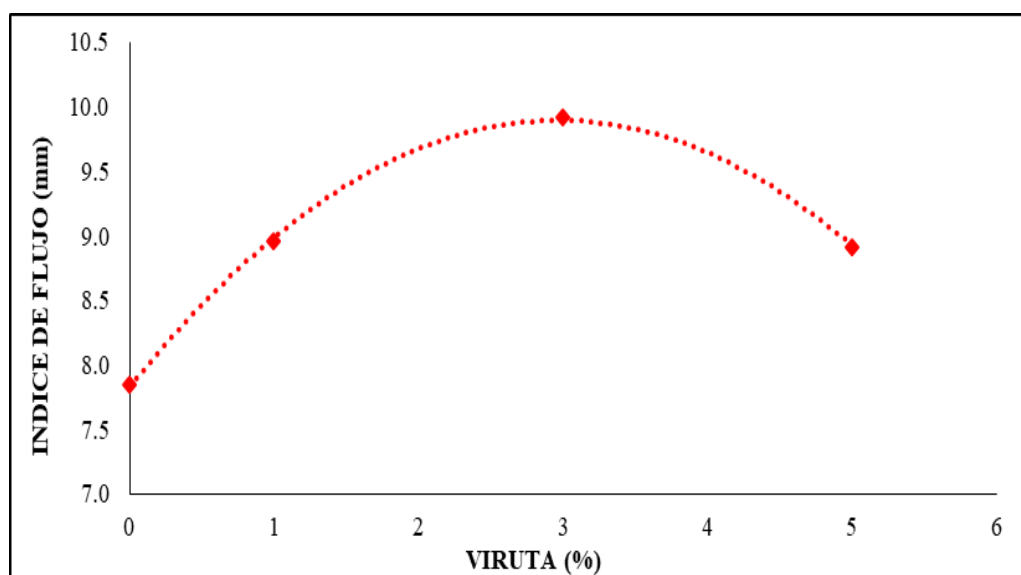
Nota: La figura muestra la estabilidad en función de la cantidad de viruta metálica.

Flujo Marshall

En la figura 4 se observa la relación entre el porcentaje de viruta metálica adicionada y el índice de flujo de la mezcla asfáltica, expresado en milímetros (mm), se evidencia un comportamiento parabólico, donde el índice de flujo aumenta con la adición de viruta metálica hasta alcanzar un valor máximo cercano a los 10 mm cuando el porcentaje de viruta se encuentra alrededor del 3 %, posteriormente, al superar este porcentaje, el índice de flujo disminuye, situándose por debajo de los 9 mm cuando el contenido de viruta alcanza el 5 %, este comportamiento sugiere que existe un porcentaje óptimo de viruta metálica, cercano al 3 %, que maximiza el índice de flujo, lo cual es clave para lograr un equilibrio adecuado entre la deformación plástica y la rigidez en la mezcla asfáltica, la disminución del índice de flujo con porcentajes mayores podría indicar una pérdida de flexibilidad debido a la rigidez excesiva introducida por la viruta metálica, lo que podría comprometer el desempeño de la mezcla bajo condiciones de carga.

Figura 12

Resultados de Flujo Marshall



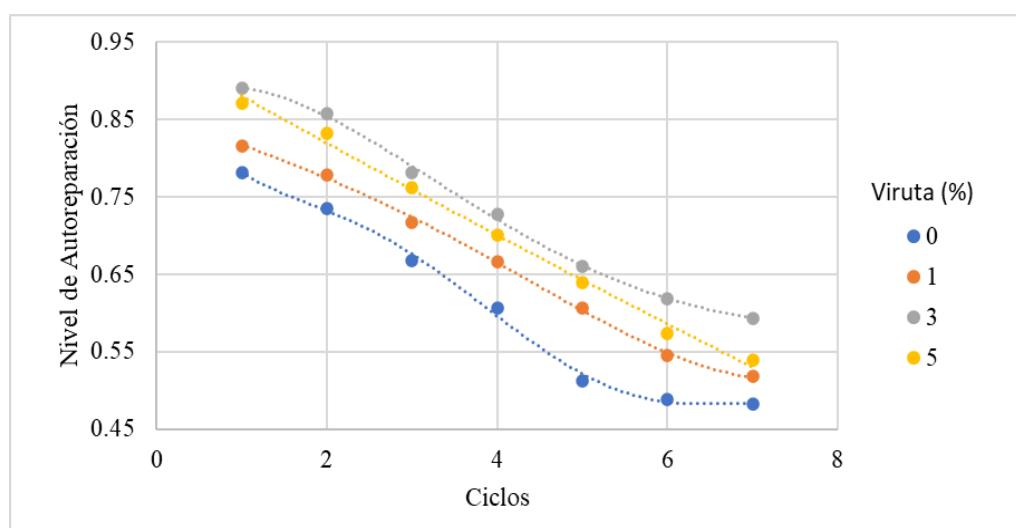
Nota: La figura muestra el flujo en función de la cantidad de viruta metálica.

Nivel de Autorreparación

En la figura 5 se analiza el nivel de autorreparación en función del número de ciclos para mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de viruta metálica (0 %, 1 %, 3 % y 5 %), se observa una tendencia decreciente del nivel de autorreparación a medida que aumenta el número de ciclos, lo cual es consistente para todas las mezclas, sin embargo, el nivel de autorreparación inicial y la tasa de disminución varían según el porcentaje de viruta, las mezclas con 3 % de viruta presentan el mayor nivel de autorreparación durante todos los ciclos, indicando que esta proporción favorece la capacidad de recuperación del material bajo condiciones de carga repetida, por otro lado, la mezcla sin viruta (0 %) muestra el menor nivel de autorreparación, lo que evidencia la contribución positiva de la viruta metálica al comportamiento mecánico del material, las mezclas con 1 % y 5 % de viruta presentan niveles intermedios, aunque el rendimiento disminuye ligeramente en el caso del 5 %, probablemente debido a un exceso de rigidez en la mezcla, estos resultados destacan la importancia de controlar el porcentaje de viruta metálica para optimizar la capacidad de autorreparación de las mezclas asfálticas, sugiriendo que el 3 % es la proporción óptima para equilibrar rigidez y flexibilidad en estas condiciones.

Figura 13

Resultados de Nivel de auto reparación de acuerdo a los ciclos

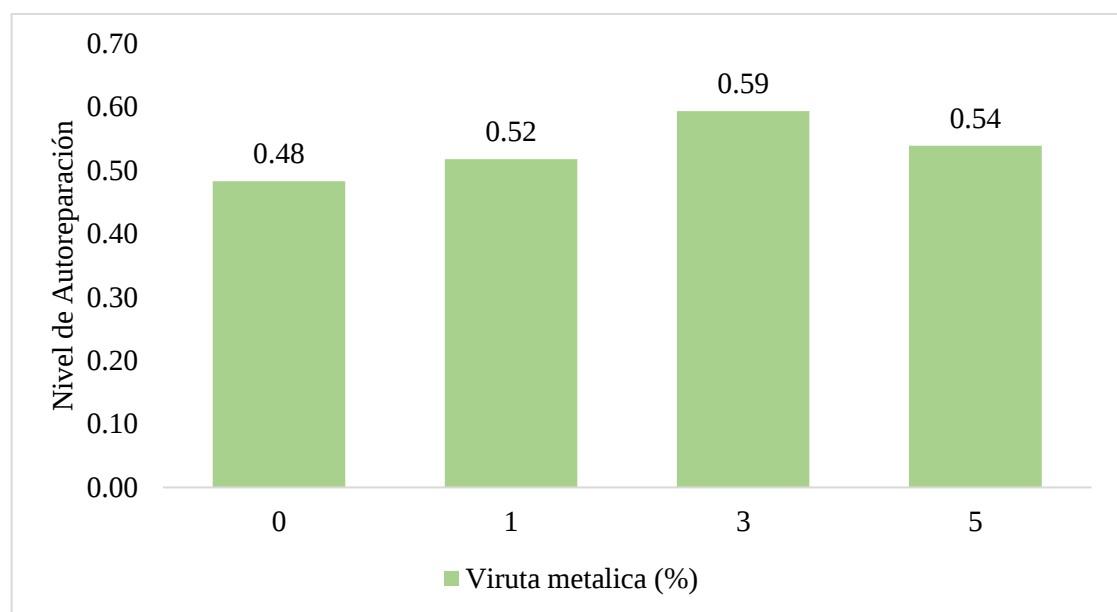


Nota: La figura muestra el nivel de autorreparación en función de la cantidad de ciclos del ensayo.

En la figura 6 se presenta el nivel de autorreparación de mezclas asfálticas en función del porcentaje de viruta metálica adicionada (0 %, 1 %, 3 % y 5 %), se observa que el nivel de autorreparación aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de viruta metálica hasta alcanzar un valor máximo de 0.59 para la mezcla con 3 % de viruta, posteriormente, al aumentar la proporción de viruta al 5 %, el nivel de autorreparación disminuye ligeramente a 0.54, la mezcla sin viruta metálica (0 %) presentó el menor nivel de autorreparación con un valor de 0.48, mientras que la adición de 1 % de viruta permitió un incremento a 0.52, lo que evidencia la contribución de la viruta metálica a la capacidad de recuperación de las mezclas, estos resultados confirman que el porcentaje óptimo de viruta metálica es del 3 %, ya que maximiza la capacidad de autorreparación sin comprometer el desempeño mecánico de la mezcla.

Figura 14

Resultados de Nivel auto reparación



Nota: La figura muestra el nivel de autorreparación en función de la cantidad de viruta metálica.

4.2. Análisis Estadístico de Datos

4.2.1. Prueba de normalidad

Se realizaron pruebas de normalidad para las variables flujo, estabilidad Marshall y nivel de autorreparación utilizando gráficos de probabilidad normal (figuras 7, 8 y 9) con un intervalo de confianza del 95 %. Los resultados son los siguientes:

A) Línea de ajuste

En las gráficas, los puntos se alinean adecuadamente con la línea central, confirmando que los datos de las tres variables, flujo, estabilidad Marshall y nivel de autorreparación siguen una distribución normal, la alineación más precisa se observa en el nivel de autorreparación, mientras que las ligeras desviaciones en las variables flujo y estabilidad Marshall están dentro de los límites aceptables.

B) Medias y desviación estándar

- Flujo: La media es 8.908 y la desviación estándar es 0.7881, lo que refleja una baja variabilidad respecto a la media.
- Estabilidad Marshall: La media es 10.01 y la desviación estándar es 0.8825, mostrando una dispersión moderada.
- Nivel de autorreparación: La media es 0.5342 y la desviación estándar es 0.04295, lo que evidencia una variabilidad mínima.

C) Tamaño de la muestra

En las tres variables, el tamaño de la muestra es $N=12$

D) Estadístico de Anderson-Darling (AD)

- Flujo: $AD=0,232$
- Estabilidad Marshall: $AD=0,333$
- Nivel de autorreparación: $AD=0,189$

Los valores del estadístico Anderson-Darling son bajos, lo que confirma que los datos se ajustan adecuadamente a una distribución normal, siendo el nivel de autorreparación el que presenta el mejor ajuste.

