UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL

Tesis

Influencia de la adición de cenizas de caña de maíz en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2024

Asesor:

Ph. D Vásquez Ramírez, Abbon Alex

Autor:

Luna Arone, Dina

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025

Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 026

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de **marzo** día **jueves** del **06** siendo las **09:00 de la mañana,** se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral **N° 0221-2025- EPIC-FI-UTEA-SA** de fecha **25** de **febrero** del **2025**, de la Escuela Profesional de Facultad de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente	:	MS.c. Ing. Maldonado Mendívil, Angel
Dictaminante:		Mg. Zegarra Molina, Wilbert Ernesto
Replicante	:	Dr. Soto Palomino, Wilfredo

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Influencia de la adición de cenizas de caña de maíz en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurimac 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Luna Arone, Dina

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Luna Arone, Dina	Aprobado

Siendo **las 11:00am horas** concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: MS.c. Ing. Maldonado Mendívil, Angel (.....)

Dictaminante: Mg. Zegarra Molina, Wilbert Ernesto (.....)

Replicante: Dr. Soto Palomino, Wilfredo (.....)

Abancay 06 de marzo del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los

(*): **Mayoría**: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad**: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.

Influencia de la adición de cenizas de caña de maíz en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%	21%	5%	11%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	5%
3	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

Metadatos

Datos Del Autor		
Apellido y nombres	:	Luna Arone, Dina
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de Documento de identidad	:	73443179
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0006-3373-3309
Datos Del Asesor		
Apellido y nombres	:	Vásquez Ramírez, Abbon Alex
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de Documento de identidad	:	06532658
URL ORCID	:	ohttps://orcid.org/0000-0001-7299-5367
Datos De la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de la investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	1 año.
Fuente de financiamiento		Autofinanciado
Porcentaje de similitud		22 %
URL de OCDE		https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

Agradezco a Dios por haberme otorgado la vida, y por haberme guiado paso a paso a lo largo de mi trayectoria.

A mis progenitores Sonia Arone Sequeiros y Walter Luna Robles, por su compromiso y respaldo incondicional en todo momento. A mi hermano Alexis Luna Arone, abuelos Rosa, Eusebio y familiares, cuyo apoyo ha sido el motor de este avance para alcanzar mis metas más deseadas.

Dina .

Agradecimiento

Agradezco a mis padres Sonia y Walter y mi hermano Alexis, mi inspiración y brindarme su apoyo incondicional.

He hecho una mención particular al Ph. D, Abbon Alex Vásquez Ramírez, por su asistencia y orientación en esta tesis.

Dina.

Resumen

Esta tesis fue desarrollada con el objetivo de optimizar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica combinada, que incorpora ceniza proveniente de caña de maíz, abordando así problemas como la formación de baches y ahuellamientos. Los componentes utilizados en esta investigación fueron: asfalto PEN 60/70, ceniza, arena gruesa y grava extraída de cantera. Se determinó primero el contenido óptimo del asfalto; tras alcanzar dicho porcentaje ideal, se realizaron ensayos para evaluar la estabilidad y fluidez tanto del modelo base como con la adición de ceniza a temperatura constante. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas adicionales incluyendo tracción indirecta y resistencia al desgaste para valorar su desempeño mecánico general. Según la metodología tenemos que el tipo de investigación es correlacional, el nivel de investigación es relacional y el diseño de investigación es experimental. Según los resultados obtenidos al añadir un 1% de ceniza procedente de caña de maíz, se observaron mejoras significativas en las propiedades mecánicas de la mescla asfáltica en caliente (MAC); esto indica que la ceniza tiene características puzolánicas efectivas. Al integrar hasta un 1% adicional en las mezclas asfálticas modificadas, mejoraron notablemente sus comportamientos relacionados con estabilidad-fluidez e incrementaron su capacidad en términos de tracción indirecta hasta un 3.1% comparado con el modelo original. No obstante, cuando se incorporó 1%, de ceniza de caña de maíz incremento respecto a su resistencia al desgaste frente al índice de la MAC patrón.

Palabras claves: ceniza de caña de maíz, comportamiento mecánico, resistencia a la deformación, resistencia a la tracción indirecta y resistencia al desgaste.

Abstract

This thesis was developed with the objective of optimizing the mechanical behavior of a combined asphalt mixture, which incorporates ash from corn cane, thus addressing problems such as the formation of potholes and ruts. The components used in this research were: PEN 60/70 asphalt, ash, coarse sand and gravel extracted from a quarry. The optimal content of the asphalt was first determined; After reaching said ideal percentage, tests were carried out to evaluate the stability and fluidity of both the base model and with the addition of ash at constant temperature.. The methodological approach adopted is relational-correlational. Subsequently, additional tests including indirect tensile and wear resistance were carried out to assess its overall mechanical performance. According to the methodology we have that the type of research is correlational, the level of research is relational and the research design is experimental. According to the results obtained by adding 1% ash from corn cane, significant improvements were observed in the mechanical properties of the hot mix asphalt (MAC); This indicates that the ash has effective pozzolanic characteristics. By integrating up to an additional 1% into the modified asphalt mixtures, their behaviors related to stability-fluidity were significantly improved and their capacity in terms of indirect traction was increased by up to 3.1% compared to the original model. However, when 1% of corn cane ash was incorporated, there was an increase in its wear resistance compared to the standard MAC index.

Key words: corn husk ash, mechanical behavior, deformation resistance, indirect tensile strength, and wear resistance

Índice

Portada ..... **i**

Acta de sustentación ..... **ii**

Reporte de similitud ..... **iii**

Metadatos ..... **iv**

Dedicatorio ..... **v**

Agradecimiento ..... **vi**

Resumen ..... **vii**

Abstract ..... **viii**

Índice ..... **ix**

Índice de tablas ..... **xi**

Índice de figuras ..... **xiii**

Índice de anexos ..... **xiv**

I. Introducción **15**

II. Planteamiento del problema **17**

2.1 Descripción y formulación del problema 17

2.2. Objetivos 18

2.2.1 Objetivo general 18

2.2.2 Objetivos específicos 19

2.3. Justificación e importancia 19

2.4 Hipótesis 20

2.5 Variables 21

III. Marco Teórico **22**

3.1 Antecedentes 22

3.2 Bases Teóricas 27

3.2.1. Cenizas con propiedades puzolánica 27

3.2.2 Asfalto 29

3.2.3. Mezclas asfálticas caliente 29
3.2.4. Pruebas realizadas para establecer las características de la mezcla asfáltica en caliente. 35
3.3 Definición de términos 39
IV. Metodología 42
4.1 Tipo y nivel de investigación 42
4.2 Ámbito temporal y espacial 43
4.3 Población y muestra 43
4.4 Instrumentos 44
4.5 Procedimientos 44
4.6 Análisis de datos 45
4.7 Consideraciones éticas 45
V. Resultados Y Discusión 46
5.1. Resultado del diseño de mezclasoasfálticas para el ensayooMarshall 53
5.1.1. Diseño Marshall con contenido óptimo de asfalto y porcentaje óptimo de ceniza de caña de maíz 60
5.2. Procedimiento del ensayo de resistencia a compresión diametral 66
5.3. Ensayo de cántabro – procedimiento de ensayo 68
5.4. Discusión de resultados 71
VI Conclusiones 86
VII. Recomendaciones 88
VIII. Referencias 89
IX. Anexos 97

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables 21

Tabla 2 Gradaciones para mezclas asfálticas en caliente 34

Tabla 3 Parámetros para el agregado grueso 46

Tabla 4 Gradación del agregado grueso TM 3/4". 47

Tabla 5 Aceptación de la caracterización del agregado grueso 48

Tabla 6 Parámetros para el agregado fino 49

Tabla 7 Gradación del agregado fino 49

Tabla 8 Aceptación de la caracterización del agregado fino. 50

Tabla 9 Dosificación en porcentajes de los agregados según diseño de Huso MAC – 1 51

Tabla 10 Combinación optima de agregados según MAC – 1 52

Tabla 11 Resultado de diseño Marshall de MAC - 1 53

Tabla 12 Especificaciones del Diseño Marshal y resultados eficientes 58

Tabla 13 Datos del diseño Marshall al 1 % de ceniza de caña del maíz. 61

Tabla 14 Marshall basado en su diseño con resultados de ceniza al 2% con la incorporación de ceniza de caña de maíz. 62

Tabla 15 Incorporación del ceniza de caña de maíz al 4.0 % - diseño Marshall basado en sus resultados. 63

Tabla 16 Informe de hallazgos 66

Tabla 17 Resistencia a compresión diametral basado en sus resultados 67

Tabla 18 Prueba de cántabro basado en sus ensayos 69

Tabla 19 Resultados de estabilidad de ceniza de caña de maíz. 76

Tabla 20 Valores estadísticos 76

Tabla 21 Variación de la estabilidad 76

Tabla 22 Diferencias de medias de estabilidad 77

Tabla 23 Datos de flujo 78

Tabla 24 Valores estadísticos 78

Tabla 25 Análisis de varianza del flujo 79

Tabla 26 Diferencias de medias de estabilidad. 79

Tabla 27 Resultados de tracción indirecta. 81

Tabla 28 Valores estadísticos 81

Tabla 29 Análisis de varianza de la TSR 82

Tabla 30 Diferencias de medias de la TSR..... 82

Tabla 31 Datos de perdida por desgaste. 84

Tabla 32 Resultados de perdida por desgaste de ceniza de caña de maíz. 84

Tabla 33 Análisis de varianza de la perdida por desgaste con ceniza de caña de maíz. 85

Tabla 34 Diferencias de medias de la perdida por desgaste. 85

Índice de figuras

Figura 1 Imagen de una briqueta de mezcla asfáltica. 31

Figura 2 Esquema de gravedad específica 32

Figura 3 Compactación de una MAC mediante diagramas 34

Figura 4 Gradación del agregado grueso. 48

Figura 5 Gradación del agregado fino. 50

Figura 6 Gradación de los agregados en combinación. 53

Figura 7 Datos de peso unitario frente al porcentaje de Cemento Asfaltico (%C.A.) 54

Figura 8 Datos de vacíos frente al %C.A. 54

Figura 9 Datos de Volumen de vacíos del Agregado General (V.oM.oA.) frente al %C.A.. 55

Figura 10 Datos de Volumen de Vacíos Rellenos de Asfalto (V.oF.oA) frente al %C.oA. 55

Figura 11 Datos de flujo frente al %C.A. 56

Figura 12 Datos de estabilidad frente al % C.A. 56

Figura 13 Resultados del índice de rigidez frente al % C.A. 57

Figura 14 % de ceniza de caña de maíz con respecto a la estabilidad 64

Figura 15 % que lleva la ceniza de caña de maíz con respecto al flujo según su variación 64

Figura 16 Variación de índice de rigidez frente al % de ceniza de caña de maíz 65

Figura 17 Tracción indirecta - Fluctuación según a su resistencia 67

Figura 18 Variación de la resistencia a la tracción indirecta 68

Figura 19 Prueba de cántabro basado en su perdida por desgaste. 70

Figura 20 Ensayo de cántabro basado en su pérdida por desgaste 70

Índice de anexos

Anexo 01 : Matriz de consistencia……96

Anexo 02 : PEN 60/70 – Acreditación según su calidad……..98

Anexo 03 : Mezcla asfáltica en caliente según sus reportes de diseño……100

Anexo 04 : Agregado grueso según su análisis granulométrico……125

Anexo 05 : Ensayos preliminares – reporte……..132

Anexo 06 : Agregado fino según su análisis granulométrico……160

Anexo 07 : Ensayos preliminares – reporte……..166

Anexo 08 : Ensayos Marshal - reporte……195

Anexo 09 : Ensayos de compresión diametral – reporte……220

Anexo 10 : Ensayos de cántabro. - reportes ……..244

I. Introducción

En Perú, las carreteras presentan un notable deterioro causado por varios factores. Uno de los principales es el crecimiento poblacional, que está vinculado al incremento del tráfico y la carga vehicular. Otro aspecto relevante es la construcción de estas infraestructuras con mezclas asfálticas tradicionales y la falta de investigación para identificar técnicas, materiales y metodologías innovadoras que optimicen las propiedades físico-mecánicas de dichas mezclas. Por lo tanto, los recursos utilizados en la edificación de estos pavimentos deben cumplir con estándares más rigurosos. Diversos países han estado desarrollando e implementando nuevas estrategias para mejorar las características del asfalto utilizado en las capas superficiales, buscando así adecuar su infraestructura vial a diversas necesidades. En este contexto, se están explorando nuevos métodos y materiales destinados a potenciar el rendimiento de mezclas asfálticas calientes; esta tendencia ha cobrado relevancia dentro del ámbito investigativo actual. La presente tesis tiene como objetivo evaluar un nuevo material: la incorporación de ceniza proveniente de caña de maíz en mezclas asfálticas calientes. Esto busca incrementar propiedades mecánicas esenciales como resistencia al flujo y estabilidad, tracción indirecta y durabilidad ante desgaste. Este tipo específico podría aplicarse no solo en diferentes clases de carreteras sino también en vías urbanas mejorando así su fortaleza general. Cabe destacar que los resultados presentados provienen exclusivamente de ensayos realizados en laboratorio sobre mezclas asfálticas específicas.

Capítulo I: Introducción, donde se plantea el contexto, los problemas de investigación, los objetivos y la justificación del estudio.

Capítulo II: Planteamiento del problema, refleja la indispensabilidad de incorporar nuevos materiales en la construcción de carreteras tales como la ceniza de caña de maíz con el fin de mejorar las características mecánicas de las MAC

Capítulo III: Marco teórico**,** donde fundamenta la teoría y científicamente las variables que se estudiaran.

Capítulo IV: Metodología, desarrolla el marco metodológico del presente trabajo, explicando el método, tipo, nivel, diseño e instrumentos de investigación.

Capítulo V: Resultado y discusiones**.** Describe los hallazgos y un resultado analítico de las variables que se estudiaran refiriéndose a los procedimientos de laboratorio.

Capítulo VI. Conclusiones, teniendo como conclusión principal que se basan según los resultados obtenidos en laboratorio, se analiza la incorporación de cenizas de caña de maíz de manera que este si mejora en las características mecánicas de las MAC con porcentajes de adición de ceniza de caña de maíz menores al 1%.

II. Planteamiento del problema

2.1 Descripción y formulación del problema

+ Descripción

Según el INEI (2022), la infraestructura vial en Perú abarca un total de 79,686 kilómetros de carreteras que se clasifican en tres tipos de redes: nacional (24%), departamental (19%) y vecinal (65%). El sistema de transporte del país no satisface los requerimientos de accesibilidad, confiabilidad y seguridad exigidos por la población. Este déficit responde a varios factores, siendo uno importante la insuficiencia infraestructural. En años recientes, se ha observado un notable deterioro en la red vial junto con altos costos estimados para su rehabilitación. Esta situación es consecuencia del uso predominante de mezclas asfálticas convencionales durante la construcción de pavimentos y también se debe a una falta de investigación enfocada en desarrollar nuevas técnicas, materiales y metodologías que mejoren las propiedades físico-mecánicas de estas mezclas.

La razón de esta investigación es explorar el uso de un residuo agrícola (cenizas de maíz) como aditivo novedoso con el fin de mejorar las propiedades mecánicas y reducir costos. Se realizaron mezclas asfálticas incorporando diferentes proporciones de cenizas provenientes de la caña de maíz. Se llevaron a cabo ensayos mecánicos, como la estabilidad Marshall, TSR y desgaste por perdida, con el propósito de generar conocimientos técnicos aplicables a proyectos de infraestructura en Apurímac y otras regiones con características similares.

+ Formulación del problema

En la ciudad de Abancay, específicamente en los tramos que van desde el puente Guadalupe hasta el kilómetro 1 de la carretera hacia Andahuaylas – Lima, se puede apreciar que la situación estructural de las carpetas asfálticas en las calles, avenidas , accesos de vía donde esta presenta diversas patologías, entre las cuales destacan agrietamientos con texturas llamadas piel de cocodrilo, desprendimientos que se da entre

el asfalto y el agregado, ahuellamientos , roderas , deformaciones que se suscitan permanentemente todas ellas sumadas a intensas lluvias provocan un deterioro estructural de las MAC como primera capa del pavimento flexible, impactando directamente en la vida útil del pavimento y en la fluidez del tránsito vehicular. El deficiente mantenimiento de las carreteras representa un riesgo significativo para los conductores, ya que incrementa la probabilidad de accidentes. Además, genera serios inconvenientes para los vehículos, los cuales son directamente afectados por las irregularidades en el pavimento, causando daños considerables y costosos.

- **Problema general**

¿De qué manera influye la adición de ceniza de caña de maíz en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2024?

- **Problemas específicos**

a. ¿Cómo influye la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall?

b. ¿Cómo influye la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a compresión diametral?

c. ¿Cómo influye la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro?

2.2. Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Evaluar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay-Apurímac 2024.

2.2.2 Objetivos específicos

a. Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall.

b. Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a compresión diametral.

c. Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro.

2.3. Justificación e importancia

Este estudio encuentra su justificación teórica en el comportamiento de las MAC al incorporar ceniza como componente, un material no explorado previamente, cuyo uso consiguió incrementar sus propiedades mecánicas de las MAC. Socialmente, su implementación contribuiría a reducir la disgregación, los baches y el ahuellamiento en las vías, lo que disminuiría los precios que se realizan en la operación y mantenimiento para los usuarios, especialmente en la carretera PE-3S.

Económicamente, el aprovechamiento de la ceniza, un residuo que comúnmente se usa como abono o se quema, representa una opción más barata que otros aditivos químicos costosos. Asimismo, se resalta la relevancia de emplear materiales locales y alternativos, tales como la ceniza proveniente del maíz, debido a sus beneficios, entre los que se incluyen una menor necesidad de agua, ahorro energético y una mayor resistencia frente a entornos agresivos.

El análisis económico realizado compara el costo del asfalto tradicional (S/.103.31 por m^3) frente al asfalto modificado mediante la incorporación de ceniza de maíz (S/.115.2 por m^3). Aunque el asfalto modificado presenta un costo inicial superior de **S/.11.89 por m^3 (12% más caro)**. La investigación busca fomentar la elaboración de mezclas asfálticas más

persistentes y adaptadas a condiciones de tráfico pesado y cambios climáticos, lo que resultará en pavimentos más duraderos y económicos.

2.4 Hipótesis

- **Hipótesis general**

La adición de ceniza de caña de maíz aumenta significativamente el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay-Apurímac 2024.