E) Valor p

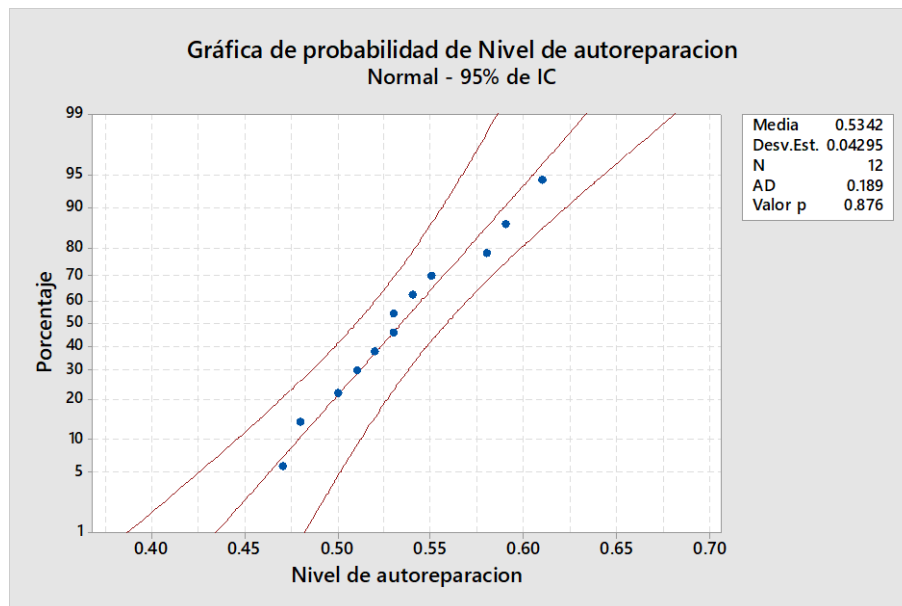
- Flujo: $p=0,743$.
- Estabilidad Marshall: $p=0,452$.
- Nivel de autorreparación: $p=0,876$.

En todos los casos, los valores p son mayores a 0.05, esto confirma que las tres variables tienen una distribución normal con un nivel de confianza del 95 %.

Los datos de las variables flujo, estabilidad Marshall y nivel de autorreparación **están normalmente distribuidos**, esto se respalda por la alineación de los puntos en las gráficas de probabilidad, los valores bajos del estadístico Anderson-Darling y los valores p mayores a 0.05. Estos resultados afirman que es adecuado analizarlos mediante métodos estadísticos paramétricos, lo que garantiza la confiabilidad de las conclusiones del estudio.

Figura 15

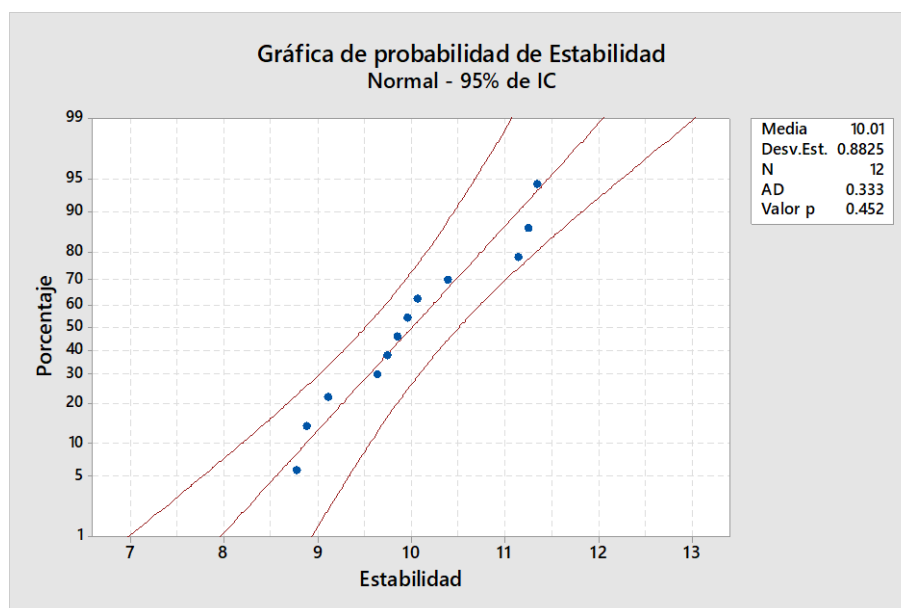
Resultados Diagrama de cuantiles del Nivel de autorreparación



Nota: La figura muestra la distribución normal de los datos respecto al nivel de autorreparación.

Figura 16

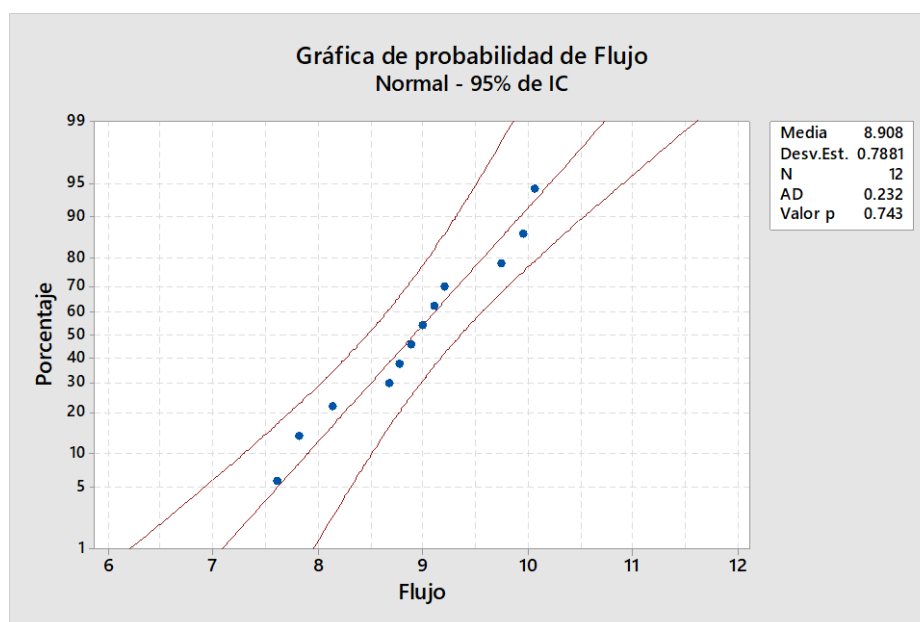
Resultados Diagrama de cuantiles de Estabilidad Marshall



Nota: La figura muestra la distribución normal de los datos respecto a la estabilidad.

Figura 17

Resultados Diagrama de cuantiles de Flujo Marshall



Nota: La figura muestra la distribución normal de los datos respecto al flujo.

4.2.2. Análisis de varianza (ANOVA)

Esta prueba se utilizó para verificar la igualdad de efectos o el efecto significativo de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, Provincia del Santa – 2024.

Para esta prueba se plantearon dos hipótesis:

- Hipótesis Nula (H0): Esta hipótesis se acepta si las adiciones de viruta metálica tienen el mismo efecto significativo en la estabilidad y el flujo. Para que esta hipótesis sea válida, el valor P debe ser mayor o igual a 0.05.
- Hipótesis Alterna (H1): Esta hipótesis se acepta si alguna dosificación de viruta metálica tiene un efecto significativo o diferente en la estabilidad, el flujo y nivel de autorreparación de la mezcla asfáltica. Para que esta hipótesis sea válida, el valor P debe ser menor o igual a 0.05.

Tabla 36

ANOVA Estabilidad Marshall

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de viruta	3	8.37	2.79	111.34	0.000
Error	8	0.20	0.02505		
Total	11	8.57			

Nota: La tabla muestra el nivel de significancia de la viruta metálica en función de la estabilidad Marshall.

Tabla 37

ANOVA Flujo Marshall

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de viruta	3	6.44	2.15	43.54	0.000
Error	8	0.39	0.04928		
Total	11	6.83			

Nota: La tabla muestra el nivel de significancia de la viruta metálica en función del flujo Marshall.

Tabla 38

ANOVA Nivel de autorreparación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Porcentaje de viruta	3	0.02	0.01	37.92	0.000
Error	8	0.00	0.00017		
Total	11	0.02			

Nota: La tabla muestra el nivel de significancia de la viruta metálica en función del nivel de autorreparación.

De las tablas del análisis de varianza (ANOVA) para las propiedades de estabilidad, flujo Marshall y nivel de autorreparación se obtuvieron valores menores a 0.05, esto permite concluir que se acepta la hipótesis alterna (H1), indicando una influencia significativa de alguna dosificación de viruta metálica en la mejora de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente de la provincia del Santa -2024.

4.3. Discusión

Para definir las propiedades de los agregados gruesos y finos conforme a las normas establecidas por el Manual de Ensayo de Materiales del MTC, con el propósito de evaluar su idoneidad para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, los resultados obtenidos, que incluyen parámetros como el peso específico, la absorción, la abrasión Los Ángeles y el equivalente de arena, indican que ambos agregados cumplen con los requisitos técnicos establecidos, asegurando su aptitud para ser utilizados en pavimentos asfálticos bajo estándares nacionales e internacionales. Se observó que el agregado grueso presentó características óptimas, como una abrasión Los Ángeles del 17.95 %, un índice combinado de partículas chatas y alargadas de 1.9 %, y un porcentaje de caras fracturadas que satisface las especificaciones del MTC, estos resultados evidencian su resistencia al desgaste y su capacidad de generar una estructura estable dentro de la mezcla asfáltica, por su parte, el agregado fino destacó por su equivalente de arena del 81.84 % y la ausencia de plasticidad (NP), características que aseguran una adecuada resistencia a la

deformación bajo carga y una interacción efectiva con el cemento asfáltico, ambos agregados presentaron valores de sales solubles totales y durabilidad al sulfato de magnesio que cumplen con los límites normativos, lo que garantiza la resistencia química necesaria para su uso en ambientes agresivos, estos resultados respaldan la viabilidad técnica de los materiales para aplicaciones en mezclas asfálticas. Al comparar con el trabajo de Reyes et al. (2023), quienes evalúan cómo el origen y la granulometría de los agregados afectan las propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas asfálticas, se observa que este estudio complementa sus hallazgos al enfocarse en el cumplimiento de estándares específicos para las propiedades físico-químicas, mientras Reyes et al. identificaron un mejor desempeño con granulometrías gruesas y resaltaron la importancia del origen de los materiales, este análisis confirma que las propiedades técnico-mecánicas de los agregados cumplen los parámetros locales del MTC, lo que permite garantizar una mezcla asfáltica confiable y de alta calidad.