- **Hipótesis específicas**

a. La adición de cenizas de caña de maíz aumenta significativamente la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall.

b. La adición de cenizas de caña de maíz mejora la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a compresión diametral.

c. La adición de cenizas de caña de maíz mejora la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro.

2.5 Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	INDICE	ESCALA DE MEDICION
Adición de ceniza de caña de maíz.	(Rivera, 2022).Las cenizas de caña de azúcar y maíz poseen propiedades puzolánicas (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3), lo que indica que este material puede disminuir la temperatura de hidratación del asfalto, prevenir la reacción entre ácidos y agregados, y aumentar la resistencia frente a cloruros y sulfatos. En resumen, las puzolanas actúan como aditivos que mejoran la durabilidad del asfalto ante diversos agentes perjudiciales.	Las cenizas de maíz se mezclarán con puzolanas para poder generar un efecto cementante	(Funcionabilidad de los agregados en cuanto a su peso)	Porcentaje (%) (Peso en función de los agregados)	0% 1% 2% 4%	Ordinal

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES O NIVEL	INDICADORES	INDICES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	HERRAMIENTAS
Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas en caliente.	Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente se basa en el análisis de sus propiedades. Las mezclas asfálticas en caliente de calidad funcionan adecuadamente porque han sido diseñadas, producidas y aplicadas de forma que se garantiza la obtención de las propiedades requeridas. Diversas características afectan la calidad del pavimento producido con mezclas asfálticas en caliente. Entre estas se incluyen la granulometría de los materiales. La fortaleza, la duración en el tiempo, la capacidad de resistir al agua y la facilidad para trabajar con el material, entre otras características.(Instituto del asfalto , 1992)	Para conocer cómo se comportan las mezclas asfálticas en términos de resistencia y rendimiento, se llevarán a cabo diferentes pruebas. Estas incluyen evaluaciones de estabilidad, flujo, rigidez, resistencia a la tracción indirecta y desgaste, entre otras, todas aplicadas a las MAC	Resistencia a la deformación	Estabilidad	Deformación	Kg/cm	Formatos	MTC E 504 manual de ensayos de materiales.
				Flujo		mm	Formatos	
				Índice de rigidez		Kg/cm	Formatos	
			Resistencia a la tracción indirecta	Resistencia a la tracción indirecta	Rotura por esfuerzo a la tensión	MPa	Formatos	NLT-346/90 a resistencia compresión diametral (ensayo brasileño)
			Resistencia al desgaste.	% de pérdida de masa asfáltica por desgaste	% de desgaste	%	Formatos	MTC E 515 manual de ensayos de materiales

Nota. Fuente: Elaboración diseño propio

III. Marco Teórico

3.1 Antecedentes

Clavijo, (2019), en su investigación tuvo como finalidad analizar la respuesta de las propiedades físico-mecánicas mediante diferentes pruebas, incluyendo elementos derivados del cuero provenientes de calzado militar. Se realizó el método experimental que requirió la elaboración de 100 briquetas, cada una pesando un promedio de 1.2 kg. Los ensayos revelaron que la proporción ideal de asfalto eran del 5.5%, y que las muestras se ejecutaron con la agregación de cementos asfálticos en dosificaciones de 4.5%, 5%, 5.5% y 6%. Se llegó a la conclusión que el flujo incrementa acorde se incrementa mayor cantidad de caucho, gracias a sus características elásticas del polímero; específicamente, se observó aumento del flujo de 8.6% al añadir 1% , 2% , 4% y 8% de material modificado. Las pruebas modificadas y las convencionales al 1% y 2% mostraron resultados atípicos en comparación con los parámetros normales, lo cual se atribuye a que los porcentajes de material añadido son tan bajos que no alteran significativamente el resultado. Cuando es constante la estabilidad de la mezcla, es posible considerar que tiene mayores deformaciones bajo cargas según su resistencia; si bien, la estabilidad es variable, podría ser menor resistente a cargas repetidas, lo que podría ocasionar deformaciones.

Rondon, (2021), llevó a cabo estudios con el objetivo principal de incrementar sus características químicas, reológicas y mecánicas de mezclas asfálticas tradicionales, buscando alterar aspectos como la rigidez y la resistencia mecánica mediante la incorporación de desechos de cloruro de polivinilo por medio acuoso. Este estudio se evaluó durante un periodo de 1 año y 9 meses para determinar el impacto del entorno en Colombia respecto a sus características mecánicas de la mezcla alterada. La metodología utilizada fue deductiva, descriptiva, experimental y de relación causal directa. Los resultados mostraron que la mezcla asfáltica modificada posee una resistencia mecánica superior en comparación con la tradicional. A medida que transcurrió el tiempo en el ambiente de Colombia, Se evidenció un incremento en los indicadores de rigidez debido a la degradación que endurece el ligante

asfáltico; sin embargo, en los ligantes asfalticos modificados con PVC, se notó una reducción en rigidez durante 1 año y 3 meses debido a micro fisuras de origen térmico.

Castellano, (2020), buscó definir cómo se interacciona el pavimento asfáltico con fibras de coco en comparación con el pavimento asfáltico convencional. En su investigación, se alteró la mezcla SMA utilizando fibra de coco, logrando respuestas óptimas en términos de estabilidad y deformación mediante pruebas elementales. Esta fibra natural contribuye a reducir el escurrimiento en el asfalto. Se sugiere continuar mejorando el comportamiento mediante pruebas específicas y un incremento en la dispersión de fibra provenientes de fuentes naturales y asfalto para extender su periodo de vida entre un 30% y un 40% respecto al procedimiento Marshall tradicional. Durante el análisis se evidenció que la adición de fibras de coco afecta consecuentemente la deformación; por ejemplo, con un contenido asfáltico del 5%, la modificación del pavimento convencional fue de 10.7, mientras que el pavimento modificado que se utilizó fibras alcanzó un resultado de 12.2. Al aumentar el contenido asfáltico al 7%, el pavimento convencional mostró una deformación de 12.8, en cambio, el pavimento que tuvo fibras redujo su eficiencia de deformación a 11.4, lo que indica una disminución en su capacidad estructural.

De la Cruz, (2021), llevó a cabo una tesis con el propósito de analizar las características de la capa superior del pavimento, empleando los ensayos de ahuellamiento y la Prueba Marshall en el proceso de restauración de la vía Imperial Pampas. El problema central fue establecer cómo esta evaluación puede certificar si la carpeta asfáltica empleada en dicha restauración responde a los parámetros de calidad establecidos por el método Marshall. La hipótesis establecida sugiere que el ensayo de ahuellamiento mediante la rueda de Hamburgo es efectivo para confirmar que la carpeta asfáltica responde a los parámetros de calidad. Los resultados indicaron que el ensayo Marshall evidenció un buen desempeño en situaciones adversas, superando el nivel de aceptación establecida.

Adauto, (2019), la tesis tuvo como objetivo determinar el comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con la adición de ceniza de caña de maíz para

aumentar la resistencia estructural del pavimento. Según la metodología es diseño – experimental, muestreo - no probabilístico Su comportamiento mecánico se consideró parámetros como estabilidad, flujo y resistencia al daño por humedad, se utilizó el método Marshall, donde se pudo observar mejoras en su comportamiento con respecto al diseño convencional, se pudo observar que la ceniza exhibe características puzolánicas que refuerzan el comportamiento mecánico de las MAC. Se estableció una dosificación óptima del 0.5% para lograr una concentración ideal del componente asfáltico del 6%. La adición de ceniza hasta un 1% incrementó tanto el flujo como también la estabilidad que tiene relación con la mezcla patrón o base, cumpliendo así con los estándares establecidos por AASHTO.

Peña, (2019), tuvo como finalidad establecer porcentajes de cenizas volantes optimas con el fin de optimizar el comportamiento mecánico de las MAC. Se empleó un 0.8% de cenizas volantes junto con un 0.3% de cal hidratada para analizar la durabilidad a través del ensayo de ahuellamiento con el equipo de la rueda de Hamburgo. Los hallazgos indicaron que la combinación que contenía cenizas alcanzó un hondo de ahuellamiento de 12.5 mm tras 19,600 repeticiones, en comparación con 9.24 mm para la mezcla sin cenizas después de 20,000 pasadas, lo que se traduce en una reducción del 73.92% en durabilidad. Además, se notó una mejora del 86.6% en la resistencia al daño por humedad al añadir cenizas volantes, lo que evidencia sus propiedades puzolánicas y su capacidad mecánica.

Cañari, (2019), realizó una investigación para analizar lo que es el impacto de la adición de fibras de polipropileno en el rendimiento mecánico de mezclas asfálticas. La metodología utilizada fue deductiva, con un enfoque aplicado y cuantitativo, en respuesta a la falta de tecnologías que puedan regenerar el comportamiento mecánico prolongando el tiempo de duración de las carpetas asfálticas. Este estudio se caracteriza como descriptivo, correlacional y explicativo, con un diseño experimental, prospectivo y longitudinal. Los hallazgos indicaron que la

inclusión de fibras de polipropileno en proporciones del 0.2%, 0.4% y 0.6% del total del peso de los agregados tiene un impacto significativo en el comportamiento de las MAC. En particular, se registró un incremento del 22% en la resistencia a la deformación, un aumento del 41.3% en la resistencia a la tracción, una disminución del 5.3% en la resistencia al desgaste y un crecimiento del 56.1% en la resistencia al ahuellamiento irreversible. En síntesis, las MAC modificadas con 0.2 % de fibras de polipropileno nos dan un mejor comportamiento mecánico en cuanto a su TSR y las deformaciones que se suscitan permanentemente; sin embargo, presenta un impacto negativo en la resistencia al desgaste.

Azula, (2022), la tesis desarrollo una evaluación estructurada sobre las diversas variedades de fibras empleadas en mezclas asfálticas para incrementar sus características mecánicas, así como para determinar las longitudes y porcentajes ideales. Se analizaron 81 publicaciones registradas en los bancos de datos Ebseo y Scopus entre 2014 y 2021. Entre los hallazgos, Chen y colaboradores estudiaron la utilización de fibras naturales provenientes de tallos de maíz, aplicando dosificaciones del 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10% respecto al peso del cemento asfáltico con una incorporación del 2% de fibras. Por su parte, Li y su equipo de trabajo realizaron un estudio del uso de fibras de caña en una dosificación al 0.2% respecto al total del peso de la mezcla, lo que resultó en incrementos significativos en la estabilidad a mayores temperaturas y resistencia al agrietamiento. Se dedujo que las fibras no solo mejoran las características de los pavimentos flexibles, sino que también son económicamente viables, ya que, aunque incrementan el costo inicial, contribuyen a aumentar el tiempo de vida útil.

Bravo, (2021), la tesis tuvo por objetivo la creación de las MAC incorporada con ceniza de bagazo de azúcar, para optimizar su rendimiento mecánico. La investigación se realizó a través de ensayos en laboratorio, utilizando un total de 54 muestras de la mezcla asfáltica, organizadas en 27 grupos. Se implementó un enfoque deductivo y cuantitativo, caracterizado por ser correlacional y explicativo, además de seguir un diseño experimental. Los resultados mostraron una granulometría irregular con un contenido del 7% de asfalto, 6% de ceniza de bagazo y 0.3% de fibra. Se observó que

esta composición mejoro la estabilidad y el flujo, una baja adherencia con mayor tendencia a deformaciones permanentes y un módulo resiliente más bajo. Se concluyó que la fibra extraída del bagazo de caña puede utilizarse como sustituto de la fibra celulosa con fines de estabilización de la mezcla.

Boza, (2019), la tesis tuvo por objetivo el desarrollo de una MAC incorporada con fibra y ceniza obtenida del bagazo de maíz, con el objetivo de analizar cómo la granulometría de los agregados afecta las mezclas asfálticas. Se realizó una comparativa del comportamiento volumétrico, físico y mecánico mediante el ensayo Marshall, evaluando granulometrías con el huso MAC-02 como la alternativa Superpave. En el análisis posterior, se elaboraron 15 probetas de asfalto con el huso MAC - 02 y otras 15 con el método Superpave. Esto permitió establecer la dosificación óptima de asfalto y las dimensiones adecuadas para la mezcla asfáltica. Por ellos sus resultados indicaron que el uso del huso Superpave presento mejoras significativas en su estabilidad en relación a la estabilidad/flujo en comparativa con el huso MAC-02. A pesar de ello, no se presentaron cambios significativos en el flujo ni en el porcentaje de vacíos al comparar las mezclas obtenidas con ambos husos.

Zaga, (2024), el objetivo de la tesis fue determinar el impacto que tiene la incorporación de TiO_2 en proporciones del 3%, 5% y 7% sobre las características mecánicas y fotocatalíticas de una mezcla asfáltica, utilizando agregados recolectados en Abancay. La muestra abarcó tanto mezclas asfálticas convencionales como aquellas modificadas con TiO_2, resultando en un total de 72 especímenes analizados. Este trabajo se caracteriza por su enfoque correlacional y explicativo, aplicando un método deductivo con un diseño experimental. Se concluye que el contenido óptimo de asfalto es del 5.95%. Los hallazgos indicaron que la estabilidad observada para los porcentajes de 0%, 3%, 5% y 7% fue de (1379.20, 1423.9, 1281.20, 1800.81) kg; el flujo correspondió a (3.95, 5.4, 7.4, 7.43) mm; la resistencia a la tracción indirecta presentó valores de (14.50, 15.83, 8.33, 19.57) kg/cm²; mientras que la resistencia al desgaste según el ensayo cántabro mostró resultados de (-

6.48, -7.68, -7.83, -17.32) %. El grado de autolimpieza evaluado mediante el ensayo con rodamina R26 fue (12.645, 55.532, 56.517, 56. 604%).En conclusión, se evidenció que las adiciones del 3% y el 5% de TiO_2 contribuyen a mejorar el comportamiento de las MAC; sin embargo, al alcanzar una concentración del 7%, se detectó una reducción en dichas características mecánicas. Las características fotocatalíticas, se puede observar un incremento conforme se aumentaba el porcentaje de dióxido de titanio hasta llegar al umbral del 7%.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1. Cenizas con propiedades puzolánica

La puzolana es un material compuesto principalmente por sílice que, por sí solo, no tiene propiedades hidráulicas. Sin embargo, cuando se encuentra finamente dividida, contiene componentes como sílice y alúmina donde el CaOH al encontrarse a temperatura del ambiente produce componentes con comportamientos hidráulicos (Calleja, J. 1968).

Cenizas de bagazo de caña de maíz

Es el residuo sólido que se produce del bagazo de caña de maíz después de la combustión, en los procesos industriales o energéticos. Estas cenizas están compuestas de sílice, óxidos de calcio, aluminio, hierro y otros minerales, ya que contienen propiedades puzolánicas y se puede utilizar en la industria de la construcción, especialmente en mezclas de concreto y asfalto (Orellana, 2019, pág. 83).

“La caña de maíz es un recurso muy versátil que puede transformarse en alcohol antiséptico, papel artesanal, aglomerados para la construcción. Además, representa una opción económica interesante para las regiones productoras de maíz en el país, brindando nuevas oportunidades de aprovechamiento y desarrollo.” (Adauto, 2019, pág. 69).

El tallo del maíz es una caña sólida y erguida cuya altura puede variar significativamente, desde 0,80 hasta 2,50 metros, e incluso alcanzar hasta 4 metros en climas

tropicales. Además, el número de nudos en el tallo fluctúa entre 8 y 14, dependiendo de las condiciones de crecimiento (Adauto, 2019, pág. 69).

Los entrenudos del tallo son bastante cortos, mientras que los nudos son emergentes de raíces que crecen en forma aérea. Donde la forma diametral del tallo va disminuyendo de forma progresiva desde la base hasta la parte superior, conservando formas circulares hasta poder alcanzar la panícula masculina encontrándose en la parte superior de la planta. (Adauto, 2019, pág. 69).

El bagazo de caña de maíz la cual es convertido en ceniza posee propiedades puzolánicas. Esto implica que tiene las propiedades de poder disminuir el calor generado en la etapa donde se hidrata el concreto, haciendo que se produzcan reacciones entre álcalis y sulfatos. En síntesis, la puzolana funciona como un aditivo que incrementa notablemente donde las propiedades de resistencia del concreto en cuanto a los diferentes agentes externos se comportan en forma agresiva. Por lo tanto, es fundamental investigar el uso de este residuo agrícola en el sector de construcción civil (Soto, 2023).

Ceniza de caña de maíz con respecto a sus características químicas y físicas

El proceso puzolánico se refiere al atributo de una puzolana para poderse desencadenar con el CaOH, indicando tanto la cantidad máxima de este compuesto que puede combinar con la rapidez en la que se lleva a cabo dicha reacción.

La actividad puzolánica está determinada por varios factores, como la composición mineralógica de la puzolana, es decir, las características y proporción de sus componentes activos. También influyen la proporción entre la cal y la puzolana en la mezcla, el grado de fineza o el área en particular de la puzolana y su temperatura en que realiza su reacción. Los resultados de esta interacción suelen ser similares a los que se forman durante la absorción del cemento Portland, como son: silicatos, cálcicos, hidratados, aluminatos, cálcicos, hidratados y sílico-aluminatos cálcicos hidratados. (Yepez, 2021, pág. 56)

3.2.2 Asfalto

Los asfaltos son materiales actuantes como ligantes o adhesivos que varían desde el marrón oscuro hasta el negro, y está constituido en su mayoría por betunes. Este puede ser de origen natural o refinados del petróleo. Obtenidos y fraccionados del crudo del petróleo (Instituto del asfalto , 1992) .

3.2.3. Mezclas asfálticas caliente

Las mezclas asfálticas constituyen combinaciones exactas de agregados pétreos que son unidas mediante un ligante asfáltico, lo que asegura que cada partícula de agregado esté recubierta de forma uniforme por una capa de asfalto (Granados, 2017, pág. 15). . Este proceso genera un material homogéneo con alta resistencia. Se les llama mezclas asfálticas en caliente porque tanto el ligante como los agregados se calientan previamente a su mezcla. Generalmente, estas mezclas están compuestas por entre el 93% y el 96% de los agregados pétreos y entre el 4% y el 9% del bitumen asfaltico, dependiendo del peso total de la mezcla(Yepez, 2021, pág. 15) .

Propiedades de la mezcla asfáltica en caliente

Las MAC se caracterizan por aspectos como su densidad, (VA) vacíos de aire, agregado mineral según sus espacios (VMA) y la proporción de asfalto presente. Estos elementos son analizados para entender su impacto en el rendimiento y las propiedades de la mezcla. (Yepez, 2021, pág. 17) .

A. Densidad de la mezcla.

Se conceptualiza como el vínculo entre el peso - volumen específico. Este aspecto es crucial en el diseño de la mezcla, ya que sirve principalmente para supervisar la compactación directamente en el sitio de trabajo. Normalmente, las especificaciones técnicas del proyecto tengan un pavimento flexible con una densidad compacta donde se logre un porcentaje determinado del valor obtenido a través de ensayos en laboratorio. (Boza, 2019, pág. 48)

B. Vacíos de aire.

Esto se da cuando la mezcla asfáltica compactada tiene espacios llenos de aire. Un porcentaje bajo de estos vacíos resultará en una menor permeabilidad de la mezcla. En los laboratorios, durante el diseño de las MAC, se busca que los vacíos se mantengan entre un 3% y un máximo del 5%. No obstante, en obra no deben exceder el 8%, lo cual garantiza que la mezcla pueda ser correctamente compactada al soportar el peso del tráfico vehicular.(Boza, 2019, pág. 48)

C. Vacíos del agregado mineral (VMA).

El volumen de vacíos del agregado mineral (VMA) incluye el espacio ocupado por el aire donde hay un recubrimiento de las capas de asfalto, donde él % del VMA implica películas asfálticas gruesas , mejorara la resistencia de una MAC . Por el contrario, si esta película es demasiado delgada, la mezcla quedará más vulnerable a la oxidación y al desgaste. (Boza, 2019, pág. 48)

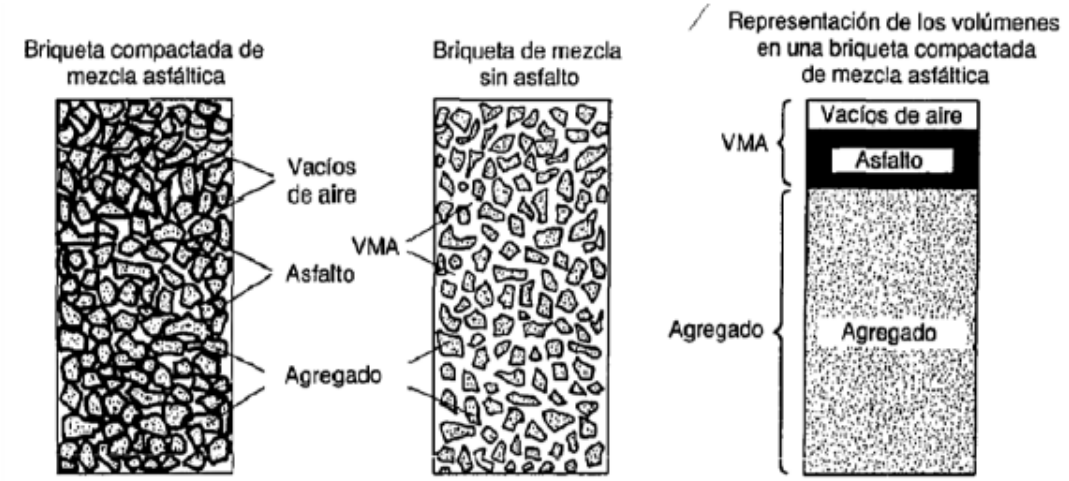
Con el objetivo de ahorrar en las cantidades de asfalto se debe incrementar la granulometría de los materiales reduciendo el VMA muy por debajo de los parámetros especificados, puede resultar contraproducente. Esto genera películas de asfalto más delgadas . (Boza, 2019, pág. 49)

D. Contenido de asfalto.

Se denota como la cantidad de este material añadido. Su medición se realiza con exactitud en un entorno de laboratorio. Una parte del asfalto es absorbida por los agregados, mientras que el resto forma una capa que recubre sus partículas.(Boza, 2019, pág. 49)

Figura 1

Imagen de una briqueta de mezcla asfáltica.



Nota: La figura muestra el grado de compactación de la mezcla asfáltica con y sin asfalto. (Adauto, 2019)

El contenido de asfalto está determinado fundamentalmente por las características del agregado, incluyendo su tamaño de partículas y su capacidad para absorber agua, donde las partículas del agregado según su tamaño en base a una cantidad adecuada de asfalto , cuando aumenta el número de partículas finas de la mezcla, aumenta también la superficie total que debe ser cubierta, lo cual requiere más asfalto para asegurar un recubrimiento uniforme de todas las partículas presentes.(Instituto del asfalto , 1992)

Mezcla asfáltica según sus características relacionadas con el volumen

La volumetría de las MAC según sus parámetros son aspectos claves a considerar, ya que influyen significativamente en su desempeño y son esenciales durante el proceso de diseño.

Volumetría de las MAC según sus proporciones ofrecen datos importantes sobre su posible desempeño. Por ello, es fundamental entender los métodos de cálculo para determinar cada una de ellas. A continuación, se describen en detalle. (Instituto del asfalto , 1992)

Agregado basado en sus generalidades

Tiene la capacidad de absorber líquidos, como agua o asfalto, en diversas cantidades dependiendo de cada partícula. Para medir su gravedad específica, se utilizan tres métodos principales.

A. Bulk o gravedad neta especifica (Gsb).

Es la conexión entre el peso de un material que permite el paso de fluidos, abarcando tanto los espacios por donde fluye como aquellos que no lo hacen abarcando la volumetría total de los agregados. Este último incluye los espacios porosos y se mide a una temperatura determinada. (Instituto del asfalto , 1992)

B. Gravedad específica aparente (Gsa).

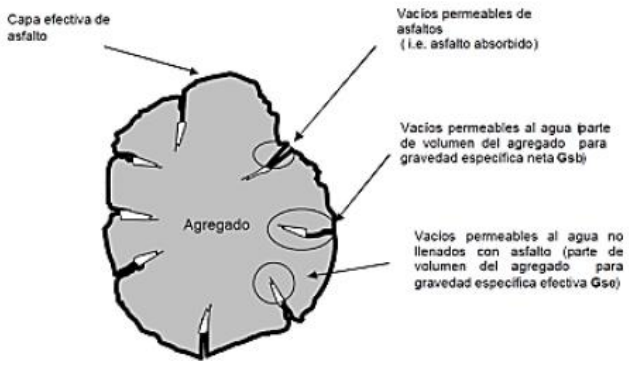
Material no permeable relacionado con el peso evaluando el agregado total , el volumen y el aire , incluyendo los espacios que son impermeables a los líquidos.

C. Gravedad efectiva específica (Gse).

Es un material filtrante relacionado con el peso del material donde se incluye los espacios que pueden ser ocupados por el total de agregados, la volumetría y el asfalto. Tomando en cuenta los vacíos que han absorbido asfalto como aquellos que no lo han hecho. Para facilitar su comprensión, se presenta a continuación una imagen ilustrativa.

Figura 2

Esquema de gravedad específica



Nota. En la figura se muestra la capa efectiva del asfalto.

D. Agregado mineral según sus vacíos (Vma).

Son espacios retenidos en mezclas compactadas donde los espacios vacíos abarcan espacios de aire, la cantidad efectiva del bitumen asfaltico se presenta con porcentajes del total del volumen del espécimen. (Instituto del asfalto , 1992)

E. Asfalto efectivo según su contenido (Pbe).

Es cuando el asfalto según su cantidad permanece disponible en la mezcla, calculada como la diferencia entre el asfalto total añadido y la cantidad que ha sido absorbida mediante los fragmentos del material.

F. Vacíos de aire (Va).

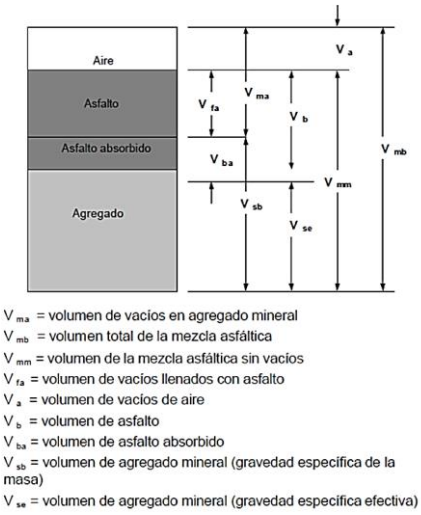
Es la volumetría existente que se da entre los fragmentos de los materiales pétreos recubiertos con asfalto en una MAC compactada. Este volumen es representado con porcentajes de la mezcla total según su volumen.

G. Asfalto con vacíos llenos (Vfa).

Es cuando las partículas de los materiales tienen porciones de vacíos ocupados por el asfalto efectivo absorbido se denomina vacío de mezcla. Este valor se determina utilizando la fórmula ((vma - va) / vam) y se muestra en forma de %.

Figura 3

Compactación de una MAC mediante diagramas



Nota. Fuente: (Boza, 2019, pág. 52) En la figura se muestra la compactación del asfalto y agradados.

Granulometría MAC

Según EG, (2013), es cuando los materiales pétreos se encentran dentro de los husos granulométricos presentadosen la Tabla 1. Como opción, se pueden considerar también las gradaciones establecidas por la norma ASTM D3515 o aquellas proporcionadas por el Instituto del Asfalto. Este último clasifica dichas gradaciones como "gradaciones densas".

Tabla 2

Gradaciones para mezclas asfálticas en caliente

	Porcentaje que pasa		
Tamiz	Mac - 01	MAC - 02	Mac – 03

25,0 mm(1”)	100		
19,0 mm(3/4”)	89 - 100	100	
12,5 mm (1/2”)	67 - 85	89 - 100	
9,5 mm (3/8)”	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N°4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2.00 mm (N°10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 um (N°40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 um (N°80)	8 – 17	8 - 17	9 – 19
75 um (N°200)	4 - 8	4 -8	5 – 10

Nota: El grafico muestra los rangos de tamaño de partícula, se utilizan gráficos semilogarítmicos para establecer las granulometrías aceptables. En el eje vertical (ordenadas), se muestran los porcentajes del material que atraviesa diferentes mallas, conforme al tamaño nominal del agregado; mientras que el eje horizontal muestra las abscisas donde se representan las mallas en milímetros utilizando escalas logarítmicas .Para seleccionar una curva granulométrica correcta este depende de diversos factores como el TMN de los materiales, el límite superior e inferior y los límites de la línea superior e inferior , donde los parámetros de línea deben situarse según su curva granulométrica. Según (Boza, 2019, pág. 41)

3.2.4. Pruebas realizadas para establecer las características de la mezcla asfáltica en caliente.

- **Mezcla asfáltica patrón para el método del ensayo Marshall**

El diseño Marshall según el (MTCE 504, 2016), nos muestra el procedimiento de las MAC, donde evalúa sus parámetros técnicos. Este proceso se da preparando y compactando testigos bituminosos para pavimentación teniendo dimensiones estándares de 101 mm (Ø) y 62 mm h, empleando el método Marshall.

Diseñar las MAC repercute seleccionar materiales pétreos con granulometrías especificadas con optimo contenido de asfalto. Es necesario replicar estas condiciones en el laboratorio para elaborar la mezcla, asegurando que las propiedades se preserven al aplicarla en el sitio final. La cantidad óptima para que luego se combinen los agregados son establecidos según las características elegidas durante este procedimiento. (MTCE 504, 2016, pág. 583)

Proceso de la resistencia a la deformación de las MAC para el método Marshall

Las MAC según su resistencia a la deformación se evalúan con la prueba Marshall , conforme al procedimiento descrito en la sección (MTCE 504, 2016). Este método abarca tanto la preparación, procesos de compactación de probetas de las MAC destinadas a la imprimación de colocar carpetas asfálticas y analizando diversos parámetros relacionados con su comportamiento. En esta fase de diseño, los aspectos considerados según el método Marshall incluyen estabilidad y fluidez, entre otros. Los pasos a seguir son:

Disposición de agregados: Estos materiales deben secarse en hornos a temperaturas entre 106°C y 115 ° C. Una vez completado el proceso de secado, se realiza un tamizado en seco para separarlos según las fracciones requeridas.

Disposición de mezclas: Los procedimientos de compactación y mezclado se estipula en los ítems 6.1.3 del (MTCE 504, 2016)

Especímenes compactados: El martillo Marshall se utiliza para la compactación dentro de los moldes donde dichos moldes tienen base circular de forma plana hechos con materiales de acero con medidas de 97.4 mm (3 7/8”). Según su diámetro pesando de 10 a 11 lb. Este dispositivo fue elaborado con tal que el peso caiga desde una altura especificada de 454.2 mm (18”). Las probetas deben ser sometidas a un total de 75 impactos de lado a lado durante todo el proceso

Ensayos de flujo estabilidad: El ensayo Marshall en diseños asfalticos se basa en dos propiedades fundamentales a evaluar son la estabilidad, que determina la resistencia máxima a deformaciones bajo carga constante aplicada a razón de 50mm/min; y el flujo, que cuantifica cómo varía la deformación del asfalto mediante pruebas relacionadas con su estabilidad. (MTCE 504, 2016, pág. 584)

Precauciones

Colocar adecuadamente las briquetas sobre el cabezal Marshall, de modo que estas queden bien acopladas a la mordaza y de modo que la carga se distribuya en el cuerpo de las briquetas

Cálculos

Se calcula la resistencia de la estabilidad, de forma directa, la cual es el peso máximo que aguanta a la probeta en el transcurso de ensayo, hasta el punto de rotura o falla de las briquetas.

Donde:

R: Estabilidad(kg)

Para el cálculo de la deformabilidad, se determina el flujo o deformación de las briquetas al momento de ejecutar el ensayo de estabilidad, desde el momento de la aplicación de la carga hasta el punto de falla de las briquetas.

E= estabilidad (mm, o plg)

Cálculos para la Estabilidad- Flujo

Ecuación para el cálculo estabilidad-Flujo

E-F = $\left(\frac{\boldsymbol{ESTABILIDAD\ CORREGIDA}}{\boldsymbol{FLUJO}}\right) * \mathbf{10}$

- **Compresión diametral basado en el ensayo de resistencia**

Este ensayo evalúa deformaciones producidas cuando se aplican cargas de compresión en forma diametral con probetas cilíndricas de las MAC. Este método caracteriza los parámetros que definen su comportamiento y mejoran la cantidad de asfalto, lo cual es importante para evaluar el esfuerzo a la cortante ,la cohesión de las MAC , donde los procedimientos son diseñados con el fin de garantizar un mejor control de calidad de las MAC, ya sea durante su producción industrial en obras específicas, la realización del ensayo

establece normas (NLT-346/90, 1990),relacionado con la tracción indirecta también llamado método brasileño (NLT-346/90, 1990, pág. 1)

Procesos determinantes en la tracción indirecta de las MAC

Para la prueba de la tracción indirecta de las MAC con fines de pavimentación en las carreteras, es necesario adherirse al procedimiento indicado por la Norma NLT-346/90 (1990), que establece los lineamientos para realizar la prueba brasileña sobre mezclas bituminosas.

El ensayo implica someter cargas a probetas cilíndricas, fabricadas según los pasos establecidos mediante el método Marshall. Del cual sus medidas son de 101.5 mm de forma diametral y 63.4 mm según su altura. Aplicando la carga diametralmente en dos generatrices opuestas. Este método puede ser ejecutado una sola vez o repetido tantas veces como sea necesario, lo que genera esfuerzos de tracción uniformes diametralmente según la verticalidad del plano donde se aplica la carga; es esta tracción la que provoca la falla en la probeta y desencadena su rotura a lo largo del plano diametral.

Se aplicó el método Marshall para dicho ensayo donde se aplica cargas con velocidades deformables de 50.7 mm/min, donde el dispositivo debe tener un equipo de prensa Lottman, donde la probeta se contacta con sus 2 alternadores opuestos para realizar la aplicación de la carga. (NLT-346/90, 1990, pág. 2)

La tracción indirecta de las MAC se determina mediante la respectiva fórmula matemática:

$$Rt = \frac{2P}{\pi dh} \qquad (1)$$

Donde:

Rt = Resistencia a compresión diametral, Mpa.

P = Carga máxima de rotura, N.

d = Diámetro de la probeta, mm.

h = Altura de la probeta, mm.

- **Ensayo de Cántabro**

Evalúa las perdidas ocasionado por el fatigamiento de las MAC a través del ensayo de los Ángeles. Esta aplicación se limita específicamente a partículas con espacios vacíos donde el TMN es de 250 mm, las muestras fueron elaboradas mediante estándares del diseño Marshall analizando resistencia al desgaste y cohesión frente a cargas abrasivas generadas por las cargas puntuales equivalentes.(MTC E 515, 2016, pág. 644)

Las bolas abrasivas se colocan en el equipo de los ángeles, sin embargo, se colocarán ante las muestras, después giramos el tambor entre 30 a 33 rpm con un total de 300 revoluciones

Al concluir la prueba retiramos las muestras, volvemos a pesar con precisiones de 0.1 g, registramos este valor con denotaciones de P_2

Reemplazamos los resultados obtenidos en la siguiente fórmula para poder determinar los valores de la perdida por desgaste.

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} X\ 100$$

Donde:

P = desgaste por perdida , en porcentaje.

P_1 = Masa inicial del especimen expresado en gramos

P_2 = Masa final del especimen expresado en gramos

3.3 Definición de términos

Abrasión

Degradación mecánica de los agregados y piedras procedentes de la colisión o fricción (MTC E 515, 2016) .

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas hacen referencia a la singularidad que da a conocer cómo las fuerzas actúan sobre el material. Para seleccionar el material adecuado en la construcción es importante determinar las cargas y condiciones bajo su comportamiento (Paye, 2017, pág. 21) .

Mezcla asfáltica en caliente

Las MAC esta compuesto de agregados finos, gruesos y con bitumen asfaltico, muchas veces incorporados con aditivo cumpliendo las especificaciones técnicas, siendo aplicadas a las carpetas asfálticas (Rosales, 2022) .

Resistencia a la deformación permanente según su estabilidad

Capacidad del tránsito vehicular para resistir cargas en la mezcla asfáltica compactada sin que se produzcan deformaciones constantes (Padilla, 2019, pág. 52).

Las partículas del agregado dependen de la fricción interna que se producen entre ellos y de la mezcla en cohesión.

Deformaciones plásticas de las MAC según su resistencia

El equipo Marshall, a través de la elaboración y ruptura de muestras, busca evaluar cuando las MAC sufre deformaciones plásticas en cuanto a su resistencia (Padilla, 2019, pág. 54).

Puzolana

En el siglo XIX desde la antigüedad romana se producía históricamente el cemento portland a partir de materiales aluminicos-siliceos llamados puzolanas (Luna, 2020).

La puzolana se define como la habilidad que tiene el $CaOH_2$ de desencadenarse con el agua. Este concepto se expresa a través del concepto de actividad puzolánica.