En esta investigación al determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla en caliente, garantizando el cumplimiento de las propiedades mecánicas y volumétricas requeridas según los estándares del MTC y las recomendaciones del Instituto del Asfalto, los resultados destacan que el valor óptimo de vacíos de aire (4 %) permitió calcular un contenido ajustado de cemento asfáltico de 4,7 %, lo que resalta la importancia de combinar métodos teóricos y experimentales para un diseño más preciso y eficiente, este enfoque asegura la compactación adecuada de la mezcla y un desempeño óptimo en pavimentos asfálticos, los resultados muestran una relación inversa entre el contenido de cemento asfáltico y el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla, a medida que el contenido de cemento asfáltico aumenta, el porcentaje de vacíos de aire disminuye, lo que indica una mayor compactación y cohesión interna de la mezcla, se obtuvo experimentalmente un contenido de cemento asfáltico de 4.7 %, ligeramente superior al valor teórico inicial de 4 %, este ajuste experimental es crucial para garantizar que la mezcla cumpla con las propiedades mecánicas y volumétricas necesarias, como estabilidad, durabilidad y resistencia. En comparación con el estudio de Maya (2022), ambos trabajos coinciden en la importancia de determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico mediante enfoques experimentales, Maya resaltó cómo el contenido de cemento asfáltico influye directamente en las propiedades finales de la mezcla, como su durabilidad y trabajabilidad, observación que se refuerza en este estudio, donde se

evidencia que los ajustes experimentales permiten garantizar un desempeño óptimo de las mezclas asfálticas, asegurando el cumplimiento de las normativas establecidas.

Al determinar el efecto de la mezcla asfáltica óptima con adición de viruta en las propiedades mecánicas en comparación con la muestra patrón, considerando la estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación, los resultados obtenidos muestran un comportamiento parabólico en la estabilidad Marshall y el flujo Marshall con la adición de viruta metálica, donde el porcentaje óptimo es del 3%, al cual corresponde la máxima estabilidad de 11 kN y un índice de flujo de 10 mm, esto sugiere que la viruta metálica mejora inicialmente las propiedades mecánicas debido a su interacción con el cemento asfáltico y los agregados, incrementando la cohesión y rigidez de la mezcla, sin embargo, al exceder este porcentaje, se observa un deterioro en estas propiedades, atribuido a la sobresaturación de partículas metálicas, que puede generar puntos débiles o afectar la distribución homogénea del material, en cuanto al nivel de autorreparación, se registró un comportamiento similar, alcanzando un máximo de 0.59 para el 3% de viruta metálica, lo que evidencia que este porcentaje favorece la formación de un entramado metálico que facilita la conducción del calor y la regeneración de la Matriz asfáltica bajo calor para microondas, el descenso a 0.54 para el 5% de viruta refuerza que el exceso de material rígido limita la capacidad de autorreparación debido a la menor flexibilidad de la mezcla.

El comportamiento observado puede explicarse por las características intrínsecas de la viruta metálica, en bajas proporciones, mejora la cohesión y distribuye uniformemente las tensiones dentro de la mezcla, lo que maximiza tanto la estabilidad como la capacidad de deformación controlada, además, la viruta actúa como un conductor térmico eficiente, facilitando la regeneración del asfalto en procesos de curación térmica, sin embargo, en porcentajes elevados, la rigidez excesiva introducida por el material metálico reduce la flexibilidad de la mezcla, creando zonas susceptibles a fallas. Fakhri et al. (2021) reportaron una mejora del 15% en la estabilidad Marshall al incorporar aditivos de escoria de cobre, destacando que la adición controlada de residuos industriales mejora las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, este hallazgo coincide con los resultados obtenidos, donde la viruta metálica, en proporciones óptimas, maximiza la estabilidad y autorreparación, de manera similar, Xu et al. (2021) demostraron que la adición de fibras de lana de acero mejora la eficiencia de curación en mezclas asfálticas porosas mediante calentamiento por microondas, lo cual respalda la hipótesis de que la

viruta metálica actúa como un conductor térmico, facilitando la autorreparación, por otro lado, Blas y Pérez (2023) también identificaron un comportamiento parabólico al usar RAP y viruta metálica, donde un contenido de 2% de viruta y 20% de RAP mostró una relación óptima entre propiedades mecánicas y nivel de reparación, aunque el porcentaje de viruta óptimo identificado en este estudio es del 3%, la tendencia es consistente, resaltando que el control adecuado de la proporción de viruta es esencial para maximizar los beneficios sin comprometer las propiedades de la mezcla, los resultados confirman la efectividad de la adición de viruta metálica en porcentajes óptimos para mejorar las propiedades mecánicas y de autorreparación de mezclas asfálticas, contribuyendo al desarrollo de pavimentos más duraderos y sostenibles.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

V. CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- 5.1.1. Se logro evaluar la influencia en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente al adicionar viruta metálica en la Provincia del Santa – 2024, concluyendo que la adición de viruta metálica mejora significativamente las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.
- 5.1.2. Se pudo definir las propiedades de los agregados en base a las normas establecidas por el manual de ensayo de materiales del MTC, con la finalidad de ser usado para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente concluyendo que los agregados gruesos y finos cumplen con los estándares establecidos por el MTC, lo que garantiza su resistencia al desgaste, durabilidad química y adecuada interacción con el cemento asfáltico asegurando su idoneidad para mezclas asfálticas en caliente.
- 5.1.3. Se diseñó una muestra patrón de mezcla asfáltica en caliente mediante la selección del porcentaje óptimo de cemento asfáltico, asegurando el cumplimiento de las propiedades mecánicas y volumétricas requeridas según las normativas establecidas, el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, determinado mediante un enfoque experimental que ajustó el valor teórico inicial de 4 % a un valor final de 4.7 %, garantiza un nivel de vacíos de aire del 4 %, dentro del rango recomendado por el MTC, este contenido optimiza la compactación y cohesión interna de la mezcla, asegurando un desempeño óptimo en términos de estabilidad, durabilidad y resistencia, y validando la importancia de combinar métodos teóricos y experimentales para obtener diseños más precisos y eficientes.
- 5.1.4. Se determinó que la mezcla asfáltica óptima con un 3 % de viruta metálica supera a la muestra patrón en términos de estabilidad Marshall, flujo Marshall y nivel de autorreparación, destacando su efectividad para mejorar las propiedades mecánicas y de autorreparación de las mezclas, la adición de viruta metálica incrementa la cohesión interna y actúa como un conductor térmico eficiente durante los procesos de autorreparación mediante microondas, maximizando la recuperación del material, sin embargo, por encima del 3 %, se observan efectos negativos asociados a la rigidez excesiva, lo que subraya la importancia de un control preciso en la proporción de viruta metálica para lograr un equilibrio adecuado entre rigidez, estabilidad y flexibilidad en las mezclas asfálticas.

5.2. Recomendaciones

- 5.2.1. Investigar el efecto de otros materiales metálicos, como fibras de acero, escoria de hierro o polvo de aluminio, en las propiedades mecánicas y de autorreparación de mezclas asfálticas en caliente.
- 5.2.2. Analizar cómo varían las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas dependiendo de la forma (virutas, esferas, fibras) y el tamaño de las partículas metálicas adicionadas.
- 5.2.3. Evaluar la combinación de viruta metálica con otros materiales, como RAP (pavimento asfáltico reciclado), fibras poliméricas o cenizas, para maximizar la estabilidad, el flujo y la autorreparación en mezclas asfálticas.
- 5.2.4. Estudiar el desempeño de las mezclas asfálticas con viruta metálica en climas extremos (altas temperaturas, lluvia intensa) para determinar su durabilidad y capacidad de autorreparación en entornos adversos.
- 5.2.5. Investigar la eficiencia de métodos de curación alternativos, como ultrasonido o calentamiento por inducción, en mezclas asfálticas con viruta metálica para mejorar la autorreparación y prolongar la vida útil de los pavimentos.
- 5.2.6. Diseñar y probar mezclas asfálticas con viruta metálica en proyectos piloto de carreteras urbanas, evaluando su viabilidad técnica y económica en comparación con mezclas convencionales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

VI. CAPÍTULO VI. : REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A. y Infanzón, R. (2020). Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente (Tesis de pregrado en ingeniería civil). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Aguilera, E. (2017). Comportamiento térmico de pavimentos asfálticos con residuos metálicos: una evaluación como colector solar (Tesis de pregrado en ingeniería civil). Universidad del Bío- Bío, Bío-Bío, Chile
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2016). Standard Test Method for Determination of Harmful Clays of the Smectite Group in Aggregates Using Methylene Blue (AASHTO TP 57). Washington, D.C.: AASHTO.
- American Society for Testing and Materials. (2019). ASTM D4791-19: Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D4791-19>
- Artica, D. et al. (2023). Comparación del pavimento permeable con los pavimentos rígidos y flexibles para la mejora del drenaje en el estacionamiento del aeropuerto de jauja. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Aulestia, S. et al. (2017). comparación de propiedades y características mecánicas entre una mezcla asfáltica en caliente normal y una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros (tapas plásticas de botellas) por vía seca. (Tesis de pregrado en ingeniería civil). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador
- Baena, G. (2017). Metodología de la investigación. 3era edición. Grupo Editorial Patria.
- Bellom, D. (2018). Influencia del Empaquetamiento de los Agregados sobre la Resistencia a la Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas (Tesis Maestría) Universidad del Cauca, Cauca, Colombia.
- Blas A y Pérez V. (2023). Adición de pavimento asfáltico reciclado y viruta metálica en propiedades volumétricas y nivel de reparación de mezcla asfáltica en caliente. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

- Briones P et al., (2020). Análisis de la prestación mecánica del hormigón empleando virutas de acero como agregado fino. REVISTA RIEMAT, 5(1). <https://doi.org/10.33936/riemat.v5i1.2498>
- Camacho, P. (2016). Evaluación del reciclado de pavimentos asfálticos (RAP) para uso en pavimentos expuestos (Tesis Maestría) Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Cepeda, J. (2002). Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas a fisuración por fatiga mediante la aplicación de un nuevo ensayo dinámico a tracción directa. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España
- Cortez et al., (2007). Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente (Tesis Doctorado). Universidad de El Salvador, San Salvador, el Salvador.
- Cruz G. y Delgado R. (2024). Propuesta de diseño de pavimentos autorreparables en la ampliación José de Lama entre el km 2+100 – 5+100, Sullana 2024 (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Fakhri et al. (2021). An evaluation of mechanical and self-healing properties of hot mix asphalt containing waste additives. Journal of Cleaner Production, 293, 126107. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.119963>
- Fernández, C. y Baptista, P. (2014) Metodología de la investigación. 6ta edición. McGRAW-HILL
- Fiallos, J. y Unda, L. (2018). Análisis comparativo de propiedades y características mecánicas entre mezcla asfáltica en caliente "Autorreparable" (con lana de acero) y mezcla asfáltica en caliente convencional (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Gallardo, E. (2017). Metodología de la Investigación. 1era edición. Universidad Continental.
- Garnica, P. et al. (2014). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. Secretaría de comunicaciones y transportes instituto mexicano del transporte.
- González, A et al. (2018). Pavimentos asfálticos autorreparables con materiales reciclados mediante calentamiento por microondas. Revista Congreso Internacional PROVIAL, 2018(1), 95-107. <https://www.researchgate.net/publication/328135313>