Grava

Las gravas se obtienen mediante los cantos rodados, son materiales pétreos. Los cantos rodados se denotan como piedras lisas y redondeadas sufriendo un proceso de desgastación constante por el agua. (Martinez, 2009).

Deterioro causado por la acción de la humedad.

Afecta principalmente a la durabilidad de la mezcla asfáltica. (Lopez, 2019).

Flujo

En estos momentos las cargas comienzan su descenso mediante una deformación de manera vertical donde las probetas son sometidas a cargas máximas. Estos valores indican que las carpetas asfálticas son sometidas a un flujo vehicular y tiende a deformarse (Bravo, 2021) .

Estabilidad

El pavimento asfáltico es calificado de soportar deformaciones y desplazamiento frente a las cargas aplicadas, una carpeta asfáltica es inmutable cuando tiene la capacidad de mantener su forma lisa con repetición de cargas. Las cargas asfálticas que son inestables hacen que se formen ondulaciones (corrugación) y ahuellamiento (Bravo, 2021) .

Bagazo de caña de azúcar

Es una sustancia con características fibrosas, que muestra una composición granulométrica y estructural heterogénea. Derivados del procesamiento de la trituración de la caña con densidades bajas y un alto contenido del % de humedad (Castillo, 2022) .

Adición

"Agregar o combinar un elemento con otro de tal forma que constituya una unidad coherente o que genere un incremento en algún aspecto." (Adauto, 2019).

IV. Metodología

4.1 Tipo y nivel de investigación

- **Tipo de investigación**

La investigación es de manera correlacionar cuando hay una conexión entre variables, dando una explicación y un porque, entre ellas, con el fin de comprenderlas y poder dar una posible hipótesis. (Sampieri, 2003)

La investigación se clasificó como correlacional, ya que tiene como objetivo examinar el impacto de diferentes proporciones de ceniza de maíz en las características mecánicas de MAC.

- **Nivel de investigación**

Las investigaciones se dan con propósito de saber el nivel de vinculo que se da entre 2 a más variables (Sampieri, 2003).

El nivel de la investigación fue relacional, dado que se analizó el nivel de vínculo entre las variables, específicamente a las mezclas asfálticas que se añadieron cenizas de caña de maíz en porcentajes del 0%, 1%, 2% y 4%, en relación con sus características mecánicas.

- **Diseño de investigación**

El diseño experimental se emplea para determinar la conexión entre una causa y su efecto en un contexto determinado. Este tipo de estudio analiza cómo la variable independiente si tiene influencia en la variable dependiente (Sampieri, 2003).

La investigación adoptó un enfoque experimental, ya que las muestras serán sometidas a análisis de laboratorio con el propósito de adquirir resultados anhelados y determinar si la incorporación de ceniza de maíz afecta las características mecánicas de la MAC.

4.2 Ámbito temporal y espacial

- **Ámbito Temporal**

La investigación es llevó a cabo en el año 2024, abarcando desde junio hasta octubre de ese mismo año.

- **Ámbito Espacial**

La investigación se realizó en la ciudad de Abancay, situada en la región de Apurímac.

4.3 Población y muestra

- **Población**

Se define como la concentración del total de componentes cuyas cualidades pertenecen a un área determinada que deseamos investigar con fines de compilar datas en forma específica. (Sampieri, 2003).

La muestra utilizada en esta tesis se eligió 36 und. de probetas de la MAC criterio del investigador. El objetivo fue evaluar las propiedades relacionadas con la deformación a la resistencia, TSR y la resistencia al desgaste, incorporando ceniza de caña de maíz en

porcentajes del 1%, 2% y 4%. La recolección se llevó a cabo desde el puente Guadalupe hasta el kilómetro 1 de la carretera que conecta Andahuaylas con Lima.

- **Muestra**

El muestreo no probabilístico son técnicas para muestrear en la que los tesistas preseleccionan testigos basados en juicios subjetivos en vez de seleccionar al azar (Sampieri, 2003) .

La muestra tiene los mismos datos que la población, ya que es una muestra no probabilística, porque no dependen de las probabilidades.

4.4 Instrumentos

La necesidad de que la recolección de datos sea de modo muy planificado y orientado hacia la recopilación de datos para propósitos específicos (Baptista, 2010)

La recopilación de los datos se realizará mediante formatos y fichas según él (MTCE 504, 2016) , se recolectará la información primaria cuyos formatos son establecidos por la normativa internacional y nacional.

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- MTC E 504 (Ensayo Marshall)
- MTC E 515 (Ensayo de Cántabro)
- NLT - 346/90: TSR (método brasileño)

4.5 Procedimientos

Hay variedades de pruebas de hipótesis estadística .Donde las pruebas estadísticas empleadas fueron la prueba de ANOVA (análisis de varianza), ya que una vez obtenida la muestra nos dio a conocer la variable independiente (adición de ceniza de caña de maíz) al 0%,1%,2%,4%) influyen significativamente en las MAC según a sus propiedades mecánicas para ello se realizaron cálculos estadísticos de acuerdo a las exigencias de diseño de tal probabilidad que rechaza si la hipótesis sea mínima o no exista. En caso sea alta la

significancia entonces se tendrá que usar la parte estadística con técnicas de Tukey por que mediante estos dos métodos y teniendo el índice de fiabilidad se puede observar mediante cálculos estadísticos cuan significativa son las diferencias. (Calle, 2012)

4.6 Análisis de datos

La investigación se realizó de manera prolectiva, porque se recolectó información en tiempo real sobre las variables independientes que afectan las características mecánicas de las mezclas asfálticas, consideradas como mis variables dependientes.

Sustenta que prolectivo es cuando se obtiene la información simultáneamente con el resultado (Baptista, 2010)

4.7 Consideraciones éticas

La UTEA estipula los derechos y el prestigio en las que son participe en un estudio estos no deberán ser copiados y protegidos según la moral ética de la norma nacional. Tomando en consideración las reglas reguladoras de los derechos de la propiedad intelectual (Utea, 2024).

Dicho estudio se realizó bajo los principios deontológicos, deberes, normas, basados en la ética con el fin de alcanzar los objetivos.

V. Resultados Y Discusión

a) Agregados

Para la elaboración de la MAC, se seleccionaron los materiales, incluyendo la grava chancada y el agregado fino, provenientes de la cantera Avendaño (ubicada en Casinchihua). Los ensayos realizados por la tesista y complementados con laboratorios externos para elaborar con los requisitos exigidos por la norma.

Los materiales utilizados deben cumplir con lo especificado en el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013, Subsección 415.02(a). Los agregados seleccionados deben ajustarse a los indicadores de las tablas 423.01 y 423.02, correspondientes a los requisitos para agregados destinados a MAC.

a.1) Agregado grueso (parámetros para la combinación de los agregados)

Tabla 3

Parámetros para el agregado grueso

Ensayos	MTC	orma ASTM - AAHSTO	equerimiento ≤ 3000 (msnm)
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C – 88	18% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	AASTM C – 131	40% máx.
Adherencia	MTC E 517	ASTM D 1664	+95

Índice de Durabilidad	MTC E 214	-	35% min.
Partículas chatas y alargadas	-	ASTM 4791	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	ASTM D 5821	85/50
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	ASTM C 118	1.0% máx.

Nota. Esta tabla detalla los parámetros clave para el agregado grueso en mezclas asfálticas, especificando ensayos, normas ASTM/MTC y los requerimientos máximos y mínimos, si cumple según. Fuente: EG-2013 para altitudes ≤3000 msnm EG - (2013)

En la tesis el agregado grueso fue de origen de la cantera Avendaño (lugar Casinchihua), la cual es de 100% grava tirturada.

Tabla 4

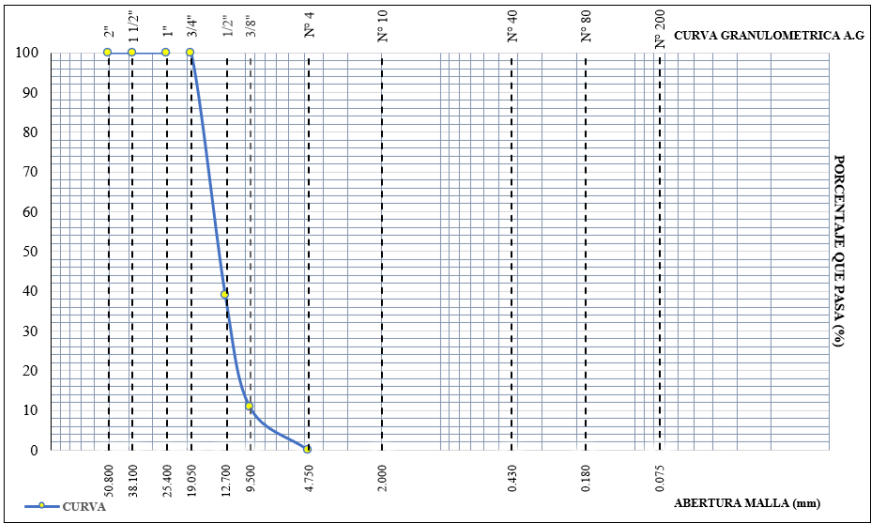
Gradación del agregado grueso TM 3/4".

Tamiz		PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. ACUM.	% PASA
ASTM	mm				
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.0
1/2"	12.70	1268	61	61	39
3/8"	9.50	585	28.1	89.0	11.0
# 4	4.75	226.4	10.9	100.0	
# 10	2.00				
# 40	0.43				
FONDO	0.00	0.00	0.00	100.0	0.0
TOTAL		2079.40	100.00		

Nota. Esta tabla presenta la gradación del agregado grueso TM 3/4", mostrando los pesos retenidos, porcentajes retenidos parciales y acumulados, y porcentaje que pasa por tamices, si cumple. Fuente: ASTM, EG (2013)

Figura 4

Gradación del agregado grueso.



Nota. La figura muestra la curva granulométrica para el agregado grueso Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Aceptación de la caracterización del agregado grueso

Ensayo	Norma	Requerimiento	Resultado	Rango de aceptación

Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	1.7	Si cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	21.60	Si cumple
Adherencia	MTC E 517	+95	+96	Si cumple
Partículas chatas y alargadas	MTC E 211	10% máx.	8	Si cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	85/59.1	Si cumple
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	0.49	Si cumple

Nota. Esta tabla tabla evalúa la aceptación de la caracterización del agregado grueso según ensayos, normas, requerimientos y resultados, confirmando que todos los parámetros cumplen con los rangos establecidos, Fuente: EG (2013).

a.1) Agregado fino

Cumplirá con los parámetros necesarios según norma:

Tabla 6

Parámetros para el agregado fino

		Norma	Requerimiento
Ensayos	MTC	ASTM – AAHSTO	≤ 3000 (msnm)
Equivalente de arena	MTC E 114	ASTM 2419	60% min.
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	-	30% min.
Índice de plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	ASTM D 4318	N.P.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	ASTM C 88	-
Índice de durabilidad	MTC E 214	-	35% min.
Índice de plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	ASTM D 4318	4% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	ASTM D 1888	0.5% máx.
Absorción **	MTC E 205	AAHSTO T – 84	1.0% máx.

Nota. Esta tabla define los parámetros para el agregado fino según ensayos, normas y requerimientos (≤3000 msnm), especificando límites mínimos y máximos para propiedades como equivalente de arena, angularidad, durabilidad y absorción, Fuente: EG – (2013)

Tabla 7

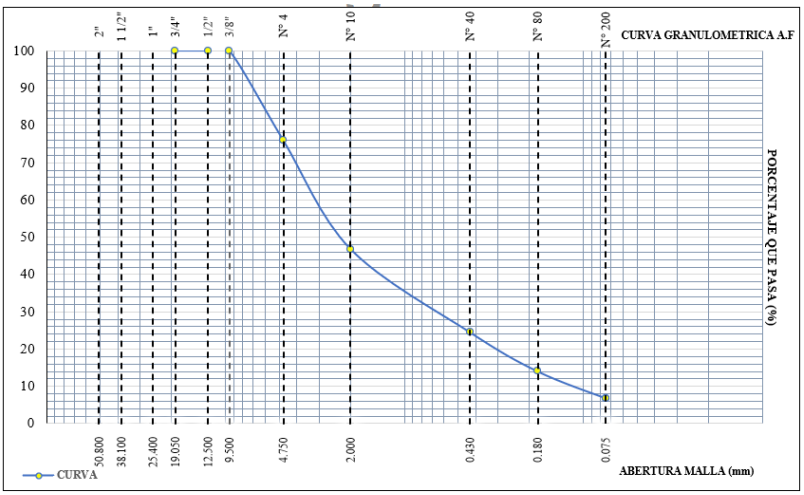
Gradación del agregado fino

Tamiz		PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. ACUM.	% PASA
ASTM	mm				
3/8”	9.50	0.00	0.00	0.00	100.0
# 4	4.75	450.00	24.00	24.00	76
# 10	2.00	548.00	29.20	53.10	47
# 40	0.43	419.40	22.30	75.5	25
# 80	0.18	197.00	10.50	85.9	14
# 200	0.075	135.00	7.2	93.10	7
FONDO	0.00	129.00	6.9	100.0	
TOTAL		1878.4.00	100.00		

Nota. Esta tabla muestra la gradación del agregado fino, indicando pesos retenidos, porcentajes retenidos parciales y acumulados, y el porcentaje que pasa por tamices ASTM, según un análisis granulométrico. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5

Gradación del agregado fino.



Nota. La figura nos muestra la curva granulométrica del agregado fino. Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Aceptación de la caracterización del agregado fino.

Ensayo	Norma	Requerimiento	Resultado	Rango de aceptación

Equivalente de arena	MTC E 114	60% min.	76	Si cumple
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30% min.	55.5	Si cumple
Índice de plasticidad (malla N°. 40)	MTC E 111	N.P.	N.P.	Si cumple
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	1.7	Si cumple
Índice de plasticidad (malla N°. 200)	MTC E 111	4% máx.	N.P.	Si cumple
Absorción **	MTC E 205	1.0% máx.	0.49	Si cumple

Nota. Esta tabla evalúa la caracterización del agregado fino, mostrando cumplimiento en todos los ensayos realizados según los requerimientos establecidos en normas técnicas. Fuente: EG (2013).

b.3) Combinación de agregados

Para la combinación de agregados se empleó el uso MAC - 1. Se utilizó cemento asfáltico PEN 60/70, obteniendo la siguiente dosificación:

Tabla 9

Dosificación en porcentajes de los agregados según diseño de Huso MAC – 1

Agregados	%
Grava chancada < ¾" - ½ - Cantera Avendaño	35.00%
Arena chancada < 3/8" - Cantera Avendaño	65.00%
Total	100.00%

Nota. Esta tabla presenta la dosificación de agregados de acuerdo al diseño de Huso MAC-1, con 35% de grava chancada y 65% de arena chancada, totalizando 100%. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el diseño representativo, donde se determina el contenido favorable del asfalto, se obtuvo un 5 % de acuerdo a informe del laboratorio. Los agregados utilizados

provienen al 100 % de la cantera Avendaño. El % de vacíos se encuentra dentro de los limites determinados por la norma, con un valor de 4.80 %.

Se tiene los datos favorables de combinación teórica, que se llevó a cabo la composición física de la mezcla, utilizando las proporciones de agregados establecidas en el diseño y el contenido favorable del cemento asfáltico. Seguidamente, se muestran los resultados:

Tabla 10

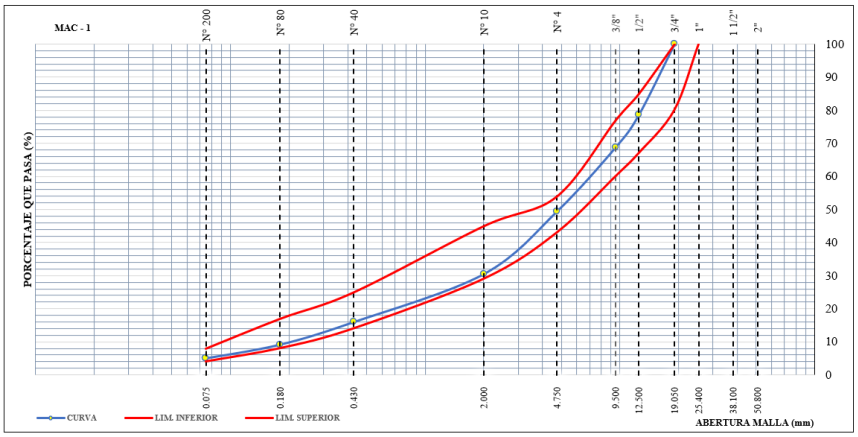
Combinación optima de agregados según MAC – 1

Tamiz		Grava chancada	Arena chancada	Mezcla MAC - 1			CHEQUEO
		Vía de evitamiento		Comb. Teórica	Huso MAC – 1		
		< 3/4”	< 3/8”				
		35.00%	65.00%				
1”	25.40	100.00	100.00	100.00	100	100	OK
3/4”	19.05	100.00	100.00	100.00	80	100	OK
1/2"	12.70	39.0	100.00	78.7	67	85	OK
3/8”	9.50	10.9	100.00	68.8	60	77	OK
# 4	4.75	0.00	76.0	49.4	43	54	OK
# 10	2.00	0.00	46.9	30.5	29	45	OK
# 40	0.43	0.00	24.5	16.0	14	25	OK
# 80	0.18	0.00	14.1	9.1	8	17	OK
# 200	0.075	0.00	6.9	5.0	4	8	OK

Nota. Esta tabla presenta la combinación óptima de agregados según el diseño MAC-1, verificando que los valores granulométricos cumplen con el rango del Huso MAC-1 en todos los tamices – Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Gradación de los agregados en combinación.



Nota .En la figura 6 se presenta a evolución de la curva, la cual se adecua a los límites establecidos por los husos del diseño MAC-1, cumpliendo con los requisitos correspondientes. Fuente: Realización propia.

5.1. Resultado del diseño de mezclas asfálticas para el ensayo Marshall

El ensayo del asfalto se realiza siguiendo el procedimiento del MTC E 504 – Resistencia de mezclas asfálticas utilizando el equipo Marshall, conforme al manual de carreteras EG-2013. Esta norma establece las condiciones necesarias y permite determinar los contenidos favorables de asfalto para la MAC.

Según la información favorable de asfalto para las MAC tradicional, se prepararon distintas proporciones que incluyen 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%. Los requisitos de Marshall para cada espécimen elaborada se determinaron con la normativa establecida en el manual EG-2013. Los resultados obtenidos de las pruebas se presentan en la tabla 10.

Tabla 11

Resultado de diseño Marshall de MAC - 1

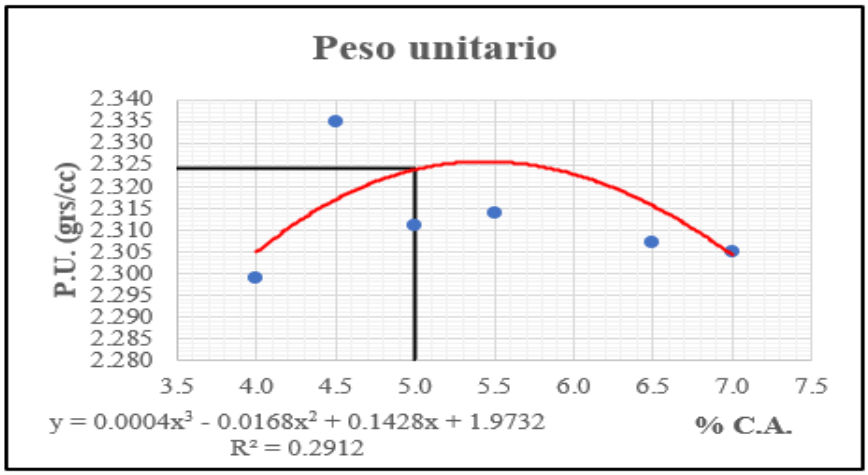
Parámetro	Und.	Resultados obtenidos						
PEN 60/70	%	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Peso Unitario	gr/c.c.	2.299	2.335	2.311	2.314	2.343	2.307	2.305
Vacíos	%	8.81	6.90	4.80	5.10	5.90	6.80	6.70
V.M. A	%	19.80	20.82	20.40	22.00	22.50	24.00	24.50
V.F. A	%	54.98	62.03	76.80	75.20	73.20	74.30	74.00
Flujo	Mm	2.70	2.40	4.50	4.60	4.65	4.55	4.60
Estabilidad	Kg	852.40	851.11	1407.70	1497.28	1497	1010	1315
Índice de rigidez	Kg/cm	4000	3520	3595	3110	3300	3250	2100

Nota. La tabla presenta los datos del diseño Marshall de la mezcla MAC-1, mostrando parámetros como % de asfalto, vacíos, estabilidad y flujo, variando según el contenido de PEN 60/70. – Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las MA tradicionales, según los parámetros Marshall, incluyen gráficos relacionados con el peso unitario, vacíos, V.M.A, V.F.A, flujo, estabilidad e índice de rigidez. Las imágenes 07, 08, 09, 10, 11, 12 y 13 se muestran a continuación:

Figura 7

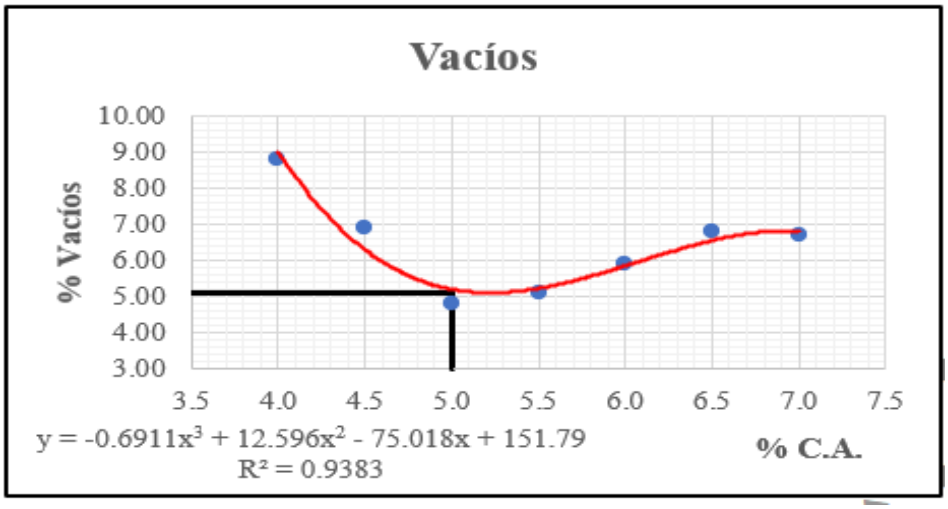
Datos de peso unitario frente al porcentaje de Cemento Asfaltico (%C.A.)



Nota. La figura muestra el reporte de diseño Marshall. Fuente: Elaboración propia

Figura 8

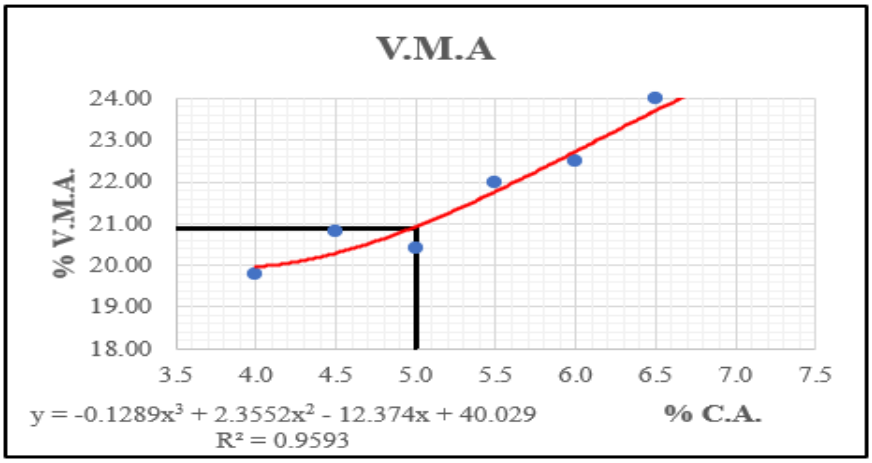
Datos de vacíos frente al %C.A.



Nota. La figura muestra el reporte de diseño Marshall. Fuete: Diseño propio

Figura 9

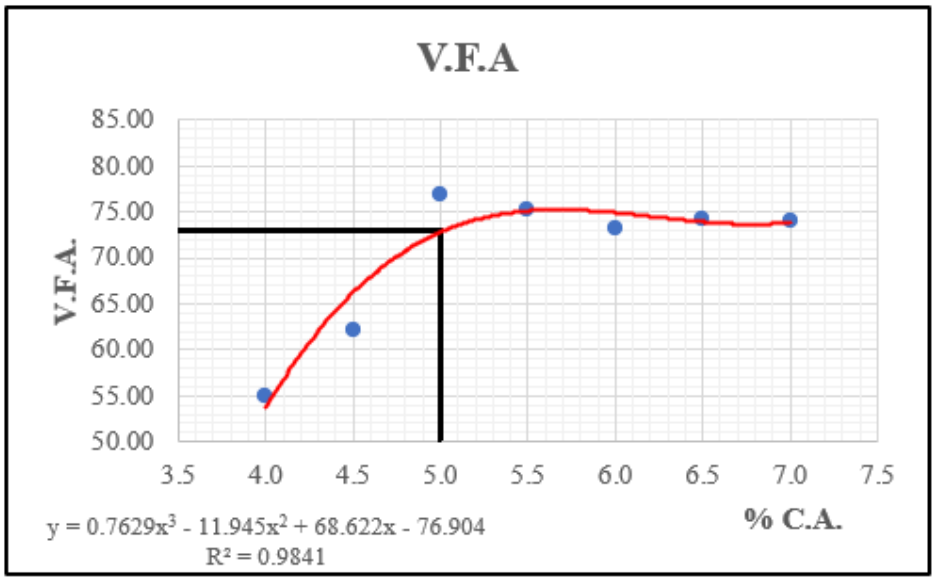
Datos de Volumen de vacíos del Agregado General (V. M. A.) frente al %C.A.



Nota. La figura muestra el reporte de diseño Marshall. Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

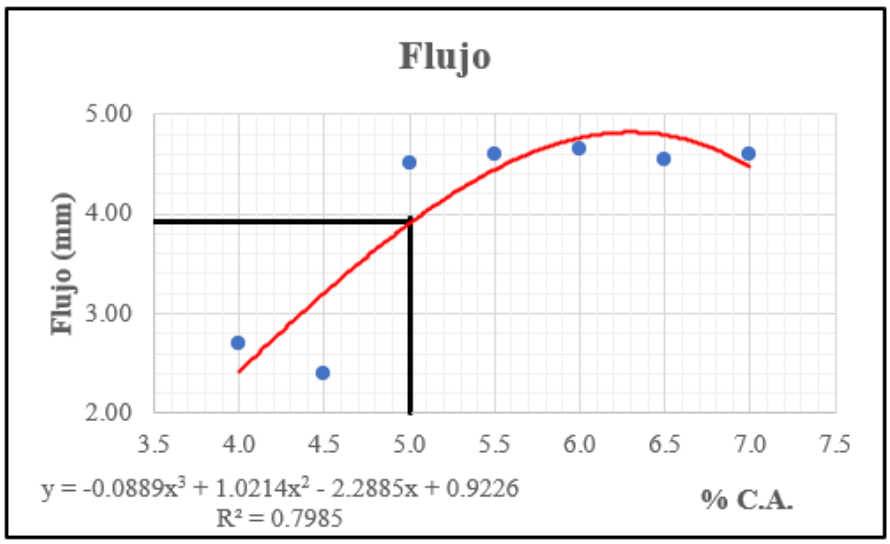
Datos de Volumen de Vacíos Rellenos de Asfalto (V. F. A) frente al %C. A.



Nota. La figura muestra el reporte de diseño Marshall. Fuente: Elaboración propia

Figura 11

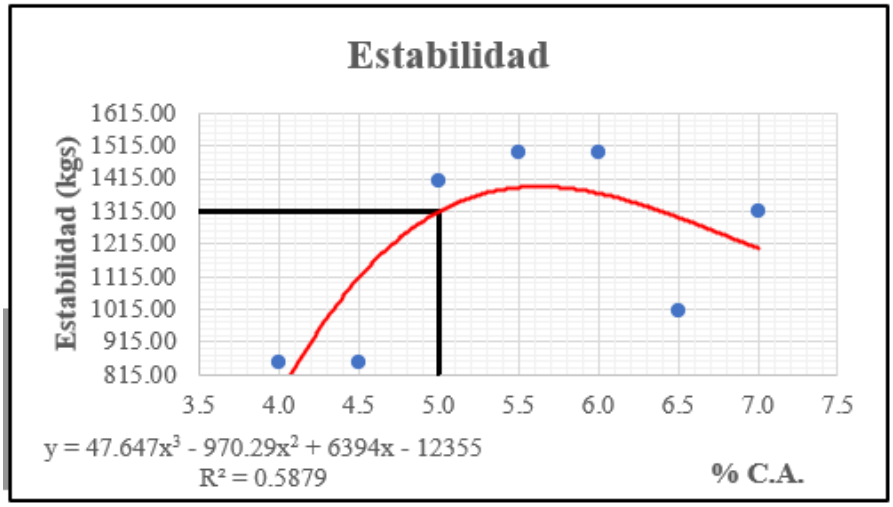
Datos de flujo frente al %C.A.



Nota. La figura muestra el reporte de diseño Marshall. Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

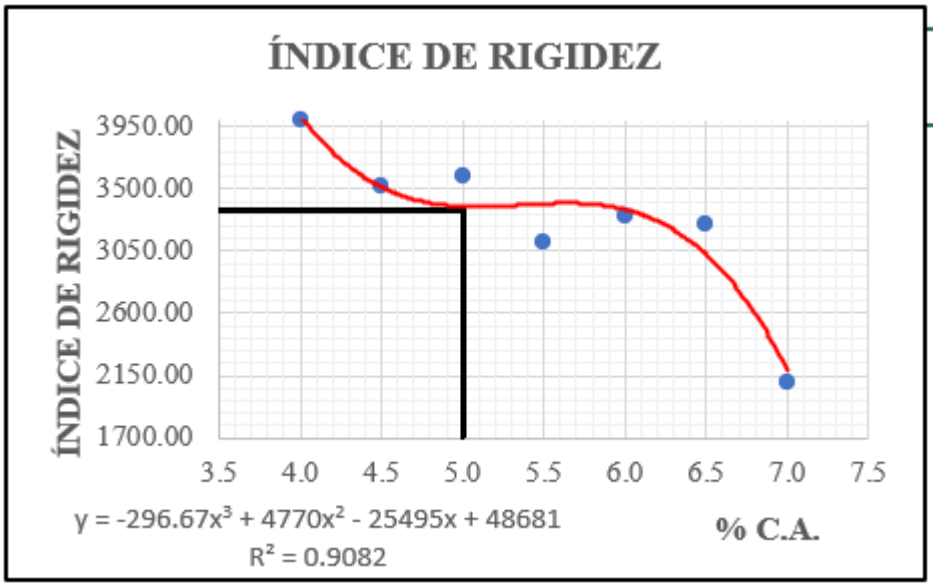
Datos de estabilidad frente al % C.A.



Nota. La figura muestra el ReporteodeodiseñooMarshall. Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

Resultados del índice de rigidez frente al % C.A.



Nota. La figura muestra el reporte de diseño Marshall. Fuente: elaboración propia

Para evaluar la idoneidad de la MAC tradicional, se realiza tangentes en las curvas polinómicas de 3.° grado. Desde el punto de tangencia, se extiende una línea recta hacia él % C.A, lo que permite determinar el % de contenido óptimo de asfalto.

Los datos obtenidos en las pruebas de vacíos, peso unitario, V.M.A, V.F.A, estabilidad, flujo y el índice de rigidez deben estar de acuerdo a los indicadores establecidos en la norma EG-2013.

Tabla 12

Especificaciones del Diseño Marshal y resultados eficientes

Resumen de resultados				
Descripción	Und.	Optimo % C. A	Especificaciones	Cumple
Golpes por lado	und	75	75	SI
Cemento asfáltico	%	5	Óptimo	SI
Peso unitario	gr/cm^3	2.32	-	SI
Vacíos	%	4.92	3% - 5%	SI
V.M. A	%	20.98	Min 14	SI
V.F. A	%	73	-	SI
Flujo	mm	3.27	2 – 4	SI
Estabilidad	kg	1091.95	Min 815	SI
Índice de rigidez	kg/cm	3340.67	1700 – 4000	SI

Nota. La tabla muestra los parámetros óptimos del diseño Marshall, de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas.

Metodología de diseño de mezclas asfálticas comunes modificadas adicionando las cenizas de maíz para la prueba Marshall.

El diseño de la capa asfáltica convencional con la adición de ceniza de caña de maíz sigue los mismos pasos que el de la capa asfáltica tradicional. El procedimiento de

densificación de las probetas se realiza de la misma manera, donde todos los indicadores de diseño para la prueba Marshall se determinan de forma similar.

Es posible evaluar si la ceniza de maíz tiene influencia al ser incorporada en la capa asfáltica tradicional, permitiendo así desarrollar una mezcla asfáltica alterada. La técnica utilizada para adicionar la ceniza consiste en reemplazar el material fino que pasa por la malla < #200, de acuerdo con la granulometría, en pequeñas proporciones de 1 %, 2 % y 4 %. Esto se aplica durante la elaboración de los especímenes de asfalto, utilizando la ceniza como sustituto del material fino.

Procedimiento para la preparación de especímenes de capa asfáltica convencional con la incorporación de ceniza de maíz:

1. Se define el porcentaje de ceniza de caña de maíz en función del peso total del diseño óptimo, utilizándose como reemplazo del agregado fino. La ceniza debe mantenerse a una temperatura entre 115 y 145 °C.
2. Se mezclan los porcentajes correspondientes de material grueso y material fino según el diseño favorable de asfalto. Se utiliza un 5 % de cemento asfáltico, al cual se suman el material fino, el material grueso y la ceniza como intercambio del agregado fino. Todo el proceso se lleva a cabo con el objetivo de obtener las dimensiones adecuadas del espécimen y compactarlo a una temperatura uniforme.
3. Los agregados y los moldes a utilizar se calientan previamente en la estufa hasta alcanzar la temperatura de mezclado. Se calcula el peso correspondiente de ceniza de maíz para incorporarla en cada espécimen, asegurando que todos sean procesados a la misma temperatura.
4. Una vez que los materiales alcanzan la temperatura adecuada, se incorporan los agregados calientes junto con la ceniza de maíz. Posteriormente, se mezclan de manera gradual hasta lograr una adherencia superior al 95 %.

5. Al finalizar la mezcla de los agregados con la ceniza de maíz, se incorpora el cemento asfáltico previamente calculado según el peso total del diseño del espécimen. Este paso asegura una adherencia completa entre el agregado y el cemento asfáltico.
6. Después de calentar los moldes Marshall, junto con su pedestal y también su mazo, se coloca la mezcla preparada a un grado donde se pueda controlar de 145 °C. Con una espátula, se asegura que no haya pérdidas de material antes de proceder a compactar cada espécimen, aplicando 75 golpes por ambas caras.
7. La probeta se dejará en el molde alcanzando la temperatura ambiente. Una vez que esto ocurra, seguidamente se retirar la probeta del molde Marshall.

5.1.1. Diseño Marshall con contenido óptimo de asfalto y porcentaje óptimo de ceniza de caña de maíz.

El porcentaje óptimo de asfalto y los porcentajes establecidos de ceniza de caña de maíz para su elaboración de MAC se determinan siguiendo los pasos del ensayo Marshall, según lo indicado en el manual del MTC E 504 – Resistencia de mezcla asfáltica con el equipo Marshall, establecido en el EG – 2013. La preparación de las probetas se lleva a cabo conforme a lo descrito previamente. Se diseñó la mezcla incorporando adiciones del 1 %, 2 % y 4 % de ceniza de caña de maíz en la capa asfáltica convencional, con un contenido óptimo de asfalto del 5 %.

a) Diseño Marshall de la mezcla asfáltica en caliente con 1% de adición de ceniza de caña de maíz.

La mezcla asfáltica alterada con 1% de adición de ceniza de caña de maíz fue utilizada para elaborar probetas, empleando un contenido favorable de asfalto del 5 % y 145 °C. La compresión se realizó aplicando 75 golpes por cara de la probeta con el mazo de Marshall.

Tabla 13

Datos del diseño Marshall al 1 % de ceniza de caña de maíz.

Diseño Marshall con 1% de ceniza de caña de maíz							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5	5	5	5	d	SI
Compactación		75	75	75	75	und	SI
Flujo		3..2	3.4	3.2	3.3	mm	SI
Estabilidad sin corregir	+/- 3.0%	1026.8	1100.6	1008.5	-	kg	SI
Factor de estabilidad		0.89	1.10	1	-	K	-
Estabilidad corregida		913.9	1210.7	1008.5	1044.4	kg	SI
Índice de rigidez		2856	3561	3152	3189.67	Kg/cm	SI

Nota. La tabla presenta los datos del ensayo Marshall con 1 de porcentaje de ceniza de maíz, mostrando estabilidad, flujo, factor de estabilidad e índice de rigidez, manteniendo el contenido favorable de asfalto al 5%. Fuente: Diseño propio.