- Gulisano et al. (2020). Microwave healing performance of asphalt mixture containing electric arc furnace (EAF) slag and graphene nanoplatelets (GNPs). *Applied Sciences*, 10(4), 1428. <https://doi.org/10.3390/app10041428>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2004). *Metodología de la investigación*. 1era edición. MCGRAW-HILL
- Maya J. (2022). Obtención del porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezclas densas en caliente, con cemento asfáltico normal y modificado, mediante el método Marshall, empleando agregados pétreos de la cantera Briceño Bajo . (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad de Nariño, Ancash, Colombia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2022). *Anuario estadístico del MTC 2022*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)*.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (2016). *Manual de ensayos de materiales*.
- Quispe, E y Torres, D (2020). Diseño de mezcla asfáltica auto reparable mediante inducción de calor, para controlar fallas superficiales de tráfico pesado en vías metropolitanas de Lima (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil) Universidad de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Reyes et al. (2023). Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del petróleo agregado. *Revista Científica General José María Córdova*, 11 (12), 215-232. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476248925011>
- Rivero, M. (2018). Diseño de una mezcla asfáltica en caliente mediante la metodología Superpave con la incorporación de 25% de pavimento asfáltico reciclado (RAP), más ensayos de rueda de hamburgo y módulo de rigidez (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil), Universidad Técnica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chile.
- Segundo C. y Tesen B. (2021). Autorreparación bajo inducción de calor de la mezcla asfáltica en caliente al incorporar fibras de acero y caucho. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad Cesar Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Silva R. y Tello D. (2023), Mezcla asfáltica en caliente con fibra de acero en la Av. Camino Real del distrito de Chimbote, Áncash, 2022. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad Cesar Vallejo, Ancash, Perú.

- Speight, J. (2016). Chapter 9 - Asphalt Technology. Asphalt Materials Science and Technology (págs. 361- 468). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800273-5.00009-X>
- Xu, et al . (2021). The Prospect of Microwave Heating: Towards a Faster and Deeper Crack Healing in Asphalt Pavement. MDPI, 9 (3), 507. <https://doi.org/10.3390/pr9030507>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

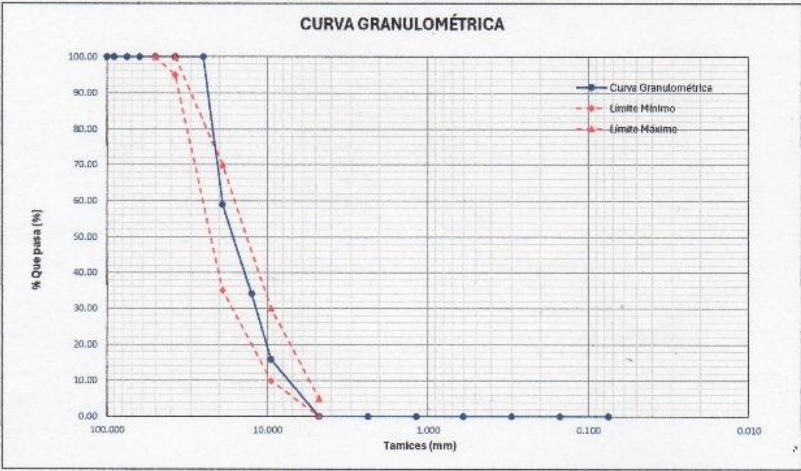
VII.CAPÍTULO VII. : ANEXOS

Anexo 1. Ensayos en Laboratorio

	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	Fecha	
	NTP 400.012	Página	2 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa – 2024
TESISTAS : Rolando Milton Páez Ahon
MATERIAL : Agregado Grueso
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Áncash
FECHA : 6/01/2025

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites Huso 7 NTP 400.037		Datos de la muestra
						Mínimo	Máximo	
4"	100.000	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-	Características físicas: Tamaño Máximo Nominal: 3/4" Contenido de humedad: 1.65% Modulo de Finura: 7.25
3 1/2"	90.000	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-	
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-	
2 1/2"	62.500	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-	
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100	
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	-	-	
3/4"	19.000	2258.27	41.05	41.05	58.95	35	70	
1/2"	12.500	1364.21	24.80	65.85	34.15	-	-	
3/8"	9.500	1009.38	18.35	84.20	15.80	10	30	
Nº4	4.750	869.21	15.80	100.00	0.00	0	5	
Nº8	2.360	0.00	0.00	100.00	0.00	-	-	
Nº16	1.180	0.00	0.00	100.00	0.00	-	-	
Nº30	0.600	0.00	0.00	100.00	0.00	-	-	
Nº50	0.300	0.00	0.00	100.00	0.00	-	-	
Nº100	0.150	0.00	0.00	100.00	0.00	-	-	
Nº200	0.075	0.00	0.00	100.00	0.00	-	-	
Fondo	-	0.00	0.00	100.00	0.00	-	-	
Total		5501.07	100.00					

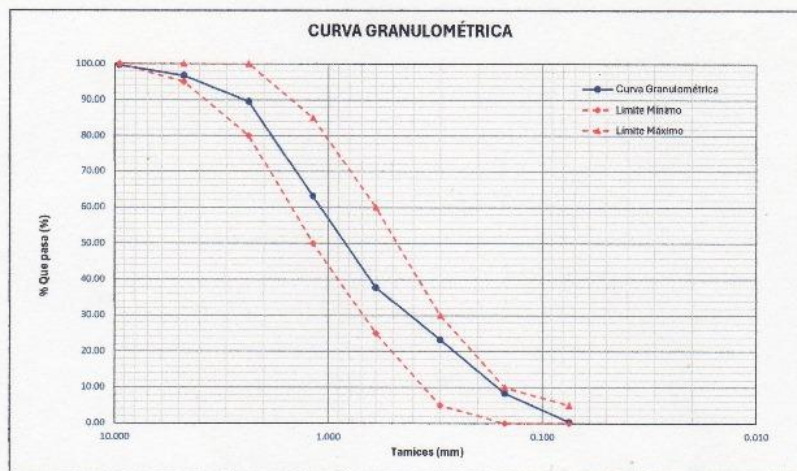



Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
JEFE DEL LABORATORIO

	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	Fecha	
	NTP 400.012	Página	1 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa - 2024
TESTISTAS : Rolando Mifron Pabiez Ahon
MATERIAL : Agregado Fino
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Ancash
FECHA : 6/01/2025

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Límites NTP 400.037		Datos de la muestra
						Mínimo	Máximo	
3/8"	9.500	5.04	0.40	0.40	99.60	100	100	Características físicas: Contenido de humedad: 0.63% Módulo de Finura: 2.82
Nº4	4.750	36.04	2.87	3.28	96.72	95	100	
Nº8	2.360	90.16	7.19	10.47	89.53	80	100	
Nº16	1.180	331.28	26.42	36.88	63.12	50	85	
Nº30	0.600	317.40	25.31	62.19	37.81	25	60	
Nº50	0.300	183.05	14.60	76.79	23.21	5	30	
Nº100	0.150	186.20	14.65	91.64	8.36	0	10	
Nº200	0.075	100.01	7.97	99.61	0.39	0	5	
Fondo	-	4.88	0.39	100.00	0.00			
Total		1254.06		100.00				




 Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
JEFE DEL LABORATORIO

 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	CONTENIDO DE HUMEDAD NTP 339.185	Fecha	
		Página	4 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa - 2024
TESISTAS : Rolando Milton Pelaez Ahon
MATERIAL : Agregado Grueso
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Ancash
FECHA : 6/01/2025

Contenido de Humedad				
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso del recipiente (gr)	76.15	80.04	96.23	
Peso del recipiente + muestra húmeda (gr)	211.28	203.40	254.10	
Peso del recipiente + muestra seca (gr)	209.00	201.80	251.12	
Peso de muestra húmeda (gr)	135.13	123.36	158.87	
Peso de muestra seca (gr)	132.85	121.76	155.89	
Peso de agua (gr)	2.28	1.60	2.98	
Contenido de Humedad (%)	1.72	1.31	1.91	1.65



 Msc. Julio Cesar Rivasplata Diaz
 JEFE DEL LABORATORIO

 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	CONTENIDO DE HUMEDAD	Fecha	
	NTP 339.185	Página	3 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa - 2024
TESISTAS : Rolando Milton Pelaez Ahon
MATERIAL : Agregado Fino
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Áncash
FECHA : 6/01/2025

Contenido de Humedad				
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso del recipiente (gr)	85.40	89.01	74.53	
Peso del recipiente + muestra húmeda (gr)	251.19	257.60	241.59	
Peso del recipiente + muestra seca (gr)	250.04	256.90	240.29	
Peso de muestra húmeda (gr)	165.79	168.59	167.06	
Peso de muestra seca (gr)	164.64	167.89	165.76	
Peso de agua (gr)	1.15	0.70	1.30	
Contenido de Humedad (%)	0.70	0.42	0.78	0.63


 Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
 JEFE DEL LABORATORIO

 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN NTP 400.022	Fecha	
		Página	8 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa - 2024
TESISTAS : Rolando Milton Pelaez Ahon
MATERIAL : Agregado Grueso
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Áncash
FECHA : 7/01/2025

Peso Específico - Absorción			
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	3523.10	3511.64	3528.02
Peso de muestra seca (gr)	3507.66	3495.02	3509.19
Peso de la muestra sumergida (gr)	2159.24	2156.43	2162.16
Peso específico	2.57	2.58	2.57
Absorción (%)	0.44	0.48	0.54



 Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
 JEFE DEL LABORATORIO

	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN NTP 400.022	Fecha	
		Página	7 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa - 2024
TESISTAS : Rolando Milton Pelaez Ahon
MATERIAL : Agregado Fino
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Áncash
FECHA : 7/01/2025

Peso Específico - Absorción			
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	500.00	500.00	500.00
Peso de muestra seca (gr)	497.62	497.80	497.62
Peso del picnómetro + agua (gr)	660.73	660.94	665.96
Peso del picnómetro + muestra saturada superficialmente seca + agua (gr)	968.78	967.83	966.73
Peso específico	2.59	2.58	2.50
Absorción (%)	0.48	0.44	0.48

Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
JEFE DEL LABORATORIO

 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	Fecha	
	NTP 400.017	Página	6 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa - 2024
TESISTAS : Rolando Milton Páez Ahon
MATERIAL : Agregado Grueso
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Áncash
FECHA : 8/01/2025

Peso Unitario Suelto				
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso del molde (gr)	6300.00	6300.00	6300.00	
Volumen del molde (cm ³)	9100	9100	9100	
Peso del molde + muestra suelta (gr)	20190.00	20210.00	19520.00	
Peso de la muestra suelta	13890.00	13910.00	13220.00	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1526.37	1528.57	1452.75	1502.56