Los datos obtenidos del ensayo Marshall variado con la adición de ceniza de caña de maíz incluyeron mediciones de flujo, estabilidad, factores relacionados con la durabilidad y valores de estabilidad logrados.

Los resultados del diseño Marshall para la mezcla variada con un 1 por ciento de ceniza de maíz muestran que tanto los datos de estabilidad como el índice de rigidez cumplen con las referencias establecidos por la norma EG - 2013. Además, la fluencia se encuentra dentro del rango permitido de 2 a 4 mm, con un valor de fluencia de 3.3 mm, el cual está dentro de los criterios normativos. Esto confirma que la adición de este aditivo cumple con los parámetros de deformación de la MAC.

Diseño Marshall de la mezcla asfáltica en caliente con 2.0% de adición de ceniza de caña de maíz.

La capa asfáltica alterada con 2% de ceniza de caña de maíz, se realizó especímenes con el contenido favorable de asfalto de 5%, a 145 °C, la compresión es de 75 golpes por cara de la probeta utilizando el maso de Marshall.

Tabla 14

Marshall basado en su diseño con resultados de ceniza al 2% con la incorporación de ceniza de caña de maíz.

3% de ceniza de caña de maíz - Diseño Marshall							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5	5	5	5	%	SI
Compactación		75	75	75	75	und	SI
Flujo		3.5	4.5	4.2	4.1	mm	NO
Estabilidad sin corregir	+/- 5.0%	900.4	899.3	974.7	-	kg	SI
Factor de estabilidad		0.89	1	0.88	-	K	-

Estabilidad corregida	801.4	899.3	857.7	852.8	kg	SI
Índice de rigidez	2290	1999	2043	2110.67	Kg/cm	SI

Nota. La tabla presenta los datos del diseño Marshall con 2% de ceniza de caña de maíz, muestra el cumplimiento en estabilidad, pero el flujo no cumple con las especificaciones establecidas. Fuente: Diseño propio.

MAC al incorporar 4.0 % de ceniza de caña de maíz – Diseño Marshall

La capa asfáltica alterada con un 4 % de ceniza de caña de maíz se utilizó para elaborar probetas, empleando un contenido favorable de asfalto del 5 % y 145 °C. La densificación se realizó aplicando 75 golpes por cada lado de la muestra con el mazo de Marshall.

Tabla 15

Incorporación de ceniza de caña de maíz al 4.0 % - diseño Marshall basado en sus resultados.

Diseño Marshall con 4% de ceniza de caña de maíz.							
Características	MAC – 1	M-1	M-2	M-3	Resultado (Promedio)	Und	Cumple
Contenido óptimo de C.A.		5	5	5	5	%	SI
Compactación		75	75	75	75	und	SI
Flujo		4.7	4.8	4.7	4.73	mm	NO
Estabilidad sin corregir	+/- 7.0%	671.3	642.1	700.2	-	kg	SI
Factor de estabilidad		0.88	0.88	0.90	-	K	-
Estabilidad corregida		590.7	565	616.2	590.66	kg	SI
Índice de rigidez		1257.0	1178.0	1312.0	1249	Kg/cm	SI

Nota. La tabla presenta los resultados del diseño Marshall con 4% de ceniza de caña de maíz, mostrando cumplimiento en todos los parámetros excepto el flujo, que excede el rango permitido. Fuente: Diseño propio.

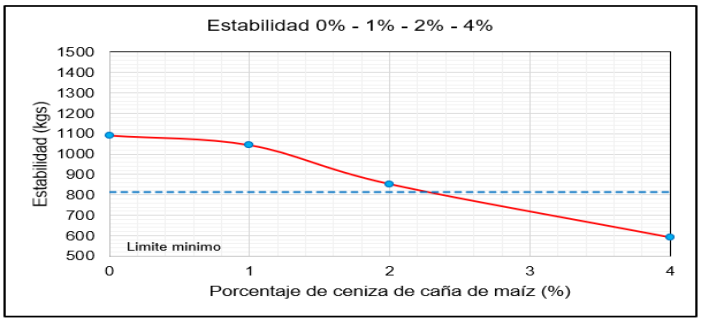
Ensayo Marshall – diseño de las MAC según sus resultados

Tras realizar el diseño Marshall en la mezcla asfáltica convencional y con la modificada con ceniza de caña de maíz, se analizaron las referencias más relevantes, como : estabilidad-flujo y el índice de rigidez, considerando la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz. A continuación, se presentan sus propiedades mecánicas:

a) Estabilidad

Figura 14

% de ceniza de caña de maíz con respecto a la estabilidad .



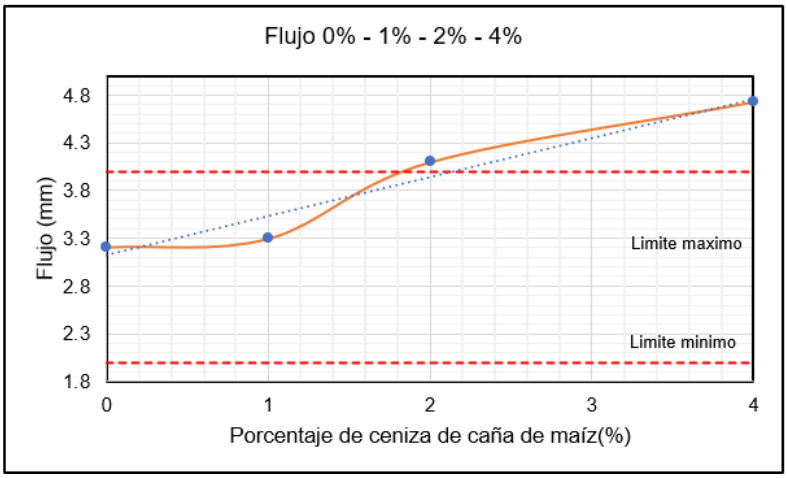
Nota. La figura muestra los resultados de la estabilidad. Fuente: Diseño propio.

La figura 14 muestra la estabilidad de las mezclas asfálticas, evidenciando una disminución. Sin embargo, la estabilidad alcanzada no está dentro de los criterios establecidos, lo que refleja una reducción negativa y ligeramente por debajo del mínimo requerido según los criterios del ensayo Marshall especificados en el EG - 2013.

b) *Flujo*

Figura 15

% que lleva la ceniza de caña de maíz con respecto al flujo según su variación.

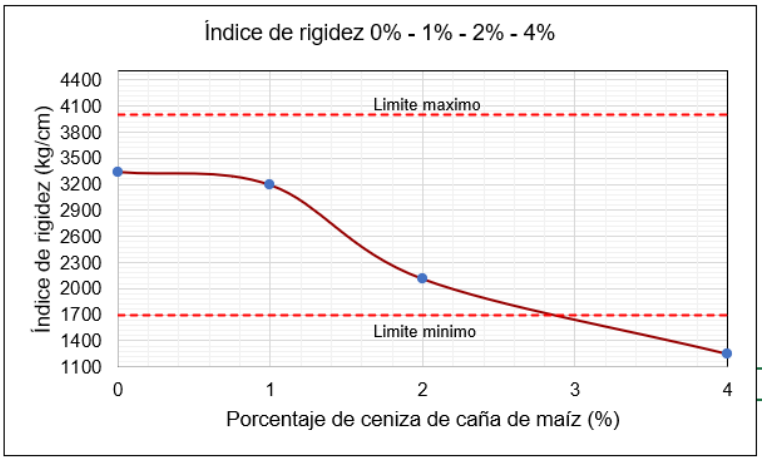


Nota. La figura 15 muestra el flujo de la MAC, evidenciando un aumento positivo y ligeramente por arriba del límite mínimo que se encuentra en la norma EG-2013. Por lo tanto, la MAC se encuentra dentro de los parámetros establecidos. Fuente: Diseño propio.

c) *Índice de rigidez*

Figura 16

Variación de índice de rigidez frente al % de ceniza de caña de maíz.



Nota. En la figura 16, se presenta la disminución del índice de rigidez de acuerdo a la incrementación de la ceniza de caña de maíz frente a la muestra patrón, según norma EG – 2013, por lo tanto, no muestra un aumento positivo, sino una disminución en comparación con la mezcla asfáltica estándar. Fuente: Diseño propio.

La tabla 15 muestra los datos obtenidos mediante el ensayo Marshall, incorporando ceniza de caña de maíz en proporciones del 0 %, 1 %, 2 % y 4 %.

Tabla 16

Informe de hallazgos del ensayo Marshall

Con incremento de ceniza de caña de maíz al 0% - 1% - 2% - 4% - Ensayo Marshall					
(PEN 60/70) Contenido óptimo de asfalto al 5%					
Ensayos	0%	1%	2%	4%	Condición
Estabilidad	1091.95	1044.4	852.8	690.66	815 kg mín.
Flujo	3.27	3.3	4.1	4.73	2 – 4 mm
Índice de rigidez	3340.67	3189.67	2110.67	1249	1700 – 4000 kg/cm

Nota. La tabla muestra los datos del ensayo Marshall con diferentes % de ceniza de caña de maíz (0%, 1%, 2%, 4%), evaluando estabilidad, flujo e índice de rigidez, cumpliendo con las condiciones requeridas – Fuente: Diseño propio.

5.2. Procedimiento del ensayo de resistencia a compresión diametral

La TSR, permite determinar la resistencia, evaluando la MAC siguiendo lo establecido por la norma NLT - 346/90, correspondiente al ensayo brasileño de mezclas bituminosas.

Para realizar el ensayo, se prepararon probetas siguiendo la metodología Marshall, incorporando ceniza de caña de maíz en proporciones de 0.0 %, 1.0 %, 2.0 % y 4.0 % a una temperatura de 140 ± 5 °C. Las medidas de las probetas, como altura y diámetro, se midieron con un vernier, mientras que el peso se determinó en una balanza con una precisión de ± 0.1 g. Estos datos son esenciales para calcular la resistencia del espécimen.

Se utilizó el equipo Marshall, reemplazando el cabezal original por el cabezal Lottman para ejecutar el ensayo de TSR. Las muestras evaluadas incluyeron porcentajes de ceniza de caña de maíz de 0 %, 1 %, 2 % y 4 % en mezclas asfálticas convencionales. Durante el ensayo, se aplicó una velocidad que disminuye la carga de rotura utilizando el cabezal Lottman con el equipo Marshall. La máxima carga de rotura, se expresa en Newtons, donde se empleó en la fórmula correspondiente para calcular la TSR.

Los datos de la TSR para las distintas proporciones de ceniza de caña de maíz se presentan en la tabla 16. A continuación, se muestran las gradaciones utilizadas para el MAC-1 común y el MAC - 1 modificado de la mezcla asfáltica en caliente:

Tabla 17

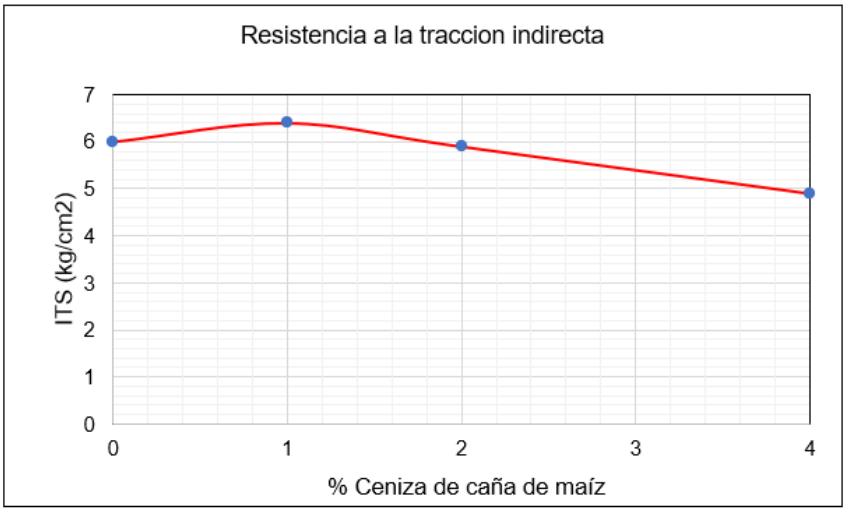
Resistencia a compresión diametral basado en sus resultados

Mezcla	T° Digestión (°C)	T´ Digestión (hr)	Resistencia a compresión diametral Mpa	Kg/cm^2	Variación
MAC + 0%	0	0	6	60	0.0%
MAC + 1% ceniza de caña de maíz	60	2	6.4	64	6.67%
MAC + 2% ceniza de caña de maíz	60	2	5.9	59	-1,67%
MAC + 4% ceniza de caña de maíz	60	2	4.9	49	-18.33%

Nota. La tabla presenta los datos que se obtuvieron en el ensayo de TSR mezclas con diferentes porcentajes de ceniza de caña de maíz, indicando que la resistencia aumenta con 1% pero disminuye significativamente con 2% y 4%. – Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

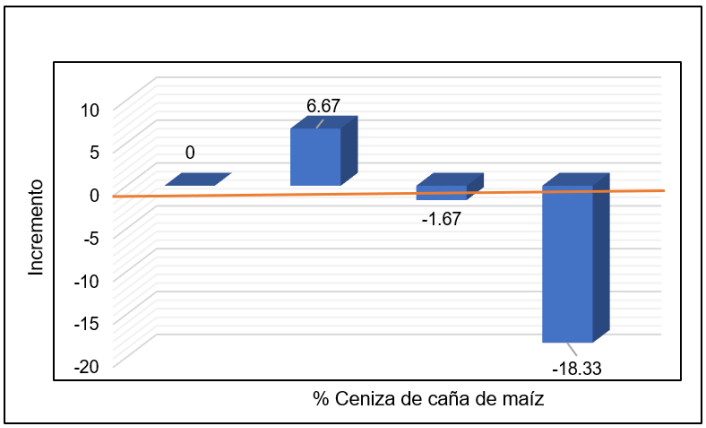
Tracción indirecta - Fluctuación según a su resistencia .



*Nota.*La figura 17 muestra tanto los incrementos como los decrementos en la mezcla asfáltica modificada en comparación con la mezcla asfáltica convencional, evidenciando una mayor resistencia al esfuerzo cortante y una mejor cohesión en la mezcla asfáltica. Fuente: Diseño propio

Figura 18

Variación de la resistencia a la tracción indirecta



Nota. La figura muestra los resultados de la tracción indirecta mediante grafico de barras Fuente: Diseño propio.

5.3. Ensayo de cántabro – procedimiento de ensayo

De acuerdo con el MTC E-515, es posible evaluar la pérdida por fatiga de la mezcla asfáltica convencional.

Se realizó los ensayos de la mezcla asfáltica en caliente, tanto convencional como modificada. Aunque este ensayo suele aplicarse en mezclas asfálticas abiertas, en este caso

se utilizó con el objetivo de evaluar, directa o indirectamente, la pérdida por desgaste, considerando que el tráfico genera efectos de fricción sobre las mezclas.

Las briquetas preparadas para el ensayo de Cántabro se elaboraron siguiendo exclusivamente el procedimiento de la metodología Marshall. En total, se dispusieron 4 series de muestras, cada una compuesta por 3 especímenes, sumando un total de 12 especímenes: 3 sin adición de ceniza de caña de maíz y 9 con diferentes porcentajes de esta adición

Para llevar a cabo el ensayo, se sigue una secuencia: primero, el espécimen se mantiene a un grado ambiente de 25 °C durante aproximadamente 1 hora. Luego, se pesa para obtener un primer peso (P1). A continuación, el espécimen se coloca dentro del tambor sin esferas, y este se programa para girar entre 30 y 33 rpm, según lo establecido en el MTC E-515, completando un total de 300 revoluciones. Una vez transcurridos alrededor de 8 minutos y alcanzadas las 300 vueltas, el espécimen se retira y se pesa nuevamente, obteniendo un segundo peso (P2).

Tabla 18

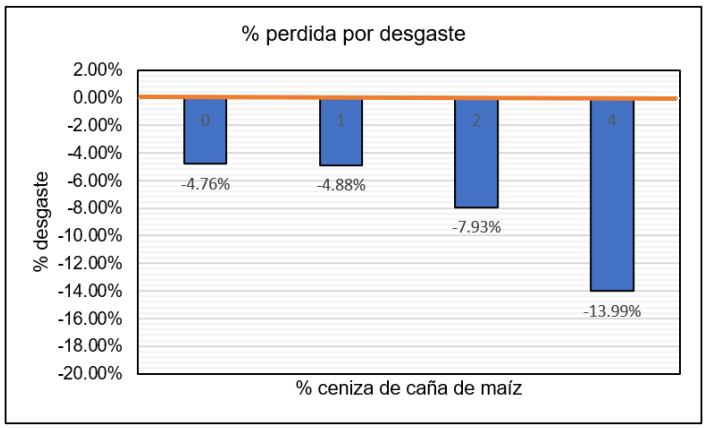
Prueba de cántabro basado en sus ensayos

Mezcla	T° ensayo (°C)	Adición de ceniza de caña de maíz (%)	Perdida por desgaste (%)
MAC – 1	25 °C	0.0	- 4.76 %
MAC + 1.0% de ceniza de caña de maíz	25 °C	1.0	- 4.88%
MAC + 2.0% de ceniza de caña de maíz	25 °C	2.0	- 7.93%
MAC + 4.0% de ceniza de caña de maíz	25 °C	4.0	- 13.99 %

Nota. La tabla muestra los resultados del ensayo de Cántabro, indicando que la pérdida por desgaste aumenta con el incremento del % de ceniza de caña de maíz. Fuente: Diseño propio.

Figura 19

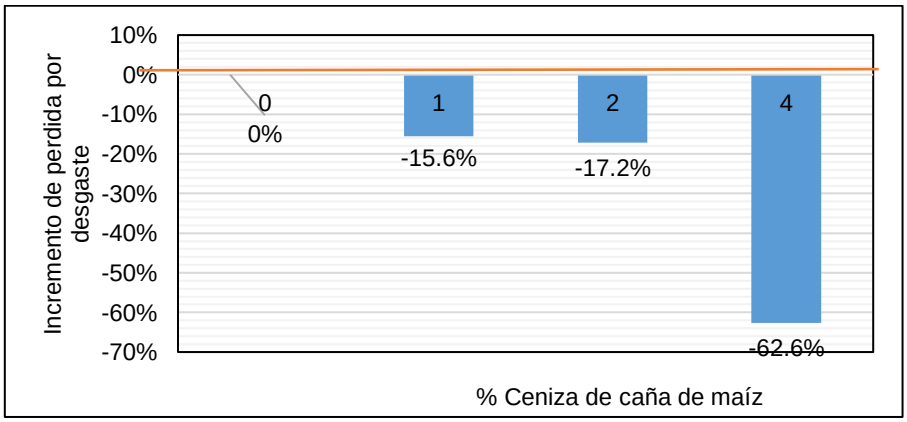
Prueba de cántabro basado en su perdida por desgaste.



Nota. La figura 19 muestra que, a medida que incrementa la adición de ceniza de caña de maíz, se produce un mayor desgaste según los resultados del ensayo de Cántabro, en comparación con las mezclas asfálticas convencionales. Fuente: Diseño propio.

Figura 20

Ensayo de cántabro basado en su pérdida por desgaste



Nota. En la figura 20 se observan % que varían significativamente en la pérdida por desgaste debido a la modificación con ceniza de caña de maíz, en comparación con la mezcla asfáltica convencional, presentan una considerable pérdida por desgaste. Fuente: Diseño propio.

5.4. Discusión de resultados

Discusión de resultados del objetivo general

Consiste en evaluar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente. En la evaluación que se realizó del objetivo general, se obtuvo como resultado que la incorporación de ceniza de caña de maíz influye en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente, con adiciones de ceniza de caña de maíz menores al 1 % porque se encuentra dentro de los parámetros establecidos, de la resistencia a la deformación, resistencia a la tracción indirecta y resistencia al desgaste.

Discusión de resultados del objetivo específico 1

Es determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall. Los resultados indicaron que la incorporación de hasta un 1.0% de ceniza de caña de maíz en la mezcla asfáltica en caliente mejora el comportamiento en términos de flujo y estabilidad en comparación con la mezcla estándar. Los resultados de las mezclas asfálticas

con 1.0% de ceniza registraron un valor de 3189.67 kg/cm, cumpliendo con los parámetros establecidos por las especificaciones AASHTO (1,700 – 4,00 kg/cm), lo que demuestra un comportamiento adecuado de la mezcla asfáltica; mientras que, los resultados de la mezcla establecida 0 % es de 3340.67 kg/cm, ya que este valor se encuentra cerca al límite superior, el 2 % es de 2110.67 kg/cm dicho valor se encuentra al límite inferior de los parámetro establecidos, y el del 4 % es de 1249 kg/cm las cuales se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

Adauto, (2019) , según los parámetros Marshall evaluados en su investigación, la adición de un 1% de ceniza de caña de maíz genera mejores resultados en la estabilidad y flujo de 3168 kg/cm respecto a la mezcla asfáltica común ya que se encuentra cerca al límite superior con 3806 kg/cm , mientras al 2% de adición de ceniza de caña de maíz presenta valores de 2308 kg/cm encontrándose cerca al límite inferior y con adición de ceniza de caña de maíz al 4 % su valor es de 1435 kg/cm esta se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

Las comparaciones de Ambos estudios evidencian que la incorporación de hasta un 1% de ceniza de caña de maíz en la mezcla asfáltica en caliente mejora el comportamiento flujo y estabilidad, al presentar resultados más consistentes y dentro de los parámetros establecidos. ASHHTO de (1700-4000 kg/cm).

Discusión de resultados del objetivo específico 2

Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo de resistencia a la compresión diametral. La resistencia a la tracción indirecta (TSR), obtenida mediante el ensayo de compresión diametral en las muestras asfálticas con y sin adición de ceniza, se evaluó considerando que el valor mínimo requerido de TSR, según las especificaciones AASHTO, es del 80%. Los resultados indican que la mezcla asfáltica estándar alcanza un TSR del 82.5%, mientras que con la incorporación de ceniza de caña de

maíz se observa un punto de inclinación en particular, con una adición del 1% de ceniza, la TSR alcanza su valor máximo del 85.6%, disminuyendo con porcentajes mayores de adición. Estos resultados permiten concluir que la incorporación de un 1% de ceniza de caña de maíz en una mezcla asfáltica en caliente mejora significativamente la resistencia a la tracción indirecta.

Adauto, (2019), en su investigación, se reporta que la mezcla asfáltica estándar alcanza un TSR del 81.4%. Con la adición de ceniza de caña de maíz, los resultados presentan un punto de inflexión: al incorporar un 0.2%, se observa una mejora en la TSR en comparación con la mezcla estándar, mientras que con una adición del 0.5%, se logra el valor máximo de TSR con un 86.2% de resistencia. Sin embargo, con porcentajes superiores de ceniza, la TSR comienza a disminuir. También en los resultados mencionados se puede concluir que con la adición de ceniza de caña de maíz al 0.5% en una mezcla asfáltica en caliente, la TSR Inducida aumenta significativamente.

Las comparaciones de ambas investigaciones. De los resultados analizados entre el 0.5 % a 1 % de la mezcla asfáltica existen coincidencias de valores obtenidos ya que ambos llegan a su valor máximo del TSR donde se confirma, un incremento en la resistencia a la tracción indirecta.

Discusión de resultados del objetivo específico 3

Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia al desgaste de la mescla asfáltica en caliente mediante el ensayo de Cántabro. El desgaste, evaluado mediante el ensayo de Cántabro, muestra que la mezcla asfáltica convencional tiene un valor de 4.76%, mientras que las mezclas asfálticas con adición de ceniza de caña de maíz presentan valores de 4.88%, 7.93% y 13.99%. Esto indica que, a medida que se incrementa la cantidad de ceniza de caña de maíz, el desgaste se torna más significativo en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

Asimismo, no se han identificado investigaciones previas relacionadas con la resistencia a la pérdida por desgaste en mezclas asfálticas que incluyan ceniza de caña de maíz. Por ello, resulta esencial y relevante realizar este ensayo, ya que permite evaluar el nivel de desgaste que se produce ante un incremento en el tráfico vehicular.

3. Prueba de hipótesis

- **Contrastación de hipótesis**

Hipótesis general

La adición de ceniza de caña de maíz influye en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac, 2024.

Hipótesis especificas

a. Hipótesis especifica 01

La adición de ceniza de caña de maíz influye en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall.

Se utiliza el análisis de varianza (ANOVA) para realizar la contrastación estadística de la hipótesis, cuando se quiere comparar más de dos grupos (en mi caso tengo 4 niveles de ceniza de caña de maíz) donde se evalúa si hay diferencias significativas en las medias de estabilidad y flujo entre los distintos grupos.

De acuerdo con los parámetros Marshall, se compararán la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica convencional con los de la mezcla asfáltica modificada.

Se presentan los valores de estabilidad de la mezcla asfáltica convencional, que es de 1091.97 kg, mientras que para las mezclas modificadas con ceniza de caña de maíz se obtuvieron los siguientes resultados: 1044.37 kg con un 1% de adición, 852.80 kg con un 2% y 590.63 kg con un 4%. En cuanto al flujo, los valores registrados son de 3.27 mm para la mezcla convencional y la mezcla con 1% de ceniza, 4.07 mm para la mezcla con 2% y 4.73 mm para la mezcla con 4% de ceniza de caña de maíz.

Formulación de hipótesis

H0: La incorporación de ceniza de caña de maíz en proporciones de 1%, 2% y 4% no muestra diferencias significativas en las medias de estabilidad y flujo en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

H1: La incorporación de 1%, 2% y 4% de ceniza de caña de maíz presenta diferencias significativas en las medias de estabilidad y flujo en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

Para ello, se consideran todos los parámetros exigidos de acuerdo con el EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se rechaza la hipótesis nula. Si el valor de F > valor crítico para F

- Se acepta la hipótesis nula. Si el valor de F < valor crítico para F

y/o

- Se rechaza la hipótesis nula. Si el valor de $p < 0.05$
- Se acepta la hipótesis nula. Si el valor de $p > 0.05$

Tabla 19

Resultados de estabilidad de ceniza de caña de maíz.

Resumen de estabilidad (kg)			
0% - Ceniza de caña de maíz	1% - Ceniza de caña de maíz	2% - Ceniza de caña de maíz	4% - Ceniza de caña de maíz
(M-1) – 1120.6	(M-4) – 913.9	(M-7) – 801.4	(M-10) – 590.7
(M-2) – 1176.5	(M-5) – 1210.7	(M-8) – 899.3	(M-11) – 565
(M-3) – 978.8	(M-6) – 1008.5	(M-9) – 857.7	(M-12) – 616.2

Nota. La tabla presenta los resultados de estabilidad para mezclas con diferentes porcentajes de ceniza de maíz, mostrando una disminución de estabilidad a medida que aumenta el porcentaje de ceniza. Fuente: Diseño propio.

a) Estadísticos descriptivos

Tabla 20

Valores estadísticos

Ceniza de caña de maíz	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	1091.97	101.91	9.33%	990.03	1193.88
1 %	3	1044.37	151.62	14.52%	892.75	1195.98
2 %	3	852.80	49.13	5.76%	803.67	901.93
4 %	3	590.63	25.60	4.33%	565.03	616.23

Nota. La tabla muestra los valores estadísticos de estabilidad correspondientes a distintos porcentajes de ceniza de caña de maíz, incluyendo la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los intervalos de confianza al 95%. Fuente: Diseño propio.

b) **Análisis de varianza**

Tabla 21

Variación de la estabilidad

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	466578.49	3	155526.16	17.07	8e-04	4.066
Within groups	72886.14	8	9110.767			
Total	539464.63	11	164636.927			

Nota. La tabla presenta un 95% de confianza que el valor calculado de F es mayor que el valor crítico de F, por lo que se rechaza la hipótesis nula (Ho) en cuanto a la estabilidad. Para confirmar de manera más precisa la existencia de diferencias significativas, se empleará el método de Tukey. Fuente: Diseño propio.

Tabla 22

Diferencias de medias de estabilidad

Tukey						
Ceniza de caña de maíz		mean	std err	p - value	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	1 %	47.60	297.17	0.9258	-297.17	201.97
	2 %	239.17	488.74	0.0604	-488.74	10.41
	4 %	501.33	750.90	0.0009	-750.91	251.76
1 %	0 %	47.60	297.17	0.9258	-297.17	201.97
	2 %	191.57	441.14	0.1425	-441.14	58.01
	4 %	453.73	703.31	0.0018	-703-31	204.16
2%	0%	239.17	488.74	0.0604	-488.74	10.41
	1%	191.57	441.14	0.1425	-441.14	58.01
	4%	262.17	511.74	0.0399	-511.74	12.59
4 %	0%	501.33	750.91	0.0009	-750.91	251.76
	1%	453.733	703.31	0.0018	-703.31	204.16
	2%	262.17	511.74	0.0399	-511.74	12.59

Nota. La tabla muestra la comparación múltiple de medias, el p-valor es menor a 0.05, lo que lleva al rechazo de la hipótesis nula (Ho) en relación con la estabilidad. Por lo tanto, existen diferencias significativas entre las medias correspondientes a los distintos porcentajes de ceniza de caña de maíz. Fuente: Diseño propio.

Tabla 23

Datos de flujo

Resumen del flujo (mm)			
0% - Ceniza de caña de maíz	1% - Ceniza de caña de maíz	2% - Ceniza de caña de maíz	4% - Ceniza de caña de maíz
(M-1) – 3.20	(M-4) – 3.2	(M-7) – 3.5	(M-10) – 4.7
(M-2) – 3.4	(M-5) – 3.4	(M-8) – 4.5	(M-11) – 4.8
(M-3) – 3.2	(M-6) – 3.2	(M-9) – 4.2	(M-12) – 4.7

Nota. La tabla presenta los valores obtenidos en el análisis de flujo, de las mezclas con distintos % de ceniza de caña de maíz, mostrando un incremento en el flujo a medida que aumenta el % de ceniza.

c) Estadísticos descriptivos

Tabla 24

Valores estadísticos

Ceniza de caña de maíz	N	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	3.27	0.1155	3.53%	2.98	3.55
1 %	3	3.27	0.1154	3.53%	2.98	3.55
2 %	3	4.07	0.5132	12.62%	2.79	5.34
4 %	3	4.73	0.0577	1.22%	4.59	4.87

Nota. La tabla muestra valores estadísticos del flujo con diferentes % de ceniza de caña de maíz, destacando el aumento en la media y el coeficiente de variación al incrementar la ceniza. Fuente: Diseño propio.

d) Análisis de varianza.

Tabla 25

Análisis de varianza del flujo

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	4.52	3	1.51	20.54	0.00040	4.066
Within groups	0.587	8	0.073			
Total	5.107	11	1.583			

Nota.La tabla muestra un nivel de confianza del 95%, se confirma que el valor calculado de F es mayor que el valor crítico de F, lo que conduce al rechazo de la hipótesis nula (H0) en cuanto al flujo, pero no en relación con la hipótesis planteada. Para una verificación más precisa de las diferencias significativas, se aplicará el análisis de Tukey. Fuente: Diseño propio.

Tabla 26

Diferencias de medias de estabilidad.

Tukey						
Ceniza de caña de maíz		mean	std err	p - value	95 % trust	
					Lower	Upper
	1 %	8.882	0.307	1.000	-0.708	0.708
0 %	2 %	8.000	0.307	0.028	-0.092	1.508
	4 %	1.467	0.307	0.001	-0.759	2.175
	0 %	8.882	0.307	1.000	-0.708	0.708
1 %	2 %	8.000	0.307	0.028	0.091	1.508
	4 %	1.467	0.307	0.001	-0.759	2.174
	0%	8.000	0.307	0.028	-0.092	1.508
2%	1%	8.000	0.307	0.028	-0.092	1.508

	4%	6.667	0.307	0.065	-0.041	1.375
	0%	1.467	0.307	0.001	-0.759	2.175
4 %	1%	1.467	0.307	0.001	-0.759	2.175
	2%	6.667	0.307	0.065	-0.041	1.375

Nota. La tabla muestra la comparación múltiple de medias, el p-valor es menor a 0.05, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula (H0) respecto al flujo. Por lo tanto, se confirma que existe una diferencia significativa entre las medias correspondientes a los distintos porcentajes de ceniza de caña de maíz. Fuente: Diseño propio

b. Hipótesis especifica 02

La ceniza de caña de maíz al 1%,2%,4% influye en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo de resistencia a la compresión diametral.

El ensayo de tracción indirecta de la mezcla asfáltica convencional arroja un valor de 5.97 MPa. Por su parte, la mezcla modificada con un 1% muestra un resultado de 6.38 MPa, mientras que con un 2% alcanza 5.94 MPa, y con un 4% desciende a 4.89 MPa. Estos resultados evidencian tanto un incremento como una disminución moderadamente significativa en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

Formulación de hipótesis

$H_{0:}$ La incorporación de 1 %, 2 % y 4 % de ceniza de caña de maíz en la mezcla asfáltica no presenta una diferencia significativa entre las tres medias de tracción indirecta en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

H_1: La incorporación de 1 %, 2 % y 4 % de ceniza de caña de maíz en la mezcla asfáltica presenta una diferencia significativa entre las tres medias de tracción indirecta en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

- Se rechaza la hipótesis nula. Si el valor de F > valor crítico para F.
- se acepta la hipótesis nula. Si el valor de F < valor crítico para F.

y/o

- Se rechaza la hipótesis nula. Si el valor de $p < 0.05$.
- Se acepta la hipótesis nula. Si el valor de $p > 0.05$.

Tabla 27

Resultados de tracción indirecta.

Resumen de tracción indirecta (Mpa)			
0% - Ceniza de caña de maíz	1% - Ceniza de caña de maíz	2% - Ceniza de caña de maíz	4% - Ceniza de caña de maíz
(M-1) – 5.99	(M-4) – 6.56	(M-7) – 6.49	(M-10) – 5.01
(M-2) – 5.99	(M-5) – 6.28	(M-8) – 5.43	(M-11) – 4.87
(M-3) – 5.92	(M-6) – 6.30	(M-9) – 5.90	(M-12) – 4.81

Nota. La tabla muestra los resultados de la tracción indirecta para mezclas que contienen diversos porcentajes de ceniza proveniente de caña de maíz, evidenciando una reducción en la resistencia a medida que se incrementa el porcentaje de ceniza. Fuente: Diseño propio.

e) Estadísticos descriptivos

Tabla 28

Valores estadísticos

Ceniza de caña de maíz	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	5.97	0.04	0.68%	5.87	6.07
1 %	3	6.38	0.16	2.45%	5.99	6.78
2 %	3	5.94	0.53	8.94%	4.62	7.26
4 %	3	4.89	0.10	2.09%	4.64	5.15

Nota. La tabla muestra valores estadísticos de tracción indirecta con distintos % de ceniza de caña de maíz, indicando una disminución en la media y un aumento en la desviación estándar con mayores % de ceniza. Fuente: Diseño propio.

f) Análisis de varianza

Tabla 29

Análisis de varianza de la TSR

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	3.60	3	1.20	15.06	0.0012	4.066
Within groups	0.64	8	0.08			
Total	4.24	11	1.28			

Nota. La tabla muestra el análisis de varianza (ANOVA) para el TSR con ceniza de caña de maíz, indicando diferencias significativas entre los grupos (P value = 0.0012 < F critical = 4.066). Fuente: Diseño propio

Con un nivel de confianza del 95 %, se confirma que el valor de F calculado es mayor que el valor crítico de F, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula (H0) en el TSR. Para una verificación más precisa de la existencia de diferencias significativas, se empleará el método de Tukey.

Tabla 30

Diferencias de medias de la TSR

Tukey–TSR						
Ceniza de caña de maíz		mean	std err	p - value	95 % trust	
					Lower	Upper
	1 %	0.41	0.32	0.32	-0.32	1.15
0%	2 %	0.03	0.32	0.99	-0.76	0.71
	4 %	1.07	0.32	0.01	-1.81	0.33
	0 %	0.41	0.32	0.32	-0.32	1.15
1 %	2 %	0.44	0.32	0.30	-1.18	0.30
	4 %	1.83	0.32	0.00	-2.22	0.75
	0%	0.03	0.32	0.99	-0.76	0.71
2%	1%	0.44	0.32	0.30	-1.18	0.30
	4%	1.04	0.32	0.01	-1.78	0.31
	0%	1.07	0.32	0.01	-1.81	0.33
4 %	1%	1.48	0.32	0.00	-2.22	0.75

2%	1.04	0.32	0.01	-1.78	0.31

Nota. La tabla presenta la diferencia de medias de TSR con ceniza de caña de maíz según la comparación de Tukey, es identificar la diferencia significativa (p-value < 0.05) entre algunos niveles de ceniza. Fuente: Diseño propio.