Peso Unitario Compactado				
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso del molde (gr)	6300.00	6300.00	6300.00	
Volumen del molde (cm ³)	9100	9100	9100	
Peso del molde + muestra suelta (gr)	20020.00	20640.00	19980.00	
Peso de la muestra suelta	13720.00	14340.00	13680.00	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1507.69	1576.82	1503.30	1528.94



Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
 JEFE DEL LABORATORIO

	FORMATO DE ENSAYO		Código	-
	PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO NTP 400.017		Fecha	
			Página	5 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa – 2024
TESISTAS : Rolando Milton Peláez Ahon
MATERIAL : Agregado Fino
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Áncash
FECHA : 8/01/2025

Peso Unitario Suelto				
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso del molde (gr)	6300.00	6300.00	6300.00	
Volumen del molde (cm³)	9100	9100	9100	
Peso del molde + muestra suelta (gr)	21080.00	21170.00	21090.00	
Peso de la muestra suelta	14780.00	14870.00	14790.00	
Peso unitario suelto (kg/m³)	1624.16	1634.07	1625.27	1627.84

Peso Unitario Compactado				
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso del molde (gr)	6300.00	6300.00	6300.00	
Volumen del molde (cm³)	9100	9100	9100	
Peso del molde + muestra suelta (gr)	21350.00	21480.00	21560.00	
Peso de la muestra suelta	15050.00	15180.00	15260.00	
Peso unitario suelto (kg/m³)	1653.85	1688.13	1676.92	1666.30





Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
JEFE DEL LABORATORIO

 UNS UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	EQUIVALENTE ARENA	Fecha	
	ASTM D 2419	Página	9 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa - 2024
TESISTAS : Rolando Milton Pelaez Ahon
MATERIAL : Agregado Fino
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Ancash
FECHA : 8/01/2026

VALOR EQUIVALENTE DE AGREGADO FINO			
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Altura máxima de la arena (pulgadas)	4.10	4.00	3.75
Altura máxima de material fino (pulgadas)	4.75	4.75	5.00
Equivalente de arena (%)	86.32	84.21	75.00
Equivalente arez promedio(%)		81.84	


 Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
 JEFE DEL LABORATORIO

	FORMATO DE ENSAYO	Código	-
	ABRASION LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS ASTM C 131	Fecha	
		Página	10 de 10

PROYECTO : Influencia de la adición de viruta metálica en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente, provincia del santa - 2024
TESISTAS : Rolando Mifon Pelaez Ahon
MATERIAL : Agregado Grueso
CANTERA : La Joya
UBICACIÓN : Chimbote, Santa, Ancash
FECHA : 8/01/2025

ABRASION LOS ANGELES PARA TAMAÑOS MENORES A 1 1/2"				
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Masa inicial	5002.00	5031.00	5018.00	
Masa retenida en tamiz N°12	4103.00	4156.00	4091.00	
Abrasion	17.97	17.39	18.47	
Abrasion Promedio		17.95		

Criterio de aceptación : Máximo 40%



Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz
 JEFE DEL LABORATORIO

Ingemat INGENIERÍA, INVESTIGACIÓN Y MANEJO DE MATERIALES	INFORME	
	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO ASTM C 88	Código FO-CA-10 Versión 1 Validado 2023 Página 1 de 1
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICION DE VIRUTA METALICA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA - 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CAMBIO PUENTE - CHIMBOTE - SANTA - ÁNCASH Fecha : 09 DE ENERO DEL 2025 Material : AGREGADO FINO Procedencia : CANTERA LA JOYA		

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADO FINO

% PASA	% RETENIDO	RECIPIENTE	MASA DE ENSAYO (g)		% PERDIDA ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% PERDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUES			
3/8"	N° 4	F1	100	88.6	11.40	2.87	0.33
N° 4	N° 8	F2	100	86.4	13.60	7.19	0.98
N° 8	N° 16	F3	100	89.2	10.80	26.42	2.85
N° 16	N° 30	F4	100	88	12.00	25.31	3.04
N° 30	N° 50	F5	100	81.9	18.10	14.6	2.64
							9.84

Ingemat



Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 - Trujillo, La Libertad
Email: ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

Ingemat INVESTIGACIÓN, CONSULTA Y ANÁLISIS DE SUELOS	INFORME	
	PH, CONDUCTIVIDAD Y SALES SOLUBLES	Código FO-CA-11 Versión 1 Validado 2023 Página 1 de 1
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICION DE VIRUTA METALICA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CAMBIO PUENTE – CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH Fecha : 10 DE ENERO DEL 2025 Material : AGREGADO FINO Procedencia : CANTERA LA JOYA		

PH, CONDUCTIVIDAD Y SALES SOLUBLES DE AGREGADO FINO

	CODIGO	NIVEL Ph	CONDUCTIVIDAD (Us/cm)	SALES SOLUBLES (%)
AGREGADO FINO	F1	7.2	1984	0.45
	F2	7.2	1956	0.46
	F3	7.1	1986	0.45
	PROMEDIO	7.2	1975.3	0.46

	NIVEL Ph	CONDUCTIVIDAD (Us/cm)
AGUA POTABLE	8	1403
AGUA DESTILADA	6.9	171



[Firma]
Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

[Firma]
Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315402

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 – Trujillo, La Libertad
Email: Ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

Ingemat INGENIERÍA, CONSULTA Y LABORATORIO DE MATERIALES	INFORME	
	DETERMINACIÓN DEL VALOR DE AZUL DE METILENO PARA AGREGADO FINO O RELLENO MINERAL ASTM C 1777	Código FO-CA-12 Versión 1 Validado 2023 Página 1 de 1
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA - 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CAMBIO PUENTE - CHIMBOTE - SANTA - ÁNCASH Fecha : 10 DE ENERO DEL 2025 Material : AGREGADO FINO Procedencia : CANTERA LA JOYA		

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE AZUL DE METILENO DE AGREGADO FINO

N° de Ensayos	1	2	3
	6.0	6.5	6.2
Promedio	6.2		

Ingemat



Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP: 315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 - Trujillo, La Libertad
Email: Ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

	INFORME	
	PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS ASTM D 4791	Código FO-DM-11 Version 1 Validado 2023 Página 1 de 1
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICION DE VIRUTA METALICA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CAMBIO PUENTE – CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH Fecha : 09 DE ENERO DEL 2025 Material : AGREGADO GRUESO Procedencia : CANTERA LA JOYA		

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS DE AGREGADOS GRUESOS

TAMIZ (Pulg.)	ABERTURA (mm)	AGREGADO GRUESO		PARTÍCULAS CHATAS		PESO DE PARTICULAS ALARGADAS		PESO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS		PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)	(% CORREGIDO
		PESO RETEN.	(%) RET.	PESO	%	PESO	%	PESO	%		
2"	50.80										
1 1/2"	38.10										
1"	25.40										
3/4"	19.00	1464.0	29.3	40.1	1.20%	26.1	0.78%	20.3	0.61%	5.9	1.7
1/2"	12.70	1009.7	20.2	79.2	2.36%	29.4	0.88%	20.4	0.61%	12.8	2.6
3/8"	9.50	878.1	17.6	39.2	1.17%	32.4	0.97%	22.9	0.68%	10.8	1.9
1/4"	9.50	784.9	15.7								
N° 4	4.75	864.2	17.3								
TOTAL		5000.9		159	4.73%	88	2.62%	64	1.90%		
PESO DE MUESTRA RETENIDA EN 3/8"		3351.8									

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)	6.2
-----------------------------------	-----



[Signature]
Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

[Signature]
Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315802

Av. Húsores de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 – Trujillo, La Libertad
Email: ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

	INFORME	
	DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO ASTM D 5891	Código: FO-DM-12 Version: 1 Validado: 2023 Página: 1 de 1
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CAMBIO PUENTE – CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH Fecha : 09 DE ENERO DEL 2025 Material : AGREGADO GRUESO Procedencia : CANTERA LA JOYA		

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS DE AGREGADO GRUESO

A) CON UNA CARA FRACTURADAS

TAMAÑO AGREGADO	PESO DE MUESTRA	PESO MAT. CARAS FRAC.	% CARAS FRACT.	% RETENIDO	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS
PASANTE	RETENIDO	(g)	((B/A)*100)	% Retenido	C'D
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	686.4	284.5	41.4	43.9
3/4"	1/2"	676.5	206.4	30.5	43.3
1/2"	3/8"	199.8	104.6	52.4	12.8
TOTAL		1562.7	595.50		6.7

$$\text{PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = \frac{38}{100.00} = 0.38 \%$$

B) CON DOS CARAS FRACTURADAS

TAMAÑO AGREGADO	PESO DE MUESTRA	PESO MAT. CARAS FRAC.	% CARAS FRACT.	% RETENIDO	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS
PASANTE	RETENIDO	(g)	((B/A)*100)	% Retenido	C'D
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	654.9	274.4	41.9	42.8
3/4"	1/2"	609.4	147.3	24.2	39.8
1/2"	3/8"	266.1	93.2	35.0	17.4
TOTAL		1530.4	514.9		6.1

$$\text{PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA} = \frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}} = \frac{34}{100.00} = 0.34 \%$$




Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C


Ing. Lisseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP 315802

Ingemat	INFORME		
	DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO ASTM C 88	Código Version Validado Página	FO-DM-13 1 2023 1 de 1

Proyecto	: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METALICA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024
Solicitante	: ROLANDO MILTON PELAEZ AHON
Ubicación	: CAMBIO PUENTE – CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH
Fecha	: 09 DE ENERO DEL 2025
Material	: AGREGADO GRUESO
Procedencia	: CANTERA LA JOYA

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO DE AGREGADO GRUESO

% PASA	% RETENIDO	RECIPIENTE	MASA DE ENSAYO (g)		% PERDIDA ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% PERDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUES			
2"	1 1/2"	G1	-	-	-	-	-
1 1/2"	1"	G2	-	-	-	-	-
1"	3/4"	G3	2500	2038.24	18.55	41.05	7.61
3/4"	1/2"	G4	1000	880.24	11.98	24.8	2.97
1/2"	3/8"	G5	500	469.54	6.09	18.35	1.12
3/8"	N° 4	G6	300	255.68	14.77	15.8	2.33
							14.04

Ingemat



[Firma]
Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

[Firma]
Ing. Liseth M. Quirino Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP: 315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 – Trujillo, La Libertad
Email: Ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

Ingemat INDECOPI, GERENCIA Y SERVICIO DE MATERIAS	INFORME	
	PH, CONDUCTIVIDAD Y SALES SOLUBLES	Código FO-DM-14 Version 1 Validado 2023 Página 1 de 1

Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024
Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON
Ubicación : CAMBIO PUENTE – CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH
Fecha : 10 DE ENERO DEL 2025
Material : AGREGADO GRUESO
Procedencia : CANTERA LA JOYA

PH, CONDUCTIVIDAD Y SALES SOLUBLES DE AGREGADO GRUESO

	CODIGO	NIVEL Ph	CONDUCTIVIDAD (Us/cm)	SALES SOLUBLES (%)
AGREGADO GRUESO	G1	7	837.4	0.42
	G2	7.1	838.2	0.36
	G3	7.1	854.3	0.42
	PROMEDIO	7.1	843.3	0.40

	NIVEL Ph	CONDUCTIVIDAD (Us/cm)
AGUA POTABLE	8	1403
AGUA DESTILADA	6.9	171



Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

Ing. Lisseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315802

 INGENIERÍA, GEOTECNIA Y ENSAYOS DE MATERIALES	INFORME		Código	FO-MB-01
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927		Version	1
			Validado	2023
			Página	1 de 5
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICION DE VIRUTA METALICA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA - 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CHIMBOTE - SANTA - ÁNCASH Fecha : 05 DE MARZO DEL 2025 Material : DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO				

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

I) DATOS GENERALES

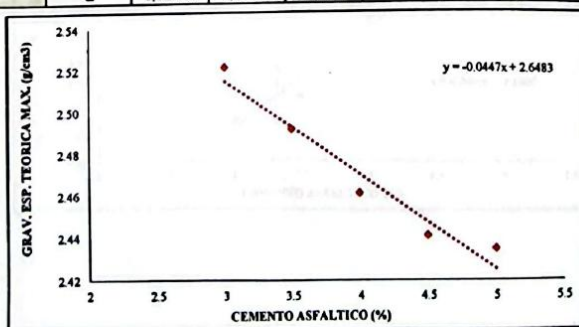
- * Gravedad Específica del Asfalto PEN 60/70: 1.03 g/cm³ * Porcentaje en Peso Agreg. Grueso: 52.14%
- * Gravedad Específica del Agreg. Grueso: 2.57 g/cm³ * Porcentaje en Peso Agreg. Fino: 47.86%
- * Gravedad Específica del Agreg. Fino: 2.56 g/cm³
- * Gravedad específica Bulk del agreg. neto: 2.57 g/cm³

II) GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

A : Masa de la muestra seca en el aire (g)
 D : Masa de frasco lleno con agua a 25 °C (g)
 E : Masa del frasco, muestra y agua a 25 °C (g)
 Gmm : Gravedad específica teórica máxima (g/cm³)

Porcentaje de Cemento Asfáltico (%)	Descripción	Muestra			Gmm			Gmm (Promedio)
		1	2	3	1	2	3	
3	A	1,188.10	1,196.37	1,191.32				
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.52	2.52	2.53	2.52
	E	5,817.81	5,821.18	5,820.02				
3.5	A	1,206.48	1,202.21	1,211.28				
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.48	2.48	2.51	2.49
	E	5,819.73	5,818.88	5,829.51				
4	A	1,216.25	1,218.81	1,213.22				
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.46	2.45	2.48	2.46
	E	5,821.64	5,821.77	5,823.66				
4.5	A	1,224.67	1,230.52	1,228.50				
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.44	2.44	2.45	2.44
	E	5,822.86	5,826.23	5,826.93				
5	A	1,236.75	1,237.03	1,238.73				
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50	2.43	2.45	2.43	2.43
	E	5,827.90	5,832.36	5,828.82				



[Signature]
 Ing. Luis D. Gallardo Murga
 GERENTE GENERAL
 INGEMAT GALLARDO S.A.C.

[Signature]
 Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP-315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 – Trujillo, La Libertad
 Email: Ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

	INFORME	
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927	
Código FO-MB-01 Versión 1 Validado 2023 Página 2 de 5		
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH Fecha : 05 DE MARZO DEL 2025 Material : DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO		

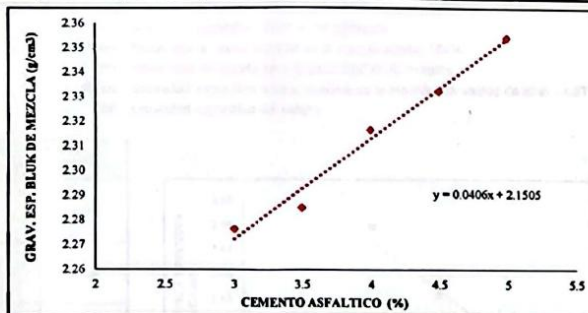
RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

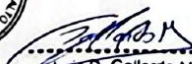
III) GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MEZCLA

$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

W_a : Masa en el aire (g)
 W_{ss} : Masa en el aire saturada superficialmente seca (g)
 W_w : Masa sumergida (g)
 G_{mb} : Gravedad específica Bulk de la mezcla (g/cm³)

Porcentaje de Cemento Asfáltico (%)	Descripción	Muestra			Gmb			Gmb (Promedio)
		1	2	3	1	2	3	
3	Wa	1,184.37	1,182.15	1,181.86				
	Wss	1,188.00	1,196.10	1,195.07	2.28	2.27	2.28	2.28
	Ww	668.62	674.89	676.82				
3.5	Wa	1,187.60	1,189.22	1,188.18				
	Wss	1,193.36	1,196.41	1,195.24	2.29	2.29	2.27	2.29
	Ww	675.23	677.15	672.44				
4	Wa	1,186.27	1,206.19	1,194.77				
	Wss	1,192.20	1,210.38	1,196.04	2.33	2.30	2.32	2.32
	Ww	683.31	685.73	680.95				
4.5	Wa	1,185.19	1,187.20	1,192.04				
	Wss	1,193.01	1,192.20	1,205.05	2.32	2.34	2.34	2.33
	Ww	681.25	685.79	694.88				
5	Wa	1,188.92	1,185.95	1,185.84				
	Wss	1,193.96	1,191.97	1,190.25	2.38	2.34	2.35	2.35
	Ww	690.84	686.19	686.59				




 Luis D. Gallardo Murga
 DIRECTOR GENERAL
 INGEMAT GALLARDO S A C


 Ing. Lisbeth M. Chirinos Vasquez
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP: 315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 – Trujillo, La Libertad
 Email: Ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

	INFORME	
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927	
Código FO-MB-01 Versión 1 Validado 2023 Página 3 de 5		
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICION DE VIRUTA METALICA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA - 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CHIMBOTE - SANTA - ANCASH Fecha : 05 DE MARZO DEL 2025 Material : DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO		

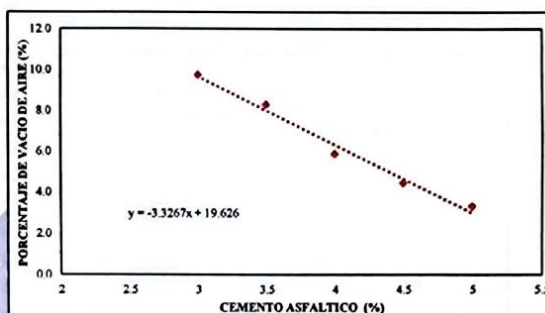
RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

IV) PORCENTAJE DE VACIOS DE AIRE

$$V_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Va : Porcentaje de vacios de aire (%)
 Gmm : Gravedad específica teórica máxima (g/cm³)
 Gmb : Gravedad específica Bulk de la mezcla (g/cm³)

Porcentaje de Cemento Asfáltico (%)	Va
3	9.72
3.5	8.26
4	5.86
4.5	4.45
5	3.31

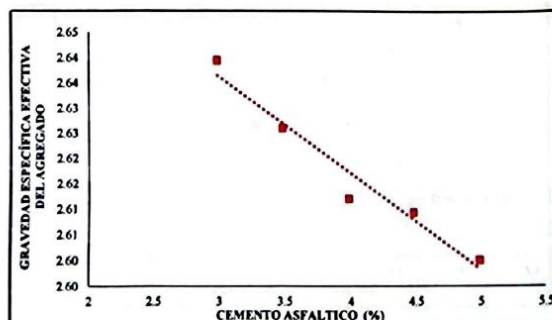


V) GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DEL AGREGADO

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm} - G_b} \times 100$$

Gse : Gravedad específica efectiva del agregado
 Pmm : Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%
 Pb : Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra
 Gmm : Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (sin vacios de aire) - ASTM D 2041
 Gb : Gravedad específica del asfalto

Porcentaje de Cemento Asfáltico (%)	Gse
3	2.64
3.5	2.63
4	2.61
4.5	2.61
5	2.60



Ing. Luis D. Gallardo Murga
 GERENTE GENERAL
 INGEMAT GALLARDO SAC

Ing. Lisseth M. Chirinos Vasquez
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 - Trujillo, La Libertad
 Email: Ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

 INGENIERÍA, GERENCIA Y SUMINISTRO DE MATERIALES	INFORME	
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927	
Código FO-MB-01 Versión 1 Validado 2023 Página 4 de 5		

Proyecto	: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METALICA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024
Solicitante	: ROLANDO MILTON PELAEZ AHON
Ubicación	: CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH
Fecha	: 05 DE MARZO DEL 2025
Material	: DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO

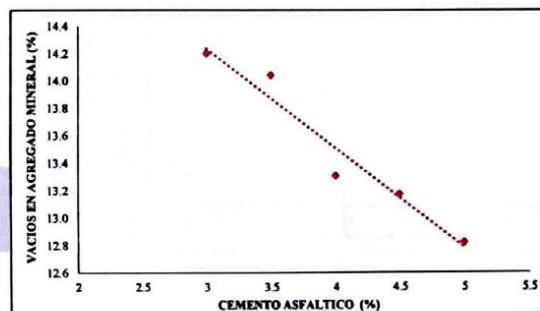
RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

VI) PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO MINERAL

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}$$

VMA : Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk
Gmb : Gravedad específica bulk de la mezcla compactada - ASTM D1188 o D2726
P_s : Contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla
G_{sb} : Gravedad específica bulk del agregado total

Porcentaje de Cemento Asfáltico (%)	VMA
3	14.20
3.5	14.04
4	13.31
4.5	13.17
5	12.82

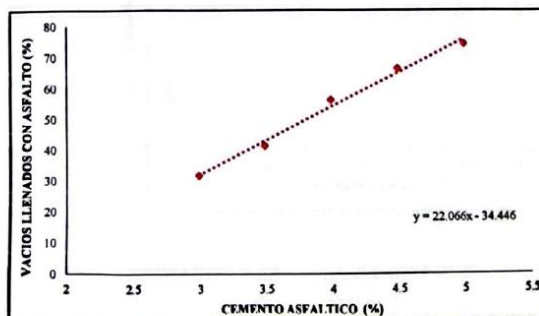


VII) PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO

$$VFA = 100 \cdot \frac{VMA - V_a}{VMA}$$

VMA : Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk
VFA : Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA
V_a : Vacíos de aire en mezcla compactada, porcentaje del volumen total

Porcentaje de Cemento Asfáltico (%)	VFA
3	31.58
3.5	41.14
4	55.94
4.5	66.22
5	74.21



Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S.A.C

Ing. Liseth M. Córdova Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP 315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 – Trujillo, La Libertad
 Email: ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

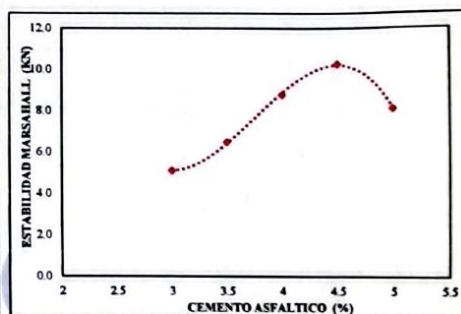
 INGENIERÍA, GEOTECNIA Y EDIFICIOS DE MATERIALES	INFORME		Código	FO-MB-01
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927		Version	1
			Validado	2023
			Página	5 de 5

Proyecto	: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024
Solicitante	: ROLANDO MILTON PELAEZ AHON
Ubicación	: CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH
Fecha	: 05 DE MARZO DEL 2025
Material	: DETERMINACION DEL CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

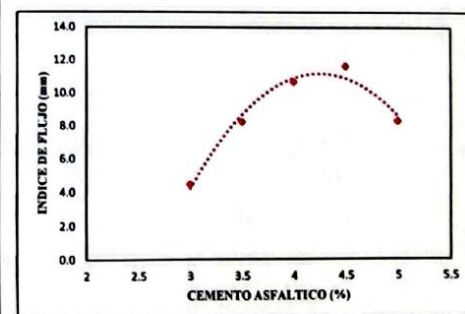
VIII) ESTABILIDAD

Porcentaje de Cemento Asfáltico (%)	Estabilidad (KN)			
	1	2	3	Promedio
3	5.18	5.00	5.12	5.10
3.5	6.74	5.92	6.82	6.49
4	8.88	8.49	8.96	8.78
4.5	10.15	10.54	10.04	10.24
5	8.13	8.36	7.68	8.06



IX) FLUJO

Porcentaje de Cemento Asfáltico (%)	Flujo (mm)			
	1	2	3	Promedio
3	4.32	4.19	4.89	4.47
3.5	8.24	8.21	8.32	8.26
4	10.29	10.98	10.79	10.69
4.5	11.26	11.68	11.98	11.64
5	8.06	8.63	8.26	8.32



Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

Ing. Eusebio M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP: 315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 – Trujillo, La Libertad
Email: Ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

	INFORME	
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927	Código FO-MB-01 Versión 1 Validado 2023 Página 1 de 5
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA - 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CHIMBOTE - SANTA - ÁNCASH Fecha : 20 DE MARZO DEL 2025 Material : MARSHALL CON VIRUTA METÁLICA		

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

I) DATOS GENERALES

- * Gravedad Específica del Asfalto PEN 60/70: 1.03 g/cm³ * Porcentaje en Peso Agreg. Grueso: 52.14%
- * Gravedad Específica del Agreg. Grueso: 2.57 g/cm³ * Porcentaje en Peso Agreg. Fino: 47.86%
- * Gravedad Específica del Agreg. Fino: 2.56 g/cm³ * Porcentaje en Peso del Asfalto: 4.70%
- * Gravedad específica Bulk del agreg. neto: 2.57 g/cm³

1.1.) PORCENTAJES EN VOLUMEN CON LA ADICIÓN DE VIRUTA

Viruta	0.0%	1.0%	3.0%	5.0%
Agregados	95.300%	95.300%	95.300%	95.300%
Asfalto	4.700%	4.700%	4.700%	4.700%
Viruta	0.000%	1.000%	3.000%	5.000%
Total	100.00%	101.00%	103.00%	105.00%

1.2) PORCENTAJES EN VOLUMEN CORREGIDO CON LA ADICIÓN DE VIRUTA

Viruta	0.0%	1.0%	3.0%	5.0%
Agregados	95.300%	94.356%	92.524%	90.762%
Asfalto	4.700%	4.653%	4.563%	4.476%
Viruta	0.000%	0.990%	2.913%	4.762%
Total	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

II) GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

- A : Masa de la muestra seca en el aire (g)
- D : Masa de frasco lleno con agua a 25 °C (g)
- E : Masa del frasco, muestra y agua a 25 °C (g)
- G_{mm} : Gravedad específica teórica máxima (g/cm³)

Porcentaje de Viruta (%)	Descripción	Muestra			Gmm			Gmm (Promedio)
		1	2	3	1	2	3	
0	A	1,144.17	1,135.32	1,140.28	2.48	2.49	2.48	2.49
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50				
	E	5,783.77	5,780.13	5,781.21				
1	A	1,157.97	1,155.47	1,163.37	2.42	2.43	2.46	2.44
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50				
	E	5,780.84	5,779.85	5,791.85				
3	A	1,168.34	1,171.72	1,173.49	2.36	2.34	2.36	2.35
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50				
	E	5,773.57	5,771.28	5,777.23				
5	A	1,183.59	1,191.41	1,190.90	2.30	2.29	2.30	2.30
	D	5,100.50	5,100.50	5,100.50				
	E	5,770.00	5,772.12	5,774.24				



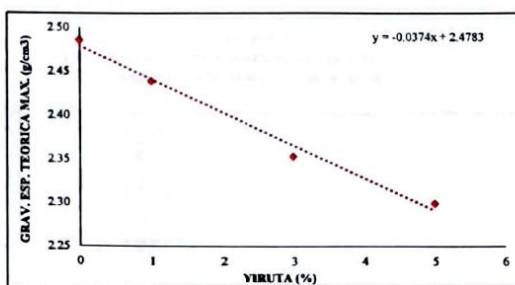
Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

Ing. Liseth M. Cármon Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315802

Av. Húsares de Junín Mz. D Lt. 13 Int. 2 - Trujillo, La Libertad
Email: Ingematgallardo@gmail.com Celular: 978 342 677

 Ingemat PRUEBA, CONTROL Y MONITOREO DE MATERIALES	INFORME	
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927	
Código FO-MB-01 Version 1 Validado 2023 Página 2 de 5		
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH Fecha : 20 DE MARZO DEL 2025 Material : MARSHALL CON VIRUTA METÁLICA		

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL



III) GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LA MEZCLA

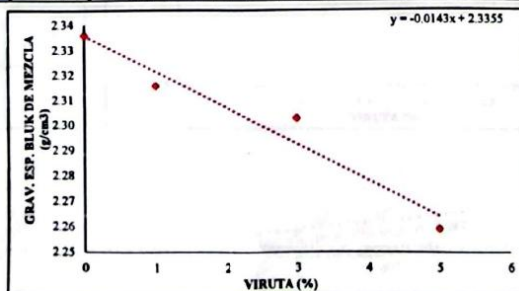
$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

W_a : Masa en el aire (g)
 W_{ss} : Masa en el aire saturada superficialmente seca (g)
 W_w : Masa sumergida (g)
 G_{mb} : Gravedad específica Bulk de la mezcla (g/cm³)

Porcentaje de Viruta (%)	Descripción	Muestra			Gmb			Gmb (Promedio)
		1	2	3	1	2	3	
0	Wa	1186.31	1191.94	1192.31	2.33	2.33	2.36	2.34
	Wss	1200.39	1199.33	1195.46				
	Ww	690.44	686.76	689.31				
1	Wa	1191.40	1194.00	1195.76	2.30	2.33	2.32	2.32
	Wss	1198.52	1197.39	1200.68				
	Ww	680.43	685.21	684.32				
3	Wa	1192.44	1212.18	1197.40	2.30	2.30	2.31	2.30
	Wss	1198.18	1216.14	1203.28				
	Ww	680.00	689.51	684.04				
5	Wa	1193.36	1195.66	1193.37	2.25	2.25	2.27	2.26
	Wss	1198.05	1201.77	1200.62				
	Ww	668.20	671.24	675.24				




Ing. E. D. Gallardo Murga
 GERENTE GENERAL
 INGEMAT GALLARDO S A C




Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP 315802

 INGENIERÍA, CONSULTORÍA Y SUMINISTRO DE MATERIALES	INFORME	
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927	
Código FO-MB-01 Version 1 Validado 2023 Página 3 de 5		
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA - 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CHIMBOTE - SANTA - ÁNCASH Fecha : 20 DE MARZO DEL 2025 Material : MARSHALL CON VIRUTA METÁLICA		

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

IV) PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE

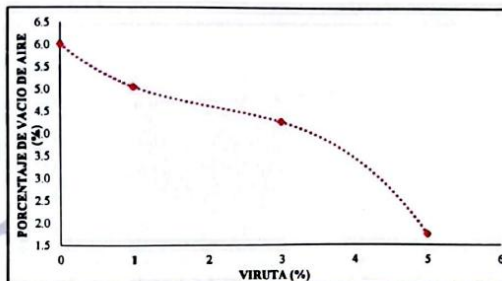
$$V_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Va : Porcentaje de vacíos de aire (%)

Gmm : Gravedad específica teórica máxima (g/cm³)

Gmb : Gravedad específica Bulk de la mezcla (g/cm³)

Porcentaje de Viruta (%)	Va
0	6.01
1	5.04
3	4.25
5	1.74



V) GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DEL AGREGADO

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{P_{mm} - P_b} \times 100$$

Gse : Gravedad específica efectiva del agregado

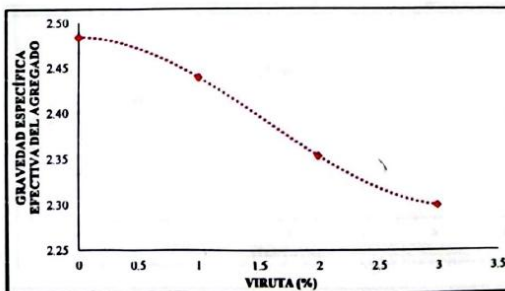
Pmm : Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%

Pb : Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra

Gmm : Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (sin vacíos de aire) - ASTM D 2041

Gb : Gravedad específica del asfalto

Porcentaje de Viruta (%)	Gse
0	2.48
1	2.44
2	2.35
3	2.30



[Firma]
Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

[Firma]
Ing. Elsie M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315802

	INFORME	
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927	
	Código	FO-MB-01
	Versión	1
	Validado	2023
	Página	4 de 5

Proyecto	: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024
Solicitante	: ROLANDO MILTON PELAEZ AHON
Ubicación	: CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH
Fecha	: 20 DE MARZO DEL 2025
Material	: MARSHALL CON VIRUTA METÁLICA

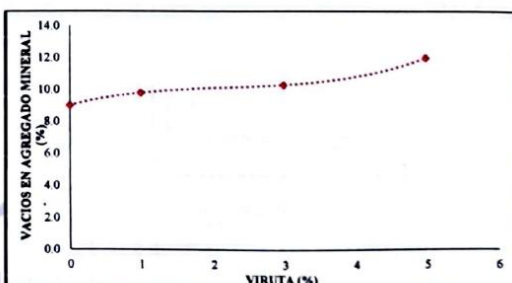
RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

VI) PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO MINERAL

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}$$

VMA : Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk
Gmb : Gravedad específica bulk de la mezcla compactada - ASTM D1188 o D2726
Ps : Contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla
Gsb : Gravedad específica bulk del agregado total

Porcentaje de Viruta (%)	VMA
0	8.99
1	9.77
3	10.26
5	11.97

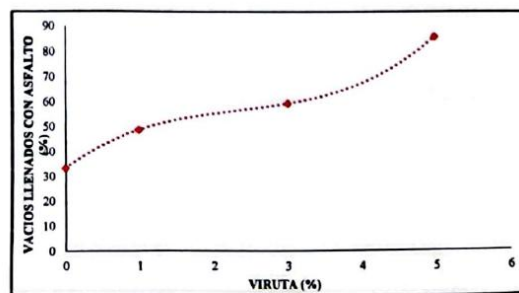


VII) PORCENTAJE DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO

$$VFA = 100 - \frac{VMA - V_a}{VMA}$$

VMA : Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk
VFA : Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA
Va : Vacíos de aire en mezcla compactada, porcentaje del volumen total

Porcentaje de Viruta (%)	VFA
0	33.17
1	48.39
3	58.59
5	85.50



Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

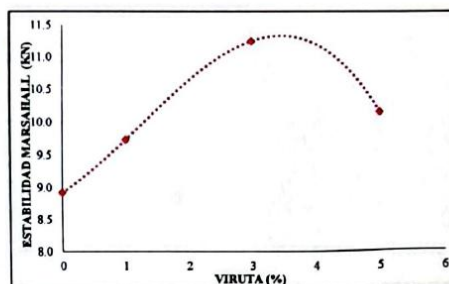
Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP 315802

 INGENIERÍA, GEOTECNIA Y ENSAYOS DE MATERIALES	INFORME		Código	FO-MB-01
	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ASTM D 6927		Version	1
			Validado	2023
			Página	5 de 5
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METÁLICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH Fecha : 20 DE MARZO DEL 2025 Material : MARSHALL CON VIRUTA METÁLICA				

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

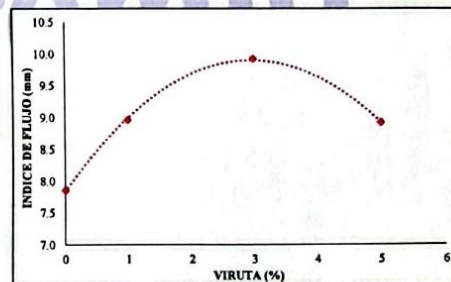
VIII) ESTABILIDAD

Porcentaje de viruta (%)	Estabilidad (KN)			
	1	2	3	Promedio
0	8.77	9.10	8.88	8.92
1	9.74	9.63	9.84	9.74
3	11.13	11.24	11.34	11.24
5	9.95	10.06	10.38	10.13



IX) FLUJO

Porcentaje de Caucho (%)	Flujo (mm)			
	1	2	3	Promedio
0	8.13	7.60	7.81	7.85
1	8.67	9.20	8.99	8.95
3	9.74	10.06	9.95	9.92
5	8.77	9.10	8.88	8.92



[Firma]
Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

[Firma]
Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315802

	INFORME	
	AUTORREPARACIÓN EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS MEDIANTE CALENTAMIENTO POR MICROONDAS	Código FO-AP-01 Versión 1 Validado 2025 Página 1 de 1
Proyecto : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE VIRUTA METALICA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, PROVINCIA DEL SANTA – 2024 Solicitante : ROLANDO MILTON PELAEZ AHON Ubicación : CHIMBOTE – SANTA – ÁNCASH Fecha : 10 DE ABRIL DEL 2025 Material : NIVEL DE AUTORREPARACIÓN CON VIRUTA METÁLICA		

NIVEL DE AUTORREPARACIÓN

Viruta metálica	Repetición	Resistencia a la flexión (KN)			Nivel de Autoreparación (%)			
		1	2	3	1	2	3	Promedio
0%	Fase inicial	1.22	1.28	1.19				
	1	0.95	0.98	0.95	0.78	0.77	0.80	0.78
	2	0.93	0.88	0.9	0.76	0.69	0.76	0.74
	3	0.8	0.83	0.83	0.66	0.65	0.70	0.67
	4	0.76	0.77	0.71	0.62	0.60	0.60	0.61
	5	0.6	0.63	0.66	0.49	0.49	0.55	0.51
	6	0.58	0.6	0.62	0.48	0.47	0.52	0.49
	7	0.58	0.6	0.6	0.48	0.47	0.50	0.48
1%	Fase inicial	1.29	1.32	1.35				
	1	1.06	1.08	1.09	0.82	0.82	0.81	0.82
	2	1.02	1.02	1.04	0.79	0.77	0.77	0.76
	3	0.97	0.94	0.93	0.75	0.71	0.69	0.72
	4	0.86	0.88	0.9	0.67	0.67	0.67	0.67
	5	0.78	0.82	0.8	0.60	0.62	0.59	0.61
	6	0.7	0.72	0.74	0.54	0.55	0.55	0.55
	7	0.67	0.67	0.71	0.52	0.51	0.53	0.52
3%	Fase inicial	1.45	1.48	1.42				
	1	1.28	1.29	1.3	0.88	0.87	0.92	0.89
	2	1.22	1.23	1.28	0.84	0.83	0.90	0.86
	3	1.16	1.12	1.12	0.80	0.76	0.79	0.78
	4	1.03	1.05	1.08	0.71	0.71	0.76	0.73
	5	0.93	0.98	0.96	0.64	0.66	0.68	0.66
	6	0.88	0.92	0.89	0.61	0.62	0.63	0.62
	7	0.84	0.88	0.88	0.58	0.59	0.61	0.59
5%	Fase inicial	1.37	1.3	1.32				
	1	1.14	1.16	1.17	0.83	0.89	0.89	0.87
	2	1.1	1.1	1.12	0.80	0.85	0.85	0.83
	3	1.04	0.98	1.02	0.78	0.75	0.77	0.76
	4	0.92	0.95	0.92	0.67	0.73	0.70	0.70
	5	0.84	0.88	0.83	0.61	0.68	0.63	0.64
	6	0.76	0.74	0.79	0.55	0.57	0.60	0.57
	7	0.74	0.69	0.72	0.54	0.53	0.55	0.54



[Firma]
Ing. Luis D. Gallardo Murga
GERENTE GENERAL
INGEMAT GALLARDO S A C

[Firma]
Ing. Liseth M. Chirinos Vasquez
JEFE DE LABORATORIO
CIP. 315802

Anexo 2. Reporte fotográfico

Foto 1

Obtención de agregado grueso



Foto 2

Obtención de agregado grueso



Foto 3

Obtención de viruta metálica



Foto 4

Análisis granulométrico de agregado fino



Foto 5

Análisis granulométrico de agregado grueso



Foto 6

Contenido de humedad en agregado fino



Foto 7

Contenido de humedad en agregado grueso



Foto 8

Gravedad específica y absorción de agregado fino



Foto 9

Gravedad específica y absorción de agregado fino



Foto 10

Peso unitario suelto y compacto de agregado fino



Foto 11

Peso unitario suelto y compacto de agregado grueso



Foto 12

Abrasión Los Ángeles para agregado grueso



Foto 13

Muestra para ensayo equivalente arena



Foto 14

Ensayo azul de metileno

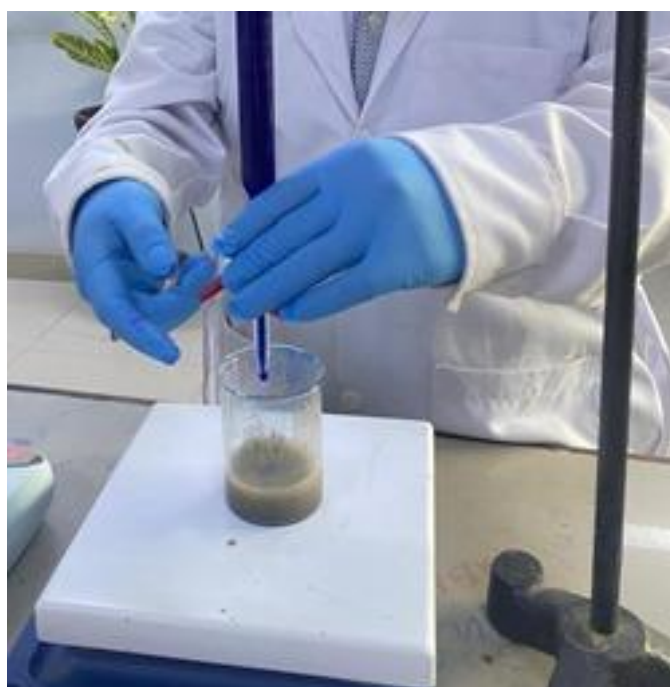


Foto 15

Ruptura de probeta para autorreparación



Foto 16

Probeta en autorreparación

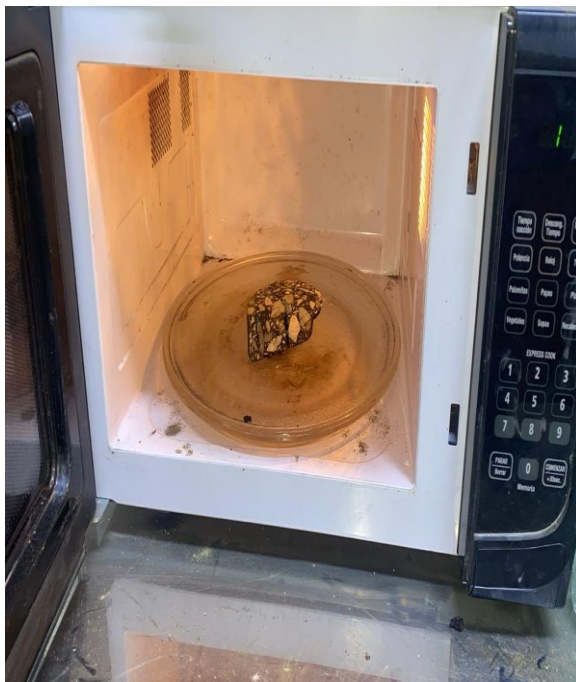


Foto 17

Probeta patrón para ensayo Marshall

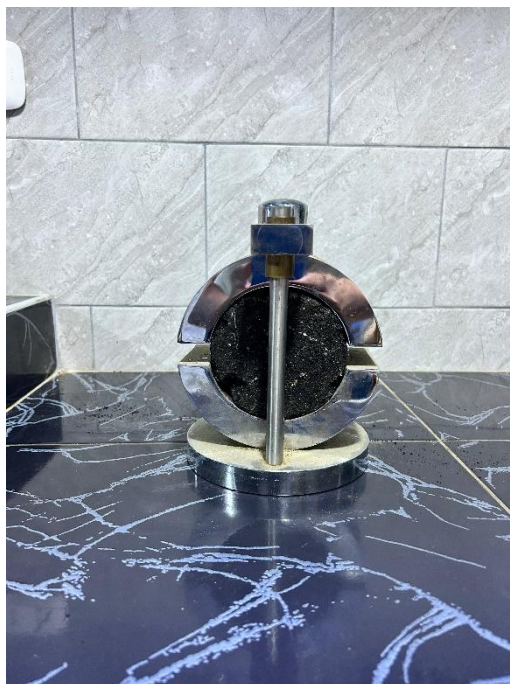


Foto 18

Ensayo Marshall