Se evidencia que, en la comparación múltiple de medias, el p-valor es menor a 0.05, lo que implica el rechazo de la hipótesis nula (H0) en el TSR. Por lo tanto, se confirma la existencia de diferencias significativas entre las medias correspondientes a los distintos porcentajes de ceniza de caña de maíz.

Hipótesis especifica 03

La incorporación de ceniza de caña de maíz en proporciones del 1 %, 2 % y 4 % afecta la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente, evaluada a través del ensayo de Cántabro.

Los resultados de la resistencia al desgaste muestran que, con la adición de ceniza de caña de maíz, se obtienen valores de 4.88 % para el 1 %, 7.93 % para el 2 %, y 13.99 % para el 4 %, mientras que la mezcla asfáltica convencional presenta un valor de 4.76 %. Estos datos indican que un mayor porcentaje de ceniza de caña de maíz incrementa el desgaste.

Formulación de hipótesis

H_0: La incorporación de 1 %, 2 % y 4 % de ceniza de caña de maíz en la mezcla asfáltica no muestra diferencias significativas entre las tres medias de resistencia al desgaste en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

H_1: La incorporación de 1 %, 2 % y 4 % de ceniza de caña de maíz en la mezcla asfáltica genera diferencias significativas entre las tres medias de resistencia al desgaste en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

- Se rechaza la hipótesis nula. Si el valor de F > valor crítico para F.
- Se acepta la hipótesis nula. Si el valor de F < valor crítico para F.

y/o

- Se rechaza la hipótesis nula. Si el valor de p < 0.05.

- Se acepta la hipótesis nula. Si el valor de p > 0.05.

Tabla 31

Datos de perdida por desgaste.

Resumen de perdida por desgaste (%)			
0% - Ceniza de caña de maíz	1% - Ceniza de caña de maíz	2% - Ceniza de caña de maíz	4% - Ceniza de caña de maíz
(P-1) – 4.66	(P-4) – 3.81	(P-7) – 9.57	(P-10) – 6.06
(P-2) – 5.00	(P-5) – 5.07	(P-8) – 5.41	(P-11) – 16.06
(P-3) – 4.63	(P-6) – 5.75	(P-9) – 8.80	(P-12) – 19.85

Nota. La tabla muestra los resultados de pérdida por desgaste en mezclas con diferentes porcentajes de ceniza de caña de maíz, indicando un incremento significativo en la pérdida conforme aumenta el porcentaje de ceniza. Fuente: Diseño propio.

g) Estadísticos descriptivos

Tabla 32

Resultados de perdida por desgaste de ceniza de caña de maíz.

Ceniza de caña de maíz	N	mean	Standard deviation	Coefficient of variation	95 % trust	
					Lower	Upper
0 %	3	4.76	0.21	4.31%	4.25	5.27
1 %	3	4.88	0.98	20.18%	2.43	7.32
2 %	3	7.93	2.21	27.92%	2.43	13.42
4 %	3	13.99	7.12	50.92%	3.70	31.69

Nota. La tabla presenta los resultados estadísticos de la pérdida por desgaste con diferentes porcentajes de ceniza de caña de maíz, mostrando un aumento en la media, desviación estándar y coeficiente de variación con mayores porcentajes de ceniza. Fuente: Diseño propio.

h) Análisis de varianza

Tabla 33

Análisis de varianza de la perdida por desgaste con ceniza de caña de maíz.

Sources	SS	df	MS	F	P value	F critical
Between groups	168.20	3	56.08	3.96	0.053	4.066
Within groups	113.33	8	14.17			
Total	316.94	12	26.41			

Nota. La tabla muestra un análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida por desgaste con ceniza de caña de maíz, indicando que no hay diferencias significativas entre los grupos (P value = 0.053 > F critical = 4.066). Fuente: Diseño propio.

Con un nivel de confianza del 95 %, se determina que el valor de F calculado es menor que el valor crítico de F, por lo que no se rechaza la hipótesis nula (H0) respecto a la pérdida por desgaste. Para una verificación más precisa de la existencia de diferencias significativas, se empleará el método de Tukey.

Tabla 34

Diferencias de medias de la perdida por desgaste.

Tukey						
Ceniza de caña de maíz		Mean	std err	p - value	95 % trust	
					Lower	Upper
	1 %	0.113	2.18	0.98	-8.43	10.85
0 %	2 %	3.163	2.18	0.97	-8.28	11
	4 %	9.226	2.61	0.066	-0.69	22.37
	0 %	0.113	2.18	0.98	-8.43	10.85
1 %	2 %	3.050	2.02	0.99	-8.78	9.1
	4 %	9.113	2.48	0.08	-1.31	20.57
	0%	3.163	2.18	0.97	-8.29	11
2%	1%	3.050	2.02	0.99	-8.78	9.1
	4%	6.063	2.48	0.09	-1.46	20.42
	0%	9.226	2.61	0.06	-0.69	22.37
4%	1%	9.113	2.48	0.09	-1.31	20.57

2%	6.063	2.48	0.09	-1.46	20.42

Nota. La tabla muestra las diferencias de medias de la perdida por desgaste con ceniza de caña de maíz según el análisis de Tukey, indicando que no se hallaron diferencias significativas (p-value > 0.05) entre los niveles de ceniza. Fuente: Diseño propio.

Los resultados de la comparación múltiple de medias muestran que el p-valor es mayor a 0.05, lo que implica que no se rechaza la hipótesis nula (H0) en la pérdida por desgaste. Por lo tanto, no se observan diferencias significativas entre las medias correspondientes a los distintos porcentajes de ceniza de caña de maíz.

VI Conclusiones

Conclusión para el objetivo general

Según los resultados obtenidos en el laboratorio, se determinó que la incorporación de ceniza de caña de maíz influye en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente para los diferentes porcentajes evaluados menores al 1% ya que cumple con los parámetros establecidos en los ensayos Marshall, resistencia a la compresión diametral y cántabro.

Conclusión para el objetivo específico 1

Se determinó que la adición de 1.0 % de ceniza de caña de maíz en la mezcla asfáltica en caliente mejora el comportamiento flujo-estabilidad en comparación con la mezcla estándar. Los resultados obtenidos para las mezclas con esta proporción de ceniza muestran un valor de 3189.67 kg/cm, que se encuentra dentro del rango exigido por las especificaciones de AASHTO (1,700 – 4,000 kg/cm), lo que garantiza un desempeño adecuado de la mezcla

asfáltica, mientras que, los resultados de la mezcla convencional 0 % es de 3340.67 kg/cm, ya que este valor se encuentra cerca al límite superior, el 2 % es de 2110.67 kg/cm dicho valor se encuentra al límite inferior de los parámetros establecidos, y el del 4 % es de 1249 kg/cm las cuales se encuentra fuera de los parámetros establecidos.

Conclusión para el objetivo específico 2

Se determinó que la resistencia a la tracción indirecta aumenta con la incorporación de 1.0 % de ceniza de caña de maíz. Sin embargo, al añadir ceniza en proporciones del 2 % y 4 %, la resistencia a la tracción disminuye a 5.94 MPa y 4.90 MPa, respectivamente, en comparación con la mezcla asfáltica estándar. Por lo tanto, el porcentaje más adecuado de adición de ceniza de caña de maíz es del 1.0 %, alcanzando una resistencia a la tracción indirecta de 6.38 MPa.

Conclusión para el objetivo específico 3

Se determinó que la adición de cenizas de caña de maíz afecta en el comportamiento de la resistencia al desgaste mediante un decremento ya que según los resultados obtenidos al 0 y al 1 % de adición de ceniza de caña de maíz presentaron un promedio de pérdidas por desgaste de 4.76 % y 4.88 % y mientras que con la adición de ceniza de caña de maíz al 2 % incrementan negativamente su valor de la perdida por desgaste que es de 7.93 % y al 4 % de adición de ceniza su perdida por desgaste es de 13.93 %, en conclusión el valor más adecuado con la adición de ceniza de caña de maíz es del 1 %, ya que a mayor adición de ceniza de caña de maíz incrementa negativamente la perdida por desgaste.

VII. Recomendaciones

A continuación, se presentan las recomendaciones de esta investigación.

Para el objetivo general, que fue evaluar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente, considerando los resultados de los ensayos de laboratorio se recomienda incorporar este material a la mezcla asfáltica en caliente en porcentajes que no superen al 1 % de ceniza de caña de maíz , para poder mantener las características mecánicas de la resistencia a la deformación, resistencia a la tracción indirecta y resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente destinado a las futuras carpetas asfálticas en una vía departamental .

1. En el objetivo específico 1, se tuvo que determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo Marshall, es por esto que se considera los resultados de laboratorio, y se recomienda evitar la incorporación de % de ceniza de caña de maíz superiores al 1 %, porque se pudo ver qué incremento el flujo y disminuyó la estabilidad según los parámetros establecido de la EG – 2013.
2. En el objetivo específico 2, se tuvo que determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia a la tracción indirecta de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo de tracción indirecta. es por esto que se considera los resultados de laboratorio, y se recomienda incorporar el 1 % de ceniza de caña de maíz , porque se pudo observar un incremento en su resistencia a la tracción indirecta.
3. En el objetivo específico 3, se tuvo que determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de maíz en la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica en caliente mediante los parámetros del ensayo de cántabro, es por esto que se considera los resultados de laboratorio, y se recomienda incorporar porcentajes de ceniza de caña de maíz menores al 1 %, porque se pudo observar que a mayor porcentaje de ceniza mayor es el desgaste.

VIII. Referencias

Adauto, M. (2019). *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maiz[Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Rpositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/browse?type=author&value=Adauto+Orellana%2C+Rosario+Evelyn

Adauto, M. (2019). *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maiz[Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Rpositorio

Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/browse?type=author&value=Adauto+Orellana%2C+Rosario+Evelyn

Azula, J. (2022). Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecanicas de la mezcla asfaltica. *Infraestructura Vial, 24*(43), 16. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052022000100056

Baptista, P. (2010). *Instrumentos de recoleccion de datos[Tesis de licenciatura,Universidad Nacional Agraria de la Molina].* Repositorio Institucional. doi:https://bit.ly/3G7gFdS

Boza, D. (2019). *Analsisis de la granulometria de los agregados de la cantera el pedregal y su influencia en las mezclas asfalticas en caliente[Tesis de pregrado,Universidad Tecnologica de los Andes].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/380/5/Análisis%20de%20la%20granulometría%20de%20los%20agregados%20de%20la%20cantera%20El%20Pedregal%20y%20su%20influencia%20en%20las%20mezclas%20asfálticas.pdf

Bravo, G. (2021). *Mezcla asfaltica SMA,fibra ,ceniza del bagazo de caña de azucar y su desempeño mecanico[Tesis de licenciatura Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4116?show=full

Calle, L. (2012). *Procedimiento estadistico para herramientas computacionales[Tesis de licenciatura,Universidad Pontificia Catolica del Peru].* Repositorio Institucional. doi:https://bit.ly/3G53ry7

Cañari, C. (2019). Comportamiento Mecanico de la mezcla asaltica en caliente con adicion de fibras de polipropileno[Tesis de Post grado,Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2488

Castellano, I. (2020). *Protolo de estudio de mezclas asfalticas densas modificadas con fibras de palma estera y guerregue [Tesis de pregrado, Universidad Catolica de Colombia].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0e070815-e9fa-4b6d-9e03-d67e18cf64f3/content

Castillo, R. (2022). *Uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar para la estabilización de base en la carretera Santiago[Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5564

Clavijo, C. (2019). Comportamiento fisico mecanico de una mezcla densa en caliente tipo MDC- 2 modificada con caucho y curo en porcentajes de 25 % y 75 % [Tesis pregrado,Universidad Catolica de Colombia]. Repositorio Institucional. Obtenido de http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/1238

Corbacho, J. E. (2019). *Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno [Tesis de pregrado,Universidad Abad del Cusco].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/3571

De la cruz, P. (2021). *Evaluacion del desempeño de mezclas asfalticas en caliente diseñadas por la metodologia Marshall con el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo para el proyecto imperial pampas[Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2188

Farfan, V. (2019). *Analisis y propuesta de carpeta asfaltica con la tecnologia (SMA) modificada con fibra natural de caña de azucar [Tesis de maestria,Universidad Andina del Cusco].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2799

Fernandez&Hernandez. (2010). *Metodologia de la investigacion.* Mc Graw Hill. Obtenido de https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf

Figueroa, M. (2019). *Comportamiento de un cemento asfaltico modificado con un desecho de PVC [Tesis de pregrado,Universidad Nacional de Medellin].* Bogota: Repositorio Institucional. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/750/75029150007.pdf

Garnica. (2005). *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas.* Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf

Granados. (2017).

Sampieri. (2003). *Metodología de la investigación.* Mc Graw Hill. Obtenido de https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf

Sampieri . (2001). *Hipotesis una posible respuesta tentativa en investigaciones Colombianas[Tesis de licenciatura,Universidad del Atlantico de Barranquilla].* Repositorio Institucional. doi:https://bit.ly/3IGzx4e

Hernandez, M. (2014). *Investigacion correlacional una relacion entre variables[Tesis de licenciatura,Pontificia Universidad Javeriana].* Lima: Repositorio Institucional. doi:https://bit.ly/3EURVUM

Hernandez, S. (2014). *Enfoque cuantitativo en una investigacion[Tesis de licenciatura,Universidad Nacional Fedrico Villareal].* Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252011000300008

Instituto del asfalto . (1992). *Manual de Principios de Construccion de Pavimentos de Mezcla Asfaltica en Caliente MS-22.* Asphalt Institute. Obtenido de

https://my.asphaltinstitute.org/Shop/Product-Details?productid=66E0AEB7-301E-E811-80F2-000D3A011CEC

Lopez, T. (2019). *El daño por humedad en las mezclas asfalticas[Tesis de pregrado,Universidad Politecnica de Catalunya].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/handle/2117/126750?show=full

Luna, G. (2020). *Efecto de la sustitucion de agregado fino por ceniza proveniente del proceso de incineracion para hormigon[Tesis de pregrado, Universidad Politecnica de Madrid].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/558

Martinez, J. (2009). *Rehabilitacion de pavimentos del aeropuerto del Cusco usando modificadores de asfalto [Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Cusco: Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/20.500.14138/114/1/martinez_jc-ventocilla_jc.pdf

MTC E 515. (2016). *Caracterizacion de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo de cantabro perdida por desgaste.* PROGRESO PARA TODOS. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

MTCE 504. (2016). *MANUAL DE ENSAYOS Y MATERIALES.* PROGRESO PARA TODOS. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

NLT-346/90. (1990). *Resistencia a compresion diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas.* Normativa de carreteras. Obtenido de

https://normativadecarreteras.com/listing/nlt-34690-resistencia-compresion-diametral-ensayo-brasileno-mezclas-bituminosas/

Orellana, R. (2019). *Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maiz [Tesis de licenciatura, Ricardo Palma].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/browse?type=author&value=Adauto+Orellana%2C+Rosario+Evelyn

Padilla, A. (2019). *Analsis de la resistencia a las deformaciones plasticas de mezclas bituminosas densas norma mexicana ensayo en pista[Tesis de doctorado,Universidad Politecnica de Catalunya].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334

Paye, D. (2017). *Aceleracion de la evolucion de la resistencia a la compresion del concreto hidraulico en difrentes relaciones agua-cemento [Tesis de licenciatura,Universidad Nestor Caceres Velasquez].* Repositorio Institucional. doi:https://bit.ly/3bAlmmh

Peña, J. C. (2019). *Desempeño mecanico de la mezcla asfaltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoelectrica Ilo [Tesis de Maestria,Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2490

QuestionPro. (2021). *Diseño de investigacion Software de Encuestas. BUSINESS.* Obtenido de https://www.questionpro.com

Rafer, B. (2019). *Analisis y propuesta de carpeta asfaltica con la tecnologia SMA modificada con fibra natural de caña de azucar[Tesis de pregrado,Universidad Andina del Cusco.* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2799

Renego, D. (2022). *España suspende en la conservacion de las carreteras y estado del pavimento.* Obtenido de https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-espana-suspende-conservacion-carreteras-y-estado-pavimento-201901230217_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.abc.es%2Fmotor%2Freportajes%2Fabci-espana-suspende-conservacion-carreteras-y-estado-pavimento-201901230217_

Rivera, B. (2022). *Determinación de las propiedades mecánicas y fotocatalíticas del asfalto adicionado con dioxido de titanio [Tesis de pregrado,Universidad Cesar Vallejo].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3370357

Romanelli, D. (2021). *Cuales son los principales problemas encontrados en los pavimentos de carrtera .* Brasil . Obtenido de https://www.romanelli.com.br/es/noticias/quais-sao-os-principais-problemas-encontrados-nos-pavimentos-rodoviarios-

Rondon, H. (2021). *Evaluacion de las propiedades mecanicas de una mezcla densa n caliente modificada con un desecho de polietileno de baja densidad [Tesis de pregrado,Universidad Distrital Frnacisco Jose de Caldas].* Puerto rico: Repositorio Institucional. Obtenido de www.scielo.cl/pdf/ric/v25n1/art04.pdf

Rosales, T. (2022). *Mezcla asfáltica altamente modificada con polímeros elastómero[Tesis de pregrado,Universidad Ricardo Palma].* Repositorio Intitucional. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/5563/T030_20714378_M%20TULIO%20ROSALES%20NAVARRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Soto, E. (2023). *nfluencia de la Ceniza de Bagazo de maíz para el análisis del comportamiento mecanico de una mezcla asfaltica en caliente ,Cerro de pasco [Tesis de pregado, Universidad Nascional Daniel Alcides Carrion ,Tesis de pregrado].* Repositorio Institucional. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3726

Utea. (2024). *Comite de etica de investigacion.* Abancay: Resolucion del consejo universitario. Obtenido de https://transparencia.utea.edu.pe/download/

Vidal, V. (2020). *Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la fabricacion de elementos de construccion[Tesis de Maestria,Universidad Nacional de Colombia].* Colombia : Repositorio Institucional. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/1699/169959497036.pdf

Yepez, O. (2021). *Cenizas de bagazo de caña de azucar para mejorar la resistencia y permeabilidad del hormigon[Tesis de pregrado,Universidad Catolica de Guayaquil].* Repositorio Institucional. Obtenido de http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13844/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-322.pdf

Zaga, N. (2024). *"Influencia del dióxido de titanio al 3%,5%,7% con respecto a las propiedades mecánicas y fotocatalíticas de la mezcla asfáltica en caliente con agregados de Abancay – Apurímac 2023"[Tesis de pregrado,Universidad Tecnologica de los andes].* Repositorio Institucional. Obtenido de https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/676

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes