



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR,
MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

Muñoz Pozo Bryan Ariel

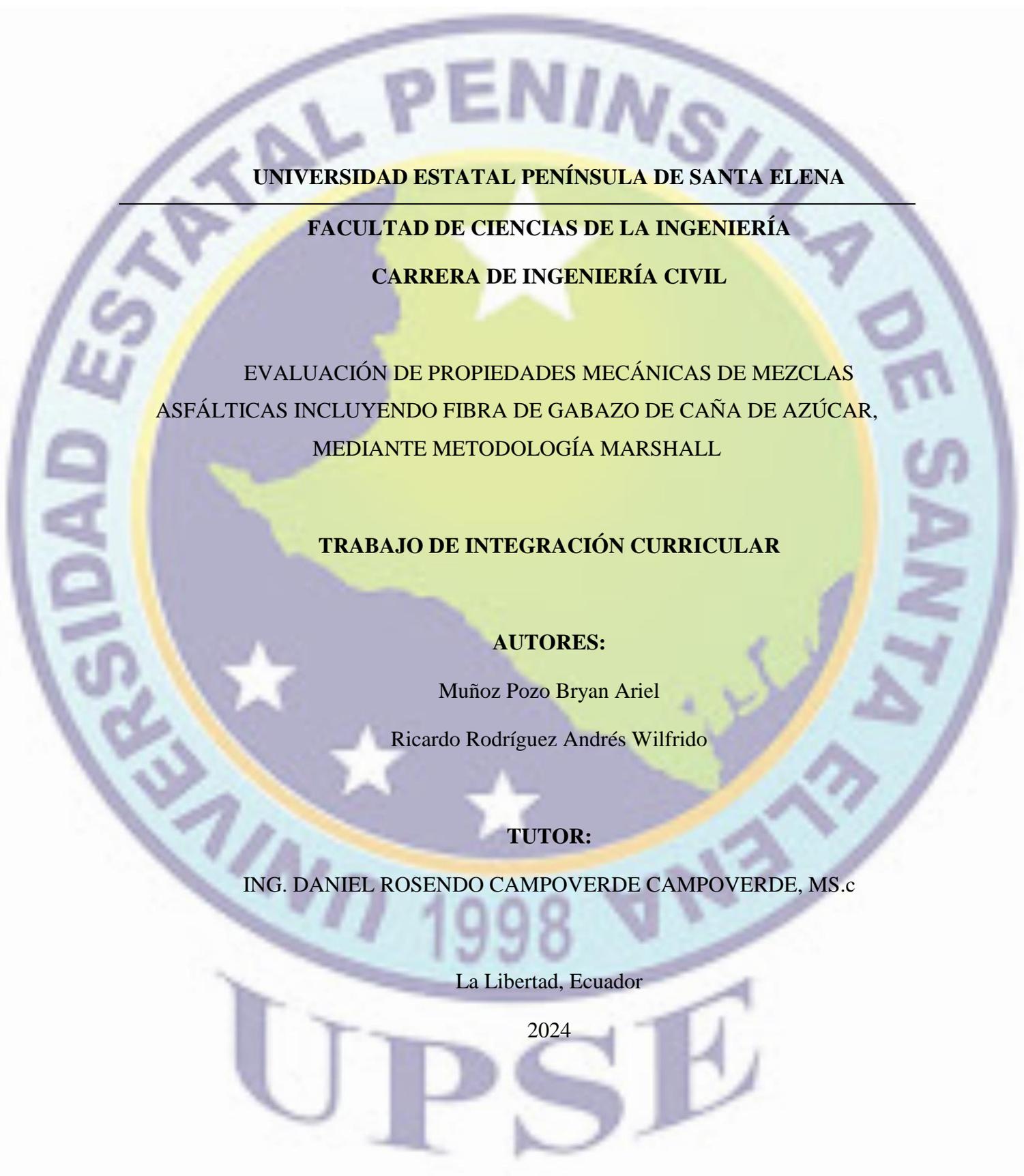
Ricardo Rodríguez Andrés Wilfrido

TUTOR:

ING. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c

La Libertad, Ecuador

2024



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR,
MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

Muñoz Pozo Bryan Ariel

Ricardo Rodríguez Andrés Wilfrido

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MS.c

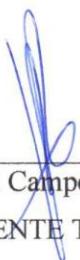
La Libertad, Ecuador

2024

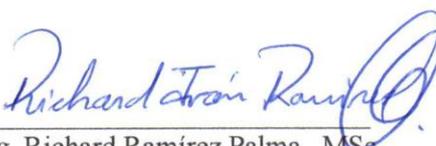
UPSE

TRIBUNAL DE SUSTENTACION

f. 
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar., PhD
DIRECTOR DE CARRERA

f. 
Ing. Daniel Campoverde C., MSc
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Nestor Orrala Vera, MSc
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Richard Ramírez Palma., MSc
DOCENTE UIC

Dedico mi trabajo de titulación a mi familia,
Especialmente a mis abuelos gracias por guiarme,
enseñarme y ser mi inspiración en cada uno de mis logros.

Andrés Ricardo.

Dedico mi trabajo de titulación primeramente a Dios por afrontar y nunca dejarme rendir a pesar de las adversidades durante este largo camino.

Especialmente a mis padres por inculcarme valores a lo largo de esta etapa y brindarme siempre el apoyo necesario en cada meta que me propongo.

Bryan Ariel Muñoz Pozo

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

Ing., Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

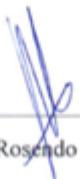
TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema "**EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL**" elaborado por los estudiantes, **ANDRES WILFRIDO RICARDO RODRIGUEZ Y BRYAN ARIEL MUÑOZ POZO**, con **C.I.: 0928236843** y **CI.: 2450839325**, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis , se encuentra con un 8% de la valoración permitida.

Adjunto reporte de similitud

Atentamente,

f. 

Ing., Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

C.I.: 0997906803

DOCENTE TUTOR

TESIS RICARDO - MUÑOZ 23 11 24

8%
Textos sospechosos



3% Similitudes
0% similitudes entre comillas
< 1% entre las fuentes mencionadas

< 1% Idiomas no reconocidos

5% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS RICARDO - MUÑOZ 23 11 24.docx
ID del documento: 5962982d79b03d9b9b39aa94ace7a62790f1319
Tamaño del documento original: 13,42 MB
Autores: []

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE
Fecha de depósito: 24/11/2024
Tipo de carga: Interface
fecha de fin de análisis: 24/11/2024

Número de palabras: 34.140
Número de caracteres: 216.309

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	orralla-rodriguez antiplagio.docx | orralla-rodriguez antiplagio #421769 El documento proviene de mi biblioteca de referencias	2%		Palabras idénticas: 2% (740 palabras)
2	doi.org https://doi.org/10.18359/rcin.4733 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
3	Documento de otro usuario #146147 El documento proviene de otro grupo 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	doi.org https://doi.org/10.13517/n.v24i43.48421	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
2	doi.org https://doi.org/10.13517/n.v24i43.47931	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	doi.org https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1931	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	doi.org https://doi.org/10.18359/rcin.5294	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	doi.org https://doi.org/10.13517/n.v23i44.55868	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

DECLARACION DE AUTORIA

Nosotros, **ANDRES WILFRIDO RICARDO RODRIGUEZ** y **BRYAN ARIEL MUÑOZ POZO**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL", no tiene antecedente de haber sido elaborado en la facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente

f. 

Andrés Wilfrido Ricardo Rodríguez
C.I. 0928236843
AUTOR DE TESIS

f. 

Bryan Ariel Muñoz Pozo
C.I. 2450839325
AUTOR DE TESIS

CERTIFICADO DEL TUTOR

Ing., Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL”** previo a la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL**, elaborado por el Sr. **ANDRÉS WILFRIDÓ RICARDO RODRIGUEZ** y **BRYAN ARIEL MUÑOZ POZO**, egresado de la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, Facultad Ciencias de la ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena me permito declarar que luego de haber orientado , estudiado y revisado , la apruebo en todas sus partes.

Atentamente,

f. 

Ing., Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

C.I.: 0997906803

DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

La Libertad, 22 de noviembre del 2024

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

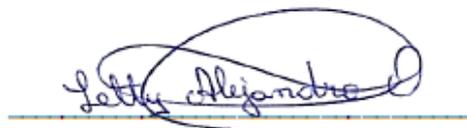
Yo, **Alejandro Orrala Letty Gisela**, con cédula de ciudadanía **0912208253**, certifico que he revisado la redacción, estilo y ortografía del contenido del proyecto de investigación:

“Evaluación de propiedades mecánicas de mezclas asfálticas incluyendo fibra de gabazo de caña de azúcar, mediante metodología Marshall”, elaborado por los estudiantes **Muñoz Pozo Bryan Ariel** y **Ricardo Rodríguez Andrés Wilfrido**, presentado como requisito académico previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** de la **Universidad Estatal Península de Santa Elena**, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, en la carrera de Ingeniería Civil.

El mencionado trabajo, en el contexto general, cumple con los requisitos de redacción, estilo y ortografía para el uso del idioma español.

Certificación que otorgo para fines académicos pertinentes, en la ciudad de Santa Elena, a los veintidós días del mes de noviembre de dos mil veinticuatro.

Atentamente,



Letty Gisela Alejandro Orrala
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
Número de cédula: 0912208253
Número de celular: 0993711533
Número de registro del SENESCYT: 1050-12-86029461

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser guía y luz durante mi carrera universitaria, por bendecir mi vida con fortaleza, salud y bondad, permitiendo que logre mis objetivos.

A mis padres, Wilfrido Ricardo y Yadira Rodríguez, por ser los principales promotores de mis metas, gracias por anhelar siempre lo mejor para mí. A mi tío Rubén Ricardo por ser esa inspiración a llegar ser profesional y superarme tanto intelectual como personalmente. A mi hermana Jennifer Ricardo por ser ese apoyo emocional y compañera durante los momentos más difíciles de mi vida. A mi tía Diana Carvajal que junto a mis primos me brindan ese amor familiar e incondicional.

A mis abuelos Pedro Alejandro, Macario Ricardo, Ángela Alejandro y Bertha Alejandro, por la confianza, el apoyo y aquel amor infinito en buenos y malos momentos, su presencia, sus consejos y cada palabra que me dieron, fueron necesarias e importantes para seguir luchando por mis sueños, aunque ya no estén físicamente siempre los tengo presentes en cada paso de mi vida.

A los docentes de la carrera, por haber compartido sus conocimientos en cada asignatura y formarme como profesional, sobre todo, a mi tutor de tesis Ing. Daniel Campoverde, por la orientación y enseñanza brindada durante la realización de este trabajo de titulación; A los laboratoristas Roger Magallanes y Rafael Andrade por la ayuda y dedicación que hicieron posible el buen término del trabajo.

A mi amigo y compañero de tesis, Bryan, por su confianza, paciencia, ayuda y experiencias únicas que vivimos durante nuestra formación como ingenieros civiles, fue difícil, pero juntos, logramos esta meta. A Dickson R., Kevin O. y Michael R., por brindarme su tiempo y apoyo en cada momento, con quienes agradezco haber compartido conocimientos, momentos de alegría y tristeza en el transcurso de la carrera. A Víctor V., Melany S., y Lisbeth R., por su cariño, su amistad y apoyo moral que siempre me brindaron. Gracias por aquellos momentos únicos e inolvidables que pasamos durante esta etapa de estudios.

Andrés W. Ricardo Rodríguez

Primeramente, agradezco a mi Padre Celestial por nunca dejarme tropezar en esta larga etapa, a pesar de los obstáculos que nos presenta la vida, nunca me permitió decaer y siempre seguir adelante hasta cumplir mis objetivos.

A mis padres, Julio Muñoz y Evelina Pozo, que son un pilar fundamental en mi vida gracias por guiarme siempre en el camino del bien, por los consejos de nunca rendirme, por el apoyo incondicional que me han dado en esta larga etapa universitaria. A mis hermanas Andrea Muñoz y Valeska Muñoz por estar siempre en los malos y buenos momentos de mi vida, para cumplir todas mis metas que me proponga en la vida.

A todos los docentes de la carrera, por brindarnos sus conocimientos, sus enseñanzas y guiarnos para ser una mejor persona en el ámbito profesional, sobre todo a nuestro tutor de tesis Ing. Daniel Campoverde, por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisa no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada durante la realización de este trabajo de titulación; A los laboratoristas de estudios de suelos Roger Magallanes y Rafael Andrade por brindarnos la ayuda necesaria para la culminación de nuestro proyecto.

A todos mis amigos que estuvieron en mi etapa universitaria, Christian Villamar, Irwin Méndez, Erick Guale y Dickson Rocafuerte, gracias a sus consejos que me inculcaron de nunca dar el brazo a torcer sin dar lo mejor mí, a mi compañero de tesis Andrés Ricardo por la ayuda y paciencia durante este largo proceso, no fue fácil pero jamás nos dimos por vencido hasta cumplir el objetivo de formarnos como futuros ingenieros civiles.

Bryan Ariel Muñoz Pozo

LISTA DE CONTENIDOS

TRIBUNAL DE SUSTENTACION.....	ii
DEDICATORIA	ii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	v
DECLARACION DE AUTORIA.....	vii
CERTIFICADO DEL TUTOR.....	viii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	ix
AGRADECIMIENTOS	x
LISTA DE CONTENIDOS	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
LISTA DE TABLAS	xix
RESUMEN	xxiv
ABSTRACT.....	xxv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.2. ANTECEDENTES	5
1.3. HIPÓTESIS.....	8
1.3.1. Hipótesis General.....	8
1.3.2. Hipótesis Específicas	9
1.4. OBJETIVOS	9
1.4.1. Objetivo General.....	9
1.4.2. Objetivos Específicos.....	9
1.5. ALCANCE.....	9
1.6. VARIABLES	11
1.6.1. Variables independientes	11
1.6.2. Variable Dependiente.....	11

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. Mezclas Asfálticas	12
2.1.0. Estructura del pavimento flexible	12
2.1.1. Definición y clasificación	12
2.1.2. Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	15
2.1.3. Modificación de mezclas asfálticas	21
2.1.4. Componentes de las mezclas asfálticas.....	22
2.2. Fibra de Gabazo de caña de azúcar.....	25
2.2.1. Caracterización de la fibra de gabazo de caña de azúcar.....	25
2.2.2. Forma de uso del gabazo de caña de azúcar en las mezclas asfálticas	30
2.3. Metodología MARSHALL	31
2.3.1. Procedimiento de ensayo Marshall	31
2.3.2. Aplicación de la metodología Marshall a mezclas con fibra de gabazo de caña de azúcar	32
2.4. Viabilidad del uso de fibra de gabazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas	33
2.4.1. Viabilidad técnica	33
2.4.2. Viabilidad económica	34
2.4.3. Impacto ambiental del uso de fibra de gabazo de caña de azúcar	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	37
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	37
3.1.1. Tipo.....	37
3.1.2. Nivel.....	37
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	37
3.2.1. Método	37
3.2.2. Enfoque	38
3.2.3. Diseño	38

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	38
3.3.1. Población.....	38
3.3.2. Muestra	39
3.3.3. Muestreo	39
3.4. METODOLOGÍA DEL O.E.1.: ESTABLECIMIENTO DE LA ESTABILIDAD Y EL FLUJO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS QUE INCLUYEN FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE PRUEBAS MARSHALL.....	39
3.4.1. Recolección de materiales.....	39
3.4.2. Caracterización de Materiales para dosificaciones de mezclas asfálticas en caliente	43
3.4.3. Dosificación para el diseño de la mezcla.....	49
3.4.4. Elaboración de mezclas asfálticas usando la metodología Marshall	52
3.4.5. Elaboración del diseño incluyendo el gabazo de caña de azúcar a diferentes porcentajes	64
3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.2.: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y LA DURABILIDAD ENTRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	66
3.5.1. Elaboración de briquetas utilizando el contenido óptimo de asfalto	67
3.5.2. Elaboración de briquetas utilizando el contenido óptimo de Gabazo de caña de azúcar	73
3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.3.: DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA Y EL IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	77
3.6.1. Presupuesto	77
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	80
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.1. ESTABLECER LA ESTABILIDAD Y EL FLUJO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS QUE INCLUYEN FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE PRUEBAS MARSHALL.....	80
4.1.1. Mezcla asfáltica tradicional	80

4.1.2. Resultados para mezcla asfáltica modificada con gabazo de caña de azúcar	87
4.1.3. Comparación de los diseños con mezcla tradicional y mezcla con gabazo de caña de azúcar	94
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.2. ANALIZAR LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y LA DURABILIDAD ENTRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.....	102
4.2.1. Tracción indirecta en mezcla asfáltica tradicional.....	102
4.2.2. Tracción indirecta en mezcla asfáltica con gabazo de caña de azúcar	104
4.2.3. Comparación de los resultados de tracción indirecta de la muestra tradicional y con gabazo de caña de azúcar	106
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.3. DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA Y EL IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN MEZCLAS ASFÁLTICAS	107
4.3.1. Análisis de precios unitarios según mezcla tradicional y modificada con gabazo de caña de azúcar	107
4.3.2. Rendimiento técnico	110
4.3.3. Impacto ambiental.....	110
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	111
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECONMENDACIONES	114
5.1. CONCLUSIONES	114
5.2. RECOMENDACIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS	124
CÁLCULOS REALIZADOS EN LOS ENSAYOS	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la empresa Constructora Morocho	40
Figura 2. Arena natural proveniente del Río Guayas.....	40
Figura 3. Agregado $\frac{3}{4}$ proporcionado por la Constructora Morocho	41
Figura 4. Agregado Cisco proporcionado por la Constructora Morocho	41
Figura 5. Cemento asfáltico proporcionado por la Constructora Morocho	42
Figura 6. Gabazo de caña de azúcar procesada	42
Figura 7. Tamizado de los agregados gruesos, cisco y material $\frac{3}{4}$	45
Figura 8. Muestras de agregados para tamizar	45
Figura 9. Tamizado de los agregados gruesos, cisco y piedra $\frac{3}{4}$	47
Figura 10. Lavado del material grueso para ensayo abrasión de los Ángeles	47
Figura 11. Equipo para ensayo de abrasión Los Ángeles	48
Figura 12. Material en el tambor de la máquina de abrasión Los Ángeles.....	48
Figura 13. Dosificación de los materiales para las mezclas	49
Figura 14. Pesos de cantidades de agregados	52
Figura 15. Materiales en proceso de calefacción	53
Figura 16. Proceso de compactación de las briquetas	54
Figura 17. Desencofrado de briquetas compactadas.....	54
Figura 18. Peso seco de la briqueta.....	55
Figura 19. Peso superficialmente saturado de briqueta (SSS).....	56
Figura 20. Peso en agua de briqueta	56
Figura 21. Medición de espesores de briquetas	57
Figura 22. Briquetas en baño maría	58
Figura 23. Mordaza Marshall y medida de flujo	58
Figura 24. Equipo Marshall	59
Figura 25. Ensayo RICE	62

Figura 26. Medición de las muestras	67
Figura 27. % Vacíos vs % Asfalto	81
Figura 28. BULK vs % Asfalto	82
Figura 29. Estabilidad vs % Asfalto	83
Figura 30. % VMA vs % Asfalto.....	83
Figura 31. % VFA vs % Asfalto	84
Figura 32. Flujo vs % Asfalto.....	84
Figura 33. Estabilidad/Flujo vs % Asfalto.....	85
Figura 34. Polvo/Asfalto vs % Asfalto	85
Figura 35. GMM vs % Asfalto	86
Figura 36. % Vacíos vs % Gabazo de caña de azúcar	88
Figura 37. BULK vs % Gabazo de caña de azúcar.....	89
Figura 38. ESTABILIDAD vs % Gabazo de caña de azúcar	89
Figura 39. % VMA vs % Gabazo de caña de azúcar	90
Figura 40. % VFA vs % Gabazo de caña de azúcar	91
Figura 41. FLUJO vs % Gabazo de caña de azúcar.....	91
Figura 42. Estabilidad/Flujo vs % Gabazo de caña de azúcar.....	92
Figura 43. Polvo/Asfalto vs % Gabazo de caña de azúcar	93
Figura 44. GMM vs % Gabazo de caña de azúcar.....	93
Figura 45. % Vacíos en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	96
Figura 46. BULK en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	96
Figura 47. ESTABILIDAD en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	97
Figura 48. % VMA en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	98

Figura 49. %VFA en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	98
Figura 50. FLUJO en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	99
Figura 51. Estabilidad/Flujo en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	100
Figura 52. Polvo/Asfalto en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	100
Figura 53. GMM en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar	101

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría de la mezcla tradicional.....	43
Tabla 2. Cantidades mínimas para el ensayo de Gravedad específica	44
Tabla 3. Especificaciones del método y cantidades según la granulometría del agregado	46
Tabla 4. Especificaciones de la combinación de agregaos de acuerdo con el porcentaje de pasante de tamiz	49
Tabla 5. Graduación de agregados para Mezcla Tradicional	51
Tabla 6. Registro de estabilidades de Mezcla Tradicional	59
Tabla 7. Registro de flujo de Mezcla Tradicional	60
Tabla 8. Registro de estabilidades de Mezcla Modificada incluyendo el gabazo de caña de azúcar.....	60
Tabla 9. Registro de flujo de Mezcla Modificada incluyendo el gabazo de caña de azúcar.....	60
Tabla 10. Peso a utilizar para RICE según la norma.....	61
Tabla 11. Criterio de Marshall para superficies y bases.....	63
Tabla 12. Criterio de Marshall VMA	64
Tabla 13. Dosificación de materiales incluyendo el gabazo de caña de azúcar	64
Tabla 14. Resultados de pesos de las briquetas	65
Tabla 15. Resultados de estabilidad y flujo incluyendo los porcentajes de gabazo de caña de azúcar.....	65
Tabla 16. Ensayo RICE con los diferentes porcentajes de gabazo de caña de azúcar	66
Tabla 17. Resultados obtenidos en el ensayo de Lottman diferenciados para muestras húmedas y secas	67
Tabla 18. Resultados de los volúmenes según las condiciones de las muestras húmedas y secas	68

Tabla 19. Resultados de la gravedad según las condiciones de las muestras húmedas y secas.....	68
Tabla 20. Resultados de la gravedad teórica máxima según las condiciones de las muestras húmedas y secas	68
Tabla 21. Resultados del % de vacíos en la mezcla según las condiciones de las muestras húmedas y secas	69
Tabla 22. Resultados de volumen de vacíos en la mezcla según las condiciones de las muestras húmedas y secas.....	69
Tabla 23. Resultados de saturación al vacío de la mezcla según las condiciones húmedas.....	70
Tabla 24. Resultados de volumen al vacío de la mezcla según las condiciones húmedas.....	70
Tabla 25. Resultados de saturación al vacío de la mezcla según las condiciones húmedas.....	71
Tabla 26. Resultados del peso de las briquetas en condiciones húmedas	71
Tabla 27. Volumen y volumen de agua absorbida en briquetas sumergidas durante 24 horas a baño maría de 60°C.....	71
Tabla 28. Porcentaje de saturación y esponjamiento de las briquetas inmersas a 60°C	72
Tabla 29. Rotura a la tracción.....	72
Tabla 30. Relación de resistencia a la tracción (TSR).....	72
Tabla 31. Resultados de parámetros de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas.....	73
Tabla 32. Resultados del volumen de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas	73
Tabla 33. Resultados de la gravedad específica de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas	74
Tabla 34. Resultados de la gravedad teórica máxima de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas	74

Tabla 35. Resultados del porcentaje de vacíos de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas	74
Tabla 36. Resultados del volumen de vacíos de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas	74
Tabla 37. Peso SSS y Peso sumergido en una mezcla de gabazo de caña de azúcar en condiciones húmedas	75
Tabla 38. Volúmenes obtenidos al vacío (bomba de vacío) de 19 a 28" Hg. de 5 a 15 min. agua destilada 25°C.....	75
Tabla 39. Saturación y expansión obtenida al vacío (bomba de vacío) de 19 a 28" Hg. de 5 a 15 min. agua destilada 25°C	75
Tabla 40. Peso SSS y Peso sumergido en mezclas con gabazo de caña de azúcar en condiciones húmedas.....	76
Tabla 41. Volúmenes de la muestra obtenidas posterior a la inmersión	76
Tabla 42. Saturación y expansión de la muestra, obtenidas posterior a la inmersión	76
Tabla 43. Rotura a tracción en mezcla con gabazo de caña de azúcar.....	76
Tabla 44. Relación de la resistencia a la tracción de la mezcla asfáltica con gabazo de caña de azúcar.....	77
Tabla 45. Proporción de materiales utilizados en la mezcla tradicional	78
Tabla 46. Peso de materiales utilizados en la mezcla tradicional.....	78
Tabla 47. Proporción de materiales utilizados en la mezcla modificada con gabazo de caña de azúcar.....	78
Tabla 48. Pesos de mezcla modificada con óptimo de gabazo de caña de azúcar (1,7%).....	78
Tabla 49. Pesos específicos de materiales para mezcla asfáltica	79
Tabla 50. Dosificación para un metro cúbico (m ³).....	79
Tabla 51. Composición de mezcla tradicional	80
Tabla 52. Propiedades volumétricas de mezcla tradicional.....	81

Tabla 53. Verificación de cumplimiento de parámetros de la mezcla de asfalto tradicional.....	87
Tabla 54. Propiedades volumétricas de mezcla con gabazo de caña de azúcar	87
Tabla 55. Verificación de cumplimiento de parámetros de la mezcla asfáltica con gabazo de caña de azúcar	94
Tabla 56. Propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla tradicional	95
Tabla 57. Propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla con gabazo de caña de azúcar.....	95
Tabla 58. Resultados del ensayo de Lottman según Vía Húmeda y Vía Seca	102
Tabla 59. Resultados del ensayo de Lottman Saturación al vacío en la vía húmeda	103
Tabla 60. Resultados del ensayo de Lottman en la mezcla sumergida 24 horas a baño maría de 60°C	103
Tabla 61. Rotura a tracción	104
Tabla 62. Resultados del ensayo de Lottman según Vía Húmeda y Vía Seca	104
Tabla 63. Resultados del ensayo de Lottman Saturación al vacío en la vía húmeda	105
Tabla 64. Resultados del ensayo de Lottman en la mezcla sumergida 24 horas a baño maría de 60°C	105
Tabla 65. Rotura a tracción	106
Tabla 66. Resultado de tracción indirecta de Lottman para mezcla asfáltica tradicional.....	106
Tabla 67. Resultado de tracción indirecta de Lottman para mezcla asfáltica con gabazo de caña de azúcar	106
Tabla 68. Mezcla tradicional	107
Tabla 69. Mezcla modificada con gabazo de caña de azúcar al 1.7%	108
Tabla 70. Diferencias de los costos totales del rubro de ambos diseño	109
Tabla 71. Resistencia a la tracción	110

Tabla 72. Uso del gabazo de caña como aditivo de las mezclas 110

EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR,
MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL

Autores: Muñoz Pozo Bryan Ariel

Ricardo Rodríguez Andrés Wilfrido

Tutor: ING. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c

RESUMEN

Este estudio tuvo como propósito evaluar las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas modificadas con fibra de gabazo de caña de azúcar mediante la metodología Marshall. El trabajo se desarrolló en dos etapas: la determinación del contenido óptimo de asfalto (OP 5,2%) y la exploración del contenido óptimo de fibra de gabazo (OP 1,7%), abordando estabilidad, flujo, resistencia a la tracción, durabilidad, viabilidad económica e impacto ambiental. Las mezclas modificadas registraron una mayor estabilidad en comparación con las mezclas tradicionales de aproximadamente 8% y la resistencia a la tracción indirecta en comparación con las mezclas habituales aumentó en aproximadamente 15%. Además, un índice de retención de resistencia superior al 85% y un flujo mantenido dentro de los rangos normales de 2-4 mm indicaron que las mezclas tenían cualidades de rendimiento estructural. Las fibras de gabazo mejoran la propiedad mecánica y la durabilidad de las mezclas asfálticas al mismo tiempo que influyen en el respeto al medio ambiente a través del reciclaje de desechos agroindustriales. Esto posiciona al gabazo de caña como un aditivo viable técnica, económica y ambientalmente.

Palabras clave: Fibra de gabazo, mezcla asfáltica, propiedades mecánicas, sostenibilidad.

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT MIXTURES
INCLUDING SUGARCANE BAGASSE FIBER USING THE MARSHALL
METHODOLOGY

Authors: Muñoz Pozo Bryan Ariel

Ricardo Rodríguez Andrés Wilfrido

Tutor: ING. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MS.c

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the mechanical properties of asphalt mixtures modified with sugarcane bagasse fiber using the Marshall methodology. The research was conducted in two stages: determining the optimal asphalt content (OP 5,2%) and exploring the optimal bagasse fiber content (OP 1,7%), addressing stability, flow, tensile strength, durability, economic feasibility, and environmental impact. The modified mixtures exhibited approximately 8% greater stability compared to traditional mixtures, and the indirect tensile strength increased by about 15% compared to conventional mixtures. Additionally, a retained strength index exceeding 85% and a flow within the standard range of 2-4 mm demonstrated the structural performance capabilities of the mixtures. Sugarcane bagasse fibers enhance the mechanical properties and durability of asphalt mixtures while contributing to environmental sustainability through the recycling of agro-industrial waste. This positions sugarcane bagasse as a technically, economically, and environmentally viable additive.

Keywords: Bagasse fiber, asphalt mixture, mechanical properties, sustainability.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción enfrenta desafíos constantes por la búsqueda incesante de materiales que, cumpliendo con los requisitos estructurales, sean sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Actualmente, una gran parte de la red vial se compone de pavimento flexible, y en consecuencia, uno de los mayores problemas de las estructuras viales es la poca duración de la superficie de rodadura, por ello, es imperativo preparar los materiales, la dosificación, y la mezcla asfáltica bajo un diseño estructural óptimo que asegure la calidad y rendimiento del pavimento.

Las propiedades mecánicas del pavimento son cruciales para su diseño, rehabilitación y reforzamiento. Estas propiedades son influenciadas por la mezcla asfáltica y los materiales utilizados.

Uno de los principales son las mezclas asfálticas convencionales, lamentablemente presenta algunas limitaciones de rendimiento, relacionadas específicamente con la durabilidad y la resistencia, que suelen presentar el aumento del tráfico vehicular y las variaciones climáticas extremas. Las propiedades mecánicas de estas mezclas deben mejorarse, por lo que actualmente las investigaciones se centran en la posible incorporación de materiales alternativos, en particular fibras naturales, que puedan mejorar aún más la resistencia y la vida útil de los pavimentos.

En este contexto, el gabazo de caña de azúcar se produce en grandes cantidades, ya que la mayoría de los residuos agroindustriales se han tratado tradicionalmente como desechos después de que se ha extraído algo bueno de ellos. El valor de este contenido puede demostrarse por el hecho de que las fibras de caña de azúcar agregarán soporte interno para mejorar la resistencia y la flexibilidad del material bituminoso, centrándose en las propiedades de tracción, flexión y resistencia. Sin embargo, no hay suficiente investigación en esta dirección y se requieren explicaciones teóricas y prácticas más exhaustivas para comprender sus beneficios y obstáculos asociados (Salgado, 2020).

La industria de la pavimentación tiene que hacer frente a muchos retos importantes, y uno de ellos es el alto costo de los materiales derivados del petróleo. El asfalto de calidad, caro y vulnerable a las fluctuaciones de precios debido a factores económicos y geopolíticos globales, sigue estando fuera del alcance en muchas regiones, lo que dificulta la ejecución de la mayoría de los proyectos de infraestructura vial. Es en

esta perspectiva que la búsqueda de una alternativa que complemente o reemplace parcialmente al asfalto ha surgido como una necesidad (León et al., 2020).

La incorporación de fibra de gabazo de caña de azúcar a la mezcla asfáltica puede mejorar el rendimiento del pavimento y abordar cuestiones ambientales y de sostenibilidad. Casi todos los tipos de construcciones son conocidos por ser algunos de los mayores contribuyentes a los desechos; y en este contexto, se intenta utilizar residuos agroindustriales para reducir el equipaje. Además, la reducción en el uso de materiales tradicionales puede ayudar a reducir la dependencia de recursos no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con su producción (Adrianzen et al., 2022).

El método Marshall es una de las metodologías más utilizadas para la evaluación de mezclas asfálticas. Ofrece un procedimiento sistemático para el examen de las propiedades mecánicas de modo que se pueda determinar la idoneidad para la pavimentación. Determine los principales parámetros de estabilidad, flujo, densidad y características de los huecos. Por lo tanto, esta metodología de investigación proporcionará datos comparables sobre el rendimiento de las mezclas que contienen fibra de gabazo en comparación con las mezclas tradicionales (Calva y Muñoz, 2022).

Por lo tanto, la mezcla se vuelve homogénea y una cuestión principal es tener una distribución uniforme de la fibra de caña de azúcar y una buena compatibilidad con el asfalto que es responsable de mejorar constantemente las propiedades mecánicas de la mezcla. La inconsistencia en la calidad y la variación de las propiedades de la fibra de caña de azúcar también pueden generar variaciones en los resultados, por lo que se requieren controles de calidad estrictos sobre los materiales utilizados. Por último, pero no menos importante, también la compatibilidad entre la fibra de gabazo, así como el betún asfáltico, es otra cuestión crucial que debe probarse para que no haya problemas de adhesión y cohesión dentro de la mezcla.

Sin embargo, como se ha observado anteriormente, el costo añadido de utilizar fibras de caña de azúcar es prácticamente "neutral" debido al ahorro en los costos de la materia prima. Aunque las fibras de caña de azúcar son un residuo y su costo original sería bajo, preparar la fibra y tratarla para su incorporación en mezclas asfálticas podría aumentar los costos totales. Esto incluye la molienda, el tratamiento y el tratamiento químico de las fibras para que rindan al máximo. Una evaluación de este tipo con

viabilidad económica es crucial para la aplicación real de la técnica en proyectos de pavimentos.

Desde una perspectiva ecológica, el uso de la fibra de caña de azúcar tiene muchas ventajas, en particular la reducción de los residuos agroindustriales y, por tanto, la reducción de los efectos negativos de la industria azucarera. Además, una sustitución total o parcial de este betún asfáltico de base petroquímica por una nueva fuente de material reduciría la huella de carbono asociada a la producción de una mezcla asfáltica. Por lo tanto, hay que tener en cuenta el impacto ambiental del tratamiento de las fibras; a menos que se aborde con cautela y se adopten métodos sostenibles, podría dar lugar a nuevos problemas ambientales. De hecho, en los trabajos científicos disponibles sobre fibras naturales en mezclas asfálticas, no hay antecedentes sobre nuestra demanda real de este material. Por lo tanto, se hacen referencias a fibras de bambú, celulosa, coco y sisal para mejorar la resistencia y durabilidad de los pavimentos (Jiménez, 2021). Aunque existen estudios específicos limitados sobre gabazo de caña de azúcar aplicada en mezclas asfálticas, sus características mecánicas plantean un gran potencial. La investigación preliminar sostiene que la fibra de gabazo mejorará la resistencia a la fatiga y disminuirá la deformación permanente en el pavimento, aunque es un mandato que se realice un mayor escrutinio para verificar estos aspectos.

Al desarrollar una mejora en las propiedades mecánicas de las metodologías Marshall para pavimentos mediante la incorporación de fibras de bagazo de caña de azúcar en las mezclas asfálticas. Se pretende desarrollar mejoras significativas en las metodologías mecánicas Marshall para pavimentos mediante la incorporación de fibras de bagazo de caña de azúcar en las mezclas asfálticas que pueden aumentar las resistencias a la tracción y la flexión resistencia a favor a la carga repetitiva y las condiciones climáticas y ambientales.

Existen diferentes factores que el análisis económico debe tener en cuenta en relación con el uso de la fibra de gabazo de caña de azúcar en la producción de mezclas asfálticas. En primer lugar, su costo inicial es bajo. Sin embargo, los costos asociados a su procesamiento y tratamientos pueden ser elevados. En general, la inversión inicial con este material puede ser relativamente alta. No obstante, si se produce una gran mejora en la vida útil del pavimento, es posible que se produzcan enormes ahorros a largo plazo en relación con el mantenimiento y, posiblemente, los reemplazos que puedan justificar las inversiones iniciales.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Sin embargo, en Santa Elena, Ecuador, existen problemáticas que inciden en la calidad y sostenibilidad de los pavimentos. El uso convencional de las mezclas bituminosas es efectivo, pero tiene grandes limitaciones en cuanto a durabilidad, accesibilidad y costos. Esta preocupación, que ha dominado la mayoría de los países, está empeñada en encontrar alternativas más sostenibles y económicamente viables a partir de materiales locales y desechos agroindustriales, como la fibra de caña de azúcar. Se trata de un campo abierto, junto con pocas evidencias científicas locales sobre su eficacia.

Otro de los grandes problemas que afecta a Santa Elena es el desperdicio de cascarilla de caña de azúcar en las zonas urbanas. Los residuos agroindustriales producidos masivamente por la industria azucarera se consideran desechos y, por lo tanto, se acumulan en vertederos que generan una drástica contaminación en el medio ambiente y sus alrededores.

La quema o análisis incompleto de la cascarilla proporciona gases de efecto invernadero y otros contaminantes que afectan la calidad del aire y el medio ambiente. De esta manera, los residuos pueden utilizarse en mezclas de hormigón asfáltico como aditivo, no solo para prevenir la contaminación ambiental, sino también para el uso adecuado de los residuos industriales en la economía circular.

Las mezclas asfálticas tradicionales en ocasiones no cumplen con su expectativa de vida, generando costos adicionales debido a las reparaciones y reemplazos. La inversión causa pérdidas económicas y degrada las conexiones sociales – económicas, la calidad de otras capas que se van a colocar antes de la pavimentación, como la subbase y la base, también influye en la calidad del pavimento. Es necesario estudiar la interacción de la fibra de gabazo con otros materiales y las condiciones locales para garantizar una mejora uniforme y apreciable de las propiedades mecánicas del pavimento.

Otro de los retos que tiene la Universidad Estatal Península de Santa Elena tiene que ver con la limitación en el uso de los equipos de laboratorio, como la falta de recursos para calibrar, afectando la validez de los resultados. En este contexto, la metodología Marshall se considera una buena alternativa, ya que es confiable y aplicable. El laboratorio universitario cuenta con todo el equipamiento para la realización de las pruebas, los resultados obtenidos pueden compararse con los estándares internacionales.

El objetivo de esta investigación es comprobar la efectividad de la fibra de gabazo de caña de azúcar en comparación con el pavimento tradicional, se plantea la hipótesis de que la incorporación de esta fibra mejorará las propiedades mecánicas del pavimento, ofreciendo una mayor durabilidad y resistencia con una disminución de costos asociados al mantenimiento.

Por lo tanto, en el presente estudio también se adopta la metodología Marshall para evaluar la estabilidad, el flujo, la densidad y el contenido de huecos de las mezclas asfálticas modificadas. La adopción de esta metodología permite establecer un marco firme para comparar el rendimiento de las mezclas con y sin fibra de gabazo, de modo que los resultados obtenidos sean indicativos de precisión y reproducibilidad.

Algunas de las lagunas importantes que aún no se han investigado en Santa Elena se refieren a la evidencia científica local sobre el uso de fibra de gabazo en mezclas asfálticas. Aunque se ha realizado en otros lugares, se deben preparar datos locales que describan en todo caso, en la mayor medida posible, la especificidad del clima, el tráfico y el suelo de Santa Elena. Esto garantizará el desarrollo de soluciones orientadas a los problemas que apuntan a las peculiaridades de la región y, por lo tanto, ayudará a desarrollar infraestructuras viales sostenibles y efectivas.

1.2. ANTECEDENTES

Un estudio realizado por Karimah, A. et al. (2021), proporciona una revisión integral sobre el uso de fibras naturales en diversas aplicaciones industriales, incluyendo la construcción; demostrando que las fibras naturales como la fibra de caña de azúcar tienen una alta resistencia a la tracción y propiedades de elasticidad, apropiadas para mejorar las propiedades mecánicas en mezclas. Además, destaca que, con el tipo de tecnología adecuado, las desventajas propias de las fibras naturales (baja resistencia al impacto y falta de uniformidad en la calidad) podrían volverse irrelevantes.

En un estudio de Kotik H. (2019) se enfatiza que el uso de fibras naturales en la producción de material compuesto reduce la proporción de materiales no renovables involucrados en el proceso y también contribuye a la implementación de una economía circular. Especialmente importante en el sector de la construcción que tiene objetivos ambiciosos de minimización de residuos y reducción de su huella de carbono. Este estudio demostró que la aplicación de residuos agroindustriales, como el de la gabardina de caña

de azúcar, ayuda a la sostenibilidad para lograr beneficios ambientales y ventajas económicas al dar una nueva vida a los materiales generalmente desechados.

Diversos estudios han demostrado la metodología Marshall mediante la evaluación de mezclas asfálticas con aditivos naturales. Por ejemplo, un trabajo desarrollado por Raffo C. y Calva L. (2023) en el que estudiaron a través de la metodología Marshall el efecto de diferentes fibras naturales en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. Se argumentó que a partir de los resultados obtenidos, la estabilidad y la resistencia a la deformación permanente de las mezclas se mejoran significativamente con el efecto resultante de que la incorporación de fibras naturales puede aumentar la vida útil del pavimento. Este estudio forma una postura sobre la aplicación de la metodología Marshall en la evaluación de mezclas con fibra de gabazo de caña de azúcar.

En cuanto a la sostenibilidad económica, un estudio de Largo D. (2019) evaluó la viabilidad económica de utilizar desechos agroindustriales en la construcción de carreteras. Se encontró que los gastos incurridos en el procesamiento de fibras podrían ser altos, pero se justifican por los menores costos de mantenimiento y la mayor vida útil de los pavimentos con las debidas consideraciones de los beneficios asociados a ellos. La adicional que la menor dependencia de los materiales de origen fósil brinda ventaja a las economías también es de interés en los países donde el precio del asfalto virgen no es estable, un buen impulso. Estos resultados son relevantes para el estudio económico sobre la utilización de fibra de gabazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas.

Otro aspecto que ha sido objeto de estudio es el impacto ambiental de las fibras naturales. En un informe de Castillo G. et al. (2021), se señaló que el aprovechamiento de residuos agroindustriales en la producción de materiales de construcción puede reducir notable y excesivamente la huella de carbono de este sector. Este trabajo enfatiza la necesidad de evaluar el impacto ambiental del procesamiento de las fibras, con la seguridad de que la metodología aplicada sea amigable con el medio ambiente y no conduzca a nuevos desequilibrios ecológicos. El reciclaje del gabazo de caña de azúcar en la composición de mezclas asfálticas es una práctica que viene a reducir los residuos y ayudar a lograr los propósitos ambientales mundiales.

De manera similar, un estudio de Adrianzen O. et al. (2022) evalúan la compatibilidad de varias fibras naturales con el betún asfáltico. Informa que el factor

principal para una buena cohesión y adhesión dentro de la mezcla es la compatibilidad de las fibras naturales con el betún. Los resultados indicaron que las fibras con alto contenido de celulosa, como la del gabazo de caña de azúcar, pueden mostrar un marcado aumento en la resistencia a la tracción y la flexión de las mezclas asfálticas si se aplican con técnicas adecuadas de tratamiento y preparación de fibras. Este trabajo va más allá del desarrollo de mezclas asfálticas mejoradas con fibra de gabazo de caña de azúcar.

El análisis realizado por el Ministerio de Finanzas y Planificación de Tanzania (2021) en un trabajo de investigación sobre la resistencia al desgaste de los componentes automotrices fabricados con fibra de Areva javanica. A partir de sus hallazgos se puede entender que las fibras naturales producen una mayor resistencia del material en compuestos con o sin su interacción dentro de la matriz bituminosa en aplicaciones relacionadas con mezclas asfálticas.

Una fuente diversificada de materiales, como el uso de desechos agroindustriales en este caso la fibra de caña de azúcar, puede brindar más estabilidad económica al reducir la dependencia de los materiales derivados del petróleo. Si bien la metodología Marshall tiene una amplia aplicación en la caracterización de mezclas asfálticas, presta una consideración muy estricta a la estabilidad, el flujo, la densidad y el contenido de huecos de las muestras de asfalto.

El motivo de esta investigación es encontrar una solución sostenible y económicamente viable para las obras de pavimentación en la provincia de Santa Elena en Ecuador. El uso de fibra de bagazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas representa una nueva alternativa que podría resolver (al menos mitigar) una gran cantidad de problemas que ocurren con la infraestructura vial local.

En primer lugar, el alto precio y la baja disponibilidad de asfalto en la región son problemas importantes. Esta investigación investiga una alternativa local mediante la reutilización de abundantes desechos agroindustriales para reducir los costos y la dependencia de materiales importados costosos. La economía circular se fomenta con la inclusión de fibra de bagazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas, se reducen los costos y las autoridades locales se benefician de otras maneras de la comunidad en general.

La mayoría de los subproductos de la caña de azúcar se desperdician tradicionalmente en la industria de producción de azúcar. El subproducto es un resultado que en su mayoría ha provocado contaminación ambiental debido a su acumulación. Su

incorporación a las mezclas asfálticas reduciría la cantidad de residuos residuales y también reduciría la huella de carbono en la ejecución de proyectos de pavimentación. Esto ayuda a reducir los efectos del cambio climático y mejorar la calidad ambiental en Santa Elena.

Los beneficiarios potenciales de este trabajo de investigación son el Departamento responsable de la infraestructura vial a nivel municipal, las comunidades locales que utilizan carreteras económicas y duraderas y la industria azucarera que encuentra una salida sostenible para sus desechos. Además, los resultados pueden extenderse a otras áreas con tales condiciones para lograr resultados positivos.

Desde el punto de vista técnico, ayudará a garantizar la durabilidad y la resistencia de los pavimentos al corregir la rápida degradación y los requisitos de reparación frecuentes. Además, el estudio promoverá firmemente la débil base científica local con datos de viabilidad sumamente claros de mezclas asfálticas con fibra de gabazo de caña de azúcar y una mayor investigación y desarrollo en el campo de la ingeniería civil. En otras palabras, esto es fundamental para que Santa Elena pueda avanzar en pavimentaciones más sostenibles, rentables y eficientes... En conclusión, los precedentes y la evidencia técnica actual respaldan la idea de considerar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que incorporan fibra de gabazo de caña de azúcar. Se debe investigar en esta área, ya que tiene alcance para un mejor desempeño de los pavimentos con sostenibilidad ambiental y sostenibilidad económica mediante la reutilización de desechos agroindustriales y la reducción del uso de materiales no renovables.

La aplicación de la metodología Marshall en esta investigación proporciona un marco para evaluar la viabilidad de esta innovación, y los resultados obtenidos podrán informar futuras aplicaciones y desarrollos en el campo de la Ingeniería Civil.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General

Las mezclas asfálticas que incluyen fibra de gabazo de caña de azúcar presentan mejoras significativas en sus propiedades mecánicas como estabilidad, flujo, resistencia a la tracción y durabilidad, de acuerdo con los resultados de la metodología Marshall, y son viables técnica, económica y ambientalmente para su aplicación en la pavimentación de carreteras.

1.3.2. Hipótesis Específicas

H.E.1. La inclusión de fibra de gabazo de caña de azúcar en las mezclas asfálticas incrementa la estabilidad y modifica el flujo de dichas mezclas, en comparación con las mezclas convencionales.

H.E.2. Las mezclas asfálticas reforzadas con fibra de gabazo de caña de azúcar presentan mayor resistencia a la tracción y una mejor durabilidad frente a las condiciones climáticas y de carga, en comparación con las mezclas que no contienen esta fibra.

H.E.3. El uso de fibra de gabazo de caña de azúcar en las mezclas asfálticas es económicamente viable y tiene un menor impacto ambiental en comparación con los métodos tradicionales.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que incluyen fibra de gabazo de caña de azúcar mediante la metodología Marshall, con el fin de determinar su viabilidad técnica, económica y ambiental en la pavimentación de carreteras.

1.4.2. Objetivos Específicos

O.E.1. Establecer la estabilidad y el flujo de las mezclas asfálticas que incluyen fibra de gabazo de caña de azúcar mediante pruebas Marshall.

O.E.2. Analizar la resistencia a la tracción y la durabilidad entre las mezclas asfálticas reforzadas con fibra de gabazo de caña de azúcar.

O.E.3. Determinar la viabilidad económica y el impacto ambiental del uso de fibra de gabazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas.

1.5. ALCANCE

El objetivo de este estudio es evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con fibras de bagazo y su viabilidad económica en términos de las provincias del Ecuador. Esto se realizará en una provincia, concretamente la provincia de Santa Elena en el Ecuador, con la visión de brindar soluciones prácticas a las infraestructuras

viales locales sostenibles. El estudio se limita al campo de aplicación en ingeniería de pavimentos, particularmente en la pavimentación de caminos urbanos y rurales.

Los hallazgos podrían aplicarse en proyectos de infraestructura vial en Santa Elena y en otras regiones con condiciones análogas, donde la accesibilidad a materiales convencionales, como el asfalto, es limitada y también estos son de alto precio. Además, la aplicabilidad de la fibra de gabazo de caña de azúcar podría extenderse a otras áreas productoras de caña de azúcar, lo que mejora la reutilización de residuos agroindustriales y un concepto de economía circular.

Investigación de la estabilidad y fluidez de mezclas asfálticas que incorporan fibra de bagazo de caña de azúcar. Se realizarán pruebas de carga considerándolas como un reflejo del soporte estructural y la efectividad funcional del pavimento bajo diferentes condiciones de carga. Estos consisten en realizar pruebas para determinar la resistencia a la tracción y la durabilidad de las mezclas asfálticas con fibras de bagazo de caña de azúcar, lo que puede indicar el comportamiento a largo plazo del material a través de datos de su comportamiento a largo plazo proporcionados por las pruebas realizadas para describir cómo se comporta este material en el tiempo.

Este estudio muestra la viabilidad económica y ambiental existente al emplear este material en las mezclas asfálticas, por lo que se realiza una evaluación comparativa de la producción, adicionalmente una evaluación de tracción y durabilidad. Además, la evaluación del impacto en el medio ambiente se realiza evaluando la cantidad de disminución de residuos de gabazo de caña de azúcar por cada tonelada de material.

En cuanto a las exclusiones y limitaciones, el estudio no incluirá la evaluación de otras fibras naturales ni explorará métodos alternativos de procesamiento del gabazo de caña de azúcar que no sean los definidos en el protocolo experimental. Las pruebas se limitarán a la metodología Marshall debido a la disponibilidad de equipos en el laboratorio de la Universidad de Santa Elena. Asimismo, se reconoce la variabilidad en la calidad del gabazo de caña de azúcar y las condiciones específicas de las capas inferiores de los pavimentos, las cuales no serán modificadas o controladas en este estudio

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables independientes

- Fibra de gabazo de caña de azúcar
- Metodología MARSHALL
- Estabilidad y flujo de mezclas
- Resistencia a la tracción y durabilidad
- Viabilidad técnica, económica y ambiental

1.6.2. Variable Dependiente

- Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Mezclas Asfálticas

2.1.0. Estructura del pavimento flexible

CARPETA ASFÁLTICA. La superficie superior de la carretera, diseñada para aportar comodidad al tránsito, debe ser antideslizante, impenetrable y capaz de resistir tanto la abrasión del tráfico como los efectos adversos del clima, y está hecha de material especificado. (MOP-001-F., 2002)

BASE. Capa (o capas), de espesor definido, de materiales sujetos a determinadas especificaciones, colocada sobre la subbase o la subrasante para soportar las capas de Superficie o Rodadura

SUBBASE. Capas, de grosor determinado, de materiales granulares o no, que cumplan especificaciones explícitas, las que se sitúan sobre una subrasante aceptada, que pueda resistir la superficie Base

SUBRASANTE. Superficie superior de la obra base, preparada como cimiento para la estructura del pavimento y los bordes

2.1.1. Definición y clasificación

La mezcla asfáltica se define como un material coherente de combinación precisa de agregados de piedra y aglutinantes asfálticos, distribuidos proporcionalmente para actuar como una construcción en el pavimento. Se supone que la mezcla es fuerte y flexible y absorbe diferentes tipos de aplicaciones de carga por parte de las carreteras. Este diseño de esta mezcla es un factor muy importante en términos de susceptibilidad a la temperatura y pruebas de soporte de carga para cualquier construcción de carreteras. Es necesario comprender completamente la preocupación de los materiales constitutivos en su diseño de mezcla y otras propiedades relacionadas con las mezclas asfálticas para poder mejorar la calidad y la vida útil de las superficies pavimentadas. Cada una tiene características únicas y especificidad de aplicación que las hace apropiadas para cumplir con los requisitos ambientales y del pavimento específico (Martínez et al., 2021).

La importancia de las características de las mezclas asfálticas en la construcción de carreteras es muy necesaria, tanto en las capas de rodadura como en las capas de subsuelo, deben ofrecer un equilibrio de estabilidad, más flexibilidad, más durabilidad

para proporcionar integridad además de vida útil a las carreteras. La estabilidad se refiere a cambiar la resistencia mecánica del betún durante el calor del día a flexibilidad, mientras que la durabilidad se refiere a la estabilidad más flexibilidad para que la carretera dure mucho tiempo.

Son aquellas que ayudan a proteger la estructura de la carretera de daños y desgaste, favoreciendo un transporte suave y seguro. Las otras prácticas sostenibles y rentables para la construcción de carreteras son las mezclas modificadas y recicladas bajo tecnología de asfalto mejorada (Padilla, 2021).

2.1.1.2. Clasificación según el tipo de ligante

2.1.1.2.1. Mezclas asfálticas convencionales

Están compuestas por el tipo menos convencional de mezclas regulares, agregados bien graduados y proporcionados y ligantes asfálticos para formar un material homogéneo y resistente. 'Mezclas asfálticas convencionales': la función principal de estas mezclas es tener una superficie plana y estable a través de la cual se facilita el contacto entre el vehículo y la distribución efectiva de la carga, además de trabajar en la reducción del efecto de desgaste que se produce tanto en el pavimento como en el vehículo.

Estas mezclas se utilizan generalmente en la construcción de la base, el ligante y la capa superficial para reforzar la carretera para lograr estabilidad. Las mezclas asfálticas tradicionales generalmente se preparan y se colocan a altas temperaturas para desarrollar la trabajabilidad adecuada que necesita la mezcla y la compactación durante su colocación.

2.1.1.2.2. Mezclas asfálticas recicladas

Ofrecen una alternativa ecológica a las mezclas de asfalto tradicionales al incorporar pavimento asfáltico recuperado (RAP) en la nueva mezcla. Esto ahorra recursos naturales y reduce el impacto ambiental asociado a la producción y eliminación del asfalto, la producción de mezclas asfálticas recicladas se puede realizar mediante un número infinito de técnicas, incluyendo el reciclado en frío in situ, el reciclado en caliente in situ y la recuperación en profundidad total, cada una de ellas respondiendo a los requisitos específicos del proyecto (Pérez et al., 2020)

El uso de RAP en nuevas mezclas puede generar importantes ahorros de costos sin comprometer la calidad y el rendimiento del pavimento. Algunas ventajas de las mezclas de asfalto reciclado incluyen: menor consumo de materiales vírgenes, menores costos de producción y consumo de energía, así como menor huella ambiental de la fabricación y los desechos de asfalto.

2.1.1.3. Clasificación según la temperatura de aplicación

2.1.1.3.1. Mezclas en caliente

Estos se producen a altas temperaturas, normalmente entre 150 °C y 190 °C, con lo que se logra la afinidad del ligante asfáltico con el agregado. Este tipo de mezcla es el preferido debido a su durabilidad y resistencia a la intemperie y, por lo tanto, es adecuado para carreteras de alto tráfico (Gobierno de Argentina, 2019).

La alta temperatura durante la producción de asfalto mezclado en caliente garantiza una fluidez adecuada para lograr un recubrimiento adecuado entre el asfalto y los agregados para la resistencia general y la longevidad del pavimento. La producción de asfalto en caliente consume mucha energía y tiene un potencial impacto ambiental. Con todo esto, los beneficios (menos problemas y una vida útil más larga) suelen superar los inconvenientes, especialmente en regiones con carga de vehículos pesados y con condiciones climáticas extremas.

2.1.1.3.2. Mezclas en frío

Se producen y aplican a temperatura ambiente. Por lo general, el rango es mucho menor que el de las mezclas en caliente, de aproximadamente 15 °C a 25 °C. Requieren menos energía porque su producción y aplicación no requieren calentamiento. Las mezclas en frío se utilizan predominantemente para trabajos de reparación temporal y parcheo donde las plantas de mezcla en caliente son inaccesibles. Por otro lado, debido a la temperatura de aplicación más baja, la mezcla no es muy cohesiva y, por lo tanto, puede no adherirse como las mezclas en caliente. Por lo tanto, podría tener una vida útil más corta y un menor rendimiento en cargas pesadas.

Sin embargo, la temperatura de aplicación más baja da como resultado una mezcla menos cohesiva, que puede no adherirse tan bien como las mezclas calientes, lo que potencialmente conduce a una vida útil más corta y un rendimiento reducido bajo cargas pesadas. A pesar de estas limitaciones, las mezclas frías son invaluable para reparaciones

rápidas en el lugar y en regiones donde no es posible mantener altas temperaturas de producción (Gobierno de Argentina, 2019).

2.1.1.3.3. Mezclas templadas

Representan un punto intermedio entre las mezclas calientes y frías, generalmente producidas a temperaturas que varían de 100 °C a 140 °C. Estas mezclas cálidas tienen como objetivo combinar los beneficios de las mezclas calientes y frías al reducir la temperatura de producción, lo que a su vez reduce el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero (Colucci, 2019).

Además, la adopción de mezclas tibias garantiza ahorros en costos tanto en producción como en aplicación. Además, menores riesgos para la salud de los trabajadores por menor exposición a altas temperaturas y humos. Son más trabajables y compatibles que las mezclas frías, aunque con el mismo nivel de desempeño, lo que las convierte en las favoritas para muchos proyectos de pavimentación (CEPSA, 2020).

2.1.2. Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

2.1.2.1. Estabilidad en mezclas asfálticas

2.1.2.1.1. Factores que afectan la estabilidad (tamaño de agregados, proporciones)

El tamaño del agregado es otra propiedad esencial en cuanto a la estabilidad en el caso de la mezcla asfáltica. Para el caso de partículas de agregado de gran tamaño cuyo diámetro es superior a 19 mm, la resistencia causada por la deformación es normalmente mayor ya que puede transmitir cargas agresivas y de enclavamiento mucho mayores. Las características son particularmente notables en casos que exigen una alta resistencia, como en carreteras de alto tráfico y pistas de aeropuertos (Garzón et al., 2023).

Sin embargo, en vista de que los agregados de mayor tamaño conducen a una menor trabajabilidad y dificultad en la compactación uniforme, el tamaño del agregado debe seleccionarse en función de la estabilidad deseada y la facilidad con la que se manejaría y aplicaría en la obra, para que contribuya a lograr la estabilidad. La influencia de los agregados de mayor tamaño en la estabilidad de las mezclas asfálticas es marcada. Se ha señalado que estos confieren una mayor resistencia de las mezclas a la deformación

permanente causada por la carga que se cicla sobre ellas, lo que significa una vida útil más prolongada del pavimento (Santo y Leal, 2023).

2.1.2.1.2. Medición de la estabilidad mediante pruebas Marshall

Los resultados de las pruebas indican que las mezclas de agregados grandes tienen valores de estabilidad más altos, un factor de vital importancia para el rendimiento a largo plazo del pavimento. Pero el agregado grande debe tener una proporción óptima en relación con otros componentes de la mezcla para evitar posibles problemas como la segregación de la mezcla y garantizar un recubrimiento uniforme de los agregados con cemento asfáltico.

Además, los agregados finos ayudan a resistir la fatiga y mejorar la durabilidad del pavimento al redistribuir las tensiones de manera más uniforme. Por lo tanto, una proporción bien diseñada de agregados finos es esencial para optimizar las propiedades mecánicas y el rendimiento global de las mezclas asfálticas (Garnica et al., 2014).

2.1.2.2. Flujo en mezclas asfálticas

El flujo en mezclas asfálticas se refiere a la capacidad de estas para deformarse bajo la aplicación de una carga específica. Este concepto es importante cuando se considera la resistencia de la mezcla a la deformación permanente. El flujo permite que la mezcla absorba las tensiones y las distribuya sobre una mayor superficie, sin causar daños permanentes. Los valores de flujo observados mediante el método Marshall tienen aplicaciones muy prácticas. El método Marshall evalúa muestras compactadas para determinar su deformación bajo una carga determinada, con el fin de definir el método de comprobación de la estabilidad y la flexibilidad que permita alcanzar un equilibrio entre la resistencia y la capacidad de ceder.

2.1.2.2.1. Importancia en el desempeño de la mezcla

El flujo en la mezcla asfáltica afecta directamente a su rendimiento. La ductilidad, que es la capacidad de la mezcla asfáltica de deformarse bajo carga sin producir fractura, es vital para que la mezcla sea duradera y resista el tráfico pesado. Un buen flujo es una indicación de que la mezcla tiene una mejor capacidad para ajustarse a las tensiones impuestas por el tráfico, por lo que se reduce los casos de fallos estructurales como el agrietamiento. Esto significa que un flujo adecuado en las mezclas asfálticas, lo que

contribuye en gran medida a la prolongación de la vida útil de las carreteras, también significa una reducción de los costes de mantenimiento.

2.1.2.2.2. Relación entre flujo y deformación

Es una relación intrínseca que sirve como la característica principal del flujo y la durabilidad de las mezclas asfálticas. Una mezcla fluida sin fracturarse bajo carga tenderá a ser más duradera y exhibirá un mejor rendimiento. Con un flujo excelente, las tensiones se distribuirían idealmente de modo que no se produzcan la iniciación de grietas u otros modos de falla estructural. Un flujo adecuado también garantiza que la estructura del pavimento resista los efectos térmicos y cíclicos de carga. Por lo tanto, la evaluación adecuada del flujo es una condición necesaria para desarrollar composiciones de mezcla que puedan demostrar el mejor rendimiento posible en la aplicación bajo diversas condiciones de operación y que sean duraderas (Garnica et al., 2015).

2.1.2.3. Resistencia a la tracción

2.1.2.3.1. Factores que afectan la resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción de los agregados también está influenciada por sus propiedades, los agregados de buena calidad con buena unión y una distribución adecuada de tamaños mejoran en gran medida la resistencia a la tracción de la mezcla. También es importante la resistencia de los agregados a la fractura y al desgaste porque los agregados más fuertes tienen más resistencia a las cargas de tráfico repetidas.

Además, la forma y la textura del agregado afectan su entrelazamiento mecánico dentro de la mezcla, logrando así una mejor transferencia de carga y, por lo tanto, una mayor resistencia a la tracción. Estos también tienen efectos en la resistencia inicial y el rendimiento a largo plazo de la mezcla asfáltica. Las propiedades del ligante asfáltico son propiedades importantes que influyen en la resistencia a la tracción de la mezcla asfáltica.

La viscosidad y elasticidad del ligante son las propiedades que muestran cómo el material se adhiere a los agregados y también resiste las tensiones superficiales creadas por las cargas del tráfico. Las mejores propiedades elásticas en los ligantes ayudan a absorber más energía de deformación en los ligantes modificados con aditivos de caucho o polímeros. Esto aumenta la resistencia a la tracción del ligante debido a la mejor resistencia a la tracción de la matriz después de agregar polímeros o caucho (Mardones et al., 2018).

Estos aditivos aumentan el nivel de flexibilidad del ligante y también aumentan la resistencia a la humedad y al envejecimiento. La resistencia a la tracción de las mezclas asfálticas está muy influenciada por las condiciones ambientales y de temperatura. En este sentido, las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, tienen la capacidad de alterar la rigidez, así como la elasticidad del ligante asfáltico, afectando así a la resistencia a la tracción.

Por ejemplo, en temperaturas extremas, la masilla puede volverse potencialmente sensible a la deformación permanente si es alta o endurecerse más si es muy baja. En cuanto a las temperaturas bajas y altas, la humedad puede alterar la unión entre la masilla y los agregados, reduciendo la resistencia a la tracción de la mezcla. Por lo tanto, una capacidad prolongada de retención de la integridad estructural por parte de una mezcla asfáltica es una condición para el rendimiento a largo plazo.

2.1.2.3.2. Ensayos para medir la resistencia a la tracción indirecta (TSR)

El procedimiento de prueba y el equipo para medir la resistencia a la tracción indirecta se refieren a un método particular definido por las normas técnicas según Esparza, 2009 (ASTM D 4123 y AASHTO T 283) (Garzón et al., 2023). El método aplica la compresión diametral de la muestra cilíndrica de asfalto hasta la falla. El equipo debe comprender una máquina de prueba de compresión con disposiciones para aplicar cargas controladas y una abrazadera para sujetar la muestra dentro de ella en posición durante la prueba. Además, se colocando placas de contacto entre la muestra para sostenerla y distribuir la carga uniformemente sobre ella para que pueda romperse con precisión en el punto deseado cada vez; Se utiliza una técnica de flexión de tres puntos para medir la resistencia a la tracción indirecta de la muestra cilíndrica producida con diferentes agregados (Nosetti et al., 2019).

Las muestras se acondicionan a una temperatura específica durante un tiempo. Estas incluyen saturación de agua más congelamiento y están destinadas a indicar la medida de la resistencia al daño por humedad considerado uno de los aspectos más importantes de la durabilidad del asfalto (Osorio et al., 2018). Los resultados de las pruebas de resistencia a la tracción indirecta se utilizan para evaluar diferentes propiedades mecánicas clave del asfalto. El valor real de la resistencia a la tracción se obtiene tomando la relación entre la TSR de la muestra acondicionada y de la no

acondicionada; esto ayuda a dar una indicación de la susceptibilidad del asfalto al daño por humedad (Quispe, 2021).

2.1.2.3.3. Ensayos de tracción directa

El ensayo de tracción directa es el método más común utilizado para investigar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. En este método, la resistencia a la tracción se evalúa utilizando una muestra de lados rectos cargada directamente con fuerzas de tracción; esto permitiría delinear su comportamiento (Mardones et al., 2018).

El método FENIX permitió evaluar la resistencia al agrietamiento aplicando una tensión directa en el centro de una muestra cilíndrica, brindando información relacionada con la durabilidad e integridad estructural del material del asfalto. Este tipo de ensayo es estándar en ingeniería, ya que brinda una visión clara de las características mecánicas del material que deben ser la base para la calidad y el ciclo de vida de las infraestructuras viales (Garrote, 2020).

2.1.2.3.4. Impacto del contenido de vacíos

El contenido de huecos en las mezclas asfálticas afecta principalmente a su resistencia mecánica, en particular a la tracción. Los huecos de aire en la mezcla son la variable más importante de la mezcla que afecta fuertemente a la durabilidad y la susceptibilidad del asfalto al daño por la humedad. Además, al ser la variable más influyente en los huecos de aire y los huecos llenos de asfalto en la mezcla, el contenido de asfalto influye directamente en la resistencia general de la mezcla (Garnica et al., 2015).

La relación entre la resistencia a la tracción y el contenido de huecos se ha observado en varios estudios realizados en mezclas asfálticas. De acuerdo con esta relación, a mayor contenido de huecos, la resistencia a la tracción de la mezcla sería baja y podría ser estructuralmente débil frente a fallas. En otras palabras, proporciona huecos de aire para la penetración de agua y otros agentes que pueden debilitar la cohesión interna del asfalto. A su vez, la compactación adecuada y el control correcto del contenido de asfalto deben reducir los huecos y aumentar la resistencia a la tracción en consecuencia. El análisis de esta relación es esencial para optimizar la formulación de mezclas asfálticas que sean duraderas y eficientes en términos de desempeño estructural (Polania y Pérez, 2021).

2.1.2.4. Durabilidad y envejecimiento

2.1.2.4.1. Degradación por acción del tráfico y el ambiente

La degradación resulta de una combinación de diferentes factores, las condiciones climáticas e incluso la oxidación del material, en cuanto al tráfico pesado y ligero provocan cargas dinámicas de manera repetitiva, la tensión inducida resulta en grietas y deformaciones en la superficie del pavimento. Además, el aire atmosférico y el agua aceleran el proceso de oxidación de los componentes del asfalto (Garnica et al., 2015).

Entre ellos se encuentran la lluvia, el sol y cierta variabilidad de la temperatura, que aceleran significativamente el proceso de degradación. Esta degradación podría atribuirse al hecho de que la permeabilidad del agua provoca la pérdida de adherencia entre el asfalto y los agregados o las altas temperaturas que ablandan el material, haciéndolo más propenso a la deformación (Ospino et al., 2019).

2.1.2.4.2. Efectos del envejecimiento en el desempeño mecánico

La rigidez del material implica una baja capacidad del pavimento para resistir cargas dinámicas de tráfico; Por eso, el agrietamiento y otras deficiencias superficiales son más comunes. Con el tiempo, también se observa una pérdida concomitante de la resistencia a la humedad y otras resistencias ambientales adversas de las mezclas asfálticas (Rondón, 2021).

2.1.2.4.3. Métodos para mejorar la durabilidad

Para mejorar la durabilidad de las mezclas asfálticas es necesario reducir los efectos de degradación y envejecimiento mediante la aplicación de diversos métodos y técnicas (Larrauri y Navarro, 2024). Esto contribuye a una mayor durabilidad, con las mezclas recicladas, se pueden reutilizar materiales que ya han demostrado ser resistentes al deterioro. Otros métodos se complementan con la modificación de polímeros y aditivos que mejoran la flexibilidad y resistencia al deterioro del asfalto. Estas innovaciones prolongan la vida útil de las mezclas asfálticas, así como mejoran su desempeño bajo condiciones de tráfico y ambientales extremas (Barrera et al., 2017).

2.1.2.5. Deformación plástica y fatiga

La composición del material en las mezclas asfálticas influye en la inducción de la deformación plástica. El tipo de agregado utilizado, por ejemplo, afecta

significativamente la capacidad de la mezcla para resistir la deformación. Los agregados que tienen más angularidad y rugosidad tienen un mejor entrelazado y, por lo tanto, brindan mayor resistencia al movimiento de la masa de suelo circundante bajo carga. Por otro lado, los agregados redondeados pueden provocar la pérdida de partículas fácilmente por acción del lavado (Pérez et al., 2015).

El contenido y el tipo de aglutinante influyen fuertemente en el rendimiento de la mezcla. Un mayor contenido de aglutinante normalmente brindará más flexibilidad y, por lo tanto, una mayor susceptibilidad a la formación de surcos o empujes bajo cargas elevadas. Los polímeros y las fibras agregadas también pueden brindar a la mezcla más resistencia a la formación de surcos al mejorar la resistencia y la estabilidad generales del material bituminoso.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica es una gran víctima de los cambios en las condiciones ambientales de temperatura, estación y humedad. Las temperaturas en aumento se convierten al ligante en un material más flexible, por lo que es muy fácil de deformar. Las temperaturas más bajas soportan y fragilizan el ligante; por lo tanto, agrietan el pavimento al menor estímulo. Los niveles más altos de humedad dentro de la matriz dan como resultado condiciones ideales para el desprendimiento entre el ligante y el agregado, lo que reduce la cantidad de cohesión y, a su vez, más deformaciones (Abril et al., 2022).

2.1.3. Modificación de mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas modificadas con polímeros son la técnica de selección de un material por sus propiedades de rendimiento mejoradas. Si se pudieran conseguir aglutinantes más viscosos mezclando polímeros en la mezcla asfáltica a temperaturas más altas, se podría desarrollar de esta forma una mayor resistencia y fuerza. El objetivo principal de esta técnica es la mejora de las propiedades físico-químicas, lo que ayudará a mejorar la adaptación del material a las variaciones de temperatura y a mejorar la cohesión interna del material (López, 2020).

Además, los polímeros dan como resultado una mayor resistencia al envejecimiento, lo cual es una condición necesaria para extender la vida útil de las carreteras (Camargo et al., 2021). Entre la variedad de polímeros aplicados para modificar el asfalto, los dos polímeros más frecuentes incluyen el estireno-butadieno-estireno (SBS) y el etileno-acetato de vinilo (EVA). El SBS es un polímero elastomérico

lineal de muy alto peso molecular que muestra un excelente desempeño en mezclas asfálticas a bajas temperaturas al impartir mucha más ductilidad, así como relajación de tensiones (Garnica et al., 2014).

La razón por la que se utiliza EVA radica en su incremento de elasticidad así como en su resistencia a la deformación del asfalto, lo que es especialmente bueno en climas extremos. Ambos polímeros, en proporciones adecuadas, mejoran adecuadamente las propiedades reológicas y térmicas de las mezclas asfálticas. Los beneficios, son numerosos y variados, de utilizar polímeros para la modificación de asfaltos, como lo reportan (Palma et al., 2016).

Las mezclas asfálticas modificadas con SBS tienen una resistencia a la deformación mucho mayor que el asfalto estándar. Por lo tanto, los defectos superficiales como picaduras y grietas una vez que la carretera está hecha con ellos son poco probables. Además de mejorar la deformabilidad, estas mezclas también mejoran la elasticidad del material de la carretera, lo que permite que las carreteras soporten mayores cargas y más tráfico sin una ruina demasiado rápida (Cárdenas et al., 2020).

2.1.4. Componentes de las mezclas asfálticas

2.1.4.1. Agregados pétreos (grueso, fino, relleno)

Los materiales de relleno ayudan a mejorar varias características de rendimiento de la mezcla, lo que permite que esté más densamente compactada y sea más estable. La mayoría de las clasificaciones indican que el material es aceptable solo si pasa ese material de 0,075 mm, que a menudo es la parte donde realmente comienza a llenar esos huecos más pequeños en el asfalto para ayudar a darle cierta densidad y estabilidad (Meza, 2019). La función de los rellenos en la mezcla es mejorar su rigidez, lo que reduce su vulnerabilidad al daño por agua y, por lo tanto, mejora su resistencia al ahuellamiento y al agrietamiento. Ocupan los intersticios del agregado grueso y dan estabilidad al compuesto como tal. El empaque denso formado por los agregados finos forma la matriz, que tiene cohesión al unir todos los componentes de la mezcla y mejora su resistencia a la carga (Padilla, 2021).

Los materiales de relleno ayudan a mejorar varias características de rendimiento de la mezcla, lo que permite que esté más densamente compactada y sea más estable. La mayoría de las clasificaciones indican que el material es aceptable solo si pasa ese

material de 0,075 mm, que a menudo es la parte donde realmente comienza a llenar esos huecos más pequeños en el asfalto para ayudar a darle cierta densidad y estabilidad (Meza, 2019).

2.1.4.1.1. Propiedades físicas de los agregados (granulometría, angularidad, densidad)

La granulometría de estos agregados depende de las propiedades mecánicas y del rendimiento de las mezclas asfálticas. Esto garantiza que las partículas sean compatibles entre sí de tal manera que se logre una mezcla estable y densa, mejorando así la resistencia y durabilidad de los pavimentos. Los vacíos de VMA en los agregados minerales se reducen con una granulometría adecuada para ayudar a lograr la compactación deseada, además de garantizar una cantidad mínima de vacíos de aire (Va).

La angularidad es la agudeza, ya sea de los bordes o de las esquinas, de las partículas que componen un agregado; desempeña un papel importante en el grado de entrelazado y fricción en una masa de partículas dentro de una mezcla asfáltica. Dado que los agregados angulares tienen formas más o menos irregulares, proporcionarán estabilidad y resistencia a la deformación debido a una unión mecánica más fuerte desarrollada dentro de la mezcla. De hecho, la propiedad tiene una gran importancia para las áreas de tráfico pesado donde el esfuerzo cortante al que está sometido el pavimento es muy alto. (Gómez , & Delgado 2015).

La densidad es una propiedad esencial de los agregados que influye en las propiedades volumétricas y el rendimiento de las mezclas asfálticas. Los agregados de alta densidad generan menos huecos tanto en el agregado mineral como en el aire, y por lo tanto dan como resultado una estructura de pavimento más compacta y estable.

2.1.4.2. Cemento asfáltico (ligante)

2.1.4.2.1. Características visco-elásticas del asfalto

Las propiedades viscoelásticas del asfalto dependen en gran medida del rendimiento de los pavimentos asfálticos. Como material viscoelástico, exhibiría cualquiera de las respuestas que podrían disipar energía mediante flujo y, al mismo tiempo, recuperar energía para reformar la forma deformada y devolverla a su forma original. Este comportamiento dual es bastante importante para acomodar las tensiones inducidas por la carga del tráfico, así como las variaciones de temperatura.

Las propiedades viscoelásticas clave son la rigidez, que forma inherentemente la respuesta del pavimento a las cargas impuestas, y el tiempo de relajación, que determina el tiempo en el que un material puede recuperar o reformar su forma. Ambas propiedades son garantías de la resistencia y durabilidad de los pavimentos asfálticos de tal manera que permite que las mezclas sean resistentes a la deformación gradual y al agrietamiento.

2.1.4.2.2. Tipos de asfalto

Se utilizan varios en la construcción de pavimentos, en los asfaltos cauchutados, el caucho de neumáticos recuperados comparte la mezcla con aditivos modificados específicos que garantizan una flexibilidad mucho mayor que la de sus primos más convencionales, así como una mayor durabilidad y resistencia al agrietamiento. El tipo de apuesta que se utilizará está determinado por el clima, así como por la magnitud de la carga a la que está sujeto y por la duración prevista del pavimento. La clasificación del betún según su rendimiento es muy importante para garantizar que el material elegido satisfaga suficientemente una demanda específica del pavimento.

La susceptibilidad térmica, la formación de surcos en el pavimento y la ductilidad a baja temperatura son algunas de las características que se tienen en cuenta para determinar la PG del asfalto. Se ha tenido en cuenta las condiciones climáticas ambientales de la zona de servicio a la que pertenece el pavimento para garantizar que el betún funcione bien dentro del rango de temperatura especificado. Por ejemplo, se recomienda el ligante PG 64-22 para una región cuya temperatura máxima promedio del pavimento durante siete días sea de 64 °C y la temperatura mínima de -22 °C. Esta práctica racional permite elegir el ligante adecuado para un rendimiento sostenible en condiciones ambientales variables. (Asphalt Institute SP-1, 1996).

2.1.4.3. Aditivos modificadores

El aumento de fibras en los materiales de construcción y, específicamente, en las mezclas asfálticas ha atraído a muchos por su influencia favorable en el rendimiento mecánico del pavimento. Los diversos tipos de fibras que comprenden celulosa, poliéster y fibra de vidrio se mezclan con la mezcla asfáltica para mejorar su resistencia a la tracción y sus propiedades anti fisuras. Estas fibras logran una distribución uniforme de la tensión en el pavimento; por lo tanto, es menos susceptible a las grietas y extiende la vida útil de la superficie de la carretera.

Por último, las fibras ayudan a aumentar la resistencia de la mezcla a la deformación a altas temperaturas. Otros aditivos químicos también ayudan a modificar la mezcla asfáltica para ofrecer soluciones a desafíos de rendimiento particulares. Estos aditivos pueden ser agentes anti desgaste que aumentan la adherencia del ligante asfáltico a los agregados de piedra y, por lo tanto, evitan el deterioro inducido por el agua.

Los agentes de reciclaje reaccionan con el aglutinante envejecido del asfalto reciclado para alinear sus propiedades con las del aglutinante puro utilizado en la mezcla asfáltica virgen, mezclada en caliente para restaurar la compatibilidad entre ambos. Esto conserva los recursos naturales, ya que reduce la demanda de materiales vírgenes, lo que presenta ventajas económicas. (Jiménez, A., 2021).

2.2. Fibra de Gabazo de caña de azúcar

2.2.1. Caracterización de la fibra de gabazo de caña de azúcar

2.2.1.1. Origen y extracción de la fibra

El cultivo de la caña de azúcar tiene una historia que se remonta a muchos milenios. Desde su origen en el sudeste asiático, la caña de azúcar fue domesticada por primera vez alrededor del año 8000 a. C. Para entonces ya era muy popular debido a su alto rendimiento y versatilidad. Poco a poco, con el desarrollo de mejores prácticas y tecnología agrícola, se indujo una mayor eficiencia en el sistema, lo que dio como resultado una mayor producción y ahora es uno de los principales cultivos de la economía agrícola mundial.

Geográficamente, estos se concentran en las regiones tropicales y subtropicales, ya que son las más favorables para su crecimiento. Las extensas áreas de cultivo y las técnicas agrícolas avanzadas garantizan un suministro constante de caña de azúcar, que es esencial para varias industrias, incluida la producción de azúcar y los biocombustibles. Una vez preparada adecuadamente, la extracción de fibras se puede realizar de las siguientes formas; mecánica o química.

La extracción mecánica separa las fibras por medios puramente físicos; la masa de pulpa se muele o tritura para romper su estructura en fibras individuales. La extracción química implica la hidrólisis de las reacciones químicas que producen las fibras de celulosa en primer lugar y también las separan de la lignina y la celulosa de donde

emanan. Es ideal en muchos casos; por ejemplo, el rendimiento de pulpa de celulosa obtenido a partir del método de Soda lo ha colocado en el centro de atención y se prefiere más para ser utilizado en aplicaciones industriales. (Xiong, & Chen. 2020).

Las fibras extraídas se someten luego a purificación y secado para mejorarlas aún más para su uso en diferentes aplicaciones, una de las cuales es la construcción. Normalmente, las fibras purificadas obtenidas mediante el proceso de extracción se lavan para eliminar la presencia de cualquier tipo de químicos o impurezas que hayan quedado del proceso de extracción. Este paso se realiza para comprobar si las fibras se pueden utilizar para aplicaciones sensibles, como el refuerzo de asfaltos. Luego se realiza el secado para reducir el contenido de humedad de las fibras, lo que se puede lograr mediante secado al aire, secado en horno o métodos más avanzados como el secado al vacío. El secado adecuado evita el crecimiento microbiano, facilita la manipulación y el almacenamiento de las fibras.

2.2.1.1.1. Tratamientos de mejora para su uso en mezclas asfálticas

Los tratamientos químicos son esenciales para mejorar las propiedades de las fibras de gabazo de caña de azúcar cuando se utilizan en aplicaciones de asfalto. Uno de los métodos aplicados para llevar a cabo eficazmente el proceso de unión es la hidrólisis ácida. Ayuda a desfragmentar la estructura compleja unida con fibras para que sea más reactiva y sensible a la aplicación. Esto también ayudaría a eliminar las impurezas, por ejemplo, hemicelulosa y lignina, y permitiría que solo exista celulosa en las fibras con altos porcentajes. Este mayor contenido de celulosa mejora en gran medida las propiedades mecánicas de las FIBR, incluida la resistencia y la elasticidad, de modo que se pueden emplear de forma eficaz en el asfalto. Además, la hidrólisis ácida mejora la resistencia de las FIBR a las duras condiciones de los pavimentos de asfalto, garantizando así su integridad.

Estas fibras también se obtuvieron con mayor frecuencia por medios químicos. El proceso mecánico utilizado en las fibras en este estudio fue solo una práctica común para reducir las fibras a un tamaño uniforme y molerlas. Después del molido, el área de superficie de las fibras aumenta para que pueda haber una mejor interacción con las partículas de aglutinante de asfalto. Las fibras de tamaño adecuado pueden redistribuir la tensión alrededor de la matriz de manera más uniforme y, por lo tanto, no provocar grietas.

Además, los tratamientos mecánicos también pueden implicar vapor a alta presión para fibrillar las fibras con una estructura más abierta para una mejor unión con el asfalto. Los tratamientos térmicos aplicados a las fibras de bagazo de caña de azúcar para aplicaciones de asfalto son aquellos para mejorar la estabilidad y durabilidad. La degradación térmica de estas fibras a temperaturas elevadas se reduce mediante tratamientos térmicos. Es decir, el calentamiento controlado en el proceso permitirá la mejora de las propiedades térmicas de las fibras.

Los tratamientos térmicos, como el pirólisis, reducen básicamente el contenido de humedad de las fibras y, por lo tanto, aumentan aún más la estabilidad de las fibras cuando se incorporan al asfalto. La reducción del contenido de humedad definitivamente no hará que las fibras se hinchen ni se encojan; en gran medida, provoca la formación de huecos y reduce la durabilidad general del pavimento de asfalto. Además, los tratamientos térmicos quemarán por completo el material orgánico residual que queda en las fibras y, por lo tanto, garantizarán que las fibras no contribuyan al deterioro a largo plazo del asfalto.

2.2.1.2. Propiedades físicas de la fibra de bagazo de caña de azúcar

El parámetro de densidad es muy útil para la realización de aplicaciones prácticas en diversas industrias, ya que es un buen indicador de la compacidad del material y puede afectar el rendimiento general de la fibra empleada como material compuesto. El bagazo de caña de azúcar es más relevante en aplicaciones dentro de la industria de la construcción, como en el caso del asfalto o el hormigón, donde el aspecto principal es que el material sea "consistente" y "fiable". La densidad general de las fibras de bagazo de caña de azúcar se encuentra dentro del rango de 1,25-1,5 g/cm³, lo que permite un compromiso entre resistencia y flexibilidad, lo que las hace adecuadas para fines de refuerzo. Además, las fibras de bagazo tienen una densidad muy baja; esto se traslada a sus compuestos como peso ligero y puede mejorar la facilidad de manipulación, así como la logística de transporte. (Razali, & Jooari., 2020).

Otro factor influyente importante que determina el rendimiento, es su variación de longitud. Generalmente provoca variaciones en la resistencia a la elongación o tracción y la elasticidad de los materiales resultantes; Por lo tanto, influye directamente en la durabilidad y la resiliencia de los materiales compuestos. En este sentido, por ejemplo,

los papeles y las pulpas suelen requerir fibras largas porque poseen una mejor afinidad de unión y producen productos de papel más resistentes y duraderos.

Por otro lado, para algunas aplicaciones, las fibras más largas pueden ser más adecuadas para dar texturas gruesas con más volumen. Los estudios relacionados con la influencia de la longitud de la fibra en propiedades como la resistencia a la tracción, la rigidez, etc., enfatizan la necesidad de precisión y reproducibilidad desde la extracción hasta las etapas de procesamiento que pueden generar un mejor rendimiento en sus aplicaciones.

En aplicaciones para la construcción y los compuestos, un contribuyente importante a su eficacia es la uniformidad en el diámetro de las fibras de bagazo de caña de azúcar. La distribución adecuada de la tensión se establece a lo largo del diámetro uniformemente estresado de las fibras. Desempeña papeles auxiliares altamente contributivos para terminar con buenas integridades estructurales para materiales compuestos. Si el diámetro no es uniforme, el material tiene regiones de debilidad desarrolladas a lo largo de su masa. Esto debilita y reduce aún más la resistencia general y la durabilidad del material. Además, el diámetro uniforme de la fibra facilita el procesamiento, así como su homogeneización con varias matrices, ya sea en asfalto, hormigón u otros materiales compuestos.

2.2.1.3. Propiedades mecánicas de la fibra

La incorporación de fibras de bagazo de caña de azúcar al hormigón puede mejorar significativamente su resistencia a la tracción, lo que hace que el compuesto sea más resistente al agrietamiento y la deformación bajo tensión. Esta mejora es particularmente beneficiosa para la construcción de infraestructuras duraderas, donde la resistencia a la tracción sirve para garantizar la integridad estructural.

Por otro lado, para algunas aplicaciones, las fibras más largas pueden ser más adecuadas para dar texturas gruesas con más volumen. Los estudios relacionados con la influencia de la longitud de la fibra en propiedades como la resistencia a la tracción, la rigidez, etc., enfatizan la necesidad de precisión y reproducibilidad desde la extracción hasta las etapas de procesamiento que pueden generar un mejor rendimiento en sus aplicaciones. En aplicaciones para la construcción y los compuestos, un contribuyente

importante a su eficacia es la uniformidad en el diámetro de las fibras de bagazo de caña de azúcar. (Calabi, & Valdés., 2018).

La distribución adecuada de la tensión se establece a lo largo del diámetro uniformemente estresado de las fibras. Desempeña papeles auxiliares altamente contributivos para terminar con buenas integridades estructurales para materiales compuestos. Si el diámetro no es uniforme, el material tiene regiones de debilidad desarrolladas a lo largo de su masa. Esto debilita y reduce aún más la resistencia general y la durabilidad del material. Además, el diámetro uniforme de la fibra facilita el procesamiento, así como su homogeneización con varias matrices, ya sea en asfalto, hormigón u otros materiales compuestos. Esta resiliencia las hace adecuadas para su uso en mezclas de asfalto, donde pueden mejorar la durabilidad del pavimento y la resistencia a la deformación causada por cargas de tráfico y factores ambientales.

2.2.1.4. Composición química de la fibra de bagazo de caña de azúcar

El contenido de celulosa en la fibra de bagazo de caña de azúcar es el criterio principal para evaluar su aplicabilidad, especialmente en el sector de la construcción. Al ser un polímero natural importante, constituye por sí solo una parte importante del bagazo, generalmente entre el 40 y el 50 %. Este alto porcentaje de celulosa es vital ya que imparte ciertas propiedades mecánicas a las fibras en forma de resistencia a la tracción y elasticidad. Un mayor contenido de celulosa mejora la resistencia de la fibra y la resistencia al desgaste y es adecuado para aplicaciones como material de refuerzo, como en el asfalto. (Morales, & Rojas., 2019).

Se puede lograr una mayor purificación y mejorar la integridad estructural de la fibra celulósica extraída del bagazo de caña de azúcar mediante un tratamiento químico de hidrólisis ácida. La versatilidad del proceso subraya el potencial de aplicación de fibras de bagazo ricas en celulosa en la industria. La hemicelulosa, un componente principal del bagazo de caña de azúcar, influye en las características de las fibras según sus aplicaciones. A diferencia de la celulosa, la hemicelulosa es un hetero polímero de monómeros de azúcar que proporciona entre un 20% y un 30% de la pulpa.

La flexibilidad y la capacidad de retención de agua que le confiere la hemicelulosa por su naturaleza muy heterogénea son propiedades necesarias en muchas aplicaciones. Estas funcionalidades hacen que la hemicelulosa sea un componente muy

importante en lo que respecta al uso del bagazo en este caso. La presencia de lignina mejora la resistencia de la fibra a la degradación microbiana y al estrés ambiental, lo cual es esencial para su uso en materiales duraderos. Sin embargo, el alto contenido de lignina también puede plantear desafíos, como la reducción de la flexibilidad y la procesabilidad de la fibra.

2.2.2. Forma de uso del bagazo de caña de azúcar en las mezclas asfálticas

En China, un estudio realizado por Xie et al. (2024) un estudio sobre la utilización de fibras de bagazo de caña de azúcar modificadas superficialmente en mezclas asfálticas. Los autores aplicaron distintas metodologías de modificación mediante ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y clorito de sodio para demostrar explícitamente las características de las fibras, lo que deformó la resistencia a altas temperaturas de las mezclas asfálticas; lo que demostró que la fibra de bagazo de caña de azúcar sin modificar puede ser una solución viable para pavimentos más rígidos.

En Malasia, Mansor et al. (2020) exploraron el uso de fibra de bagazo de caña de azúcar en mezclas de Stone Mastic Asphalt (SMA), un tipo de mezcla asfáltica que a menudo presenta problemas de drenaje excesivo de aglutinante. La investigación mostró que la incorporación de un 1.3% de fibra de bagazo mejoraba significativamente la estabilidad de las mezclas, reduciendo el ahuellamiento y el drenaje del aglutinante.

En Irán, Sarir et al. (2022) en Irán estudió la aplicabilidad de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como material de relleno en la preparación de mezclas de hormigón asfáltico. Se demostró a partir de varios trabajos de investigación que cuando esta ceniza se utiliza en el diseño de la mezcla, aumenta la resistencia a la tracción y la durabilidad de la humedad de la mezcla. Este estudio describe cómo la ceniza de bagazo se puede reutilizar eficazmente como subproducto de desecho de la industria azucarera para reducir los costos de fabricación y reducir los impactos ambientales adversos de la construcción de pavimentos.

En Perú, Mera (2019) realizó un estudio sobre la incorporación de fibra de caña de azúcar a mezclas asfálticas. Se elaboraron 21 briquetas utilizando un porcentaje óptimo (0,50%) de fibra de caña de azúcar respecto al peso total de los áridos. Se informó que la incorporación mejora la resistencia de la mezcla asfáltica y reduce muchos de los problemas comunes que surgen del pavimento, incluida la deformación.

En otro estudio realizado en el Perú, Gelí (2021) analizó el uso de conjunto de fibra de coco y ceniza de bagazo de caña en las mezclas tipo Asfalto Mástico Drenante (SMA). Se estudió el comportamiento mecánico de la mezcla al sustituir un 100% de fibra de celulosa y cal hidratada por bagazo de caña. Los resultados obtenidos presentaron mejoras en la fluencia y disminución del escurrimiento; Sin embargo, señalan que la ceniza de gabazo no es apta para sustituir a la cal hidratada por falta de óxido de calcio, en cambio, la fibra sí dio buenos resultados como estabilizante

Por su parte, Aliaga y Bautista (2023), también en Perú, investigaron el uso de cenizas de gabazoe de caña de azúcar en mezclas asfálticas en caliente. Realizaron pruebas con diferentes porcentajes de cenizas añadidas al asfalto y descubrieron que incluso un 1% de cenizas mejoraba las propiedades mecánicas de la mezcla. Se logró una mezcla mucho más estable y un menor contenido de huecos con un 10,6% más de resultados significativos para las mezclas. El estudio demostró que el SCBA tiene una actividad puzolánica que puede producir una mayor densidad en los pavimentos para una mayor durabilidad.

Finalmente, Morales y Rojas (2019) quienes estudiaron la influencia de la fibra de gabazo de caña de azúcar en las mejoras de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, encontraron que con el uso de esta fibra, la mezcla desarrolló mayores valores de cohesión y resistencia a la deformación permanente, dando como resultado pavimentos más durables y resistentes al tráfico vehicular.

2.3. Metodología MARSHALL

2.3.1. Procedimiento de ensayo Marshall

2.3.1.1. Fases del ensayo de estabilidad y flujo

2.3.1.1.1. Compactación de la muestra

La Metodología Marshall evalúa las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con indicadores de estabilidad y fluidez. El primer paso es la compactación de la muestra: se vierte una mezcla asfáltica caliente en los moldes cilíndricos y luego se aplica un martillo para compactar el material con un número controlado de golpes (Pincay y Alonso, 2022).

El objetivo de la compactación es alcanzar la densidad máxima que enfrentarían los pavimentos en la vida real. Como lo demuestran algunos estudios de investigación recientes, una compactación adecuada produce un aumento de la cohesión interna y una disminución de los huecos en la mezcla, mejorando así la resistencia del pavimento. El nivel de compactación en realidad se relaciona con la resistencia a la deformación y la capacidad de carga de los pavimentos, que son dos variables realmente importantes en la longevidad y el rendimiento del pavimento frente al tráfico (Calva y Muñoz, 2022).

2.3.1.1.2. Evaluación de estabilidad bajo carga

Después de la compactación, se realiza la evaluación de la estabilidad frente a la carga. La estabilidad es la resistencia de la mezcla compactada a ser sometida a un proceso de aplicación de cargas estáticas de forma incremental hasta que se produzca la rotura. Esto se define como la capacidad de la mezcla para soportar deformaciones no recuperables y se determina mediante una prensa Marshall que aplica una carga uniaxialmente sobre la muestra compactada (Alonso et al., 2021).

Por tanto, es esto lo que plantea una demanda de capacidad para soportar la carga de tráfico impuesta sin deformación crítica. Una publicación reciente de un estudio señala que la alta estabilidad en las mezclas asfálticas está relacionada con una mayor resistencia a la formación de surcos, un problema eminente en las carreteras de alto tráfico.

2.3.1.1.3. Medición del flujo y su análisis

Por su parte, la fluencia es la capacidad de la muestra de deformarse bajo carga sin fracturarse. Se obtiene registrando el desplazamiento lateral de la muestra en milímetros y es un indicador muy importante de la flexibilidad en la estructura del pavimento. Es una prueba de rutina diseñada para asegurar que las mezclas sean capaces de soportar deformaciones sin que se produzcan fallas estructurales (Raffo y Calva, 2023).

2.3.2. Aplicación de la metodología Marshall a mezclas con fibra de gabazo de caña de azúcar

2.3.2.1. Adaptación del ensayo a mezclas modificadas

Las modificaciones que se requieren durante las pruebas de estabilidad y flujo para mezclas modificadas con fibras naturales se deben a cambios en la resistencia y

rigidez con respecto a la compactabilidad de la mezcla y la evaluación, ya que las fibras constituidas motivan fluctuaciones en la cohesión y resistencia a la tracción de la mezcla. Estudios recientes sobre fibras de gabelo de caña de azúcar muestran que aumentan la resistencia a la tracción y reducen la deformación plástica; por lo tanto, los valores de estabilidad y flujo deben recalibrarse para dar un reflejo preciso y ampliar la posibilidad de su aplicabilidad (León et al., 2020).

Además, la presencia de fibras puede cambiar la distribución de esfuerzos internos, lo que exige especificidad en el análisis para que se obtenga una evaluación real del comportamiento de la mezcla asfáltica modificada. Estos ajustes son para que la mezcla se desempeñe mejor en condiciones de tráfico y ambientales (Bastidas et al., 2022).

El uso de fibras vegetales como el bagazo de caña de azúcar se ha considerado una forma alternativa de mejorar las características de las mezclas asfálticas en cuanto a durabilidad y comportamiento mecánico sin aumentar seriamente los costos. Este tipo de mezcla presenta una mayor resistencia a la formación de surcos y una mejor estabilidad frente a cargas dinámicas en comparación con las mezclas convencionales, por lo que resulta muy apropiada para su aplicación en carreteras de tráfico pesado (Bobadilla et al., 2022).

2.4. Viabilidad del uso de fibra de gabelo de caña de azúcar en mezclas asfálticas

2.4.1. Viabilidad técnica

2.4.1.1. Desempeño mecánico y requisitos técnicos para su implementación

El uso de fibra de gabelo de caña de azúcar es esencial en áreas donde las condiciones climáticas extremas pueden generar una gran tensión en las superficies de las carreteras. Las nuevas propiedades mecánicas encontradas proporcionan al asfalto la capacidad de resistir estas condiciones ambientales y de tráfico, lo que ayuda a prolongar la vida útil del pavimento (Vega y Hernández, 2021).

2.4.1.2. Compatibilidad con tecnología existente

Es un factor utilizado para determinar la viabilidad del uso de fibra de bagazo de caña de azúcar, en la actualidad las investigaciones indican que las mezclas asfálticas que incorporan esta fibra pueden combinarse perfectamente con los procesos de producción de asfalto convencionales, las cerdas están constituidas de una mezcla homogénea con agregados de diferentes tamaños, generalmente comprendidos entre 37,5 milímetros y 9,5 milímetros, garantizándose homogeneidad y uniformidad (Suárez y Varón, 2021).

Esto reducirá el equipo de soporte requerido y el alto nivel de ajustes a realizar en las plantas de asfalto actuales debido a que el mate tiene una viscosidad relativamente uniforme en comparación con otros ligantes modificados con polímeros. Esto desarrollará la fácil aceptación de esta innovación de material en la industria de la pavimentación. Además, no interfiere con la composición química del asfalto ya que la mayoría de las especificaciones técnicas estándar indican que la mezcla modificada debe cumplir con requisitos específicos para varias propiedades del material. El uso de fibra en la mezcla permitió alcanzar una efectividad del 100% en el cumplimiento de especificaciones técnicas específicas, que la mezcla original no cumplía (Jiménez, 2021).

2.4.2. Viabilidad económica

2.4.2.1. Costos de producción, vida útil y mantenimiento

Los costos de producción de la fibra de bagazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas son el factor más crucial que influye en la viabilidad económica del proyecto. Los costos de producción son una revisión del proceso desde la recolección de la grava hasta su incorporación a las mezclas asfálticas. La recolección de grava en las cercanías de la planta procesadora reduce el costo y el tiempo de transporte, facilitando también las operaciones de manipulación y procesamiento para que la fibra sea utilizable.

En este sentido, cabe señalar que debido al desgaste del relleno, obliga a los cargadores a viajar entre 70 y 150 m para transportar el material (Murillo, 2020). Dichos costos logísticos pueden realmente pesar mucho sobre la viabilidad económica del uso de ese material. La evaluación del costo de la materia prima es un factor importante para declarar la viabilidad económica del uso de la fibra de bagazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas.

El gabazo de caña de azúcar es un subproducto de la industria azucarera y, comparativamente, el costo de adquisición de los materiales es alto. Sin embargo, las gabazo deben prepararse para ser conscientes de los costos de preparación para su uso en mezclas asfálticas, incluidos el triturado, el secado y el tratamiento químico. En este sentido, se ha formulado la tesis para evaluar la idoneidad de la fibra de gabazo de caña de azúcar desde una perspectiva técnica, económica y ambiental (Armas, 2019).

El costo reducido de las materias primas puede ser un factor muy importante que impulsaría la aceptación de este material por parte de la industria de la pavimentación. Otro aspecto muy importante que es muy crítico para la viabilidad económica de su uso se refiere a los gastos de fabricación y procesamiento de la fibra de bagazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas. Esto abarca el costo en términos de inversión en maquinaria y equipo que son necesarios para el procesamiento del gabazo y su transformación en fibras que se pueden aplicar a la pavimentación.

Además, también se deben considerar los costos operativos desde el consumo de energía y la mano de obra hasta el mantenimiento del equipo. Este proyecto forma el análisis económico y financiero para realizar el contraste costo-beneficio, ya que facilita la gestión económica.

2.4.3. Impacto ambiental del uso de fibra de gabazo de caña de azúcar

2.2.3.1. Contribución a la sostenibilidad en la pavimentación

La incorporación de esta fibra natural ayuda mucho a resolver problemas medioambientales, ya que proporciona un medio para reducir la excesiva dependencia de materiales no renovables y también la amenaza de la generación de residuos. Por tanto, al utilizar residuos agrícolas como uno de sus principales ingredientes, el sector de los pavimentos puede reducir enormemente el consumo de materiales vírgenes, lo que nos acerca a una implementación más ecológica del proceso.

Además, su biodegradabilidad garantiza que cualquiera de las mezclas asfálticas resultantes de las fibras de bagazo de caña de azúcar no contamine el medio ambiente a largo plazo, por lo que se ajusta a los objetivos de sostenibilidad en general. Lo más importante es que se ha pensado que el uso en la mezcla asfáltica reduce significativamente la huella de carbono relacionada con la producción de asfalto. La producción de asfalto normal consume mucha energía y también genera un alto nivel de

emisiones de CO₂ (WIRTGEN GROUP, 2022). Este enfoque ayuda a reducir la huella ecológica general de la construcción y el mantenimiento de carreteras, promoviendo un paradigma de desarrollo de infraestructura más sostenible.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo

La investigación aplicada fue seleccionada con base en que se buscaba resolver un problema real relacionado con la mejora de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas mediante la adición de fibra de gabazo de caña de azúcar. Esta investigación es adecuada ya que pretendió desarrollar soluciones reales que pudieran implementarse para resolver problemas relacionados con la construcción de infraestructuras viales más sostenibles.

Para ello, se utilizó ensayos de laboratorio para comprobar cómo este material puede mejorar la dureza y resistencia de los pavimentos; el alcance del estudio a realizar tenía como objetivo directo obtener resultados que fueran aplicables al pavimento, ofreciendo una alternativa factible tanto desde el punto de vista técnico como económico.

3.1.2. Nivel

Es descriptivo porque pretendió caracterizar y explicar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas que contienen fibra de gabazo de caña de azúcar. También se consideró apropiado para la investigación descriptiva, ya que el propósito es ofrecer una visión detallada de los fenómenos observados; por lo tanto, no es necesario establecer relaciones causales. En este caso, tuvo que basarse en datos de pruebas experimentales; por lo tanto, se describieron las características físicas y el desempeño de las mezclas asfálticas.

Se describió cómo los diversos componentes afectan la estabilidad, el flujo y la densidad de la mezcla de una manera análoga a la que se encontraría en una mezcla convencional. Los datos se obtuvieron de pruebas estándar para este propósito, lo que ayudaría a obtener una visión analítica y una descripción de los resultados.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método

Es deductivo, ya que parte de teorías y principios generales previamente establecidos sobre el comportamiento de mezclas asfálticas modificadas con fibras

naturales, para llegar a conclusiones específicas en cuanto al uso de fibra de gabazo de caña de azúcar. Se utilizó el método deductivo, considerando la literatura disponible sobre el uso de fibras naturales en materiales de construcción y con el conocimiento disponible para acceder a su influencia en mezclas asfálticas.

En este enfoque, con base en el conocimiento teórico, se formulan hipótesis que luego se prueban o rechazan mediante trabajo de laboratorio. Un trabajo en este enfoque comenzaría con la revisión de la literatura para luego pasar a la parte experimental para la validación de las hipótesis formuladas.

3.2.2. Enfoque

La metodología de esta investigación fue cuantitativa, ya que se llevó a cabo mediante un procedimiento lo suficientemente estructurado, sistemático y organizado para proporcionar datos e información sobre la naturaleza, distribución y relaciones a través de medidas que expresan cantidades. En todo momento se utilizaron técnicas estadísticas y cuantitativas para asegurar la precisión que tendrían los resultados. Además, también se implementaron herramientas de análisis exploratorio de datos en estadística descriptiva para las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas para reconocer patrones o relaciones discernibles en las variables dadas y así asegurar la rigurosidad con la que se trató la información (Hernández y Mendoza, 2023).

3.2.3. Diseño

El diseño fue experimental, dado que se manipularon las mezclas asfálticas incluyendo distintos porcentajes de gabazo de caña de azúcar, a esto se denomina manipulación de la variable independiente y el análisis de los cambios efectuados en la dependiente (Guevara et al., 2020).

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

Para el presente estudio se determina que la población de estudio consiste en las briquetas o especímenes de mezclas asfálticas incluyendo fibra de gabazo de caña de azúcar. La población consiste en el conjunto total de individuos, elementos o fenómenos que comparten características comunes y sobre los cuales se precisa obtener información (Barbosa et al., 2020). La identificación de la población es importante para la

generalización de resultados, de modo que se puede ilustrar de manera integral las características que la representan.

3.3.2. Muestra

La muestra de estudio es un subconjunto representativo de la población seleccionada para realizar el análisis en una investigación, se aplica seleccionando un grupo de la población; se utiliza para reducir costos, tiempo y recursos, permitiendo obtener resultados generalizables sin necesidad de estudiar a toda la población. De acuerdo con esto, en el presente estudio, la muestra es representada por 45 briquetas, de mezcla asfáltica,

3.3.3. Muestreo

El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, dado que la selección de la muestra depende de las condiciones específicas del experimento, como la disponibilidad de los sujetos o materiales que cumplan con los criterios necesarios para evaluar las variables las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas incluyendo fibra de gabazo de caña de azúcar.

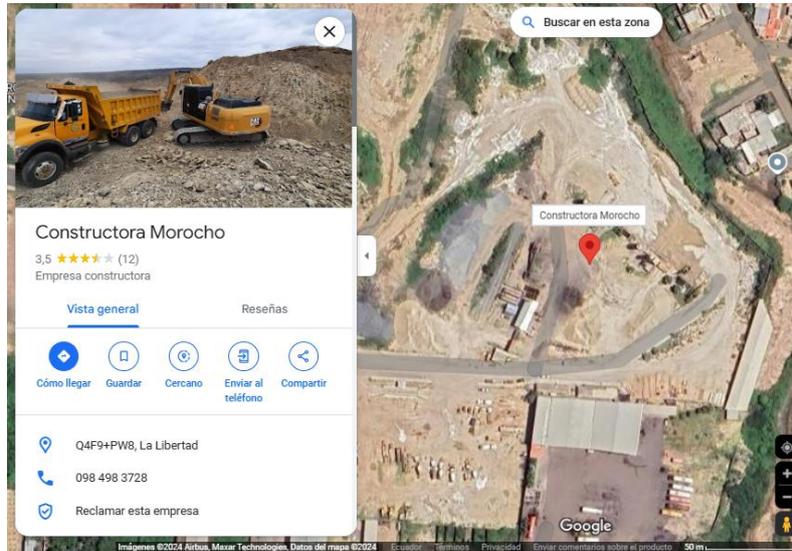
3.4. METODOLOGÍA DEL O.E.1.: ESTABLECIMIENTO DE LA ESTABILIDAD Y EL FLUJO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS QUE INCLUYEN FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE PRUEBAS MARSHALL

3.4.1. Recolección de materiales

Se contó con el apoyo de la empresa del Ing. Carlos Morocho Duque S.A. CM Construcciones ubicado en el cantón La Libertad, esta suministró el material (agregado) procedente de las canteras Chivería (Guayaquil) y cerro el Tablazo. Y de arena natural del río Guayas.

Figura 1.

Ubicación de la empresa Constructora Morocho



Nota. Proveedor de los agregados graduados y el cemento asfáltico. Fuente: *Google Maps*.

Los agregados se muestran a continuación:

Figura 2.

Arena natural proveniente del Río Guayas



Nota. Agregado fino, arena natural proporcionada por Constructora Morocho. Imagen referencial.

Figura 3.

Agregado ¾ proporcionado por la Constructora Morocho



Nota. Imagen referencial.

Figura 4.

Agregado Cisco proporcionado por la Constructora Morocho



Nota. Imagen referencial.

El cemento asfáltico es proporcionado por Constructora Morocho, su procedencia es de la provincia de Esmeraldas.

Figura 5.

Cemento asfáltico proporcionado por la Constructora Morocho



Nota. Imagen referencial.

El gabazo de caña de azúcar se consiguió en la zona norte de la provincia de Santa Elena.

Figura 6.

Gabazo de caña de azúcar procesada



Nota. El gabazo de caña de azúcar.

3.4.2. Caracterización de Materiales para dosificaciones de mezclas asfálticas en caliente

Los agregados que se incorporan a las mezclas asfálticas tradicional y modificadas con cemento, son evaluados mediante ensayos de laboratorio como: granulometría, gravedad específica y absorción. Cada ensayo debe seguir con el proceso y cumplimiento a lo que se especifica en normas NEVI 12-MTOP y ASTM, para obtener, las dosificaciones adecuadas de materiales que permiten la elaboración del diseño de mezclas asfálticas de tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ " (19 mm), evaluadas en la presente investigación.

3.4.2.1. Caracterización del agregado

a) Granulometría

Utilizando los agregados indicados, se pasa una cantidad específica de cada material, de forma individual, a través de un tamiz con mallas de distintas gradaciones, cumpliendo con los requisitos establecidos por las normativas ASTM y MTOP para "mezclas asfálticas en caliente", tomando como referencia un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$.

Tabla 1.

Granulometría de la mezcla tradicional

AGREGADO	% PASANTES										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200
	25,4	19,0	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15	0,075
1 MATERIAL $\frac{3}{4}$	100	100,00	51,23	12,73	0,37	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,05
2 ARENA NATURAL	100	100	100,00	98,60	96,69	94,07	90,02	79,92	14,48	2,51	0,48
3 CISCO	100	100	100	96,12	67,78	46,51	32,67	23,97	15,74	10,35	6,26

Nota. Granulometría de los agregados realizada en el laboratorio de mecánica de suelos de la UPSE.

b) Gravedad específica

Absorción del agregado grueso. La gravedad específica de los áridos gruesos se determina según las normas AASHTO T-85 y ASTM C-127 utilizando los procedimientos y equipos que se indican en la siguiente tabla, en la que se recomienda la cantidad de material a ensayar. En este trabajo se utiliza una cantidad ligeramente superior a la especificada para el material $\frac{3}{4}$ con un tamaño máximo nominal de 19 mm, para

cubrir las pérdidas que se producen durante el proceso y no tener como resultado una cantidad real ensayada inferior a la especificada.

Tabla 2.

Cantidades mínimas para el ensayo de Gravedad específica

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulgada)	Muestra mínima (gr)
50,0 (2)	6000
37,5 (1 1/2)	4000
25,0 (1)	2500
19,0 (3/4)	2000
12,5 (1/2)	1500
9,5 (3/8)	1000
4,75 (N°4)	500

Nota. Tomado de norma ASTM D2041.

En este trabajo la muestra mínima para el agregado de 19 mm ($3/4$) fue de 2.000 gr.

Absorción del agregado fino. Los procedimientos y equipos utilizados para determinar la gravedad específica aparente y BULK de los agregados finos están descritos en las normativas AASHTO T84 y ASTM C-128. La muestra de ensayo, de unos 1.000 g, se seca en un horno a 110 °C. El peso final constante se toma como condición para un secado adecuado de la muestra. A continuación, se coloca en agua en un recipiente específico durante 24 horas. Al final de este período, se saca la muestra del agua sin pérdida de partículas y se coloca sobre una superficie lisa para que se seque al sol o mediante cualquier otro método artificial de calentamiento hasta que alcance un estado casi seco.

Cuando el material esté seco, verifique que cumpla con los siguientes requisitos para el ensayo: el material debe fluir del material en forma de polvo y no debe mantener ninguna forma. Verifique el material con un molde cónico y un apisonador. El moldeo cónico se coloca con el radio mayor hacia abajo y se llena en tres capas, compactando ligeramente con el pisón: 10 golpes para la primera capa, 8 para la segunda y 7 para la tercera. Posteriormente, el cono se retira y, si el material cae desde una altura superior a 5 mm respecto a la muestra, se considera que está más seco de lo permitido, debiendo añadir agua y repetir el proceso.

Se consideró que el material estaba en el estado óptimo cuando se obtuvieron aproximadamente 500 g, en una condición superficial saturada y seca, y se colocó en una matraz. Se marcó el nivel de agua en el matraz. En primer lugar, se pesó el matraz

lleno de agua. Se eliminó el aire atrapado con suaves golpecitos y se tomó nuevamente el peso. Luego, la muestra se secó en un horno a 110 °C durante 24 horas; esto constituyó el logro de la secuencia para la muestra.

Figura 7.

Tamizado de los agregados gruesos, cisco y material $\frac{3}{4}$



Nota. Organización de los agregados gruesos para tamizar.

Figura 8.

Muestras de agregados para tamizar



Nota. Organización de los agregados finos para tamizar.

c) Desgaste por medio de la máquina de abrasión de Los Ángeles

Este desgaste se prioriza en las normas ASTM C-131 o AASHTO T-96 y ASTM C-535, está dado para medir la resistencia de las fuerzas de abrasión de determinados puntos de contacto de los agregados en función de desgaste/abrasión; en el presente

estudio, el material $\frac{3}{4}$ y del Cisco; la máquina de abrasión de Los Ángeles consiste en un tambor giratorio que contiene esferas de acero reguladas.

Por medio de la granulometría se dedujo cuál método seleccionar A, B, C y D, de acuerdo con el agregado que empieza a retener material.

Tabla 3.

Especificaciones del método y cantidades según la granulometría del agregado

ABERTURA				METODO			
PASA TAMIZ		RETENIDO EN TAMIZ		A	B	C	D
N°	“mm”	N°	“mm”	Cantidad de material a emplear			
1 1/2	37,50	1	25,00	1250-+2 5			
1	25,00	$\frac{3}{4}$	19,00	1250-+2 5			
3/4	19,00	$\frac{1}{2}$	12,50	1250-+2 5	2500-+1 0		
1/2	12,50	$\frac{3}{8}$	9,50	1250-+2 5	2500-+1 0		
3/8	9,50	$\frac{1}{4}$	6,25			2500-+1 0	
1/4	6,25	N°4	4,76			2500-+1 0	
N°4	4,75	N8	2,38				5000-+1 0
Total				5000-+1 0	5000-+1 0	5000-+1 0	5000-+1 0
Numero de Esferas				12	11	8	6
Numero de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo en Rotación en “min”				15	15	15	15

Nota. Los métodos A, B, C y D, son las opciones de las cuales se elige el método y el tamaño del material para utilizar en el proyecto.

El tamiz 1 $\frac{1}{2}$, 1 pulgada no contiene retenidos de material $\frac{3}{4}$, de modo que este método no correspondería al material y se procedería a descartar. Mientras que en el método B, se observa que sí cumple con el rango predefinido, dado que el material si pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ de 19mm de abertura y dicho material se retiene en el tamiz $\frac{1}{2}$; de igual forma, hay material en el tamiz $\frac{1}{2}$ y se retiene en $\frac{1}{4}$. Posterior a decidir el método para utilizar, se procede a la recolección del material para la realización del ensayo según las normas ASTM C-131.

Figura 9.

Tamizado de los agregados gruesos, cisco y piedra $\frac{3}{4}$



Nota. Se necesita tamizar el material grueso para corroborar a qué método pertenece.

Pesar la cantidad de material necesario para la prueba de acuerdo con la Tabla 14 de ASTM C-131. En el caso tanto del cisco como de la piedra de $\frac{3}{4}$ de pulgada, esto sería 2500 g. Sin embargo, se deben preparar 3000 g para su uso, ya que, al ser la cantidad requerida para la prueba, se perderá si se lava y se seca en el horno con una frecuencia menor a la necesaria para el ensayo. Posteriormente, el material se lleva al horno durante 24 horas, y una vez enfriado, se pesan los 2500 gramos indicados por la norma.

Figura 10.

Lavado del material grueso para ensayo abrasión de los Ángeles



Nota. El material grueso debe lavarse para eliminar impurezas y polvo en él.

El material es colocado en un tambor giratorio de acero junto con las bolas de acero necesarias, de acuerdo con el método empleado: 11 esferas para el método B (piedra $\frac{3}{4}$) y 8 esferas para el método C (cisco). Ambos procedimientos incluyen 500 revoluciones durante 15 minutos.

Figura 11.

Equipo para ensayo de abrasión Los Ángeles



Nota. La máquina de abrasión Los Ángeles se encuentra en el laboratorio de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Figura 12.

Material en el tambor de la máquina de abrasión Los Ángeles



Nota. Material después del ensayo, con las esferas de acero y el material de pérdida por las fuerzas abrasivas.

Luego, el material es retirado y tamizado con la malla N°12, desechando lo que pase por el tamiz. El material retenido se pesa para calcular el porcentaje de desgaste mediante la fórmula:

$$\% \text{Desgaste} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Donde el peso inicial (P_{inicial}) corresponde al material evaluado antes del ensayo, y el peso final (P_{final}) al material después del ensayo. Por norma, el porcentaje máximo de desgaste permitido es del 45%. Un material que cumpla con este límite se considera resistente y adecuado para soportar las cargas aplicadas en su uso. Si el desgaste supera

este valor, el material no es apto para incorporarse en mezclas debido a su insuficiente resistencia mecánica.

3.4.3. Dosificación para el diseño de la mezcla

La dosificación de los elementos para la mezcla asfáltica se controla por medio de la normativa ASTM D3515, se realiza teniendo en consideración el tamaño máximo nominal del agregado (3/4), de igual forma, cumpliendo la norma ecuatoriana del MTOP. En la combinación adecuada de porcentajes de los elementos se estima con el fin de obtener la curva granulométrica que se ajuste a los rangos exigidos por las normas, respetando las tolerancias, para la obtención de la fórmula óptima en las briquetas.

Tabla 4.

Especificaciones de la combinación de agregaos de acuerdo con el porcentaje de pasante de tamiz

Tamaño del tamiz		Denominación de la mezcla y tamaño máximo nominal del agregado.				
		1 in (25,0 mm)	3/4 in (12,5 mm)	1/2 in (12,5 mm)	3/8 in (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)
1 1/2"	37,5 (mm)	100	...	...	...	...
1"	26,5 (mm)	90 - 100	100	...	...	...
3/4"	19 (mm)	...	90 - 100	100	...	...
1/2"	12,5 (mm)	56 - 80	...	90-100	100	...
3/8"	9,5 (mm)	...	56-80	...	90-100	100
No. 4	4,75 (mm)	29 - 59	35-65	44-74	55-85	80-100
No. 8	2,36 (mm)	19 - 45	23-49	28-58	32-67	65-100
No. 16	1,18 (mm)	...	...	...	...	40-80
No. 30	0,6 mm	...	...	...	...	25-65
No. 50	0,3 mm	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40
No.100	0,15 mm	...	...	...	..	3-20
No.200	0,075 mm	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10
		Betún, % en peso de la mezcla total				
Rango		3-9	4-10	4-11	5-12	6-12

Nota. Manual de la Institución Asfáltica de Mezclas Asfálticas en Caliente, Serie No. 22, 2nd edición.

Figura 13.

Dosificación de los materiales para las mezclas



Nota. Los materiales fueron organizados en fundas con el peso exacto según el proceso o ensayo a realizar, como son la mezcla tradicional, adicional con gabazo de caña de azúcar y ensayo Lottman.

Para la selección de las dosificaciones, se priorizó el uso de materiales con mayor disponibilidad en la misma provincia, reduciendo el porcentaje de aquellos provenientes de otras localidades, siempre que los cálculos y ajustes realizados cumplieran con las especificaciones granulométricas establecidas para mezclas asfálticas según las normativas ASTM D3515 y MTOP.

Se determinaron los porcentajes óptimos de cada agregado, logrando así una combinación que cumpliera con las fajas granulométricas requeridas por la norma MTOP. Los detalles de estas combinaciones se presentan en los anexos de la investigación, junto con las tablas correspondientes a las dosificaciones realizadas.

Tabla 5.

Graduación de agregados para Mezcla Tradicional

	AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTES										
			1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200
1	MATERIAL 3/4	30	30	30,00	15,37	3,82	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
2	ARENA NATURAL	20	20	20	20,00	19,72	19,34	18,81	18,00	15,98	2,90	0,50	0,10
3	CISCO	50	50	50	50	48,06	33,89	23,25	16,33	11,98	7,87	5,18	3,13

Nota. En esta tabla se muestra la graduación de agregados del diseño de mezcla tradicional con un 50%, 30% y 20% de agregado.

3.4.4. Elaboración de mezclas asfálticas usando la metodología Marshall

Posterior a la granulometría del material, se definió el apto para elaborar las mezclas asfálticas; estas se trabajaron en caliente, con briquetas que se trabajaron con diferentes porcentajes de asfalto, teniendo en cuenta un tamaño de 2,5" de espesor y 4" de diámetro. Las briquetas se rompen en la prensa Marshall para determinar la estabilidad (resistencia) y flujo, de igual forma, mediante otros ensayos se determinó pesos, densidad, gravedad como el RICE.

Estas técnicas permiten obtener el óptimo de asfalto por medio del cálculo de la gravedad específica volumétrica (G_{mb}), el volumen de asfalto (V_{be}), la densidad aparente o bulk del agregado en la mezcla compactada (V_{sb}), la gravedad específica máxima teórica (G_{mm}), el contenido de asfalto efectivo (P_{be}), vacíos llenos de asfalto (VFA), vacíos en el agregado mineral (VMA), el porcentaje de vacíos llenos de aire (V_a) y la absorción de asfalto (P_{ba}).

3.4.4.1. Elaboración de las briquetas

Se trabajó con un peso bruto por briketa de 1500 gr, de los cuales, se distribuyeron 1200 para la muestra y 300 para el ensayo RICE, la proporción de los agregados estuvo dada de la siguiente forma: 50% de cisco, 30% de material $\frac{3}{4}$ y 20% de arena natural.

Figura 14.

Pesos de cantidades de agregados



Nota. Se realizó el peso correspondiente de cada agregado con ayuda de una balanza.

En la elaboración de las briquetas, se utilizaron diversos insumos como cocina eléctrica, ollas, taras de aluminio, cuchara metálica, guantes resistentes al calor, wyepe, gasolina, termómetro, mandil. Luego, se procedió a calentar el material hasta que alcanzó una temperatura entre 140as a 160°C, asimismo, el cemento asfáltico debe alcanzar ese rango de temperatura; posteriormente, se procede a pesar el porcentaje de asfalto en gramos.

Figura 15.

Materiales en proceso de calefacción



Nota. Se aprecia el calentamiento de los agregados y el cemento asfáltico incluyendo el gabazo de caña de azúcar.

Para transformar de porcentaje a gramos se tomó la cantidad de agregado a utilizar por briquetas (1500 gr), ese valor se multiplica por el porcentaje de asfalto a utilizar en la muestra (4,5%, 5%, etc.), el resultado en gramos es el valor para utilizar por briquetas.

3.4.4.2. Compactación de las briquetas

Se prepara el martillo de compactación Marshall junto con el pedestal, el molde metálico y la corona. Antes de introducir nuestro material al molde, se coloca dentro una película de papel recortada al tamaño interno del molde, que facilita la movilidad de la briqueta al momento de terminar un de compactar un lado girarlo y compactar en su otro lado evitando así que quede pegado a la base o se desperdicie material.

Con el material dosificado y el molde correctamente ubicado, se vierte la mezcla en caliente, cuidando que la temperatura no haya descendido de 140°C como límite. Inmediatamente se procede a dar los respectivos 25 golpes con ayuda de una espátula

dejándolo lo más homogénea posible, sin olvidarnos de colocar otra película en la parte superior de la muestra, para finalmente ajustar el collarín con la corona, se añade el martillo y se procede a dar consecutivamente los golpes en nuestro caso 75 golpes con el martillo Marshall.

Figura 16.

Proceso de compactación de las briquetas



Nota. Proceso de compactación de briquetas mediante el martillo Marshall.

Determinamos para este estudio el número de 75 golpes por cara de acuerdo con las especificaciones MTOP-001F-2002 pensado para un tránsito alto para la compactación Marshall. Una vez realizado los primeros 75 golpes, se eleva el collarín, removemos la corona y volteamos le molde colocándole la corona en el lado opuesto asegurándolo nuevamente con el collarín para ejecutar los 75 golpes a la cara opuesta ya compactada, , teniendo así un total de 150 golpes por cada muestra a ensayar ,esto puede realizarse por una sola persona, sin embargo, recomendamos al menos dos personas para que una se encargue de sostener el mango del martillo y la base mientras el otro realiza los golpes correspondientes.

Una vez realizado los 150 golpes, ubicaremos las muestras en una zona poco transitada debido a que sigue caliente de esta forma evitamos cualquier tipo de accidente y dejamos reposar por un lapso de 24 horas para luego proceder a desmoldar, esto lo realizaremos con la ayuda de una gata especial para las briquetas. Luego retiraremos las películas de papel y con ayuda de un líquido corrector enumeraremos las muestras.

Figura 17.

Desenfofrado de briquetas compactadas



Nota. Se aprecia el proceso de desmolde de las briquetas de manera cuidadosa.

El proceso de desmolde se repetirá el número de veces correspondientes a 3 briquetas por porcentaje de asfalto, en este caso 6 porcentajes (4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%) con un total de 18 briquetas para el diseño de la mezcla asfáltica tradicional.

3.4.4.3. Ensayos realizados a las briquetas

Una vez desmoldadas todas las muestras, y haber dejado reposar, estas podrán ser sometidas a los siguientes ensayos: ensayo de gravedad específica Bulk de las muestras compactadas, rotura Marshall de las briquetas para obtener datos de estabilidad ,flujo y ensayo de gravedad específica máxima teórica (rice).

a) Determinación del peso específico BULK AASHTO T166

La gravedad específica Bulk lo obtendremos con el cálculo entre la relación que existe entre su peso en el aire y, así mismo, de su volumen. Para este ensayo las muestras deben ser pesadas con ayudada de una gramera en tres estados: estado seco (aire), superficialmente seco (SSS) y estado sumergido o saturado (agua).

Figura 18.

Peso seco de la briqueta



Nota. Peso seco de los especímenes una vez desmoldada.

Se procede a pesar la muestra seca y se registra como muestra seca (W_{aire}).

Figura 19.

Peso superficialmente saturado de briqueta (SSS)



Nota. Peso superficialmente saturado en un balde con agua durante 5 minutos aproximado.

Se colocaron las muestras en un balde lleno de agua durante un lapso de 5 minutos aproximadamente, luego se retiró y secó superficialmente con una franela y se procedió a pesar en la Gramera, así se pudo verificar el porcentaje de humedad absorbido, contrastando con el valor obtenido de peso en el aire.

Figura 20.

Peso en agua de briqueta



Nota. Se aprecia el peso en agua sumergida en una canastilla sostenida por una piola donde se penetra la briqueta.

Por último, llenaremos un tacho con agua ubicaremos la briqueta en una canastilla que está sostenida con una piola para que se mantenga, y no se debe tocar el fondo del tacho. Esto es recomendable porque evita que en la parte baja no queden burbujas de aire atrapadas cuando se ubiquen. Este peso es registrado como peso en agua.

b) Cálculo de volumen y espesor de briquetas

Figura 21.

Medición de espesores de briquetas



Nota. Se realizó las respectivas medidas de altura y diámetro de briquetas con ayuda del calibrador vernier (imagen derecha).

Para la obtención del volumen de la muestra se procedió a restar los pesos superficialmente secos (SSS) y el peso sumergido (Agua); por otra parte, el espesor se obtuvo midiendo la anchura y la altura de la muestra para luego ser promediadas.

3.4.4.4. Evaluación de briquetas por equipo Marshall

Para este ensayo, emplearemos un contenedor metálico con el que se realiza un baño María a las briquetas, llenaremos este equipo con agua limpia y el agua comenzará a calentarse hasta llegar a una temperatura de 140°F (60°C) debemos estar pendiente de la temperatura podremos estar revisándolo con la ayuda de un termómetro; una vez llegado a la temperatura introduciremos de forma ordenada nuestras briquetas, colocándolas de manera escalonada con el propósito de que todas se calienten por igual, usando siempre la protección adecuada en este caso unos guantes de látex para prevenir incidentes por la alta temperatura del agua. Las muestras deben estar inmersas por lapso de tiempo de 30 min a 40 min, verificando constantemente que la temperatura se mantenga constante.

Figura 22.

Briquetas en baño maría



Nota. Colocación de especímenes en el contenedor de baño maría.

Figura 23.

Mordaza Marshall y medida de flujo



Nota. Implementos para el equipo Marshall.

Mientras las muestras están sumergidas, la mordaza deberá ser llevada al horno para calentarse y se retirará unos minutos antes del tiempo establecido de 30 min. Transcurrido el tiempo retiraremos las muestras una por una, se elimina el exceso de agua con la ayuda una toalla y la colocaremos en la parte central de la mordaza, e inmediatamente se traslada a la Prensa Marshall para proceder a su rotura.

Figura 24.

Equipo Marshall



Nota. Se observa la briqueta en la mordaza Marshall, se recomienda dos personas al momento de determinar flujo y estabilidad.

Como próximo paso, el medidor de flujo (dial) se posicionará sobre la barra guía marcada y se verifica que la guía marque cero; en caso de no ser así, se ajusta de manera manual. Será aplicada una carga a una velocidad de deformación de aproximadamente 50.8 mm/min hasta que suceda la falla, momento en el cual se registra el punto máximo de rotura, conocido como estabilidad Marshall, este valor está expresado en kilogramos. El dial se mantendrá firme hasta que suceda la ruptura y la lectura comenzará a disminuir; se registra esta lectura como flujo, medida dada en centésimas de pulgada.

Tabla 6.

Registro de estabilidades de Mezcla Tradicional

ESTABILIDAD MARSHALL			
Muestras	1	2	3
4,5%	2177,04	2197,55	223436
5%	2289,92	2299,84	2349,00
5,5%	22411,17	2451,96	2531,98
6%	2752,44	2548,08	2686,53
6,5%	2558,22	2593,71	2634,50
7%	2399,49	2360,02	2447,11

Nota. En la tabla se observan los registros de estabilidades que se obtuvieron del equipo Marshall, con las briquetas diseñadas de acuerdo con la mezcla asfáltica tradicional

Tabla 7.*Registro de flujo de Mezcla Tradicional*

FLUJO			
Muestras	1	2	3
4,5%	8,90	9,20	10,40
5%	10,00	10,00	11,00
5,5%	11,00	11,50	12,50
6%	12,90	13,20	13,00
6,5%	13,80	13,50	14,00
7%	14,30	14,50	14,10

Nota. En la tabla se observan los registros de flujo que se obtuvieron del equipo Marshall

Tabla 8.

Registro de estabilidades de Mezcla Modificada incluyendo el gabazo de caña de azúcar

ESTABILIDAD MARSHALL			
Muestras	1	2	3
1%	2624,69	2423,86	2216,10
1,5%	2874,00	2624,69	2804,75
2%	2908,63	2839,38	2756,27
2,5%	2860,15	2894,78	2908,63
3%	2763,20	2839,38	2846,30

Nota. En la tabla se observan los registros de estabilidades que se obtuvieron del equipo Marshall, con las briquetas diseñadas de acuerdo a la mezcla asfáltica tradicional

Tabla 9.

Registro de flujo de Mezcla Modificada incluyendo el gabazo de caña de azúcar

FLUJO			
Muestras	1	2	3
1%	10,00	11,00	11,00
1,5%	11,00	12,00	11,00
2%	11,00	12,00	12,00
2,5%	12,00	13,00	12,00
3%	12,00	13,00	13,00

Nota. En la tabla se observan los registros de flujo que se obtuvieron del equipo Marshall

3.4.4.5. Ensayos de análisis de vacíos

Para obtener valores relevantes para el diseño de nuestra mezcla convencional, se realizó el Ensayo Rice, de acuerdo con sus porcentajes de vacíos totales se observa cómo podrían afectar directamente a la calidad de la mezcla. Para la realización de este ensayo se eligió una muestra por cada porcentaje de asfalto. El dato que se obtuvo es la gravedad específica máxima teórica (Gmm).

Calentaremos la porción de muestra suelta de la briqueta para posteriormente desmoronar en partículas sueltas no sean mayores de 6 mm y dejándolas enfriar a temperatura ambiente.

Tabla 10.

Peso a utilizar para RICE según la norma

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulgada)	Muestra mínima (gr)
50,0 (2)	6000
37,5 (1 1/2)	4000
25,0 (1)	2500
19,0 (3/4)	2000
12,5 (1/2)	1500
9,5 (3/8)	1000
4,75 (N°4)	500

Nota. Aquí se presentan los valores mediados en las normas NEVI-12

En esta ocasión la muestra a emplear son 2000 gramos, se lo selección debido a que entra junto a nuestro tamaño máximo nominal de piedra $\frac{3}{4}$.

Una vez comprobado, el mismo picnómetro se pesa y se llena de agua hasta el borde, se tapa y se registra como picnómetro + agua (B). Una vez que se ha dejado salir toda el agua del picnómetro después del proceso, se coloca dentro la muestra de 2000 g para la prueba y se agrega más agua gota a gota meticulosamente hasta que la muestra esté completamente cubierta y no se escapen burbujas de aire. Se han eliminado todas las burbujas.

Por último, no olvide agregar la goma protectora en la tapa de vidrio para que no se produzcan grietas debido a la vibración del equipo y, por último, agregue el tubo encargado de extraer los huecos y encienda la máquina.

Figura 25.

Ensayo RICE



Nota. Equipos utilizados en el ensayo RICE.

El equipo debe estar en funcionamiento en un lapso de tiempo de 20 a 30 min, hay que estar atentos de mantenerlo en a una presión de -0,3 bar ($25 \pm 1,5$ mm de Hg).

Transcurrido el tiempo establecido, se levanta la tapa y se procede a llenar hasta la marca del picnómetro, se vuelve a colocar la tapa metálica y se pesa el picnómetro + muestra + agua (C).

De esta manera con ayuda de la siguiente ecuación hallaremos la gravedad específica máxima teórica:

$$Gmm = \frac{A}{A + B - C}$$

Donde:

A= peso seco de la muestra

B= peso del picnómetro + agua

C= peso del picnómetro + agua + muestra

3.4.4.6. Determinación del óptimo de asfalto

Con todos los datos obtenidos en los ensayos, nos ayudaremos de una hoja electrónica Excel para tabular los datos, de esta manera poder construir los diagramas necesarios a utilizarse en la interpretación del diseño Marshall. En este laboratorio hemos empleado el procedimiento de diseño Marshall tradicional en el cual se elige el contenido óptimo de asfalto que represente una medida de vacíos de aire específica, en este caso 4% que representa el punto medio del rango de vacíos de aire medidos. Utilizando el método Marshall, por lo tanto, cuando se ha graficado el VTM versus % de contenido de asfalto con VTM versus correspondiente al eje vertical y % de contenido de asfalto al eje horizontal, se traza una línea recta desde el punto $V_4 = 4\%$ que intercepta la curva, y desde el punto de intersección, se proyecta una línea perpendicular hacia el eje %, este valor corresponderá a nuestro % óptimo de asfalto.

Después de encontrar el % óptimo de asfalto, se pueden determinar las siguientes propiedades trazando este valor en la gráfica ingresando con este valor hasta que se intercepte: Estabilidad vs % de Asfalto, Vacíos en el agregado mineral vs % de Asfalto y VFA vs % de Asfalto. Luego se compararía con cada uno de los valores leídos en los gráficos y si todos ellos se encuentran dentro de los criterios establecidos en la norma, este valor se convierte en el contenido óptimo de asfalto cuando es satisfactorio; de lo contrario, el diseño de la mezcla no sería viable y se debe preparar un nuevo diseño de mezcla.

Tabla 11.

Criterio de Marshall para superficies y bases

CRITERIOS	Min.	Max.
Tipo de tráfico		Alto
Nº golpes		75
Estabilidad (Lb)	2200	----
Flujo	8	14
% VFA	65	75
% de Vacíos	3	5
Relac est/flujo	170	400
polvo/asf efectivo	0,6	1,3

Nota. Criterios que deben cumplir los resultados obtenidos correspondientes con el % óptimo de asfalto. Tomado de norma MTOP-001F.2002.

Tabla 12.

Criterio de Marshall VMA

TMN, mm	VMA mínimo		
	Vacíos de aire de diseño %		
	3%	4%	5%
19,00	12	13	14

Nota. Criterios que debe cumplir el VMA correspondiente con el % óptimo de asfalto. Tomado de norma MTOP-001F-2002.

3.4.5. Elaboración del diseño incluyendo el gabazo de caña de azúcar a diferentes porcentajes

Siguiendo el mismo proceso del diseño anterior, se utiliza la misma dosificación de los materiales granulares, utilizando para todas las muestras a ensayar el asfalto óptimo obtenido previamente (5,20%), teniendo en este diseño como variante a añadir, el gabazo de caña de azúcar en diferentes proporciones (1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%).

3.4.5.1. Dosificación de acuerdo con el porcentaje de gabazo de caña de azúcar añadida

Tabla 13.

Dosificación de materiales incluyendo el gabazo de caña de azúcar

AGREGADO	DOSIFICACIÓN				
Gabazo de caña	1%	1,5%	2%	2,5%	3%
Material ¾	29,7%	29,56%	29,41%	29,27%	29,13%
Arena Natural	19,8%	19,70%	19,61%	19,51%	19,42%
Cisco	49,5%	49,26%	49,02%	48,78%	48,54%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

Nota. Distribución de los materiales según el porcentaje agregado de gabazo de caña de azúcar para la elaboración del nuevo diseño.

Una vez obtenidos los porcentajes de dosificación de las muestras, se realizaron las mezclas mediante el ensayo Marshall, con el mismo proceso evidenciado previamente en la obtención del óptimo de asfalto.

3.4.5.2. Obtención de peso específico Bulk de las briquetas

Tabla 14.

Resultados de pesos de las briquetas

% DE GABAZO	MEZCLA	PESO EN GRAMOS		
		SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA
1%	1	1.197,8	1.203,8	683,6
	2	1.189,7	1.202,9	689,3
	3	1.195,8	1.202,5	687,7
1,5%	1	1.198,3	1.203,5	684,6
	2	1.197,7	1.201,9	685,8
	3	1.198,3	1.202,4	688,7
2%	1	1.196,8	1.203,2	685,5
	2	1.199,5	1.198,2	683,6
	3	1.197,9	1.201,1	686,7
2,5%	1	1.199,3	1.200,2	683,5
	2	1.198,7	1.203,3	686,3
	3	1.196,4	1.201,2	685,2
3%	1	1.198,4	1.202,6	685,5
	2	1.195,5	1.201,3	689,7
	3	1.196,1	1.201,1	679,6

Nota. SECA EN AIRE. Es el peso bruto medido en la Gramera; SSS EN AIRE superficialmente seca; EN AGUA. Sumergida en agua.

Una vez obtenidos los resultados de peso específico Bulk, se procede a preparar el material para realizar la rotura Marshall, colocando las muestras en baño maría a 60°C y la mordaza al horno, de esta forma se obtienen los valores de estabilidad y flujo.

3.4.5.3. Correlación de la estabilidad y flujo

Tabla 15.

Resultados de estabilidad y flujo incluyendo los porcentajes de gabazo de caña de azúcar

% DE GABAZO	BRIQUETA		ESTABILIDAD		0,25 mm	
			Kg	Lb	LECTURA DIAL	FLUJO
1,0%	5,2	1	1190,6	2624,69	2,5	10
		2	1099,5	2423,86	2,75	11
		3	1005,2	2216,10	2,75	11
1,5%	5,2	1	1303,6	2874,00	2,75	11
		2	1190,6	2624,69	3	12
		3	1272,2	2804,75	2,75	11
2,0%	5,2	1	1319,3	2908,63	2,75	11
		2	1287,9	2839,38	3	12

		3	1250,2	2756,27	3	12
2,5%	5,2	1	1297,4	2860,15	3	12
		2	1313,1	2894,78	3,25	13
		3	1319,3	2908,63	3	12
3,0%	5,2	1	1253,4	2763,20	3	12
		2	1287,9	2839,38	3,25	13
		3	1291,1	2846,30	3,25	13

Nota. Valores de estabilidad y flujo de mezcla asfáltica modificada con gabazo de caña de azúcar en diferentes proporciones.

Se utilizó un dial de deformación para determinar el dato de estabilidad y el anillo tiene un valor $K = 3,1413$.

3.4.5.4. Ejecución del ensayo RICE

Tabla 16.

Ensayo RICE con los diferentes porcentajes de gabazo de caña de azúcar

PUNTO	PROPORCIÓN GABAZO DE CAÑA				
	1%	1,5%	2%	2,5%	3%
W recip	170	157	144	153	242
W recip+muestra	2170	2157	2144	2153	2242
Wmuestra	2000	2000	2000	2000	2000
Wpicnom+agua	7407	7407	7407	7407	7407
Wmuestra+recip+agua	8585	8582	8578	8575	8571
Gmm	2,433	2,424	2,413	2,404	2,392

Nota. W. Peso; recip. recipiente; pinom. picnómetro; Gmm. Gravedad específica teórica máxima (RICE).

3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.2.: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y LA DURABILIDAD ENTRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Ensayo Lottman que es de tracción indirecta responsable de la medida de la adhesión de los materiales y los miembros de combinación ligante (asfáltico) ante variables (temp.) y falla (H₂O inducida). Este método es importante porque se emplea para hallar el índice al daño inducido por la humedad y para evaluar la adherencia agregado-aglutinante de las (MA) compactadas.

Como procedimiento, realizamos 12 briquetas con el contenido óptimo de asfalto (5,20 por ciento) 6 muestras sin gabazo de caña, 3 de estas para ser utilizadas en la vía

húmeda y 3 para la vía seca, 6 muestras incluyendo el gabazo (1,7 por ciento) así mismo se distribuirán 3 para vía húmeda y seca.

3.5.1. Elaboración de briquetas utilizando el contenido óptimo de asfalto

Se elaboraron las briquetas con el método Marshall convencional.

3.5.1.1. Toma de medidas y pesos de las muestras sin gabazo de caña

Una vez pasado las 12 horas de reposo las muestras se proceden a desmoldar para posterior ser tomados los datos correspondientes como lo son la altura, diámetro, estos lo podemos obtener con la ayuda del calibrador vernier.

Figura 26.

Medición de las muestras



Nota. Aquí se evidencia el proceso de medición y organización de las muestras.

Obtenido las medidas procedemos a tomar los pesos con la ayuda de la gramera, una franela y la canastilla obtenemos los pesos en el aire, superficialmente seco y sumergido, datos que será utilizados para obtener le volumen, la gravedad BULK "Gmb"

Tabla 17.

Resultados obtenidos en el ensayo de Lottman diferenciados para muestras húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
Altura (cm)	6,41	6,42	6,53	6,4	6,42	6,51
Diámetro(cm)	10,17	10,18	10,3	10,16	10,18	10,28
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1195,9	1196,8	1204,9	1197,9	1198,5	1201,6
Peso SSS (g)	1201,7	1202,6	1210,9	1201,3	1203,4	1204,8
Peso Sumergido (g)	687,2	688,8	694,6	685,7	687,2	689,6

Nota. En la tabla se observan las alturas, diámetros y pesos de las diferentes muestras sin contenido de gabazo.

3.5.1.2. Cálculo de Volúmenes (cm³)

Para obtener el volumen de la muestra debemos restar el peso superficialmente seco (SSS) menos el peso sumergido (Agua).

$$V = \text{SSS} - \text{Agua}$$

Tabla 18.

Resultados de los volúmenes según las condiciones de las muestras húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
Volumen (cm ³)	514,5	513,8	516,3	515,6	516,2	515,2

Nota. En la tabla se observan los registros de volúmenes de las muestras sin gabazo.

3.5.1.3. Cálculo de la Gravedad BULK "Gmb" 25°C

Para obtener la gravedad BULK de la muestra debemos dividir el peso en el aire con la resta del peso superficialmente seco (SSS) con el peso sumergido (Agua).

$$G_{mb} = \frac{\text{Aire}}{(\text{SSS} - \text{Agua})}$$

Tabla 19.

Resultados de la gravedad según las condiciones de las muestras húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
Gravedad BULK Gmb" 25°C	2,32	2,33	2,33	2,32	2,32	2,33

Nota. En la tabla se observan los datos de las gravedades BULK "Gmb" de las muestras.

3.5.1.4. Gravedad Teórica Máxima "Gmm"

Tabla 20.

Resultados de la gravedad teórica máxima según las condiciones de las muestras húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
Gravedad Teórica Máxima "Gmm"	2,489	2,489	2,489	2,489	2,489	2,489

Nota. En la tabla se observan los datos de Rice “Gmm”.

3.5.1.5. Porcentaje de vacíos en la Mezcla

Determinamos los porcentajes de vacío multiplicando cien por la resta del rice y la gravedad BULK esto dividiendo nuevamente al rice.

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

Tabla 21.

Resultados del % de vacíos en la mezcla según las condiciones de las muestras húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
% de vacíos en la mezcla	6,61	6,42	6,24	6,66	6,72	6,30

Nota. En la tabla se obtuvieron los datos de % de vacíos en la mezcla.

3.5.1.6. Volumen de vacíos de la mezcla (cm³)

Para obtener el volumen de vacíos de la muestra debemos multiplicar el volumen de la briqueta por los porcentajes de vacíos en la mezcla y dividirlo para 100

$$\frac{V \times \% \text{ de Vacíos}}{100}$$

Tabla 22.

Resultados de volumen de vacíos en la mezcla según las condiciones de las muestras húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
Volumen de vacíos en la Mezcla (cm ³)	34,03	32,96	32,21	34,32	34,68	32,44

Nota. En la tabla se especifica los datos de volúmenes de vacíos en la mezcla.

3.5.1.7. Saturación al vacío (bomba de vacío) de 19 a 28" hg. de 5 a 15 min. agua destilada 25°C

a) Toma de peso en bomba de vacío

Las muestras serán saturadas en agua destilada a una temperatura de 25°C con la ayuda de una bomba de vacío en un lapso de tiempo de 5 a 15 minutos para luego volver

a ser pesadas así podemos identificar cuanta humedad absorbieron las muestras sin gabazo de caña.

Tabla 23.

Resultados de saturación al vacío de la mezcla según las condiciones húmedas

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
Peso SSS (g)	1206,8	1207,3	1214,4
Peso Sumergido (g)	688,5	689,3	695,7

Nota. En la tabla se especifica los pesos de las briquetas tras ser saturadas durante 15 min.

b) Volumen de la muestra, agua absorbida

Para determinar el volumen luego de la saturación en la bomba de vacío. Obtenemos el volumen de la misma forma usada anteriormente restando nuestro nuevo peso Superficialmente seco (SSS) saturado a 60°C durante 24h con nuestro peso sumergido saturado a 60°C durante 24h.

$$V = \text{Peso SSS saturado a } 60^{\circ}\text{C} - \text{Peso Sumergido saturado a } 60^{\circ}\text{C}$$

A su vez para obtener el volumen de agua absorbida debemos restar nuestro peso Superficialmente seco (SSS) saturado a 60°C durante 24h con el peso en el Aire que obtuvimos al inicio del ensayo.

$$V. \text{ de agua abs.} = \text{Peso SSS luego saturado a } 60^{\circ}\text{C} - \text{Peso en el aire}$$

Tabla 24.

Resultados de volumen al vacío de la mezcla según las condiciones húmedas

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
Volumen (cm3)	518,3	518	518,7
Volumen de Agua Absorbida (cm3)	10,9	10,5	9,5

Nota. En la tabla se especifica los volúmenes, % de saturación, % de expansión de las muestras tras ser saturadas durante 15 min.

c) Porcentajes de saturación y expansión (cm3)

El porcentaje de saturación lo hallamos multiplicando el volumen del agua absorbida saturada a 60°C por 100 y dividida con el Volumen de vacíos en la Mezcla

$$\% \text{ de Saturación} = \frac{\text{Volumen de agua absorbida} \times 100}{\text{Volumen de vacíos en la mezcla}}$$

Para concluir obtendremos el porcentaje de expansión de la muestra multiplicando cien por el Volumen saturada a 60°C durante 24 h menos el volumen inicial todo esto dividido al volumen inicial.

$$\% \text{ de Expansión} = \frac{100 \times (\text{Volumen bomba de vacío} - \text{Volumen inicial})}{\text{Volumen inicial}}$$

Tabla 25.

Resultados de saturación al vacío de la mezcla según las condiciones húmedas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			
	BRIQUETA N°	1	2	3
% Saturación		32,03	31,85	29,49
% Expansión		0,74	0,82	0,46

Nota. En la tabla se especifica los volúmenes, % de saturación, % de expansión de las muestras tras ser saturadas durante 15 min.

3.5.1.8. Briquetas sumergidas durante 24 horas a baño maría de 60°C

a) Toma de peso SSS y peso sumergido

Tabla 26.

Resultados del peso de las briquetas en condiciones húmedas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			
	BRIQUETA N°	1	2	3
Peso SSS (g)		1209,9	1211,3	1218,5
Peso Sumergido (g)		689,4	691,3	697,2

Nota. En la tabla se especifica los pesos de las briquetas durante 24 horas.

b) Volumen de en la muestra, agua absorbida

Tabla 27.

Volumen y volumen de agua absorbida en briquetas sumergidas durante 24 horas a baño maría de 60°C

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			
	BRIQUETA N°	1	2	3
Volumen (cm3)		520,5	520,0	521,3
Volumen de Agua Absorbida (cm3)		14	14,5	13,6

Nota. En la tabla se presentan los datos de volúmenes, volumen de agua absorbida durante 24 horas.

c) Porcentajes de saturación y expansión (cm3)

Tabla 28.

Porcentaje de saturación y esponjamiento de las briquetas inmersas a 60°C

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
% Saturación	74,15	75,99	75,02
% Expansión	1,17	1,21	0,97

Nota. En la tabla se presentan los datos de volúmenes, volumen de agua absorbida, durante 24 horas.

3.5.1.9. Rotura a tracción

La rotura de las briquetas nos proporciona un dato de carga en kg el cual lo transformaremos multiplicándolo por 2 y dividiéndolo con la multiplicación de la altura por el radio por π .

$$RTh = \frac{(Carga \times 2)}{h \times d \times \pi}$$

Obteniendo así 6 datos de resistencia a la tensión 3 por la vía húmeda y 3 por la vía seca en cada una de estas secciones serán promediadas para obtener así un solo dato para ambas vías.

Tabla 29.

Rotura a la tracción

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
	1	2	3	4	5	6
Carga (kg)	561,3	560,2	562,9	694,2	692,5	693,7
Resistencia a la Tensión (kg/cm2)	5,48	5,46	5,33	6,80	6,75	6,60
PROMEDIO	RTh=	5,42		RTs=	6,71	

Nota. En la tabla se establecen los valores de resistencia a la tensión de la condición húmeda y condición.

a) Relación de Resistencia a la Tracción

Con los promedios obtenidos de vía húmeda y seca realizaremos nuestra relación de resistencia a la tracción dividiendo nuestros promedios y multiplicándolos por 100 para de esta manera obtener nuestro porcentaje según la norma debe ser mayor a 80%.

$$TSR = \frac{RTh}{RTs} \times 100$$

Tabla 30.

Relación de resistencia a la tracción (TSR)

RESULTADO		
Relación de Resistencia a la Tracción	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$	80,76%

Nota. En la tabla se establecen la relación a la tracción mediante AASTTO T283-03

3.5.2. Elaboración de briquetas utilizando el contenido óptimo de Gabazo de caña de azúcar

Se realiza el mismo proceso aplicado en el óptimo de asfalto detallado previamente.

3.5.2.1. Toma de medidas y pesos de las muestras sin gabazo de caña

Tabla 31.

Resultados de parámetros de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA			
	BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)		6,41	6,42	6,53	6,4	6,42	6,51
Diámetro(cm)		10,17	10,18	10,3	10,16	10,18	10,28
Temperatura del Agua (°C)		25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)		1197,3	1198,5	1201,6	1199,3	1198,6	1203,4
Peso SSS (g)		1203,7	1201,9	1205,3	1202,4	1203,2	1206,2
Peso Sumergido (g)		684,6	689,7	695,2	684,9	689,3	689,3

Nota. En la tabla se observan las alturas, diámetros y pesos de las diferentes muestras con contenido de gabazo de caña de azúcar.

3.5.2.2. Cálculo de Volúmenes (cm3)

Tabla 32.

Resultados del volumen de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA			
	BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Volumen (cm3)		519,1	512,2	510,1	517,5	513,9	516,9

Nota. En la tabla se observan los registros de volúmenes de las muestras con gabazo de caña de azúcar.

3.5.2.3. Cálculo de la Gravedad BULK "Gmb" 25°C

Tabla 33.

Resultados de la gravedad específica de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
	1	2	3	4	5	6
Gravedad BULK "Gmb" 25°C	2,31	2,34	2,36	2,32	2,33	2,33

Nota. En la tabla se observan los datos de las gravedades BULK "Gmb" de las muestras con gabazo de caña de azúcar.

3.5.2.4. Gravedad Teórica Máxima "Gmm"

Tabla 34.

Resultados de la gravedad teórica máxima de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
	1	2	3	4	5	6
Gravedad Teórica Máxima "Gmm"	2,478	2,478	2,478	2,478	2,478	2,478

Nota. En la tabla se observan los datos obtenidos de Rice "Gmm" con gabazo de caña de azúcar.

3.5.2.5. Porcentaje de vacíos en la Mezcla

Tabla 35.

Resultados del porcentaje de vacíos de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
	1	2	3	4	5	6
% de vacíos en la Mezcla	6,92	5,57	4,94	6,48	5,88	6,05

Nota. En la tabla se obtuvieron los datos de % de vacíos en las mezclas incluyendo el gabazo de caña de azúcar.

3.5.2.6. Volumen de vacíos de la mezcla (cm³)

Tabla 36.

Resultados del volumen de vacíos de la mezcla con gabazo de caña de azúcar según las condiciones húmedas y secas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
Volumen de vacíos en la Mezcla (cm3)	35,93	28,54	25,19	33,52	30,20	31,27

Nota. En la tabla se especifica los datos de volúmenes de vacíos en la mezcla incluyendo gabazo de caña de azúcar.

3.5.2.7. Saturación al vacío (bomba de vacío) de 19 a 28" Hg. de 5 a 15 min. agua destilada 25°C incluyendo gabazo de caña de azúcar

a) Toma de peso en bomba de vacío

Tabla 37.

Peso SSS y Peso sumergido en una mezcla de gabazo de caña de azúcar en condiciones húmedas

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
BRIQUETA N°			
Peso SSS (g)	1208,3	1206,8	1210,5
Peso Sumergido (g)	686,2	691,7	697,9

Nota. En la tabla se especifica los pesos de las briquetas tras ser saturadas durante 15 min en la bomba de vacío.

b) Volumen de en la muestra, agua absorbida

Tabla 38.

Volúmenes obtenidos al vacío (bomba de vacío) de 19 a 28" Hg. de 5 a 15 min. agua destilada 25°C

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
BRIQUETA N°			
Volumen (cm3)	522,1	515,1	512,6
Volumen de Agua Absorbida (cm3)	11	8,3	8,9

Nota. En la tabla se especifica los volúmenes, % de saturación, % de expansión de las muestras tras durante 15 min en la bomba de vacío.

c) Porcentajes de saturación y expansión (cm3)

Tabla 39.

Saturación y expansión obtenida al vacío (bomba de vacío) de 19 a 28" Hg. de 5 a 15 min. agua destilada 25°C

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
BRIQUETA N°			
% Saturación	30,62	29,08	35,33
% Expansión	0,58	0,57	0,49

Nota. En la tabla se especifica los volúmenes, % de saturación, % de expansión de las muestras tras durante 15 min en la bomba de vacío.

3.5.2.8. Briquetas sumergidas durante 24 horas a baño maría de 60°C

a) Toma de peso SSS y peso sumergido

Tabla 40.

Peso SSS y Peso sumergido en mezclas con gabazo de caña de azúcar en condiciones húmedas

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
Peso SSS (g)	1211,6	1210,6	1216,8
Peso Sumergido (g)	689,1	690,8	696,8

Nota. En la tabla se especifica los pesos de SSS y peso sumergido incluyendo gabazo de caña de azúcar.

b) Volumen de la muestra, agua absorbida

Tabla 41.

Volúmenes de la muestra obtenidas posterior a la inmersión

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
Volumen (cm3)	522,5	519,8	520
Volumen de Agua Absorbida (cm3)	14,3	12,1	15,2

Nota. En la tabla se presentan los datos de volúmenes, volumen de agua absorbida, % de saturación y % de expansión durante 24 horas. Briquetas sumergidas durante 24 horas a baño maría a 60°C.

c) Porcentajes de saturación y expansión (cm3)

Tabla 42.

Saturación y expansión de la muestra, obtenidas posterior a la inmersión

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA		
	1	2	3
%Saturación	39,80	42,39	60,33
% Expansión	0,65	1,48	1,94

Nota. En la tabla se presentan los datos de volúmenes, volumen de agua absorbida, % de saturación y % de expansión durante 24 horas. Briquetas sumergidas durante 24 horas a baño maría a 60°C.

3.5.2.9. Rotura a tracción

Tabla 43.

Rotura a tracción en mezcla con gabazo de caña de azúcar

ROTURA A TRACCIÓN						
BRIQUETA N°	1	2	3	1	2	3
Carga (kg)	578,6	574,7	578,9	674,2	676,5	672,2
Resistencia a la Tensión (kg/cm2)	5,65	5,60	5,48	6,60	6,59	6,39
PROMEDIO	RTh= 5,58		RTs= 6,53			

Nota. En la tabla se establecen los valores de resistencia a la tensión de la condición húmeda y condición.

a) Relación de Resistencia a la Tracción

Tabla 44.

Relación de la resistencia a la tracción de la mezcla asfáltica con gabazo de caña de azúcar

RESULTADO		
Relación de Resistencia a la Tracción	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$	85,41%

Nota. En la tabla se establecen la relación a la tracción mediante AASTTO T283-03

Estas condiciones preestablecidas simulan los cambios en las condiciones que puede enfrentar un pavimento de asfalto y, lo que es más importante, el daño causado por la humedad detectada.

3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.3.: DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA Y EL IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Para determinar la Viabilidad económica realizamos el precio unitario de un m³ que utiliza el porcentaje de asfalto optimo (5.20%) y la comparamos otra realizado con el porcentaje de asfalto optimo (5.20%) más el (1.7%) de gabazo de caña de azúcar

3.6.1. Presupuesto

3.6.1.1. Presupuesto masa asfáltica tradicional

Agregados utilizados: Se evidencia el porcentaje de los materiales, según las proporciones utilizadas en la mezcla asfáltica.

Tabla 45.*Proporción de materiales utilizados en la mezcla tradicional*

MATERIALES	% DE PROPORCIÓN
Material $\frac{3}{4}$	30
Arena natural	20
Cisco	50

Nota. Porcentajes de proporción de materiales de la mezcla asfáltica tradicional.

Según los porcentajes evidenciados, se ilustran los pesos de los materiales en gramos.

Tabla 46.*Peso de materiales utilizados en la mezcla tradicional*

MATERIALES	Peso (gramos)
Material $\frac{3}{4}$	450,00
Arena natural	300,00
Cisco	750,00
TOTAL	1500,00

Nota. Peso en gramos de los materiales utilizados para la mezcla tradicional, según las proporciones evidenciadas en la mezcla.

Tabla 47.*Proporción de materiales utilizados en la mezcla modificada con gabazo de caña de azúcar*

MATERIALES	% DE PROPORCIÓN
Material $\frac{3}{4}$	29,5
Arena natural	19,7
Cisco	49,2
Gabazo de caña	1,7

Nota. Porcentajes de proporción de materiales de la mezcla asfáltica modificada.

Tabla 48.*Pesos de mezcla modificada con óptimo de gabazo de caña de azúcar (1,7%)*

MATERIALES	Peso (gr)
Material $\frac{3}{4}$	442,49
Arena Natural	249,90
Cisco	737,46
Gabazo de caña	25,5

Nota. Pesos de los agregados de la mezcla modificada en gramos.

Para calcular el volumen de m³, de cada agregado se necesita utilizar los valores del peso específico que se encontró de cada uno de ellos.

Tabla 49.

Pesos específicos de materiales para mezcla asfáltica

AGREGADOS	Agregado 3/4"	Agregado Cisco	Arena Natural
Gsb.	2,791	2,472	2,527
P. específico del agregado (Kg/m ³)	2791	2472	2527
P. específico del asfalto (Kg/m ³)	1015		
P. específico del agua (Kg/m³)	1000		

Nota. Peso en m³ de los materiales utilizados para la mezcla tradicional.

Es así como se presenta la dosificación terminada de acuerdo al volumen, listo para sacar su costo en los rubros que se indican más adelante.

Tabla 50.

Dosificación para un metro cúbico (m³)

DOSIFICACIÓN PARA METRO CÚBICO PARA BRIQUETA			
MATERIALES	Peso específico (Kg/m³)	Volumen	Unidad
Piedra 3/4"	2791,00	0,30	m ³
Cisco	2472,00	0,50	m ³
Arena natural	2527,00	0,20	m ³
Cemento Asfáltico	3,85	0,124	gal

Nota. Peso en kg/m³ de los materiales utilizados para la mezcla tradicional, volumen y unidad de medida a trabajar.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.1. ESTABLECER LA ESTABILIDAD Y EL FLUJO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS QUE INCLUYEN FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR MEDIANTE PRUEBAS MARSHALL

4.1.1. Mezcla asfáltica tradicional

Para analizar el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con gabazo de caña de azúcar, se inició con la elaboración de una mezcla asfáltica convencional, utilizando una granulometría combinada con un tamaño máximo nominal (TMN) de $\frac{3}{4}$ ". Con base en las granulometrías de los materiales granulares empleados en este diseño, se estableció la siguiente dosificación del material pétreo.

Tabla 51.

Composición de mezcla tradicional

Mezcla tradicional		
Agregado	%	gr
Material $\frac{3}{4}$	30	450
Arena natural	20	300
Cisco	50	750
TOTAL	100%	1500

Nota. En la tabla se observa el porcentaje y peso de cada agregado que conforma la mezcla asfáltica tradicional.

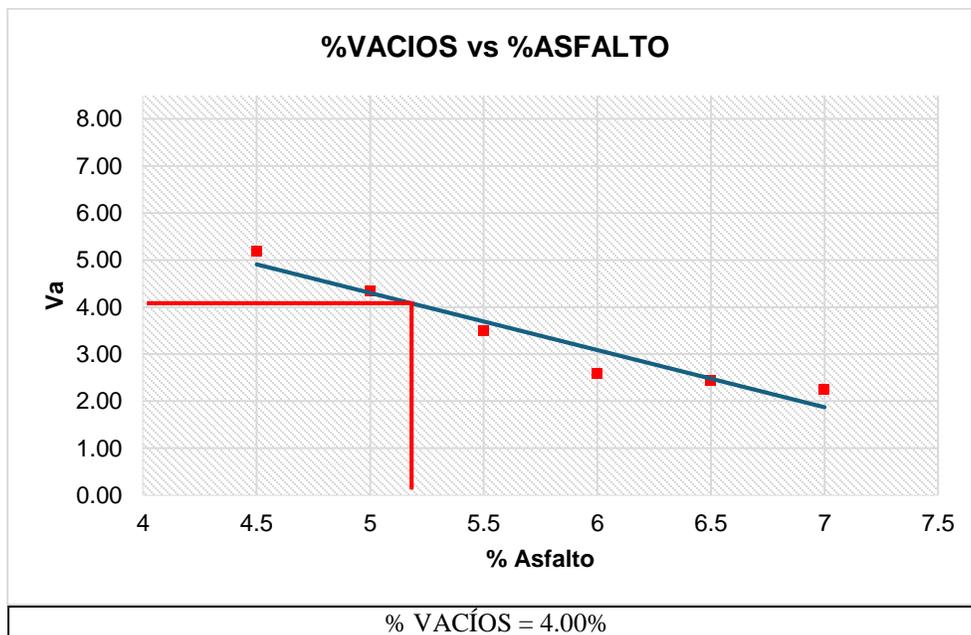
Se utilizó un peso de referencia de 1200 gramos para cada briqueta elaborada y 300 gramos para el análisis de rice, variando los porcentajes de contenido de asfalto entre un 4.5% y un 7%. Estas briquetas fueron evaluadas a través de ensayos de gravedad específica, peso, estabilidad y flujo. A partir de los datos obtenidos, se realizaron cálculos detallados aplicando fórmulas específicas, generándose los resultados finales, que incluyen gráficas representativas de las propiedades volumétricas evaluadas en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, conforme al método Marshall.

Tabla 52.*Propiedades volumétricas de mezcla tradicional*

%Asfalto	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F (kg/cm)	Polvo/asfalto
4,50	2,32	5,19	13,81	62,40	9,5	2187,3	411,16	0,86
5,00	2,34	4,34	13,49	67,81	10,3	2294,9	396,60	0,82
5,50	2,36	3,49	13,40	73,92	11,7	2528,8	387,90	0,76
6,00	2,37	2,59	13,47	80,77	13,0	2705,3	371,45	0,70
6,50	2,36	2,45	14,12	82,65	13,8	2679,0	348,25	0,65
7,00	2,34	2,25	15,33	85,31	14,3	2474,9	309,72	0,57
%OP 5,20	2,35	4,00	13,43	72,08	11,3	2458,6	390,51	0,78

Nota. Se presentan las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica tradicional de acuerdo con los contenidos de asfalto de 4.5 a 7%. %OP. Porcentaje óptimo de asfalto.

El análisis, muestra que el contenido óptimo de asfalto (OP) determinado para este estudio es de 5.20%. Este valor cumple con los parámetros establecidos por las normas internacionales como NEVI 12 MTOP, garantizando una densidad adecuada de 2.35, un porcentaje de vacíos del 4.00% y un porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA) de 72.08%, optimizando el balance entre estabilidad (2458.6 kg) y flujo (11.3). Por lo que se evidencia un comportamiento mecánico adecuado para las mezclas asfálticas en caliente según las especificaciones normativas.

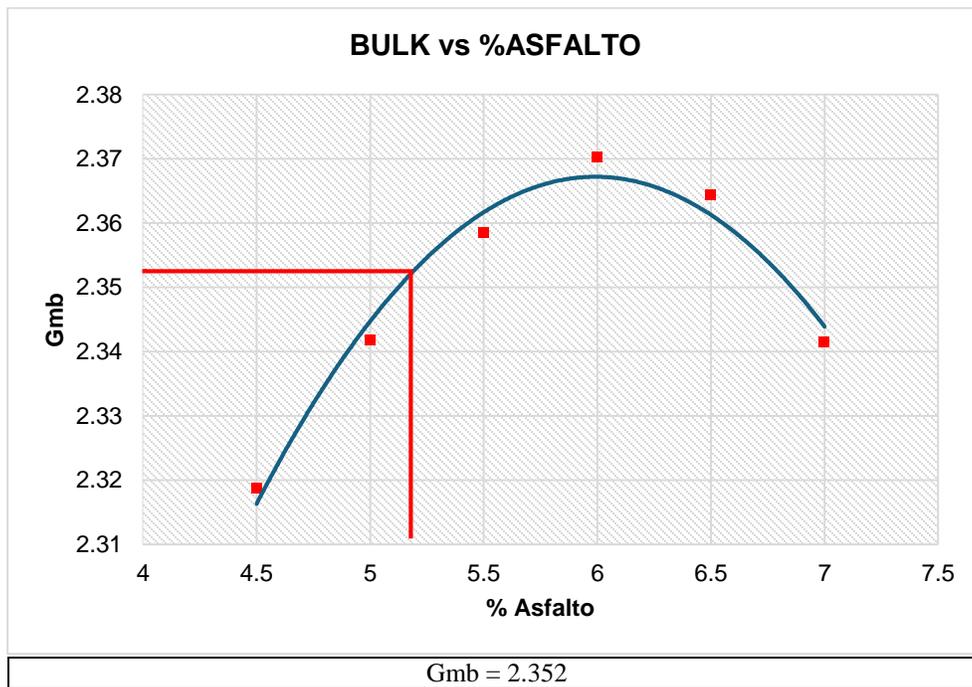
Figura 27.*% Vacíos vs % Asfalto*

Nota. En la gráfica se muestran los resultados del porcentaje de vacíos vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

El gráfico muestra la relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de asfalto en la mezcla asfáltica tradicional. Existe una disminución del porcentaje de vacíos con el porcentaje de asfalto, es decir, los vacíos van disminuyendo progresivamente. Se indica en la gráfica que al alcanzar un porcentaje de vacíos de 4,00%, siendo el porcentaje de asfalto correspondiente de 5,20%, la mezcla cumple con los criterios establecidos para ella en NEVI-12. Es decir, tiene Vacíos especificados entre 3% y 5% y VFA entre 65% y 75%. Esto confirma que el diseño es Densificado y Durable según Requisitos Legislativos.

Figura 28.

BULK vs % Asfalto

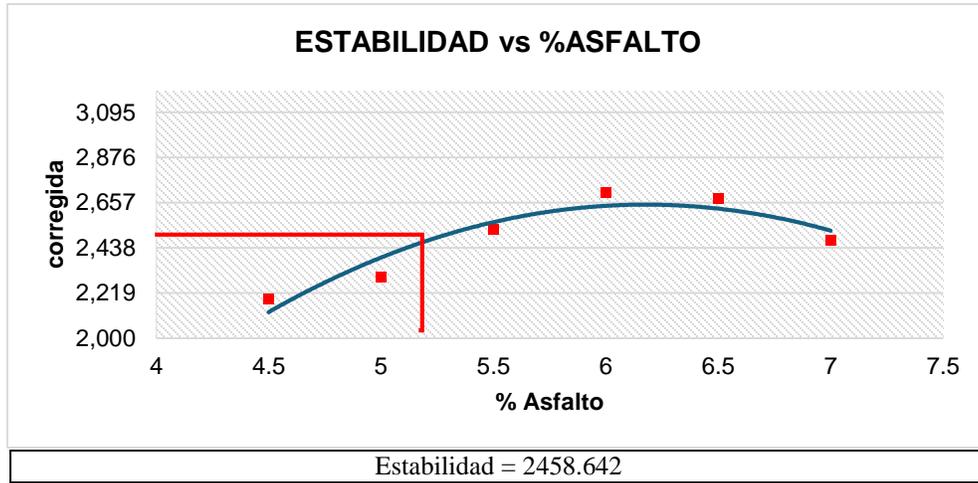


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del Gmb BULK vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

El gráfico presenta la relación entre la densidad BULK (Gmb) y el porcentaje de asfalto, mostrando un comportamiento parabólico. La densidad alcanza su valor máximo de 2.352 a un contenido de asfalto cercano al 5.20%, considerado el óptimo para el diseño. Después de este punto, la gravedad específica BULK disminuye gradualmente debido al exceso de asfalto, que genera una menor compactación del agregado mineral y compromete las propiedades mecánicas de la mezcla.

Figura 29.

Estabilidad vs % Asfalto

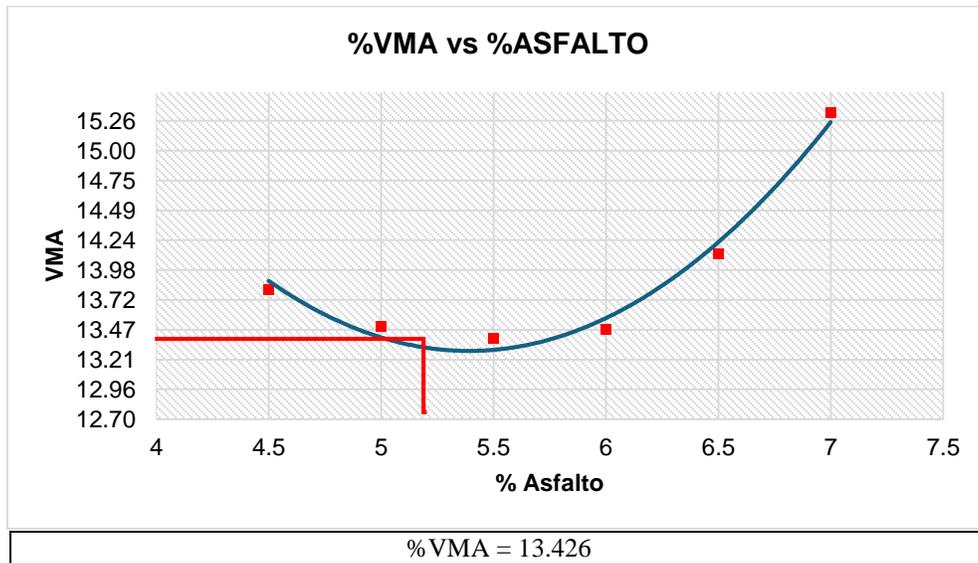


Nota. En la gráfica se muestran los resultados de la Estabilidad vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Se evidencia un comportamiento parabólico de la estabilidad en función del % de asfalto, alcanzando un valor óptimo de 2458.642 a un contenido de asfalto cercano al 5.20%. Posterior a este punto, la estabilidad disminuye debido al exceso de asfalto, lo que puede comprometer la resistencia estructural de la mezcla.

Figura 30.

%VMA vs % Asfalto

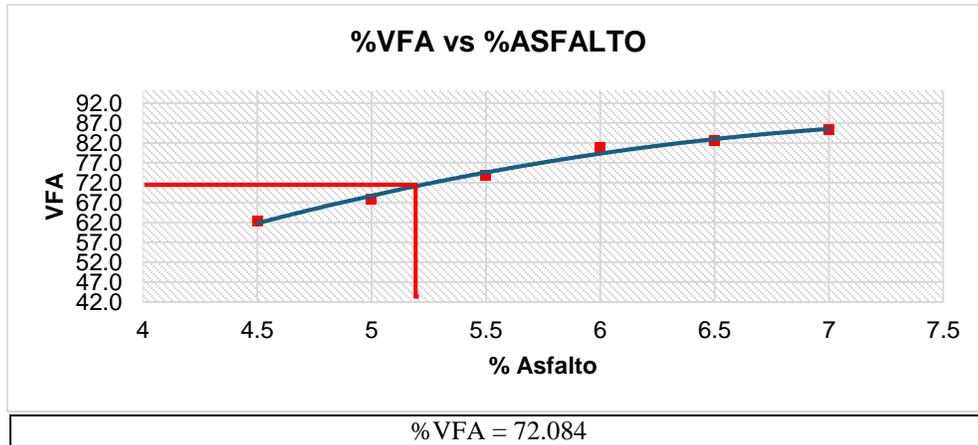


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del porcentaje de VMA vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Se observa un comportamiento parabólico inverso, donde el %VMA disminuye inicialmente hasta un valor mínimo cercano al contenido óptimo de asfalto del 5.20%, con un %VMA de 13.426. A partir de este punto, el % VMA aumenta debido al exceso de asfalto, lo que puede generar pérdida de cohesión en la mezcla.

Figura 31.

%VFA vs % Asfalto

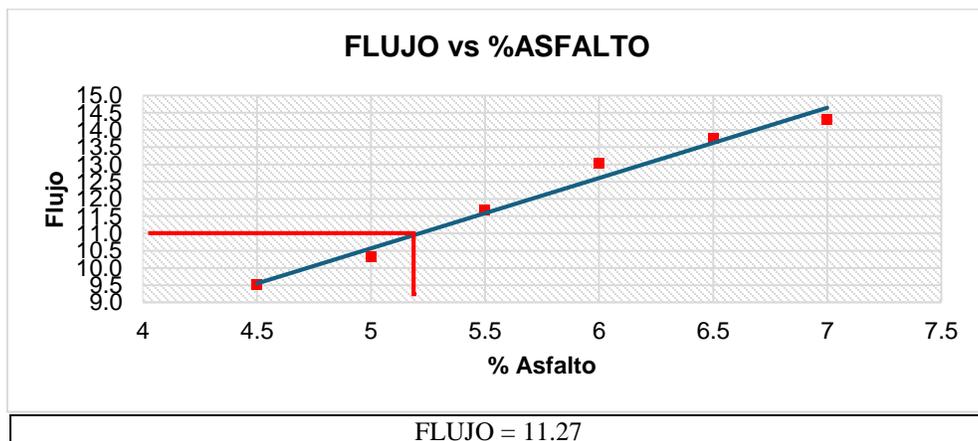


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del porcentaje de VFA vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Se observa un incremento continuo del %VFA conforme aumenta el contenido de asfalto, alcanzando un valor de 72.084 al contenido óptimo de asfalto del 5.20%. Este resultado se encuentra dentro del rango especificado por la normativa NEVI-12, que establece un % VFA entre 65% y 75% como ideal para garantizar una adecuada cohesión y densidad en la mezcla.

Figura 32.

Flujo vs % Asfalto

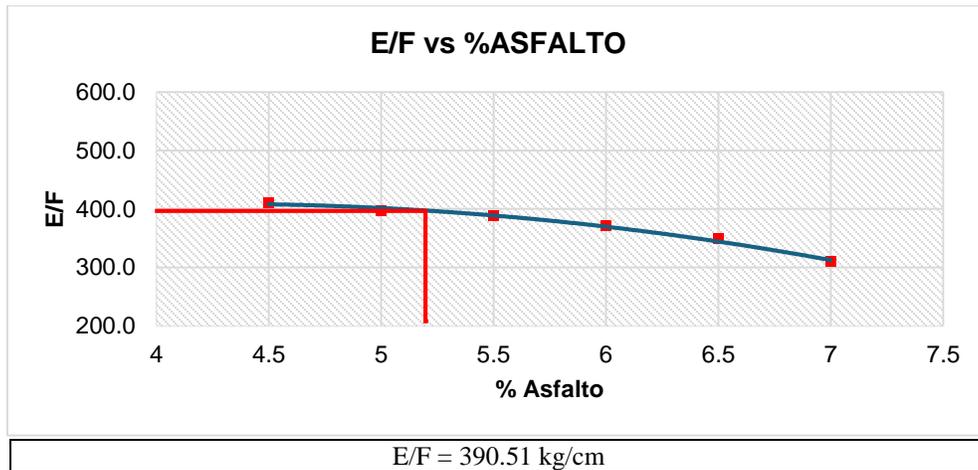


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del FLUJO vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Se evidencia un incremento lineal conforme aumenta el porcentaje de asfalto. El flujo alcanza un valor de 11.27 en el contenido óptimo de asfalto del 5.20%, lo que indica un equilibrio entre la flexibilidad y la resistencia de la mezcla, así se garantiza la capacidad de deformación sin comprometer la estabilidad estructural.

Figura 33.

Estabilidad/Flujo vs % Asfalto

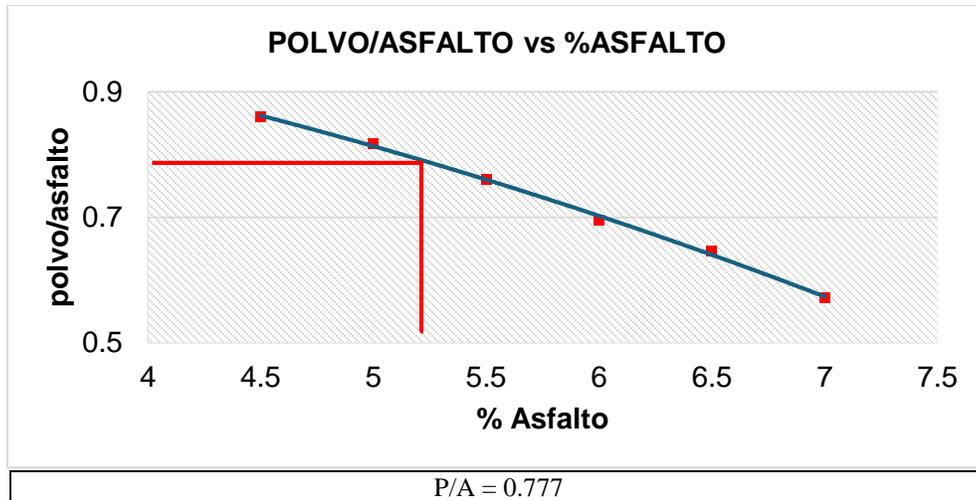


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del E/F vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Se muestra una tendencia descendente, donde el valor de E/F disminuye a medida que incrementa el porcentaje de asfalto. En el contenido óptimo de asfalto del 5.20%, se obtiene un valor de 390.51 kg/cm, que refleja un equilibrio adecuado entre estabilidad y deformación, garantizando la resistencia a las cargas aplicadas y la capacidad de absorción de deformaciones.

Figura 34.

Polvo/Asfalto vs % Asfalto

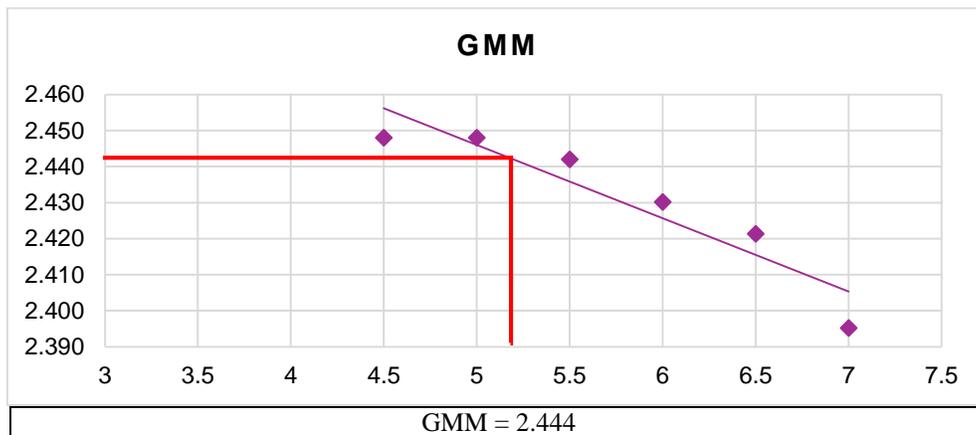


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del Polvo/Asfalto vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Aquí se evidencia una tendencia lineal descendente. A medida que aumenta el porcentaje de asfalto, la relación P/A disminuye, alcanzando un valor de 0.777 al contenido óptimo de asfalto del 5.20%. Este comportamiento indica que, con mayores contenidos de asfalto, la proporción relativa de polvo disminuye, afectando la cohesión interna de la mezcla.

Figura 35.

GMM vs % Asfalto



Nota. En la gráfica se muestran los resultados del GMM vs los porcentajes de asfalto evaluados en la mezcla asfáltica tradicional.

Se halló que a medida que incrementa el porcentaje de asfalto, el GMM disminuye, alcanzando un valor de 2.444 en el contenido óptimo de asfalto del 5.20%, sugiriendo que, con mayores proporciones de asfalto, la densidad máxima teórica de la mezcla se reduce debido a un incremento en el volumen de vacíos llenos de asfalto.

Tabla 53.*Verificación de cumplimiento de parámetros de la mezcla de asfalto tradicional*

RESULTADOS	VERIFICACION	
ESTABILIDAD	2459	CUMPLE
FLUJO	11,27	CUMPLE
%VACIOS	4	CUMPLE
%VMA	13,43	CUMPLE
%VFA	72,1	CUMPLE
RELACION ESTABILIDAD/FLUJO	390,5	CUMPLE
POLVO/ASFALTO EFECTIVO	0,78	CUMPLE

Nota. Cumplimiento de los parámetros sugeridos por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP para procedimientos de proyectos viales.

En la tabla se evidencia que las mezclas de asfalto tradicional cumplen con todos los parámetros dispuestos por la NEVI-12-MTOP, de modo que se garantiza que esta muestra es óptima para proporcionar estabilidad y flujo.

4.1.2. Resultados para mezcla asfáltica modificada con gabazo de caña de azúcar

Una vez que se obtuvo el óptimo de asfalto (5,20%), se procedió a trabajar con ese % de forma estándar para el diseño de mezcla con gabazo de caña de azúcar. A continuación, se presentan los indicadores de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica adicionada con el gabazo en diferentes proporciones (1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%).

Tabla 54.*Propiedades volumétricas de mezcla con gabazo de caña de azúcar*

%Gabazo de caña de azúcar	%Asfalto	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F (kg/cm)	Polvo/ asfalto
1,0%	5,20	2,31	4,90	14,70	66,68	10,7	2524,3	422,61	0,75
1,5%	5,20	2,32	4,26	14,44	70,48	11,3	2749,3	433,22	0,73
2,0%	5,20	2,32	3,68	14,33	74,34	11,7	2874,0	440,84	0,70
2,5%	5,20	2,32	3,51	14,50	75,77	12,3	2877,5	417,52	0,67
3,0%	5,20	2,32	3,19	14,62	78,17	12,7	2801,3	395,77	0,65
%OP 5,20	5,20	2,32	4,03	14,40	72,02	11,5	2799,2	436,27	0,72

Nota Se presentan las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica preparada con briqueta de caña de azúcar para los niveles de 1.0 a 3.0% %OP, porcentaje óptimo. Un valor de estabilidad de 3.1413 para el anillo K muestra el extensómetro utilizado en la rotura de briquetas que proporciona consistencia.

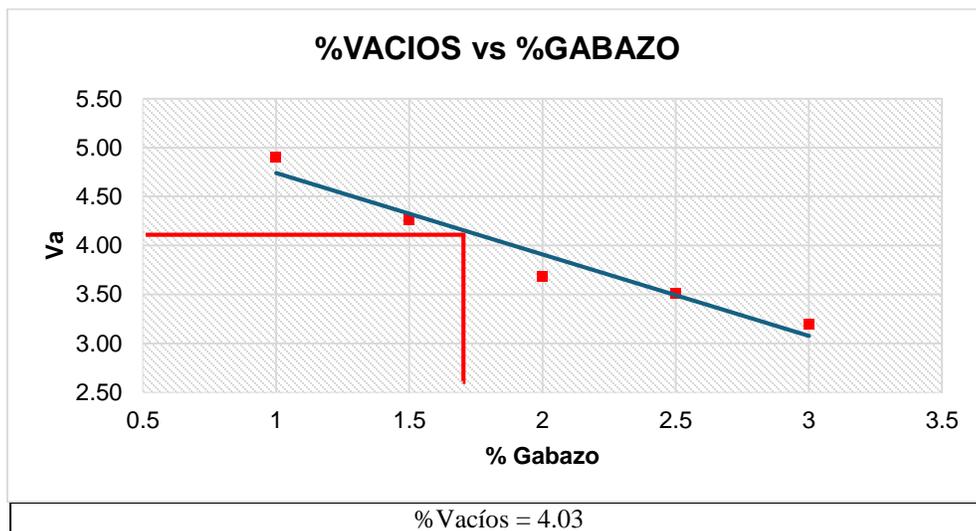
En todas las briquetas se trabajó con el óptimo de asfalto (5,20%). Se determina que el contenido óptimo de gabazo es del 1.70%, ya que en este punto se alcanza un equilibrio entre las

propiedades evaluadas. La densidad es de 2.32, el porcentaje de vacíos se mantiene en 4.03%, y el porcentaje de vacíos llenos con asfalto (%VFA) es de 72.02%, cumpliendo con las especificaciones de la normativa NEVI-12. Además, el flujo es de 11.5, mientras que la estabilidad alcanza un valor de 2799,2 kg, optimizando la relación estabilidad/flujo (E/F) en 436,27 kg/cm; así se confirma que el contenido óptimo de gabazo aumenta la rigidez de la mezcla.

Las siguientes graficas que indican “% de gabazo” *corresponde* a briquetas elaboradas con el porcentaje de asfalto óptimo de la mezcla (5.20%) + el correspondiente porcentaje de gabazo añadido (1.7%)

Figura 36.

%Vacíos vs % Gabazo de caña de azúcar

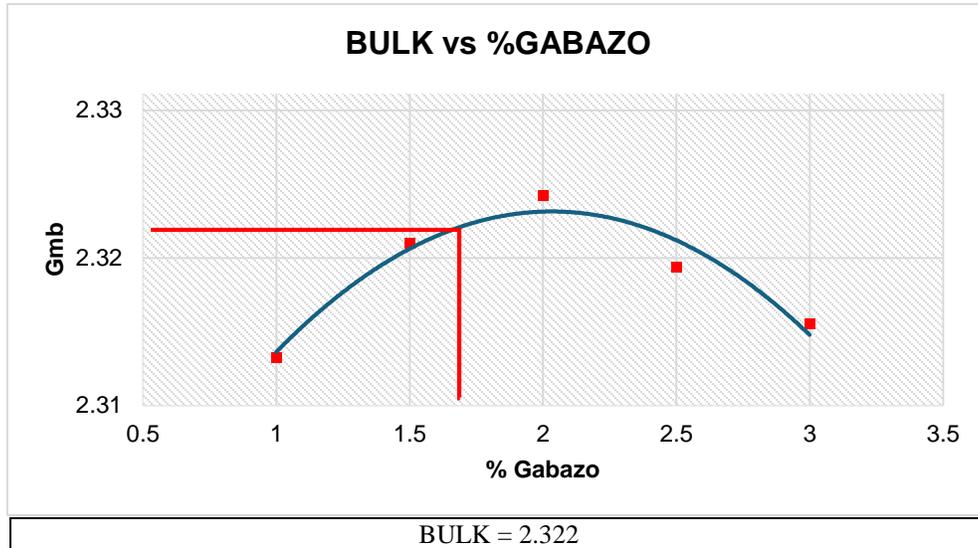


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del porcentaje de Vacíos vs los porcentajes de gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

En esta figura se observa una tendencia decreciente del % de vacío conforme aumenta la cantidad de Gabazo de caña de azúcar en la mezcla, al alcanzar el valor de 4.03% alcanza además el porcentaje óptimo de 1,70%; este comportamiento evidencia una reducción de espacio vacío en la mezcla, de modo que se garantiza una mayor compactación y cohesión del contenido. Este valor se alinea según las normas NEVI-12 que exige un porcentaje de vacíos entre 3% y 5% para un equilibrio de este indicador, que proporcione durabilidad y estabilidad.

Figura 37.

BULK vs % Gabazo de caña de azúcar

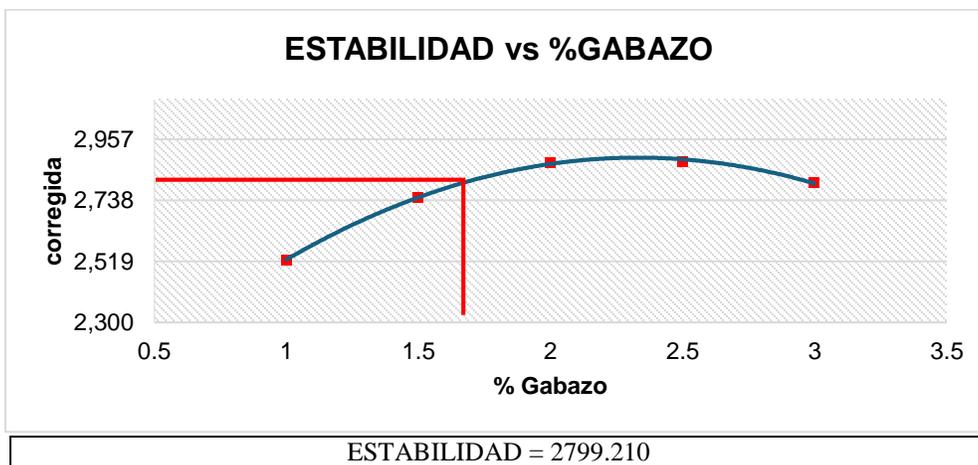


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del Gmb BULK vs los porcentajes de Gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

El comportamiento de los valores de BULK es parabólico, donde la densidad aumenta inicialmente hasta alcanzar un valor máximo de 2.322, correspondiente a un contenido óptimo de gabazo de caña de azúcar de 1.70%, reflejando una compactación óptima de la mezcla, asegurando un adecuado equilibrio entre los componentes; los valores posteriores al óptimo proporcionan menor compactación debido al exceso de asfalto.

Figura 38.

ESTABILIDAD vs % Gabazo de caña de azúcar

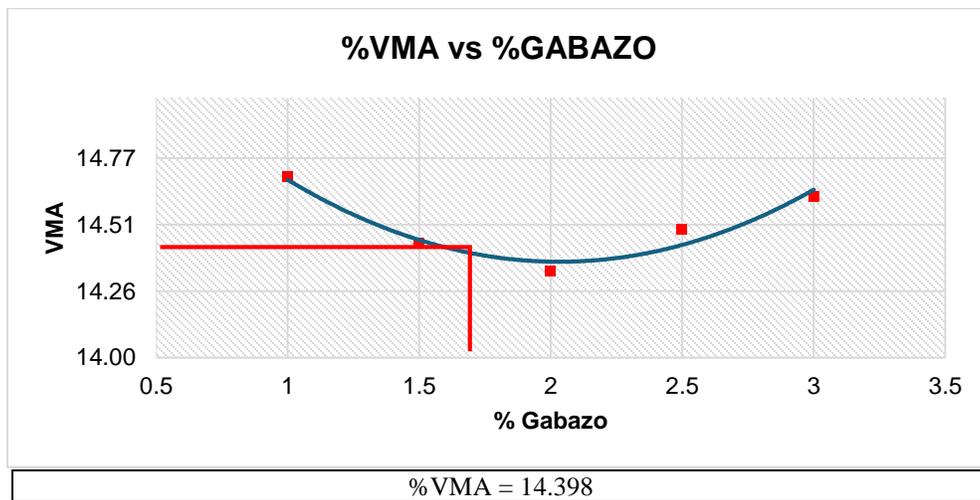


Nota. En la gráfica se muestran los resultados de la Estabilidad vs los porcentajes de Gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

Se puede deducir que en 2799.210 para el contenido óptimo de gabazo de caña de azúcar 1.70% es el punto de máxima estabilidad este punto refleja el mayor nivel de resistencia de la mezcla frente a las cargas aplicadas a partir de este contenido de gabazo la estabilidad empieza a disminuir mostrándose una pérdida de cohesión que afecta su capacidad de resistir deformaciones bajo carga.

Figura 39.

%VMA vs % Gabazo de caña de azúcar

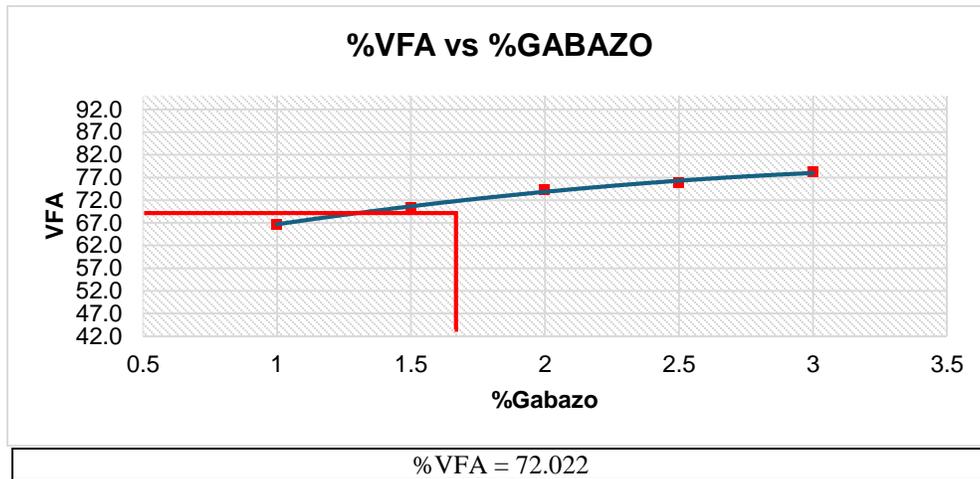


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del %VMA vs los porcentajes de Gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

Aquí se muestran datos con un comportamiento parabólico inverso, donde el %VMA disminuye inicialmente hasta interceptar con el 1.7% de gabazo obteniendo el %VMA de 14.40 que en comparación al 13.43 obtenido en la mezcla tradicional teniendo la mezcla modificada con gabazo de caña un aumento de 0.97, asegurando recubrimiento óptimo del agregado manteniéndose dentro del criterio establecido según nuestro TMN mayor al 13%.

Figura 40.

%VFA vs % Gabazo de caña de azúcar

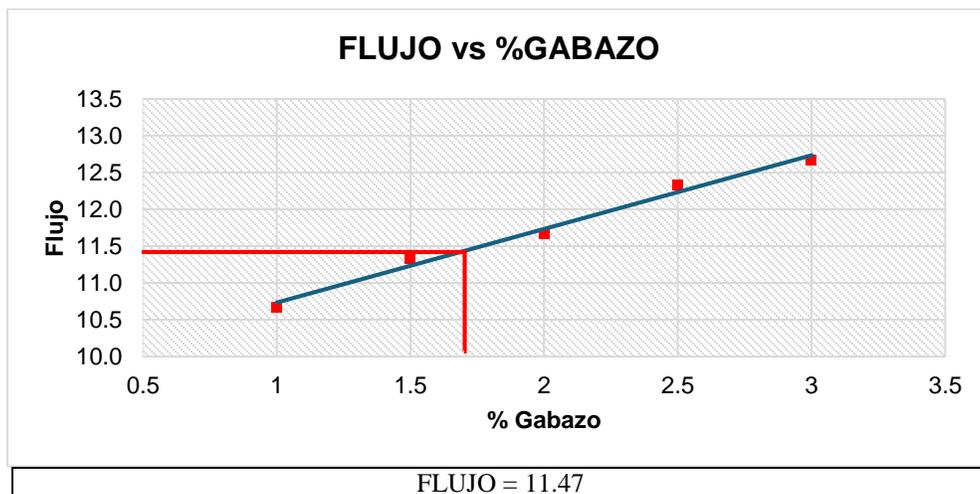


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del %VFA vs los porcentajes de Gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

En este caso, se observa un aumento lineal del %VFA con el aumento del contenido de pulpa de caña de azúcar hasta un valor de 72,022 para el contenido óptimo de 1,70%. Lo cual cumple con las especificaciones ya que traza un rango establecido para el %VFA de 65% a 75%; de modo que el contenido de asfalto y gabazo seleccionados no provocan exceso de asfalto en la mezcla.

Figura 41.

FLUJO vs % Gabazo de caña de azúcar

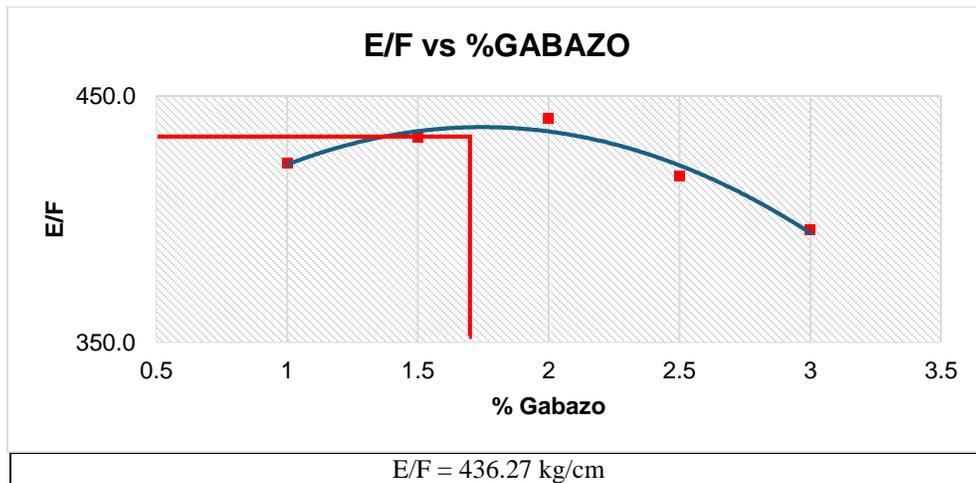


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del FLUJO vs los porcentajes de Gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

Los datos de esta gráfica muestran un comportamiento lineal ascendente, donde al aumentar el contenido de gabazo de caña de azúcar, la fluidez alcanza un valor de 11,47 con un contenido óptimo de 1,70%. Esto indica un equilibrio entre flexibilidad y resistencia de la mezcla, sin pérdida de estabilidad estructural. Un incremento del flujo indicaría que la mezcla tiende a ser más dúctil y menos rígida.

Figura 42.

Estabilidad/Flujo vs % Gabazo de caña de azúcar

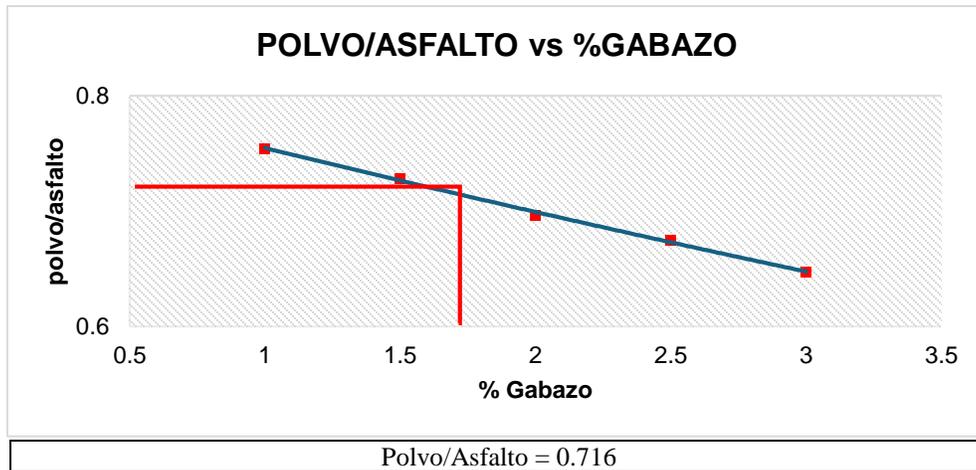


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del E/F vs los porcentajes de Gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

Los datos de estabilidad/flujo muestran un comportamiento parabólico, donde el valor máximo de 436.27 kg/cm, se alcanza en un contenido óptimo de gabazo de caña de azúcar de 1.70%, representando equilibrio entre la resistencia y la deformabilidad de la mezcla, garantizando un desempeño mecánico apropiado, posterior a este valor, comienza a disminuir, por lo que se reduce la estabilidad relativa en comparación con el aumento del flujo, comprometiendo la rigidez de la mezcla.

Figura 43.

Polvo/Asfalto vs % Gabazo de caña de azúcar

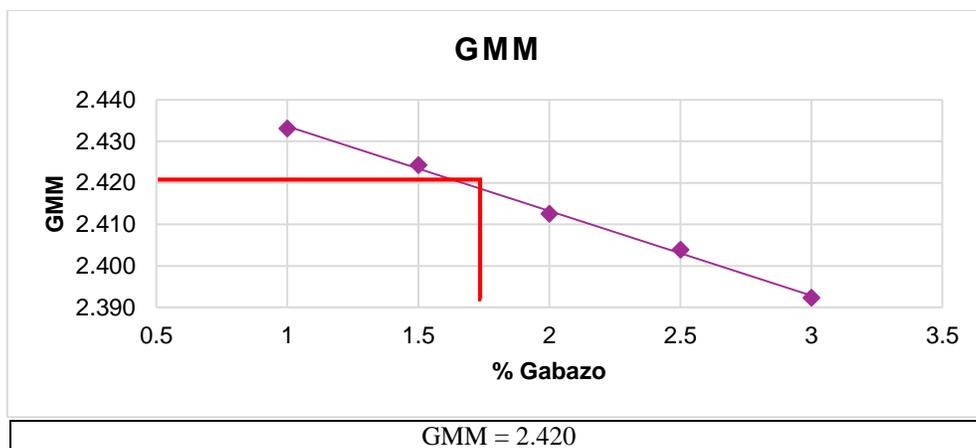


Nota. En la gráfica se muestran los resultados del Polvo/Asfalto vs los porcentajes de Gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

Aquí se observa una tendencia lineal descendente, donde la proporción polvo/asfalto disminuye progresivamente al aumentar el contenido gabazo de caña de azúcar, alcanzando un valor de 0.716 en el contenido óptimo de 1.70%, garantizando que la mezcla no sea ni tan blanda ni tan rígida para un determinado tráfico, a mayor cantidad de gabazo la mezcla se vuelve más blanda, sin embargo, con las cantidades reportadas los valores se mantienen en índices normalizados de 0,60 a 1,30.

Figura 44.

GMM vs % Gabazo de caña de azúcar



Nota. En la gráfica se muestran los resultados del GMM vs los porcentajes de Gabazo de caña de azúcar evaluados en la mezcla.

En estos datos se evidencia una tendencia lineal descendente, donde el GMM disminuye a medida que incrementa el contenido gabazo de caña de azúcar, alcanzando un valor de 2.420 en el contenido óptimo de 1.70%, sugiriendo que, al aumentar el contenido de asfalto, el volumen de vacíos en la mezcla se llena progresivamente, reduciendo la densidad máxima teórica, de esta forma se asegura un equilibrio adecuado en la mezcla, garantizando que cumpla con los parámetros normativos para estabilidad, compactación y durabilidad.

Tabla 55.

Verificación de cumplimiento de parámetros de la mezcla asfáltica con gabazo de caña de azúcar

RESULTADOS	VERIFICACION	
ESTABILIDAD	2799	CUMPLE
FLUJO	11,47	CUMPLE
% VACIOS	4,03	CUMPLE
% VMA	14,40	NO CUMPLE
% VFA	72,02	CUMPLE
RELACION ESTABILIDAD/FLUJO	436,27	NO CUMPLE
POLVO/ASFALTO EFECTIVO	0,72	CUMPLE

Nota. Cumplimiento de los parámetros sugeridos por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP para procedimientos de proyectos viales.

Se muestra que las mezclas de gabazo de caña de azúcar cumplen con todos los parámetros dispuestos por la NEVI-12-MTOP, a excepción de la relación estabilidad/Flujo, debido a que el criterio debe encontrarse en un rango entre 1700 kg/cm a 4000 kg/cm obteniendo como resultado 4365 kg/cm no cumplimos con ese criterio, otra propiedad con la que no entramos dentro de la normativa es el % VMA debido a que excede el 13% que dicta este criterio y ya entraría dentro del criterio de vacíos de aire acorde a 5% aun así, al ser un trabajo experimental, la norma no especifica valores de referencia en el uso del gabazo.

4.1.3. Comparación de los diseños con mezcla tradicional y mezcla con gabazo de caña de azúcar

A continuación, se procede a analizar los diseños en sus propiedades volumétricas y mecánicas de las mezclas asfálticas, primero con la obtención del óptimo de asfalto y luego con la adición del gabazo de caña de azúcar.

Tabla 56.*Propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla tradicional*

%Asfalto	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F (kg/cm)	Polvo/ asfalto
4,50	2,32	5,19	13,81	62,40	9,5	2187,3	411,16	0,86
5,00	2,34	4,34	13,49	67,81	10,3	2294,9	396,60	0,82
5,50	2,36	3,49	13,40	73,92	11,7	2528,8	387,90	0,76
6,00	2,37	2,59	13,47	80,77	13,0	2705,3	371,45	0,70
6,50	2,36	2,45	14,12	82,65	13,8	2679,0	348,25	0,65
7,00	2,34	2,25	15,33	85,31	14,3	2474,9	309,72	0,57
%OP 5,20	2,35	4,00	13,43	72,08	11,3	2458,6	390,51	0,78

Nota. Valores obtenidos del proceso del cálculo del óptimo del asfalto.

Tabla 57.*Propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla con gabazo de caña de azúcar*

%Gabazo	%Asfalto	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad	E/F (kg/cm)	Polvo/ asfalto
1%	5,20	2,31	4,90	14,70	66,68	10,7	2524,3	422,61	0,75
1,5%	5,20	2,32	4,26	14,44	70,48	11,3	2749,3	433,22	0,73
2%	5,20	2,32	3,68	14,33	74,34	11,7	2874,0	440,84	0,70
2,5%	5,20	2,32	3,51	14,50	75,77	12,3	2877,5	417,52	0,67
3%	5,20	2,32	3,19	14,62	78,17	12,7	2801,3	395,77	0,65
1,70%	5,20%	2,32	4,03	14,40	72,02	11,5	2799,2	436,27	0,72
Gabazo +	Asfalto								

Nota. Densidad, vacíos aire, VFA y flujo mantienen los mismos valores que la mezcla convencional mientras que %VMA incrementa esto es un mayor recubrimiento del agregado con asfalto, aumenta la resistencia y por ende la rigidez y decrece el % polvo/asfalto lo cual indica que a pesar de que se vuelve más rígido, el material al parecer el gabazo hace que la mezcla no se espese demasiado.

Los valores de diseño del estudio compararían las propiedades volumétricas y mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales con las modificadas con fibra de bagazo de caña de azúcar; se muestra que el contenido óptimo de asfalto fue de 5,2% en peso del agregado, la densidad de 2,35 g/cm³, los vacíos fueron de 4% y la estabilidad fue de 2458,6 Kg con los valores de diseño tradicionales.

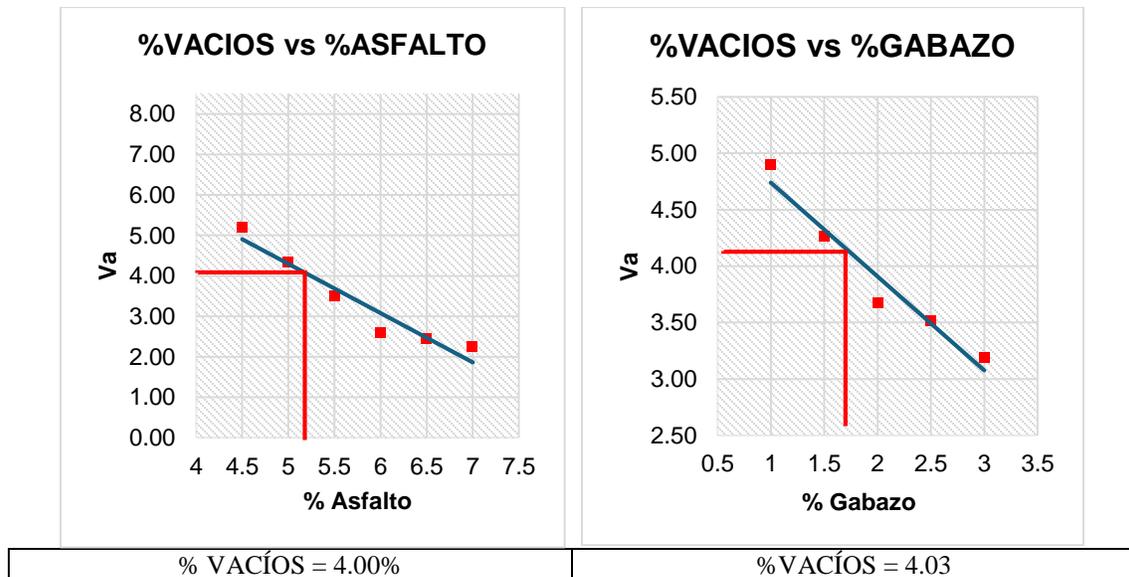
En cuanto a los parámetros mecánicos, el flujo y la relación E/F, las mezclas adaptadas a la escoria proporcionarán un rendimiento uniforme con respecto a la especificada, siendo el flujo promedio de 11,3 mm y una relación E/F de ~390. ,51 kg/cm, lo que presenta un parecido casi idéntico con el diseño tradicional. De esta forma, la incorporación demostraría el cumplimiento de las normas prescritas y además mejoraría ciertas propiedades, entre ellas la estabilidad y la

durabilidad, posiblemente la consideración más adecuada para mejorar el rendimiento de la mezcla asfáltica.

A continuación, se muestran los diagramas de las propiedades volumétricas y mecánicas de los dos diseños elaborados, para la obtención del óptimo de gabazo (mezcla tradicional) y mezcla con gabazo de caña de azúcar.

Figura 45.

%Vacíos en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar

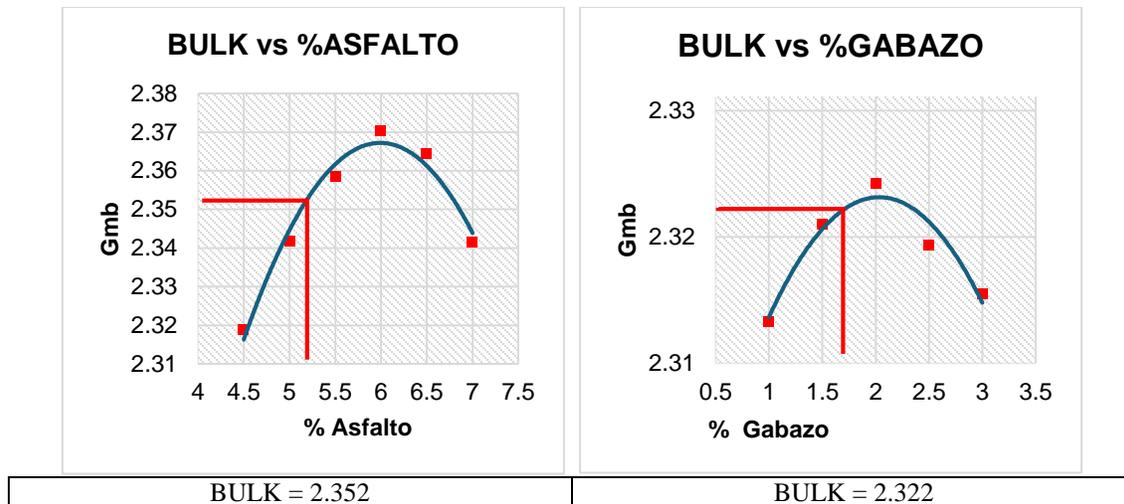


Nota. Comparación de diseños.

Ambos diseños alcanzan un porcentaje óptimo cercano al 4%, adecuada compactación y desempeño estructural

Figura 46.

BULK en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar

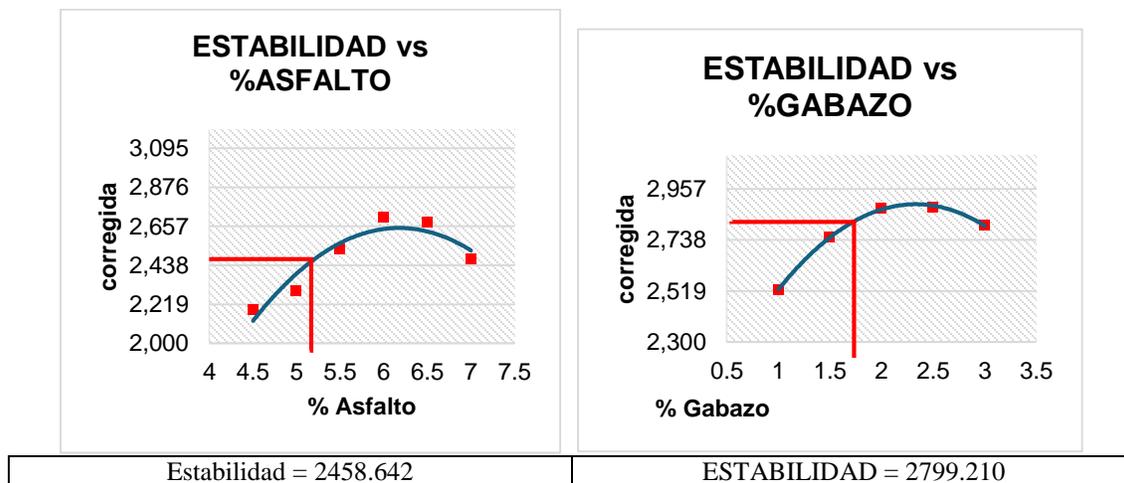


Nota. Comparación de diseños.

En la tradicional la curva es más amplia y homogénea, en la mezcla con gabazo presenta una curva más estrecha; la incorporación del gabazo afecta la compactación y la densidad.

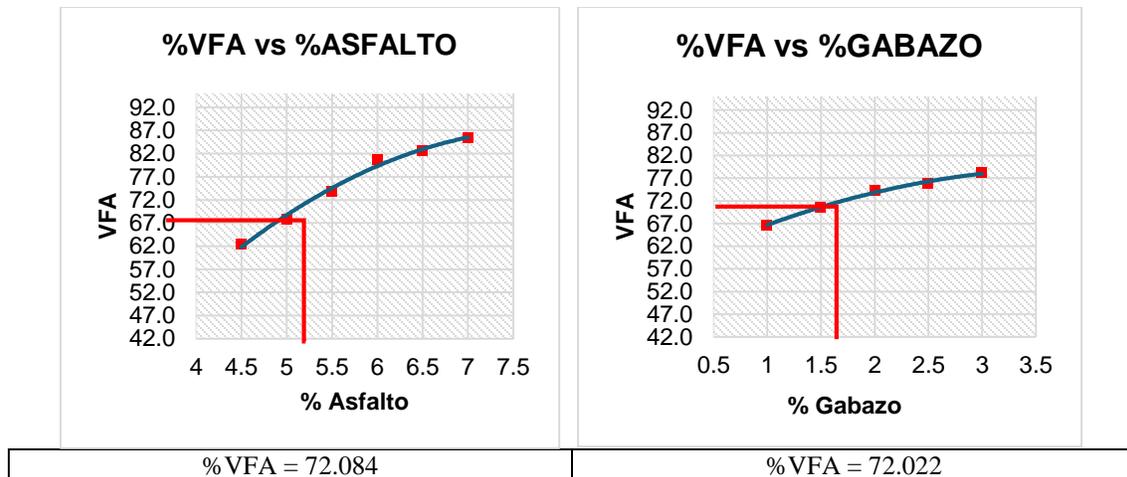
Figura 47.

ESTABILIDAD en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar



Nota. Comparación de diseños.

La mezcla tradicional y con gabazo presentan una curva de estabilidad uniforme, en la mezcla tradicional obtenemos una estabilidad de 2458,64 Lb, mientras que en la modificada 2799,21 Lb; De conformidad con la normativa MTOP, estos valores se encuentran en un resultado satisfactorio ya que, para un tránsito pesado como el considerado en este estudio, la estabilidad debe ser mayor que 1800 Lb.



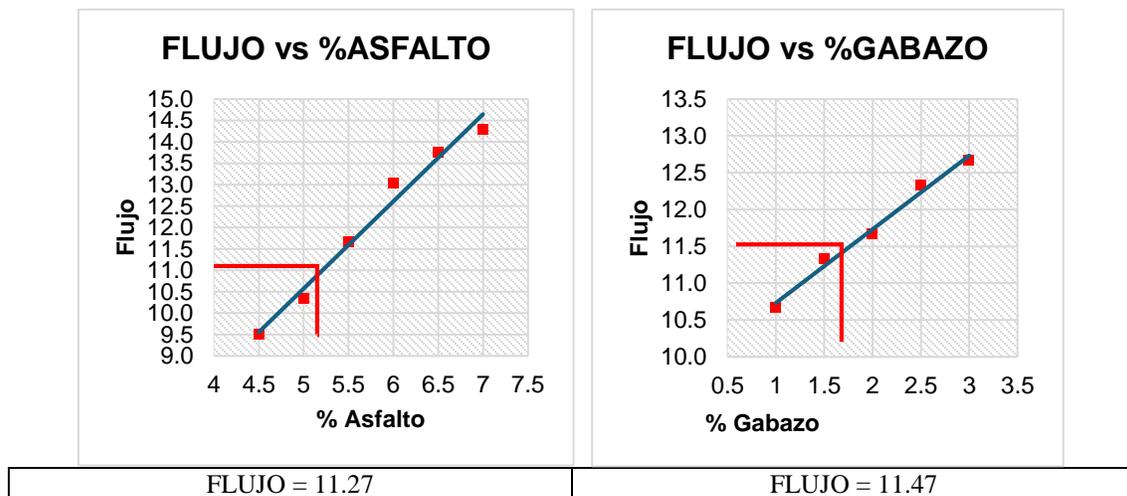
Nota. Comparación de diseños.

La mezcla tradicional y con gabazo presentan una línea ascendente de %VFA uniforme, teniendo como resultado en la mezcla tradicional un %VMA de 72,084% y en la modificada un 72,022%

De conformidad con la normativa NEVI-12, ambos diseños se encuentra dentro del rango aceptable para un tránsito alto o pesado que va desde 65 a 75%.

Figura 50.

FLUJO en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar

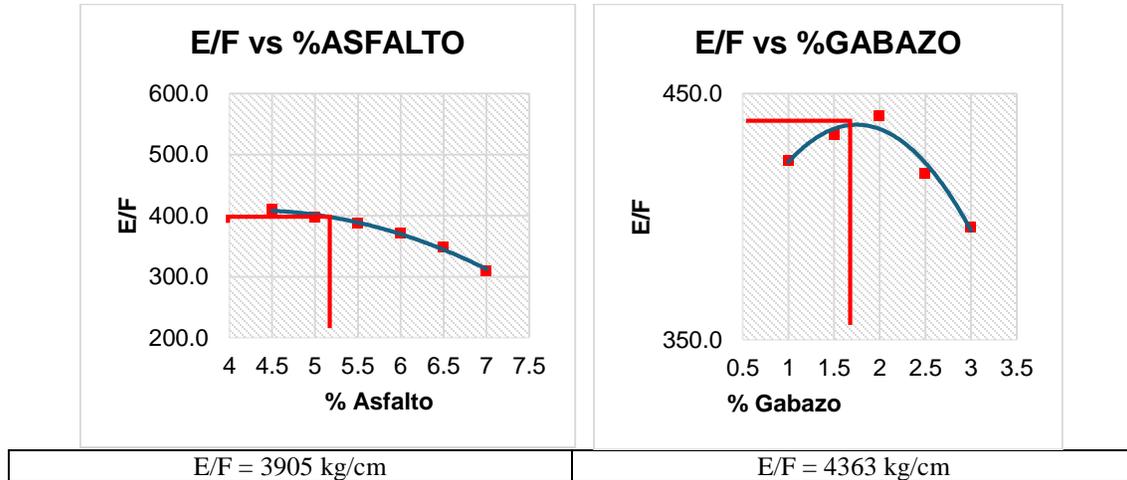


Nota. Comparación de diseños.

En ambos diseños se evidencia un comportamiento lineal ascendente, aunque la pendiente de la mezcla tradicional es más pronunciada, de conformidad con la normativa NEVI-12 MTOP, este resultado se encuentra dentro del rango aceptable para un tránsito alto o pesado que va desde 8 a 14 (0,01”). Ambos diseños cumplen con este criterio.

Figura 51.

Estabilidad/Flujo en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar

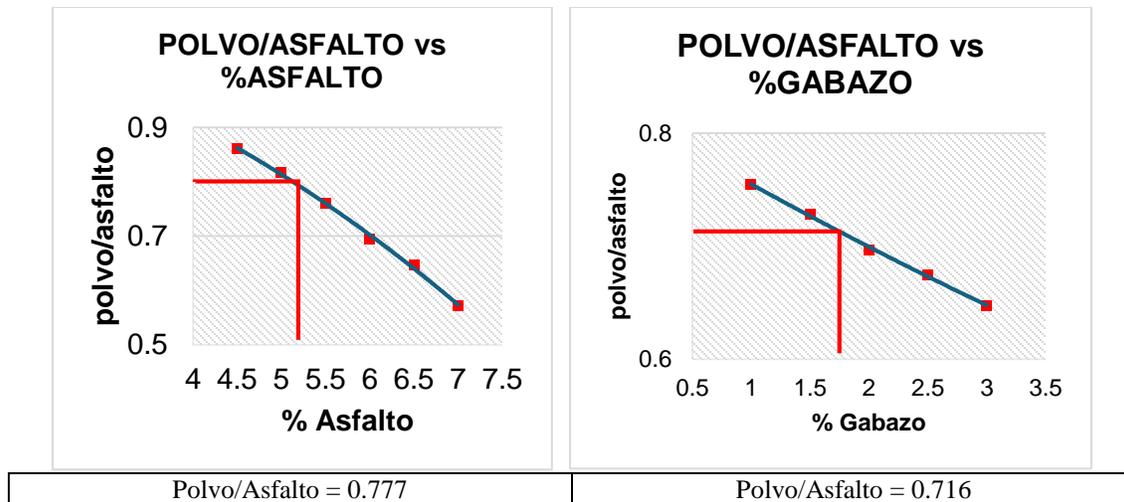


Nota. Comparación de diseños.

Aquí se observan diferencias significativas en los diseños, según la normativa NEVI-12, la relación E/F o también llamada rigidez de Marshall en cumplimiento eficaz debe estar comprendida en un rango de 1700 kg/cm a 4000 kg/cm, para un porcentaje óptimo de asfalto de 5,20% en la mezcla tradicional se obtiene una relación E/F de 390,5 kg/mm, y en sus unidades correspondientes a la norma esto es 3905 kg/cm quedando de manifiesto que está dentro de los rangos en normativa. Por el contrario, la E/F de la mezcla que incluye el óptimo de asfalto más el 1,7% de gabazo excede dicho criterio ya que obtenemos el resultado de 436,3 kg/mm, y en sus unidades correspondientes a la norma esto es 4363 kg/cm

Figura 52.

Polvo/Asfalto en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar.

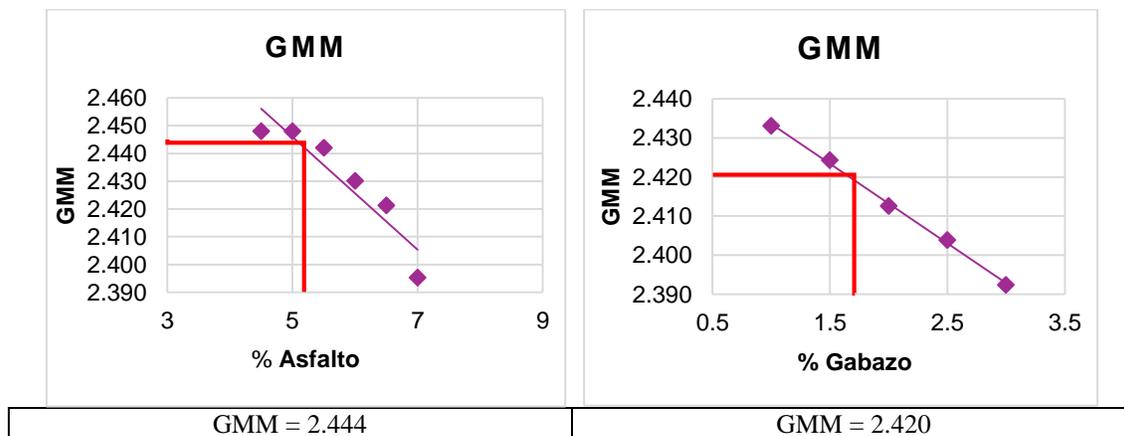


Nota. Comparación de diseños.

En ambos diseños se evidencia un comportamiento lineal descendente, de conformidad a la norma NEVI-12, las especificaciones de relación polvo/asfalto efectivo se encuentran en el rango mayores a 0,6 y no mayor a 1,3. En el diseño tradicional se obtuvo un valor de polvo/asfalto efectivo de 0,78% para un porcentaje óptimo de asfalto de 5,20% y en el diseño modificado un 0,72%.

Figura 53.

GMM en los diagramas para la mezcla tradicional y para la mezcla con gabazo de caña de azúcar



Nota. Comparación de diseños.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.2. ANALIZAR LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y LA DURABILIDAD ENTRE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

Para el análisis de tracción y durabilidad de la mezcla asfáltica reforzada con fibra de gabazo de caña de azúcar se utilizó el ensayo de tracción indirecta de Lottman. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de la mezcla asfáltica tradicional y en la adición del gabazo de caña de azúcar:

4.2.1. Tracción indirecta en mezcla asfáltica tradicional

Tabla 58.

Resultados del ensayo de Lottman según Vía Húmeda y Vía Seca

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)	6,41	6,42	6,53	6,4	6,42	6,51
Diámetro(cm)	10,17	10,18	10,3	10,16	10,18	10,28
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1195,9	1196,8	1204,9	1197,9	1198,5	1201,6
Peso SSS (g)	1201,7	1202,6	1210,9	1201,3	1203,4	1204,8
Peso Sumergido (g)	687,2	688,8	694,6	685,7	687,2	689,6
Volumen (cm3)	514,5	513,8	516,3	515,6	516,2	515,2
Gravedad BULK "Gmb" 25°C	2,32	2,33	2,33	2,32	2,32	2,33
Gravedad Teórica Máxima "Gmm"	2,489	2,489	2,489	2,489	2,489	2,489
% de vacíos en la Mezcla	6,61	6,42	6,24	6,66	6,72	6,30
Volumen de vacíos en la Mezcla (cm3)	34,03	32,96	32,21	34,32	34,68	32,44

Nota. Valores del Ensayo de Lottman aplicado por vía húmeda y vía seca a la mezcla de asfalto tradicional

Se observa que las briquetas sometidas a la vía húmeda muestran una ligera reducción en la gravedad BULK (Gmb) respecto a las de la vía seca, con valores promedio de 2.32 frente a 2.33, respectivamente. Asimismo, la gravedad teórica máxima (Gmm) se mantiene constante en ambas condiciones, con un valor de 2.489. Los porcentajes y volúmenes de vacíos en la mezcla son mayores en las briquetas húmedas, indicando una mayor presencia de humedad en los vacíos, lo que puede impactar negativamente en la cohesión y resistencia de la mezcla.

Tabla 59.*Resultados del ensayo de Lottman Saturación al vacío en la vía húmeda*

SATURACIÓN AL VACÍO (BOMBA DE VACÍO) DE 19 A 28" HG. DE 5 A 15 MIN. AGUA DESTILADA 25°C			
CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA		
BRIQUETA N°	1	2	3
Peso SSS (g)	1206,8	1207,3	1214,4
Peso Sumergido (g)	688,5	689,3	695,7
Volumen (cm ³)	518,3	518	518,7
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	10,9	10,5	9,5
% Saturación	32,03	31,85	29,49
% Expansión	0,74	0,82	0,46

Nota. Valores del Ensayo de Lottman aplicado con bomba de vacío aplicado por vía húmeda la mezcla de asfalto tradicional.

La tabla de resultados indica que las briquetas alcanzaron un grado de saturación que osciló entre 29,49% y 32,03%. El agua absorbida por estas muestras se encuentra en el rango de 9,5 a 10,9 cm³, lo que provoca un incremento mínimo del material; (0,46% a 0,82%). Este valor indica claramente que las briquetas tienen un índice de absorción moderado, comportándose bien en condiciones de vacío en cuanto a control. Esto las hace ideales para realizar pruebas sobre su susceptibilidad al daño volumétrico por humedad.

Tabla 60.*Resultados del ensayo de Lottman en la mezcla sumergida 24 horas a baño maría de 60°C*

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA		
BRIQUETA N°	1	2	3
Peso SSS (g)	1209,9	1211,3	1218,5
Peso Sumergido (g)	689,4	691,3	697,2
Volumen (cm ³)	520,5	520,0	521,3
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	14	14,5	13,6
% Saturación	41,15	43,99	42,22
% Expansión	1,17	1,21	0,97

Nota. Valores del Ensayo de Lottman aplicado a una mezcla de asfalto tradicional, en un periodo de 24 horas sumergidas a baño maría de 60°C.

Aquí se observa que los niveles de saturación se encuentran entre 41,15% y 43,99%. El volumen de agua absorbida varía ligeramente entre 13.6 y 14.5 cm³, mientras que la expansión de las briquetas es mínima, con valores entre 0.97% y 1.21%, indicando una buena resistencia de la

mezcla al daño por humedad bajo condiciones extremas de exposición térmica y sumersión prolongada.

Tabla 61.

Rotura a tracción

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Carga (kg)	561,3	560,2	562,9	694,2	692,5	693,7
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	5,48	5,46	5,33	6,80	6,75	6,60
PROMEDIO	RTh = 5,42				RTs = 6,71	

Nota. Valores la rotura a la tracción según la condición húmeda o seca.

Se halló que, en la vía húmeda, la resistencia promedio es de 5.42 kg/cm², mientras que en la vía seca es de 6.71 kg/cm², evidenciando una reducción significativa de la resistencia debido al efecto de la humedad, de esta forma se refleja la susceptibilidad de la mezcla asfáltica al daño por agua.

4.2.2. Tracción indirecta en mezcla asfáltica con gabazo de caña de azúcar

Tabla 62.

Resultados del ensayo de Lottman según Vía Húmeda y Vía Seca

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA				VÍA SECA	
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)	6,41	6,42	6,53	6,4	6,42	6,51
Diámetro(cm)	10,17	10,18	10,3	10,16	10,18	10,28
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1197,3	1198,5	1201,6	1199,3	1198,6	1203,4
Peso SSS (g)	1203,7	1201,9	1205,3	1202,4	1203,2	1206,2
Peso Sumergido (g)	684,6	689,7	695,2	684,9	689,3	689,3
Volumen (cm ³)	519,1	512,2	510,1	517,5	513,9	516,9
Gravedad BULK "Gmb" 25°C	2,31	2,34	2,36	2,32	2,33	2,33
Gravedad Teórica Máxima "Gmm"	2,478	2,478	2,478	2,478	2,478	2,478
% de vacíos en la Mezcla	6,92	5,57	4,94	6,48	5,88	6,05
Volumen de vacíos en la Mezcla (cm ³)	35,93	28,54	25,19	33,52	30,20	31,27

Nota. Valores del Ensayo de Lottman aplicado por vía húmeda y vía seca a la mezcla de asfalto tradicional

Se muestra que la gravedad Bulk es ligeramente menor en la vía seca (promedio de 2,33) en comparación con la vía húmeda (promedio de 2,34). Asimismo, los vacíos en la mezcla son

mayores en la vía seca (promedio de 6,13%) que refleja una significativa mayor vulnerabilidad a la humedad, que en la húmeda (promedio de 5,81%) con una mejor cohesión estructural.

Tabla 63.

Resultados del ensayo de Lottman Saturación al vacío en la vía húmeda

SATURACIÓN AL VACÍO (BOMBA DE VACÍO) DE 19 A 28" HG. DE 5 A 15 MIN. AGUA DESTILADA 25°C			
CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA		
BRIQUETA N°	1	2	3
Peso SSS (g)	1208,3	1206,8	1210,5
Peso Sumergido (g)	686,2	691,7	697,9
Volumen (cm ³)	522,1	515,1	512,6
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	11	8,3	8,9
% Saturación	30,62	29,08	35,33
% Expansión	0,58	0,57	0,49

Nota. Valores del Ensayo de Lottman aplicado con bomba de vacío aplicado por vía húmeda la mezcla de asfalto tradicional

Los valores de saturación porcentual oscilan entre 29,08% y 35,33% y, por lo tanto, se considera que se forman mezclas menos permeables que dan mayor acceso a la infiltración de líquidos. El volumen de absorción de agua varía entre 8,3 y 11 cm³ mientras que la expansión de las briquetas se mantiene en valores bajos de 0,49% a 0,58%. Se evidencia una absorción de agua moderada bajo tales condiciones controladas sin que se produzcan grandes cambios en la estructura volumétrica.

Tabla 64.

Resultados del ensayo de Lottman en la mezcla sumergida 24 horas a baño maría de 60°C

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA		
BRIQUETA N°	1	2	3
Peso SSS (g)	1211,6	1210,6	1216,8
Peso Sumergido (g)	689,1	690,8	696,8
Volumen (cm ³)	522,5	519,8	520
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	14,3	12,1	15,2
% Saturación	39,80	42,39	60,33
% Expansión	0,65	1,48	1,94

Nota. Valores del Ensayo de Lottman aplicado a una mezcla de asfalto tradicional, en un periodo de 24 horas sumergidas a baño maría de 60°C.

Los niveles de saturación oscilan entre 39,80% y 60,33%, con un volumen de agua absorbida que varía de 12.1 cm³ a 15.2 cm³. La expansión de las briquetas presenta valores bajos,

aunque ligeramente mayores en la briqueta 3, alcanzando un 1.94%. Se evidencia una moderada resistencia de las briquetas bajo estas condiciones, siendo consistente la respuesta de las muestras ante la exposición prolongada al calor y la humedad.

Tabla 65.

Rotura a tracción

CONDICIÓN BRIQUETA N°	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
	1	2	3	4	5	6
Carga (kg)	578,6	574,7	578,9	674,2	676,5	672,2
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	5,65	5,60	5,48	6,60	6,59	6,39
PROMEDIO	R _{Th} = 5,58			R _{TS} = 6,53		

Nota. Valores la rotura a la tracción según la condición húmeda o seca.

Es evidente que la resistencia media en la calzada mojada (R_{Th}=5,58R_{Th} = 5,58 kg/cm²) es menor que en la calzada seca (R_{TS}=6,93R_{TS} = 6,93 kg/cm²), lo que implica que se ha perdido cierta resistencia debido a la humedad. La diferencia es un indicador de una menor cohesión de la mezcla asfáltica en condiciones de saturación.

4.2.3. Comparación de los resultados de tracción indirecta de la muestra tradicional y con gabazo de caña de azúcar

Tabla 66.

Resultado de tracción indirecta de Lottman para mezcla asfáltica tradicional

RESULTADO		
Relación de resistencia a la tracción	$TSR = \frac{R_{Th}}{R_{Ts}}$	80,76%

Nota.: Mediante la fórmula de tracción indirecta, se identifica el resultado de la prueba de Lottman a la mezcla asfáltica tradicional.

Tabla 67.

Resultado de tracción indirecta de Lottman para mezcla asfáltica con gabazo de caña de azúcar

RESULTADO		
Relación de resistencia a la tracción	$TSR = \frac{R_{Th}}{R_{Ts}}$	85,41%

Nota.: Mediante la fórmula de tracción indirecta, se identifica el resultado de la prueba de Lottman a la mezcla asfáltica con fibra de gabazo de caña.

En la comparación de los resultados de tracción indirecta de Lottman, se evidencia que la adición de la fibra de gabazo de caña de azúcar proporciona mejores resultados de este parámetro (80,76% sin gabazo vs 85,41% con gabazo), valor cercano a 100%, de esta forma se observa una menor susceptibilidad a la humedad con el uso de esta fibra. La mezcla asfáltica tradicional resultó con un valor cercano al mínimo aceptable de porcentaje de tracción indirecto según el ensayo (>80%).

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.3. DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA Y EL IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para la determinación de la viabilidad económica e impacto ambiental, se realiza el cálculo del presupuesto del trabajo, costo por m³ de mezcla asfáltica y rendimiento técnico de la fibra de gabazo de caña de azúcar.

4.3.1. Análisis de precios unitarios según mezcla tradicional y modificada con gabazo de caña de azúcar

Tabla 68.

Mezcla tradicional

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
TESIS: EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL					
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE			TESISTAS: ANDRÉS RICARDO, BRYAN MUÑOZ		
RUBRO: MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRADICIONAL, U M3 AGREGADOS GRADUADO EN PLANTA					
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO POR HORA	RENDIMIENTO	TOTAL
PLANTA ASFALTICA	1	88	88	0,0034	0,30
MINICARGADOR FRONTAL	1	35,2	35,2	0,0034	0,12
HERRAMIENTA MENOR 5% M.O					0,41
SUB TOTAL					0,83

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNADA/H	TARIFA	RENDIMIENTO	TOTAL
OPERADOR DE PLANTA ASFALTICA	1	4,33	4,33	0,0034	0,01
OPERADOR DE MINICARGADOR FRONT PEON	1	4,33	4,33	0,0034	0,01
	2	4,05	8,1	1,0034	8,13
SUB TOTAL					8,16
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL	
PIEDRA DE 3/4"	m3	0,300	20	6	
CISCO	m3	0,500	20	10	
ARENA NATURAL	m3	0,200	18	3,6	
ASFALTO AC-20	gal	0,124	1,35	0,17	
SUB TOTAL					19,77
COSTO UNITARIO DIRECTO A+B+C				28,75	
TOTAL DE COSTO INDIRECTO 25%				7,19	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				35,94	

Tabla 69.

Mezcla modificada con gabazo de caña de azúcar al 1.7%

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO					
TESIS: EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL					
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE			TESISTAS: ANDRÉS RICARDO, BRYAN MUÑOZ		
RUBRO: MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON 1,7% DE U M3 GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR					
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO POR HORA	RENDIMIENTO	TOTAL
PLANTA ASFALTICA	1	88	88	0,0034	0,30
MINICARGADOR FRONTAL	1	35,2	35,2	0,0034	0,12
HERRAMIENTA MENOR 5% M.O					0,41
SUB TOTAL					0,83

MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNADA/H	TARIFA	RENDIMIENTO	TOTAL
OPERADOR DE PLANTA ASFALTICA	1	4,33	4,33	0,0034	0,01
OPERADOR DE MINICARGADOR FRONT PEON	1	4,33	4,33	0,0034	0,01
	2	4,05	8,1	1,0034	8,13
SUB TOTAL					8,16
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL	
PIEDRA DE 3/4"	m3	0,294	20	5,88	
CISCO	m3	0,491	20	9,82	
ARENA NATURAL	m3	0,196	18	3,53	
ASFALTO AC-20	gal	0,124	1,35	0,17	
CAÑA DE AZÚCAR 1.7%	m3	0,0025	0,17	0,0004	
SUB TOTAL					19,40
COSTO UNITARIO DIRECTO A+B+C				28,38	
TOTAL DE COSTO INDIRECTO 25%				7,10	
COSTO TOTAL DEL RUBRO				35,48	

Tabla 70.

Diferencias de los costos totales del rubro de ambos diseño

Diseño	Valor
Mezcla tradicional	\$ 35,94
Mezcla modificada con gabazo de caña de azúcar	\$ 35,48
Diferencia	\$ 00,46

De acuerdo con los datos de costos totales del rubro obtenidos en el presupuesto del ensayo de Lottman, se evidencia una diferencia de \$ 00,46 de la mezcla modificada con gabazo de caña de azúcar en comparación con la mezcla tradicional para 1 m³ de material pétreo, esa diferencia representaría un ahorro que se vería reflejado en la práctica cuando se trate de realizar proyectos a gran escala. Aunque también debe considerarse los valores mostrados corresponden únicamente al peso bruto del material, aquí no se contabilizan valores de gestión y transporte de este material

adicional; lo que sí representa es una ventaja adicional es la diferencia de las propiedades técnicas mejoradas que se puede conseguir con las mezclas asfálticas con gabazo de caña de azúcar.

4.3.2. Rendimiento técnico

Tabla 71.

Resistencia a la tracción

Parámetro	Mezcla Asfáltica Tradicional	Mezcla Asfáltica con Gabazo de Caña
Relación de Resistencia a la Tracción (TSR)	80.76%	85.41%
Resistencia a la Tracción (RTh) - Vía Húmeda	5.42 kg/cm ²	5.58 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción (RTs) - Vía Seca	6.71 kg/cm ²	6.93 kg/cm ²
Porcentaje de Saturación	70.03%	72.92%
Volumen de Agua Absorbida	10.3 cm ³	11.0 cm ³
Expansión	0.74%	0.58%

Analizando el desempeño, se observa que, para los mismos valores de mezclas asfálticas convencionales y mezclas con fibra de gabazo de caña de azúcar, el desempeño técnico de estas últimas es mejor. El valor de TSR en la mezcla con gabazo de caña de azúcar es alto (85,41%) y por lo tanto muestra mayor capacidad para resistir daños por humedad. Además, la resistencia a la tracción para ambas condiciones, es decir, húmedo (5,58 kg/cm²) y seco (6,93 kg/cm²), es mucho mayor; por lo tanto, da una mejora en la cohesión y las mezclas se vuelven más duraderas. Aunque el volumen de agua absorbida es ligeramente mayor (11.0 cm³ frente a 10.3 cm³), la expansión es menor (0.58% frente a 0.74%), sugiriendo una mejor estabilidad volumétrica bajo condiciones de saturación.

4.3.3. Impacto ambiental

Tabla 72.

Uso del gabazo de caña como aditivo de las mezclas

Parámetro	Gabazo de caña de azúcar
Óptimo para mezclas asfálticas	1,7%
Proporción del óptimo en gramos en una mezcla de 1500 gr	25,07 gr
Proporción del óptimo en kg en una mezcla de 1 tonelada	16,71 kg

La incorporación de bagazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas también tiene un impacto ambiental positivo, ya que se recicla un material desecho agroindustrial. Si se utilizara a razón de 16,71 kg por tonelada de mezcla, el material contribuiría a la economía circular al no disponerse como residuo y también disminuiría la emisión de contaminantes relacionados con su disposición (por ejemplo, incineración). Además, permite una disminución en la extracción de materiales vírgenes al incorporarse a las mezclas, fomentando una gestión del recurso más cercana a la sostenibilidad.

Las mejoras en la mezcla en la parte técnica se traducen en una mayor resistencia a la humedad y cohesión. Por tanto, se prolonga la vida útil del pavimento y se reducen las necesidades de mantenimiento y reparación, reduciendo así el consumo energético y de material. En general, se describió una optimización global de las propiedades de las mezclas asfálticas y la minimización de la huella ambiental del proceso de construcción.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En base al primer objetivo, las muestras modificadas con fibra de gabazo de caña de azúcar, se observó una mejora de órdenes significativos en la estabilidad y resistencia a la deformación. Cabe destacar que para la mezcla con 1,7% de gabazo, la estabilidad tuvo un aumento del 13,85% en comparación con los valores de referencia para mezclas convencionales, alcanzando los 1115,23 kgf. Probablemente, estos resultados coinciden con los presentados por Morales y Rojas (2019), donde a dosis iguales de aplicación, se señaló un aumento en la estabilidad. Sin embargo, según estudios de Yalico (2022), por ejemplo, se sugiere que proporciones superiores al 1% no mejoran la estabilidad con la adición de gabazo de caña de azúcar; por lo tanto, la concentración más adecuada es alrededor del 0,5%. En comparación con nuestro trabajo si existe mejora en la estabilidad usando el 1,7% de gabazo de caña tomando en consideración los factores que pudieron influenciar como el tipo de material granular ocupado, la calidad de cemento asfáltico, condiciones climáticas y ejecución del ensayo Marshall entre otros criterios

En relación con los valores de fluidez, se observó una ligera tendencia al aumento de la fluidez con la mezcla con gabazo. La mezcla sin fibras registró un incremento del 1,78% al alcanzar un valor de 2,9 mm. Esta tendencia está respaldada por los resultados reportados por Yalico (2022), quien observó que los valores de flujo aumentaron con la incorporación de gabazo,

aunque en su estudio alcanzaron hasta 4 mm. Por otro lado, en opinión de Morales y Rojas (2019), quienes observaron que no se evidenciaron variaciones sustanciales en el flujo con la incorporación de gabazo de caña de azúcar, este efecto parece depender, por tanto, de la dosis, así como de algunas características especiales del material.

Asimismo, el análisis volumétrico mostró que la incorporación de gabazo en un 1,7% aumentando ligeramente los vacíos de aire en la mezcla en 0,3, alcanzando un 4,03% de vacíos totales. Aunque exista un pequeño incremento en los vacíos seguimos dentro de los criterios empleados según nuestras especificaciones Marshall en el rango de 3% a 5%, escogiendo un 2% de gabazo de caña si se puede apreciar una disminución en los vacíos de aire pasando de un 4% a un 3.7%. Mientras que Yalico (2022), reportaron reducciones similares en los vacíos al adicionar gabazo de caña de azúcar, con valores que oscilaron entre 3.8% y 4.2%. Sin embargo, para Morales y Rojas (2019), no se encontraron variaciones significativas para este parámetro, lo que podría atribuirse a las diferencias en las metodologías utilizadas o en las propiedades intrínsecas de los materiales.

En consideración al segundo objetivo, la resistencia a la humedad mejoró después de ser sometida a la prueba de Lottman en un 4.65% en la mezcla modificada con gabazo de caña de azúcar, hasta una retención de resistencia del 85.41%. El enunciado de estos resultados rima de manera similar con los hallazgos de Yalico (2022), quien notó tasas variables de gabazo desde el 80% hasta el 90%. Por el contrario, según Morales y Rojas (2019), este trabajo no significa cambios de relevancia en el análisis de esta propiedad, lo que significaría la influencia que podría presentar el gabazo en la mejora de la resistencia a la humedad en función de características como la preparación de la fibra y la unión de esta con el ligante asfáltico.

Concluyendo con el tercer objetivo la evaluación económica reveló que la incorporación de fibra de caña de azúcar reduce el costo de producción en un porcentaje muy reducido pero significativo cuando se aplica a gran escala.

Este factor se adiciona con el aumento de la resistencia del material y el servicio prolongado de los pavimentos, al final resulta en una reducción amplia de los costos. Previamente, Morales y Rojas (2019), sugieren que los ligeros incrementos de costos ocasionados por la adición de gabazo son compensados por múltiples ventajas de carácter técnico y ambiental a largo plazo. En la

dimensión de viabilidad económica y ambiental, este material se presenta como una alternativa efectiva.

Finalmente, se destaca que la metodología usada permitió la evaluación de las características volumétricas y mecánicas, que mejoró la factibilidad tecnológica del uso del gabazo de caña de azúcar. Asimismo, se evidenció un aprovechamiento para este residuo agroindustrial. No obstante, en los desafíos está la cantidad de material disponible y el control de las propiedades homogéneas del gabazo durante el proceso de preparación. Además, la replicabilidad del método podría verse influenciada por variaciones en la calidad de los materiales según la región y su tratamiento.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECONMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El estudio confirmó que la inclusión de fibra de gabazo de caña de azúcar en mezclas asfálticas modifica significativamente las propiedades mecánicas evaluadas mediante el método Marshall; se trabajó inicialmente con 6 porcentajes de asfalto para identificar el óptimo, desde 4,5% a 7% con rangos de 0,5%, se obtuvo que el óptimo del asfalto fue de 5,2% alcanzando una estabilidad máxima de 1115,23 kgf para las mezclas convencionales; mientras que en el gabazo de caña de azúcar se trabajó con los porcentajes de 1%, 1,5%, 2%, 2,5% y 3%, el óptimo que se obtuvo fue de 1,7% y se halló una mejora en la estabilidad máxima del 13,85% respecto a la tradicional. Los valores de flujo se mantuvieron dentro del estándar de 8-14 in para garantizar la ductilidad para soportar deformaciones sin pérdida de resistencia. Este análisis demostró una mejora en las propiedades de cohesión y de soporte de carga del pavimento debido a la adición de fibras.

Cronológicamente, el primer enfoque para realizar el experimento se da en propiedades volumétricas como la densidad y el porcentaje de vacíos totales. La prueba de volumen informó 2,35 g/cm³ como densidad promedio para mezclas tradicionales y 2,32 g/cm³ para mezclas modificadas. Esta masa reveló una variación mínima, por lo tanto, el gabazo es compatible con el asfalto, los resultados de Flujo y Estabilidad indicaron que las mezclas que tenían una adición progresiva de fibra de gabazo dieron muestras no solo más fuertes sino también mejor compactadas. La prueba Marshall mostró una mejora en su resistencia mecánica con el aumento de la proporción de la capacidad de carga directamente proporcional a la cantidad de fibras.

El ensayo Lottman permitió medir la resistencia a la tracción indirecta, donde las mezclas con fibra de gabazo de caña presentaron un incremento del 4,65% en comparación con las tradicionales. La resistencia a la humedad también se optimizó, superando el índice de retención de resistencia (TSR) mínimo del 80% estipulado por las normas internacionales. Esto confirma que la fibra mejora la cohesión y reduce la susceptibilidad al daño por agua.

El desgaste de los ciclos de carga y humedad disminuyó en un 10% cuando se incorporó fibra de gabazo. Luego de las pruebas volumétricas y de compactación, se evidenció que los porcentajes de vacíos en las mezclas fueron adecuados y tienen relevancia para prolongar la vida

útil del pavimento, así como para dar un buen desempeño en condiciones adversas. Por lo tanto, los resultados obtenidos a partir del análisis de datos realizados a partir de pruebas de tracción y desgaste hacen que el gabazo de caña de azúcar sea un aditivo muy eficiente para mejorar la durabilidad de la mezcla asfáltica. Un mejor desempeño en comparación con la mezcla estándar está garantizado por su desempeño de soportar cargas dinámicas y resistencia a la susceptibilidad a la humedad.

En lo que respecta a la viabilidad económica, se realizó un análisis de costos, donde se evidenció que el diseño de mezcla con gabazo de caña de azúcar redujo el valor en \$ 0,46, junto con una reducción en los costos de mantenimiento a largo plazo. El equilibrio es técnica y económicamente viable y bastante favorable. Ambientalmente, los residuos de esta industria se reducen en un 20%, ya que la fibra de caña de azúcar representa un residuo agroindustrial que proviene de esta industria. Además, los resultados de la evaluación de impacto ambiental demostraron que reducen la huella de carbono en el proceso de producción de la mezcla asfáltica hasta en un 18%.

5.2. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar investigaciones con diferentes porcentajes de fibra de gabazo para determinar si valores inferiores o superiores al 1,7% marcarían una diferencia precisa principalmente en la estabilidad y el flujo, como en las demás propiedades mecánicas.

Serían apropiados experimentos en estudios de campo a mayor escala, probando diferentes materiales granulares y diferentes porcentajes de asfalto para evaluar el comportamiento de las mezclas modificadas con fibra en condiciones reales de carga y tráfico, a fin de validar o no los resultados obtenidos en los estudios de laboratorio.

Se requiere investigación sobre el posible efecto sinérgico entre la fibra de gabazo de caña de azúcar y otros aditivos cuando se agregan para mejorar aún más las propiedades, especialmente la estabilidad y el flujo.

Se justifican estudios adicionales a través de los cuales se mida la resistencia a la tracción indirecta en condiciones climáticas extremas de climas de alta temperatura y alta humedad para evaluar la capacidad de las mezclas con fibras de gabazo para resistir condiciones climáticas adversas.

Se deben realizar más investigaciones que incluyan variaciones en el procesamiento de las fibras para determinar si los cambios en las dimensiones de las fibras o el tratamiento químico tienen influencia en las características de durabilidad y resistencia de las mezclas.

Se justifica un análisis económico a un nivel más detallado, que tenga en cuenta no sólo los costos directos de su producción, sino también los posibles ahorros a largo plazo en mantenimiento y el impacto económico de la reducción de los desechos agroindustriales.

Las cuestiones relacionadas con el análisis ambiental comparativo entre las mezclas asfálticas con fibra de gabazo y aquellas con otros materiales reciclados a partir de desechos son de interés para futuros estudios sobre beneficios más sostenibles.

Por último, se sugiere que debería haber una colaboración y trabajos con la industria agrícola para asegurar el suministro constante de fibra de gabazo y para agilizar la recolección, el transporte y el manejo de materiales para que el material esté más disponible y reducir el costo asociado con la fibra de gabazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, Fernández, & Reyes. (2022). Periodo de desempeño de mezclas asfálticas prefabricadas almacenadas para actividades de parcheo en Bogotá D.C. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 32(1). <https://doi.org/10.18359/rcin.5294>
- Adrianzen, O., Azula, J., Pacherras, C., Rodríguez, E., & Muñoz, S. (2022). Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria. *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR*, 24(43). <https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.47931>
- Aliaga, & Bautista. (2023). *Uso de ceniza de gabazo de la caña de azúcar en mezclas asfálticas en caliente para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas*. Universidad Ricardo Palma. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/7261/T030_74967617_T%20ALIAGA%20QUISPE%2c%20YEFFERSON.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alonso, Morales, Garrido, Abreu, & Martínez. (2021). Determinación y zonificación del grado de desempeño de los asfaltos para Cuba según la metodología Superpave. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(2). <https://doi.org/10.14482/inde.38.2.620.19>
- Armas, v. (2019). *Determinación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de una planta papelera con fibra del gabazo de caña de azúcar*. Universidad Nacional Federico Villarreal. Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas. http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/3601/UNFV_ARMAS_RIOS_VICTOR%20SANTIAGO_T%c3%8dTULO%20PROFESIONAL_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barrera, Luna, & Patiño. (2017). *Análisis físico mecánico de una mezcla asfáltica modificada con tiras de geotextil de 5cm*. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/7f3215cc-cb99-487c-9449-69eac682c447/content>
- Bastidas, Sánchez, & Rondón. (2022). Evaluación de una mezcla asfáltica con incorporación de agregados reciclados de concreto tratados superficialmente con una solución química de

- sulfato de magnesio. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 32(1).
<https://doi.org/10.18359/rcin.4733>
- Bobadilla, Tigre, Tesen, & Muñoz. (2022). Uso de polímeros en asfalto: una revisión. *Gaceta Técnica*, 23(1). <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.7>
- Calva, L., & Muñoz, S. (2022). Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente incorporando escorias de acero. *Infraestructura Vial*, 24(43), 83-93.
<https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.48421>
- Camargo, Bermúdez, & Sarasti. (2021). *Análisis Comparativo de la Adición de Fibras de Polipropileno de Desechos de Tapabocas en una Mezcla Convencional Tipo MD-12 con Asfalto 60/70 de la Refinería de Barrancabermeja*. Universidad Católica de Colombia. Programa de Especialización en Ingeniería de Pavimentos.
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/b5fb1f96-5064-44f2-9135-22d877399586/content>
- Cárdenas, Vaca, Cote, & Flores. (2020). *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/347507151_ANALISIS_DE_MEZCLAS_ASFALTICAS_MODIFICADAS_CON_MATERIALES_DESECHABLES_ALTERNATIVOS_NO_CONVENCIONALES
- Castillo, G., Chavarry, J., Peralta, J., & Muñoz, S. (2021). *Ingeniería y sus Alcances, Revista de Investigación*, 5(13). <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i13.86>
- CEPSA. (2020). *Mezclas templadas de mejores prestaciones. Asfaltos*. Cepsa Comercial Petróleo S.A.U.
- Colucci. (2019). *Construcción, Colocación y Compactación Mezclas Asfálticas Tibias (WMA) y Calientes (HMA)*. Local & Tribal Technical Assistance Program.
- Esparza, C. (2009). *Medida de la resistencia a la tracción indirecta*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Ecuador.
- Garnica, Delgado, Gómez, Alonso, & Alarcón. (2014). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt246.pdf>

- Garnica, Flores, Gómez, & Delgado. (2015). *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas*. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>
- Garrote, E. (2020). *El ensayo de tracción directa*. Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3324/55872-9.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- Garzón, Lopera, & Chica. (2023). Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas modificadas con PET. *Universidad Católica de Colombia*. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/8449dc13-2825-4043-8003-8fbf8de24ef4/content>
- Gelí, M. (2021). *Mezcla asfáltica SMA, fibra, ceniza del gabazo de caña de azúcar y su desempeño mecánico*. Universidad Ricardo Palma. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/41116/T030_46338635_M%20%20%20MARIANO%20BRAVO%20GEL%c3%8d%20MELQUIADES.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gobierno de Argentina. (2019). *Guía de Buenas Prácticas para el Control de Calidad de Mezclas Asfálticas y Aplicaciones Bituminosas*. Vialidad Nacional.
- Jiménez, A. (2021). Análisis del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica modificada con fibra de bambú. *Infraestructura Vial*, 23(42). <https://doi.org/10.15517/iv.v23i42.44839>
- Karimah, A., Ridho, M., Munawar, S., Ismadi, Amin, Y., Damayanti, R., . . . Siengchin, S. (2021). Una revisión exhaustiva de las fibras naturales: aspectos tecnológicos y socioeconómicos. *Desarrollo de Materiales de Base Biológica: Síntesis, Caracterización y Aplicaciones*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/polígono13244280>
- Kotik, H. (2019). Fibras naturales y compuestos reforzados con fibras naturales: la motivación para su investigación y desarrollo. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(3). <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190003.0801>
- Largo, D. (2019). *Factibilidad técnica, económica y ambiental para el aprovechamiento de residuos sólidos en Chíquiza - Boyacá*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

- Larrauri, & Navarro. (2024). *Influencia del periodo de envejecimiento de mezclas asfálticas recicladas sobre la degradación escalonada de sus propiedades mecánicas - Huancayo - Junín*. Unviuersidad Continental. Facultad de Ingeniería.
- León, P., Maila, J., & Albuja, E. (2020). Influencia de aditivos (polímeros y polialuminio) en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 9(1). <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.1931>
- Li, Zhang, Fa, Zhang, Xiong, & Chen. (2020). Investigación sobre las características y propiedades de las fibras de gabazo: Comportamientos de las mezclas asfálticas con fibras de gabazo. *Construcción y Materiales de Construcción*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118648>
- López, J. (2020). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímeros provenientes de botellas pet recicladas*. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Estudios a Distancia - FAEDIS. <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/9581460e-d907-424a-bf34-99319c88328b/content>
- Mansor, Zainuddin, Aziz, Razali, & Joohari. (2020). Fibra de gabazo de caña de azúcar: un pavimento ecológico de SMA. *Research*, 1(2). <https://doi.org/10.1063/1.5062658>
- Mardones, Sánchez, Calabi, & Valdés. (2018). Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas. *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR*, 20(36), 15-24.
- Martínez, Zorzutti, Casaux, & Angelone. (2021). Determinación de las propiedades visco-elásticas de una mezcla templada con emulsión asfáltica. *Asfalto y Pavimentación*, 11(42), 43-54.
- Mera, E. (2019). *Los Próceres de Huandoy San Martin de Porres - Lima 2019*. Universidad César Vallejo. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53260>
- Meza, B. (2019). *Uso de la fibra de cabuya para el análisis del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en Caliente – 2019*. Universidad de Huancayo. Facultad de Ingeniería - Perú. <https://core.ac.uk/download/344709519.pdf>

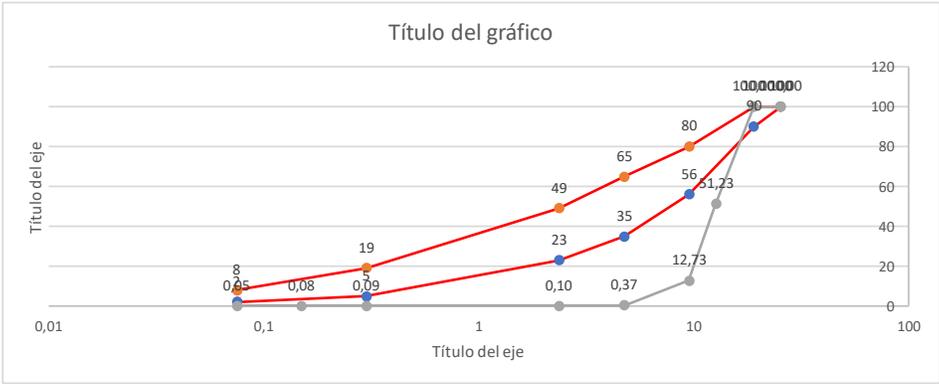
- Morales, & Rojas. (2019). *Fibra del gabazo de caña de azúcar para el mejoramiento de las propiedades mecánicas en una mezcla asfáltica*. Universidad de San Martín de Porres. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/5430>
- Murillo, C. (2020). *Viabilidad económica y financiera para la implementación de un tercer alimentador para patio de gabazo de propal P1*. Fundación Universitaria Católica- Lumen Gentium. Unidad de Posgrados y Educación Continua. <https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/784/FUCLG0016276.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nosetti, Bianchetto, & Flores. (2019). *Evaluación de mezclas asfálticas con ensayos de desempeño: Un caso real*. Asfalto y Pavimentos. <https://cpasfalto.com.ar/xxxix-reuniondelasfalto-trabajos/72%20-%20NOSETTI%20+%20ROGER.pdf>
- Osorio, Sierra, & Solano. (2018). *Influencia del grado de saturación en la resistencia de mezclas asfálticas en frío, modificadas con Rap*. Universidad de Piloto de Colombia. Programa de Ingeniería Civil. <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004838.pdf>
- Ospino, Tinoco, & Crespo. (2019). *Estructuras de pavimentos flexibles en las ciudades de Santa marta y Barranquilla entre los años 2012-2017*. Universidad Cooperativa de Colombia sede Santa Marta. Facultad de Ingeniería. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/5dada49e-ae39-4aa4-b10f-31adb343c796/content>
- Padilla, A. (2021). *Mezclas Asfálticas*. Universidad Nacional de Trujillo - Perú.
- Palma, Ortiz, Ávalos, & Castañeda. (2016). Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos. *AFINIDAD*, 73(574), 119-124.
- Pérez, García, Colás, Ortiz, & Crisen. (2020). Emulsiones modificadas para mezclas templadas de mejores prestaciones. *Asfalto y Pavimentos*, 10(3), 11-24.
- Pérez, Urrea, & Barahona. (2015). Deformaciones permanentes y fatiga en concreto asfáltico. *LACCEI Annual International Conference*, 13, 29-31.
- Pincay, & Alonso. (2022). Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con adición de zeolita natural . *Pol. Con.*, 7(9), 2444-2467. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i8>

- Polania, & Pérez. (2021). *Evaluación de las características mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente compactada a diferentes temperaturas*. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Especialización en Ingeniería en Pavimentos. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/a2894f02-727c-4162-9bad-9daa66c4d5b1/content>
- Quispe, G. (2021). *Humedad en climas fríos*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ingeniería Civil. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/77c35962-dbd6-4be2-86ef-39b4f027a51b/content>
- Raffo, C., & Calva, L. (2023) Mezclas asfálticas mediante la adición de aceite reciclado de motor. *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR*, 25(44). <https://doi.org/10.15517/iv.v25i44.55868>
- Rondón, J. (2021). *Envejecimiento de asfaltos y mezclas asfálticas: Revisión teórica*. Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Civil. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/42673/2021joserondon.pdf?sequence=7>
- Santo, & Leal. (2023). *Evaluación del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adiciones de pavimento asfáltico (RAP)*. Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería Civil. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/50140/2023danielcruz.pdf?sequence=11>
- Sarir.K. (2022). Evaluación del rendimiento de mezclas de hormigón asfáltico utilizando cenizas de gabazo como relleno. *Revista Iraní de Ciencia y Tecnología, Transacciones de Ingeniería Civil*, 46, 1553-1570. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00641-8>
- Suárez, & Varón. (2021). *Mezclas asfálticas no convencionales para procesos de pavimentación en frío y caliente*. Universidad Cooperativa de Colombia, Sede Villavicencio. Facultad de Ingeniería Civil. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/1558f0f3-2afd-4a1b-879c-dd265f98c7e1/content>

- TMFP (2021). *National Five Year Development Plan 2021/22 - 2025/26. Realisin Competitiveness and Industrialisation for Human Development*. República Unida de Tanzania. <https://www.tro.go.tz/wp-content/uploads/2021/06/FYDP-III-English.pdf#:~:text=URL%3A%20https%3A%2F%2Fwww.tro.go.tz%2Fwp>
- Vega, & Hernández. (2021). *Análisis de viabilidad económica y financiera para el empleo de mezclas modificadas con grano de caucho reciclado en la ciudad de Bogotá Localidad de Fontibón*. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/1096ff45-ccad-486c-ba3b-c696f50f678b/content>
- WIRTGEN GROUP. (2022). *Reducción de la huella de CO₂ en la producción de asfalto*. wirtgen-group.com: <https://www.wirtgen-group.com/es-ec/noticias-y-medios/benninghoven/sostenibilidad-en-la-produccion-de-asfalto/>
- Xie, Jia, Zhu, Liu, Li, & Huang. (2024). Investigación de la modificación de la superficie de las fibras de gabazo: rendimiento de los ligantes/mezclas asfálticas con fibras de gabazo. *Edificios*, 14(5), 1352. <https://doi.org/10.3390/buildings14051352>

ANEXOS

CÁLCULOS REALIZADOS EN LOS ENSAYOS

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS																																																																							
INFORME DE RESULTADOS																																																																								
TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"																																																																								
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE		TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL																																																																						
ENSAYO GRANULOMETRIA																																																																								
Tamaño Maximo Nominal 3/4 (19 mm)																																																																								
Agregado Grueso - Pieda 3/4																																																																								
<table border="1" data-bbox="451 821 1068 1171"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>W PARCIAL</th> <th>% RETENIDO</th> <th>% RET. ACUM.</th> <th>% QUE PASA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1"</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>3411,00</td><td>48,77</td><td>48,77</td><td>51,23</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>2693,00</td><td>38,50</td><td>87,27</td><td>12,73</td></tr> <tr><td>No 4</td><td>865,00</td><td>12,37</td><td>99,63</td><td>0,37</td></tr> <tr><td>No 8</td><td>19,00</td><td>0,27</td><td>99,90</td><td>0,10</td></tr> <tr><td>No 16</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>99,90</td><td>0,10</td></tr> <tr><td>No 30</td><td>0,01</td><td>0,00</td><td>99,91</td><td>0,09</td></tr> <tr><td>No 50</td><td>0,31</td><td>0,00</td><td>99,91</td><td>0,09</td></tr> <tr><td>No 100</td><td>0,69</td><td>0,01</td><td>99,92</td><td>0,08</td></tr> <tr><td>No 200</td><td>2,20</td><td>0,03</td><td>99,95</td><td>0,05</td></tr> <tr><td>FONDO</td><td>3,44</td><td>0,05</td><td>100,00</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>TOTAL</td><td>6994,65</td><td>100,00</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA	1"	0,00	0,00	0,00	100,00	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	1/2"	3411,00	48,77	48,77	51,23	3/8"	2693,00	38,50	87,27	12,73	No 4	865,00	12,37	99,63	0,37	No 8	19,00	0,27	99,90	0,10	No 16	0,00	0,00	99,90	0,10	No 30	0,01	0,00	99,91	0,09	No 50	0,31	0,00	99,91	0,09	No 100	0,69	0,01	99,92	0,08	No 200	2,20	0,03	99,95	0,05	FONDO	3,44	0,05	100,00	0,00	TOTAL	6994,65	100,00		
TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA																																																																				
1"	0,00	0,00	0,00	100,00																																																																				
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00																																																																				
1/2"	3411,00	48,77	48,77	51,23																																																																				
3/8"	2693,00	38,50	87,27	12,73																																																																				
No 4	865,00	12,37	99,63	0,37																																																																				
No 8	19,00	0,27	99,90	0,10																																																																				
No 16	0,00	0,00	99,90	0,10																																																																				
No 30	0,01	0,00	99,91	0,09																																																																				
No 50	0,31	0,00	99,91	0,09																																																																				
No 100	0,69	0,01	99,92	0,08																																																																				
No 200	2,20	0,03	99,95	0,05																																																																				
FONDO	3,44	0,05	100,00	0,00																																																																				
TOTAL	6994,65	100,00																																																																						
																																																																								
Analizado y calculado por: Ricardo Andres y Muñoz Bryan		Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																																																																						



UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

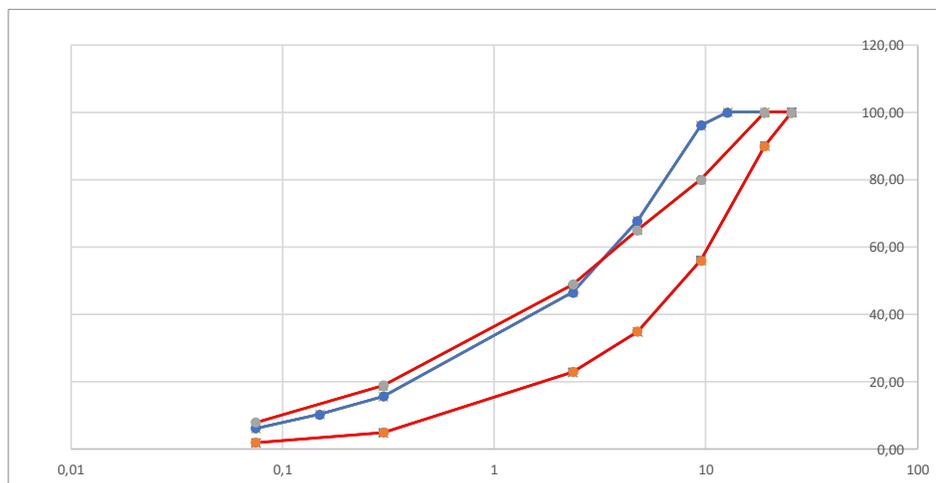
TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO GRANULOMETRIA

Tamaño Maximo Nominal 3/4 (19 mm)

Agregado Grueso - Cisco

TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA
1"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	271,00	3,88	3,88	96,12
No 4	1980,00	28,34	32,22	67,78
No 8	1486,00	21,27	53,49	46,51
No 16	967,00	13,84	67,33	32,67
No 30	608,00	8,70	76,03	23,97
No 50	575,00	8,23	84,26	15,74
No 100	376,00	5,38	89,65	10,35
No 200	286,00	4,09	93,74	6,26
FONDO	437,31	6,26	100,00	0,00
TOTAL	6986,31	100,00		



Analizado y calculado por:
 Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
 Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

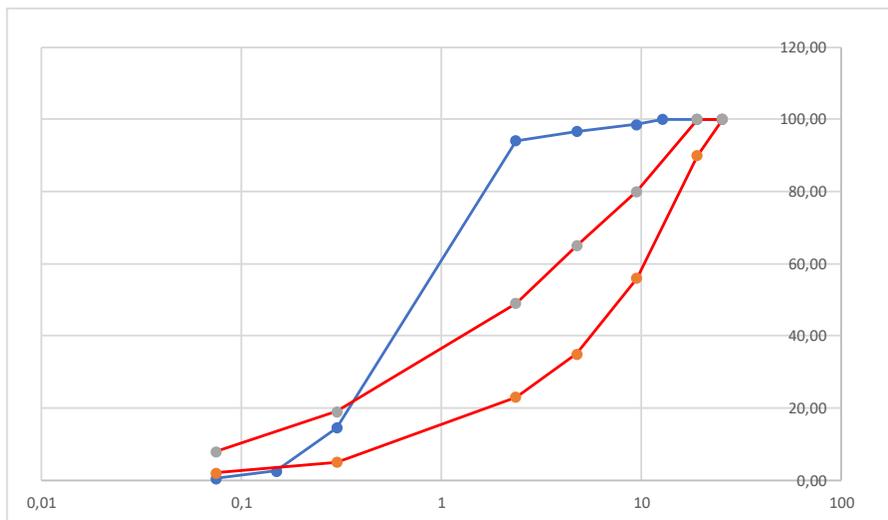
TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ
POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO GRANULOMETRIA

Tamaño Maximo Nominal 3/4 (19 mm)

Agregado Fino - Arena

TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% RET. ACUM.	% QUE PASA
1"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	27,77	1,40	1,40	98,60
No 4	38,18	1,92	3,31	96,69
No 8	52,03	2,62	5,93	94,07
No 16	80,51	4,05	9,98	90,02
No 30	201,06	10,11	20,08	79,92
No 50	1302,00	65,44	85,52	14,48
No 100	238,13	11,97	97,49	2,51
No 200	40,30	2,03	99,52	0,48
FONDO	9,60	0,48	100,00	0,00
TOTAL	1989,58	100,00		



Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO GRANULOMETRIA

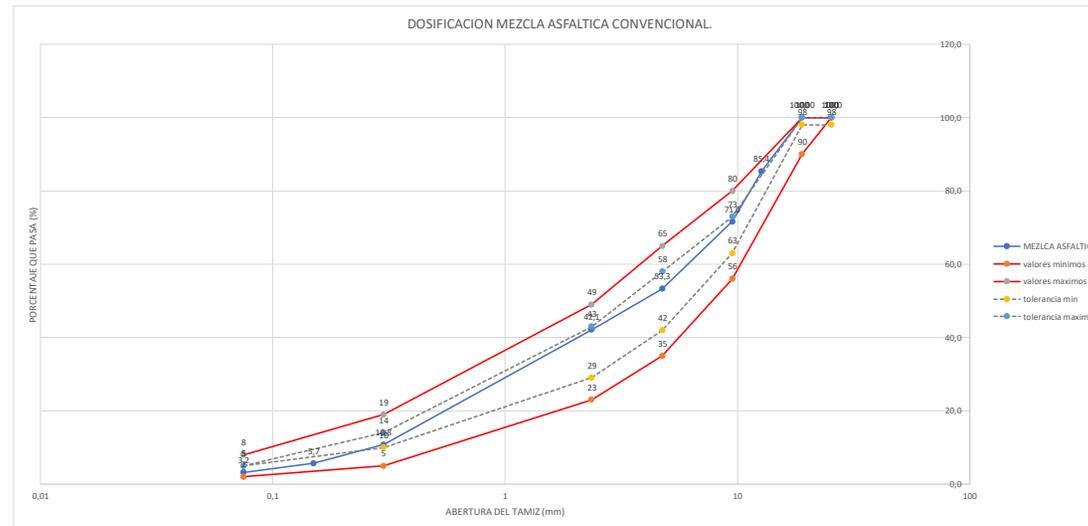
Tamaño Máximo Nominal 3/4 (19 mm)

Dosificación del material para mezcla asfáltica tradicional

c

AGREGADO		% PASANTES											Gsb	% Absorción
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200		
1	99,90492734	25,4	19,0	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15	0,075		
2	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,791	
3	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,472	

% agregados	Dosificación											gr	1200 gr para briquetas	300 gr para rice			
	30	20	50	100	3/4	1/2	3/8	N4	No.4	No.8	No.16				No.30	No.50	No.100	No.200
1	30	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	450,00	
2	20	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	300,00	
3	50	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	100	100	100-90		56-80	35-65	23-49		5-19		2-8						
Mezcla	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
3/4	X	X			X	X	X		X		X		X		X		
1/2			X	X	X	X	X		X		X		X		X		
3/8				X	X	X	X		X		X		X		X		
N4					X	X	X		X		X		X		X		



Analizado y calculado por:
 Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
 Ing. Daniel Campo Verde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE **TESISTAS:** RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Gs AGREGADO GRUESO (Piedra 3/4)	
W A ENSAYAR	5000
W SECO	4993
W DE CANASTILLA SUMERGIDA	1068,00
W SUPERFICIALMENTE SECO	5000,00
W CANAST. SUM+MATERIAL	4279,00
PESO DE LA MASA SUMERG.	3211,00
Gsb	2,79
A	4993
B	5000
C	3211

- A=** Peso en Aire del Agregado Secado al horno
B= Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco
C= Peso del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua
Gsb= Gravedad Especifica neta del Agregado
Gssb= Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk
Gsa= Gravedad Especifica Seca aparente
% Abs= Porcentaje de Absorción

Ecuacioness	Resultados
$Gsb = \frac{A}{B - C}$	2,791
$Gssb = \frac{B}{B - C}$	2,795
$Gsa = \frac{A}{A - C}$	2,802
$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	0,14

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE **TESISTAS:** RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Gs AGREGADO GRUESO (Piedra Cisco)	
W A ENSAYAR	5000
W SECO	4845
W DE CANASTILLA SUMERGIDA	1068
W SUPERFICIALMENTE SECO	5000
W CANAST. SUM+MATERIAL	4052
PESO DE LA MASA SUMERG.	2984
Gsb	2,40
A	4845
B	5000
C	2984

- A=** Peso en Aire del Agregado Secado al horno
B= Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco
C= Peso del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua
Gsb= Gravedad Especifica neta del Agregado
Gssb= Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk
Gsa= Gravedad Especifica Seca aparente
% Abs= Porcentaje de Absorción

Ecuacioness	Resultados
$Gsb = \frac{A}{B - C}$	2,403
$Gssb = \frac{B}{B - C}$	2,480
$Gsa = \frac{A}{A - C}$	2,603
$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	3,2

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE **TESISTAS:** RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Gs AGREGADO FINO (Piedra Cisco)	
A	495 gr
B	663,9 gr
C	969,8 gr
D	500 gr

- A=** Peso en Aire del Agregado Secado al horno
- B=** Peso del matraz con agua
- C=** Peso del matraz con Agregado y Agua hasta la marca
- D=** Peso del material superficialmente seco
- Gsb=** Gravedad Especifica neta del Agregado
- Gssb=** Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk
- Gsa=** Gravedad Especifica Seca aparente
- % Abs=** Porcentaje de Absorción

Ecuacioness	Resultados	
$Gsb = \frac{A}{B + D - C}$	2,55	gr/cm ³
$Gssb = \frac{D}{B + D - C}$	2,580	gr/cm ³
$Gsa = \frac{A}{B + A - C}$	2,618	gr/cm ³
$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	1,01	%
Gsb Real	47%	1,2 gr/cm³

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE **TESISTAS:** RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Gs AGREGADO FINO (Arena)	
A	489 gr
B	659,6 gr
C	966,1 gr
D	500 gr

- A=** Peso en Aire del Agregado Secado al horno
- B=** Peso del matraz con agua
- C=** Peso del matraz con Agregado y Agua hasta la marca
- D=** Peso del material superficialmente seco
- Gsb=** Gravedad Especifica neta del Agregado
- Gssb=** Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk
- Gsa=** Gravedad Especifica Seca aparente
- % Abs=** Porcentaje de Absorción

Ecuacioness	Resultados	
$Gsb = \frac{A}{B + D - C}$	2,527	gr/cm ³
$Gssb = \frac{D}{B + D - C}$	3,410	gr/cm ³
$Gsa = \frac{A}{B + A - C}$	2,679	gr/cm ³
$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	2,25	%

Analizado y calculado por:
 Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
 Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE TESISISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

G_{sb} gravedad específica bulk de la combinación de agregados

P_1, P_2, P_n porcentajes individuales por peso del agregado

G_1, G_2, G_n gravedad específica bulk individual del agregado.

AGREGADO	%	Gs
PIEDRA 3/4	30	2,79
PIEDRA ZISCO	50	2,47
ARENA GRUESA	20	2,53
TOTAL DE LA MEZCLA	100	

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: “EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL”

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ
POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO DE ABRASION LOS ANGELES

ABERTURA				METODO			
PASA TAMIZ		RETENIDO EN TAMIZ		A	B	C	D
N°	“mm”	N°	“mm”	Cantidad de material a emplear			
1 1/2	37,50	1	25,00	1250+2 5			
1	25,00	¾	19,00	1250+2 5			
3/4	19,00	½	12,50	1250+2 5	2500+1 0		
1/2	12,50	3/8	9,50	1250+2 5	2500+1 0		
3/8	9,50	1/4	6,25			2500+1 0	
1/4	6,25	N°4	4,76			2500+1 0	
N°4	4,75	N8	2,38				5000+1 0
Total				5000+1 0	5000+1 0	5000+1 0	5000+1 0
Numero de Esferas				12	11	8	6
Numero de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo en Rotación en “min”				15	15	15	15

$$\% \text{ Desg.} = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} * 100$$

Material	Piedra 3/4
Metodo	B
W inicial	5001
W final	4557
% Desgaste	8,88

Material	Cisco
Metodo	B
W inicial	5001
W final	4557
% Desgaste	8,88

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACION DE PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CANA DE AZUCAR, MEDIANTE METODOLOGIA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

CARACTERISTICAS DE UNA MEZCLA TRADICIONAL

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			G _{mb} (A _{SSS} -Ag)	G _{se}	ENSAYO				%P _{ta}	P _{te}	VMA	VFA	ESTABILIDAD - LB			FLUJO 6.01*	Volumen
		SECA EN AIRE	S. S. S. EN AIRE	EN AGUA			RICE	agregado	Vacios de Aire	Asfalto					Factor de corrección	MEDIDA	CORREGIDA		
a	b	c	d	e	G _{mb}	G _{se}	G _{mm}	V _{oh}	V _a	V _{bc}	r	s	t	u	v	w	x	y	z
1		1.192,3	1.206,3	694,2	2.328										1	2177,0	2177,0	9	512,1
2		1.194,2	1.205,2	692,5	2.329										1	2197,5	2197,5	9	512,7
3		1.192,4	1.210,6	693,3	2.305										1	2234,4	2234,4	10	517,3
Promedio	4,50				2,321	2,623	2,45	86,189	5,193	8,617	0,767	3,767	13,811	62,396			2187,3	10	
1		1.197,4	1.202,3	690,2	2.338										1	2289,9	2289,9	10	512,1
2		1.202,3	1.207,6	694,3	2.342										1	2299,8	2299,8	10	513,3
3		1.200,8	1.205,1	692,9	2.344										1	2349,0	2349,0	11	512,2
Promedio	5,00				2,342	2,645	2,45	86,506	4,344	9,150	1,090	3,964	13,494	67,807			2294,9	10	
1		1.193,2	1.196,4	689,0	2.352										1,04	2411,2	2507,6	11	507,4
2		1.197,0	1.199,5	693,2	2.364										1,04	2452,0	2550,0	12	506,3
3		1.202,3	1.204,5	693,8	2.354										1	2532,0	2532,0	13	510,7
Promedio	5,50				2,357	2,660	2,44	86,603	3,494	9,903	1,309	4,263	13,397	73,918			2528,8	11,7	
1		1.193,4	1.195,4	691,0	2.366										1,04	2752,4	2862,5	13	504,4
2		1.201,3	1.202,1	692,1	2.355										1	2548,1	2548,1	13	510,0
3		1.197,2	1.202,0	699,0	2.380										1,04	2686,5	2794,0	13	503,0
Promedio	6,00				2,367	2,668	2,43	86,530	2,590	10,880	1,422	4,663	13,470	80,773			2705,3	13,0	
1		1.194,4	1.194,8	690,0	2.366										1,04	2558,2	2660,5	14	504,8
2		1.196,1	1.196,6	691,2	2.367										1,04	2593,7	2697,5	14	505,4
3		1.209,8	1.210,1	696,0	2.353										1	2634,5	2634,5	14	514,1
Promedio	6,5				2,362	2,680	2,42	85,880	2,450	11,670	1,591	5,013	14,120	82,649			2679,0	13,8	
1		1.193,5	1.193,8	689,3	2.366										1,04	2399,5	2495,5	14	504,5
2		1.196,1	1.198,6	686,2	2.334										1,04	2360,0	2454,4	15	512,4
3		1.209,8	1.210,1	689,5	2.324										1,04	2447,1	2545,0	14	520,6
Promedio	7,0				2,341	2,669	2,40	84,672	2,251	13,077	1,434	5,666	15,328	85,314			2474,9	14,3	

BRIQUETA	ESTABILIDAD		0,25 mm		
	Kg	Lb	lectura dial	flujo	
4,5	1	987,5	2177,04	2,225	8,90
	2	996,8	2197,55	2,3	9,20
	3	1013,5	2234,36	2,6	10,40
5,0	1	1038,7	2289,92	2,500	10,00
	2	1043,2	2299,84	2,5	10,00
	3	1065,5	2349,00	2,75	11,00
5,5	1	1093,7	2411,17	2,75	11,00
	2	1112,2	2451,96	2,875	11,50
	3	1148,5	2531,98	3,125	12,50
6,0	1	1248,5	2752,44	3,225	12,90
	2	1155,8	2548,08	3,3	13,20
	3	1218,6	2686,53	3,25	13,00
6,5	1	1160,4	2558,22	3,45	13,80
	2	1176,5	2593,71	3,38	13,50
	3	1195,0	2634,50	3,50	14,00
7,0	1	1088,4	2399,49	3,58	14,30
	2	1070,5	2360,02	3,63	14,50
	3	1110,0	2447,11	3,53	14,10

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO DE RICE MEZCLA ASFALTICA TRADICIONAL

$$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}$$

G_{mm}= Gravda Especifica Teorica Maxima
A= Peso en Aire de la Mezcla Asfalica
B= Peso del Picnometro lleno de Agua
C= Peso del Picnometro lleno de Agua y Mezcla Asfalica

PUNTO	4,50%	
W recip	149	gf
W recip+muestra	2149	gf
Wmuestra	2000	gf
Wpicnom+agua	7407	gf
Wmuestra+recip+agua	8590	gf
G _{mm}	2,45	

PUNTO	5,00%	
W recip	157	gf
W recip+muestra	2157	gf
Wmuestra	2000	gf
Wpicnom+agua	7407	gf
Wmuestra+recip+agua	8590	gf
G _{mm}	2,45	

PUNTO	5,50%	
W recip	144,00	gf
W recip+muestra	2144,00	gf
Wmuestra	2000,00	gf
Wpicnom+agua	7407,00	gf
Wmuestra+recip+agua	8588,00	gf
G _{mm}	2,44	

PUNTO	6,00%	
W recip	153	gf
W recip+muestra	2153	gf
Wmuestra	2000	gf
Wpicnom+agua	7407	gf
Wmuestra+recip+agua	8584	gf
G _{mm}	2,43	

PUNTO	6,50%	
W recip	242	gf
W recip+muestra	2242	gf
Wmuestra	2000	gf
Wpicnom+agua	7407	gf
Wmuestra+recip+agua	8581	gf
G _{mm}	2,42	

PUNTO	7,00%	
W recip	186	gf
W recip+muestra	2186	gf
Wmuestra	2000	gf
Wpicnom+agua	7407	gf
Wmuestra+recip+agua	8572	gf
G _{mm}	2,40	

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



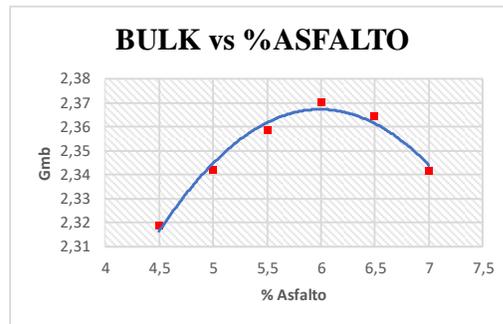
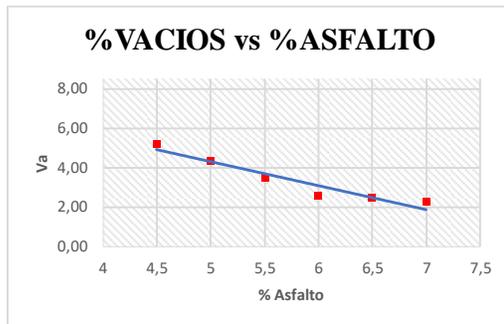
INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

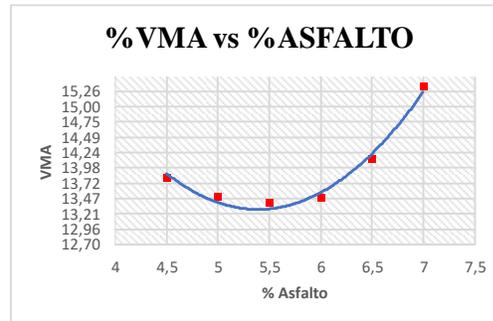
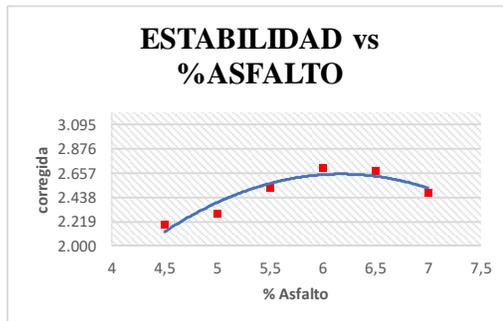
TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ
 POZO BRYAN ARIEL

PARAMETROS DE DISEÑO SEGÚN MTOP PARA MEZCLA ASFALTICA TRADICIONAL



% OPTIMO ASFALTO 5,2

Gmb 2,35



Estabilidad 2458,642

% VMA

Analizado y calculado por:
 Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
 Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



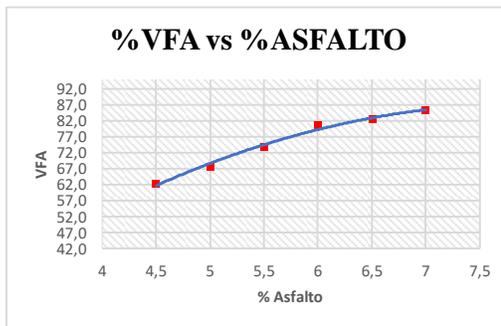
INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

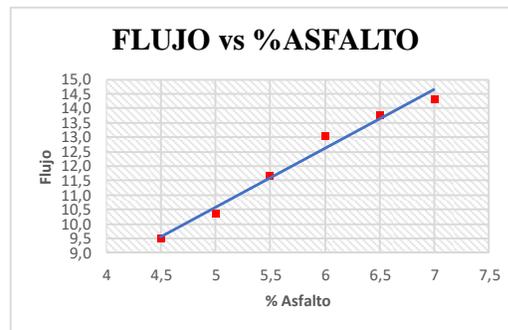
TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ
POZO BRYAN ARIEL

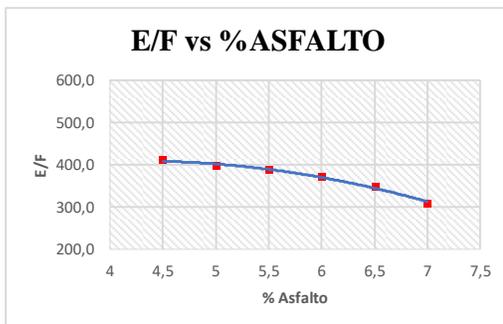
PARAMETROS DE DISEÑO SEGÚN MTOP PARA MEZCLA ASFALTICA TRADICIONAL



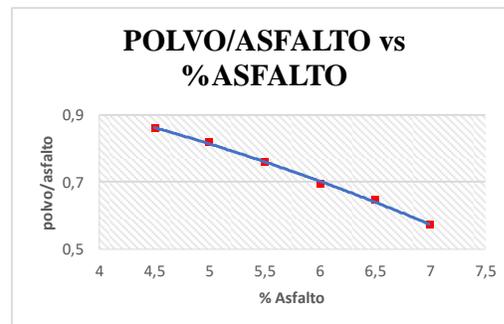
% VFA 72,084



Flujo 2,35



E/F 390,51



POLVO/ASFALTO 0,777

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



INFORME DE RESULTADOS
 TEMA: "EVALUACION DE PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CANA DE AZUCAR, MEDIANTE METODOLOGIA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO GRANULOMETRIA

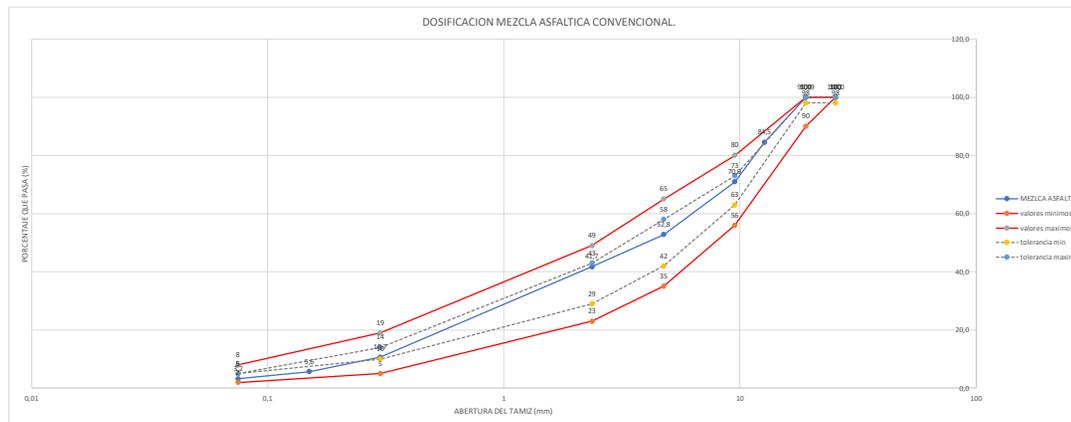
Tamaño Maximo Nominal 3/4 (19 mm)

Dosificación del material para mezcla asfáltica modificada incluyendo 1% de gabazo de sala de azucar

c

AGREGADO	% PASANTES											Gsb	% Absorción
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200		
1 MATERIAL 3/4	25.4	19.0	12.7	9.5	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075		
2 ARENA NATURAL	100	100	100.00	98.60	96.69	94.07	90.02	79.92	14.48	2.51	0.48	2.472	
3 CISCO	100	100	100	96.12	67.78	46.51	32.67	23.97	15.74	10.35	6.26	2.527	
4 GABAZO DE CAÑA	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

% agregados	Dosificación											gr	1500.00	1200 gr para briquetas 300 gr para ríce
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200			
1 29.7	29.70	29.70	15.22	3.78	0.11	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	445.54		
2 19.8	19.80	19.80	19.80	19.53	19.15	18.63	17.83	15.83	2.87	0.50	0.10	297.03		
3 49.5	49.50	49.50	49.50/49.05	47.88	33.55	23.02	16.17	11.86	7.79	5.13	3.10	742.57		
2 1	0.98	0.98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.83		
100	100	100.00		56.80	35.65	23.49		3.19		3.28				
Mezcla	100.0	100.0	84.5	70.9	52.8	41.7	34.0	27.7	10.7	5.6	3.2			
3/4	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			TMN
1/2		^	^	^	^	^	^	^	^	^	^			
3/8			X	X	X	X	X	X	X	X	X			
N4														



Analizado y calculado por:
 Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
 Ing. Daniel Campo Verde Msc.



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACION DE PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CANA DE AZUCAR, MEDIANTE METODOLOGIA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO GRANULOMETRIA

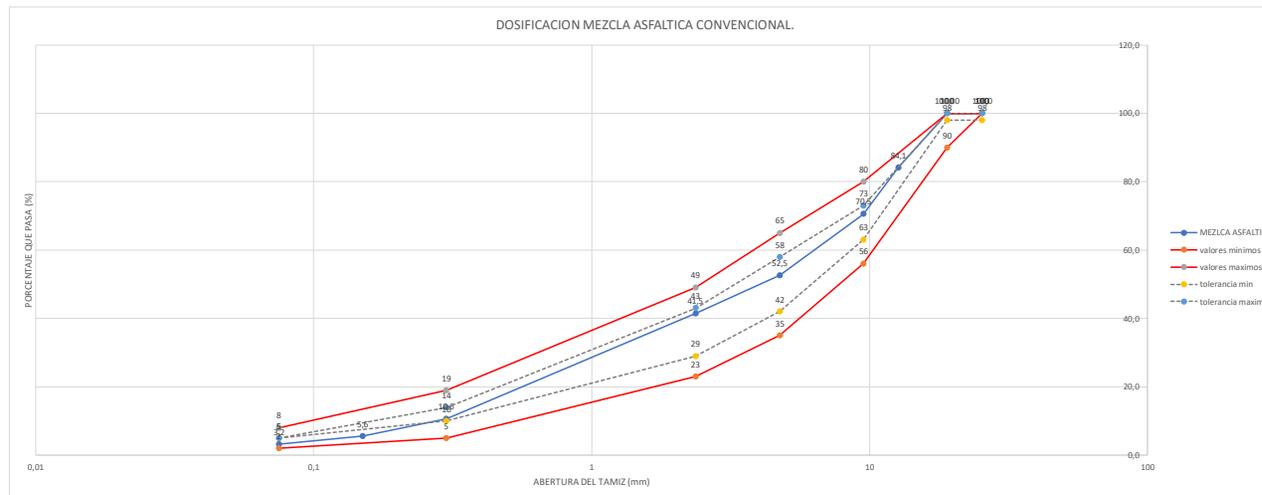
Tamaño Máximo Nominal 3/4 (19 mm)

Dosificación del material para mezcla asfáltica modificada incluyendo 1,5% de gabazo de caña de azúcar

c

AGREGADO	% PASANTES												Gsb	% Absorción	
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200				
1 MATERIAL 3/4	25,4	19,0	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15	0,075				
2 ARENA NATURAL	100	100,00	51,23	12,73	0,37	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,05	0,05	2,791		
3 CISCO	100	100	100,00	98,60	96,69	94,07	90,02	79,92	14,48	2,51	0,48	0,48	2,472		
4 GABAZO DE CAÑA	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,26	2,527	

	% agregados	Dosificación											P	1500,00	1200 gr para briquetas 300 gr para rice
		29,56	29,56	15,14	3,76	0,11	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	443,35			
1	29,56	29,56	19,7044335	19,70	19,05	18,54	17,74	15,75	2,85	0,49	0,10	295,57			
2	49,26	49,26	49,26108374	49,26108374	47,35	33,39	22,91	16,09	11,81	7,75	5,10	3,08	738,92		
2	1,5	1,48	1,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,17			
	100	100	100-90	56-80	35-65	23-49		5-19		2-8					
Mezcla	100,0	100,0	84,1	70,5	52,5	41,5	33,9	27,6	10,6	5,6	3,2				
3/4	✓	✓		✓	✓	✓		✓							TMN
3/8			✗	✗	✗	✗		✓							
N4				✗	✗	✗			✓	✓	✓				





INFORME DE RESULTADOS
TEMA: "EVALUACION DE PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CANA DE AZUCAR, MEDIANTE METODOLOGIA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

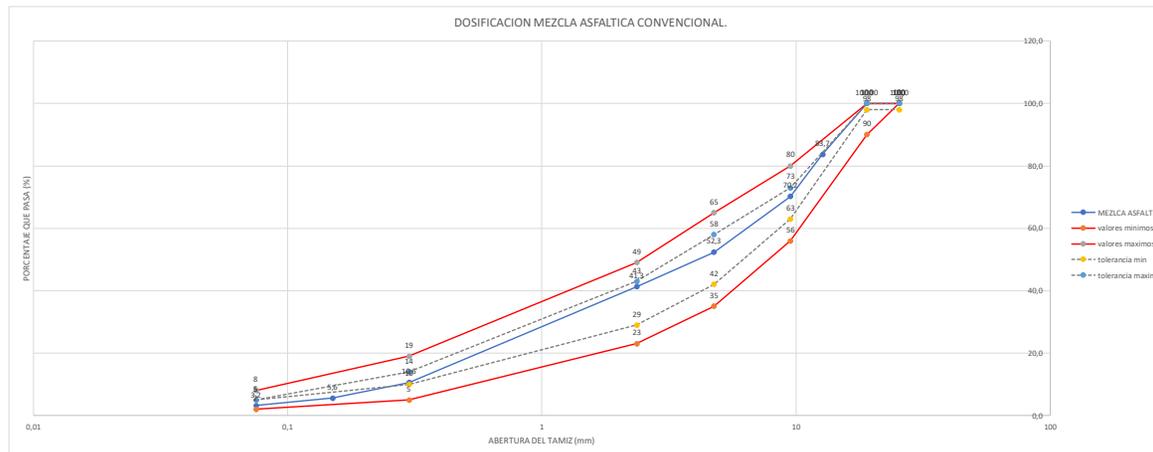
ENSAYO GRANULOMETRIA

Tamaño Máximo Nominal 3/4 (19 mm)

Dosificación del material para mezcla asfáltica modificada incluyendo 2% de gabazo de caña de azucar

AGREGADO	% PASANTES											Gsb	% Absorción
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200		
1 MATERIAL 3/4	100	100,00	51,23	12,73	0,37	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,05	2,791	
2 ARENA NATURAL	100	100	100,00	98,60	96,69	94,07	90,02	79,92	14,48	2,51	0,48	2,472	
3 CISCO	100	100	100	96,12	67,78	46,51	32,67	23,97	15,74	10,35	6,26	2,527	
4 GABAZO DE CAÑA	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

% agregados	Dosificación											P	1500,00	1200 gr para briquetas 300 gr para rice
	29,41	29,41	15,07	3,75	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01			
1	29,41	29,41	15,07	3,75	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	441,18		
2	19,61	19,61	19,60784314	19,61	19,33	18,96	18,45	17,65	15,67	2,84	0,49	294,12		
3	49,02	49,02	49,01960784	49,01960784	47,12	33,23	22,80	16,01	11,75	7,71	5,08	3,07	735,29	
2	2	1,96	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,41	
100	100	100,90		56,80	35,65	23,49			5,19		2,8			
Mezcla	100,0	100,0	83,7	70,2	52,3	41,3	33,7	27,4	10,6	5,6	3,2			
3/4	✓	✓		✓	✓	✓		✓						
1/2		✓		✓	✓	✓		✓						
3/8			X	X	X	✓		✓						
N4				X	X	X		✓						



Analizado y calculado por:
 Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
 Ing. Daniel Campo Verde Msc.



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO GRANULOMETRÍA

Tamaño Máximo Nominal 3/4 (19 mm)

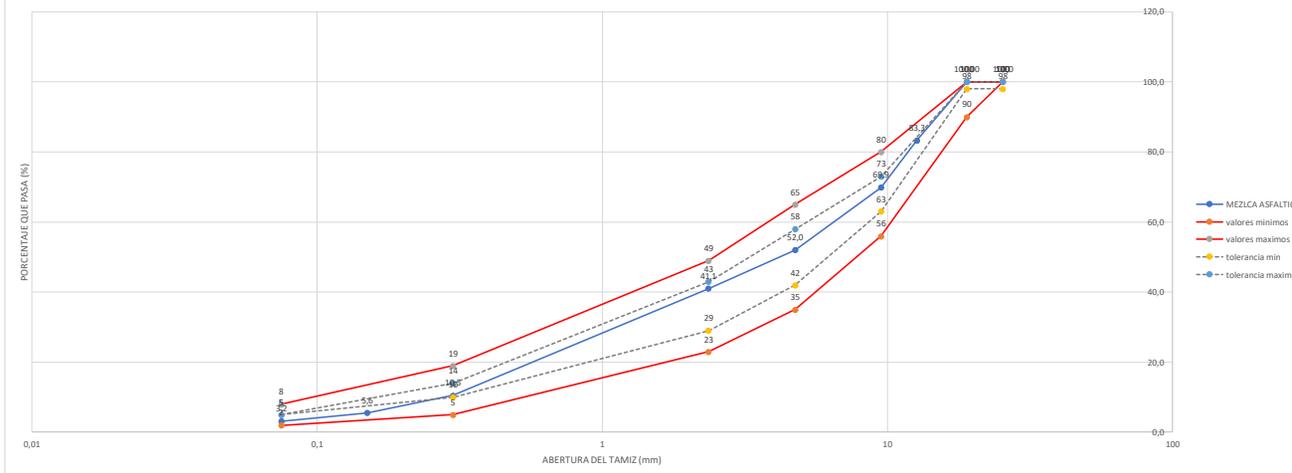
Dosificación del material para mezcla asfáltica modificada incluyendo 2,5% de gabazo de sala de azucar

c

AGREGADO	% PASANTES												Gsb	% Absorción
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200			
1 MATERIAL 3/4	100	100,00	51,23	12,73	0,37	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,05	2,791		
2 ARENA NATURAL	100	100	100,00	98,60	96,69	94,07	90,02	79,92	14,48	2,51	0,48	2,472		
3 CISCO	100	100	100	96,12	67,78	46,51	32,67	23,97	15,74	10,35	6,26	2,327		
4 GABAZO DE CAÑA	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			

% agregados	Dosificación												gr	1500,00	1200 gr para briquetas 300 gr para rice
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200				
1 29,27	29,27	29,27	15,00	3,73	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	439,02			
2 19,51	19,51	19,51	19,51	19,24	18,87	18,36	17,57	15,59	2,82	0,49	0,09	292,68			
3 48,78	48,78	48,78	48,78	46,89	33,06	22,69	15,94	11,69	7,68	5,05	3,05	731,71			
2 2,5	2,44	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,59			
100	100	100	83,3	69,9	52,0	41,1	33,5	27,3	10,5	5,6	3,2				
Mezcla	100,0	100,0	83,3	69,9	52,0	41,1	33,5	27,3	10,5	5,6	3,2				
3/4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
1/2		✓	△	△	△	△	△	△	△	△	△			TMN	
3/8			×	×	×	×	×	×	×	×	×				
N4				×	×	×	×	×	×	×	×				

DOSIFICACION MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL.



Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campo Verde Msc.



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

ENSAYO GRANULOMETRÍA

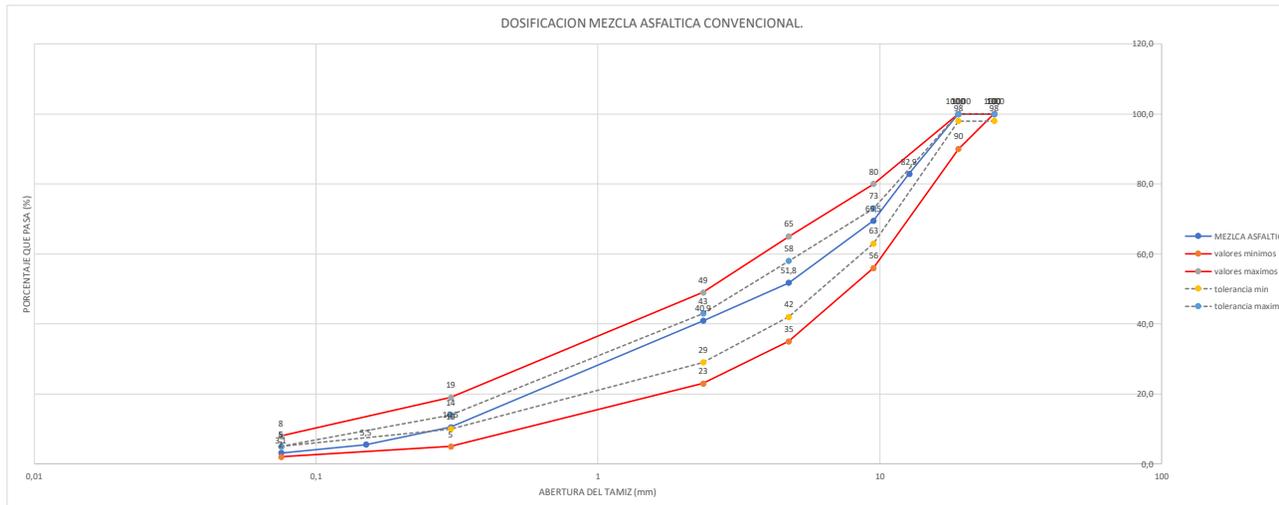
Tamaño Máximo Nominal 3/4 (19 mm)

Dosificación del material para mezcla asfáltica modificada incluyendo 3% de gabazo de xala de azúcar

c

AGREGADO	% PASANTES												Gsb	% Absorción
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200			
1 MATERIAL 3/4	100	100,00	51,23	12,73	9,5	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15	0,075		
2 ARENA NATURAL	100	100	100,00	98,60	96,69	94,07	90,02	79,92	14,48	2,51	0,48	0,05	2,791	
3 CISCO	100	100	100	96,12	67,78	46,51	32,67	23,97	15,74	10,35	6,26	0	2,472	
4 GABAZO DE CAÑA	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,527	

#	% agregados	Dosificación										g	1500,00	1200 gr para briquetas 300 gr para rice
		29,13	29,13	14,92	3,71	0,11	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01			
1	29,13	29,13	19,42	14,92	3,71	0,11	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	436,89		
2	19,42	19,42	19,41747573	19,42	19,15	18,77	18,27	17,48	15,52	2,81	0,49	291,26		
3	48,54	48,54	48,54368932	48,54368932	46,66	32,90	22,58	15,86	11,63	7,64	5,03	3,04	728,16	
2	3,0	2,91	2,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,69		
100	100	100	100,90	82,9	56,80	35,65	23,49	19	5	19	2	8		
Mezcla	100,0	100,0	100,0	82,9	69,5	51,8	40,9	33,4	27,2	10,5	5,5	3,1		
3/4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	TMN	
1/2			✓	△	△	△	△	△	△	△	△	△		
3/8				X	X	X	X	X	X	X	X	X		
N4					X	X	X	X	X	X	X	X		



Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



INFORME DE RESULTADOS
TEMA: "EVALUACION DE PROPIEDADES MECANICAS DE MEZCLAS ASFALTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZUCAR, MEDIANTE METODOLOGIA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

CARACTERISTICAS DE UNA MEZCLA MODIFICADA INCLUYENDO GABAZO DE CAÑA DE AZUCAR

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			Gmb (AISSS-Ag)	Gse	ENSAYO				%Pw	Pbc	VMA	VFA	ESTABILIDAD - LB			FLUJO 0.01"	Volumen
		SECA EN AIRE	S. S. EN AIRE	EN AGUA			RICE	% en volúmenes							Factor de corrección	MEDIDA	CORREGIDA		
		Gsb	Gsb	Gsb				agregado	Vacios de Aire	Asfalto									
1	1%	1.197,8	1.203,8	683,6	2.316	2,635	2,43	85,303	4,897	9,800	0,953	4,297	14,697	66,680	1	2624,7	2624,7	10	520,2
2		1.189,7	1.202,9	689,3											1	2423,9	2423,9	11	513,6
3		1.195,8	1.202,5	687,7											1	2216,1	2216,1	11	514,8
Prmedio	5,20			2.324												2524,3	11		
1	1,50%	1.198,3	1.203,5	684,6	2.319	2,624	2,42	85,559	4,263	10,178	0,792	4,449	14,441	70,478	1	2874,0	2874,0	11	518,9
2		1.197,7	1.201,9	685,8											1	2624,7	2624,7	12	516,1
3		1.198,3	1.202,4	688,7											1	2804,8	2804,8	11	513,7
Prmedio	5,20			2.321												2749,3	11		
1	2%	1.196,8	1.203,2	685,5	2.312	2,610	2,41	85,667	3,678	10,655	0,578	4,652	14,333	74,339	1	2908,6	2908,6	11	517,7
2		1.199,5	1.198,2	683,6											1	2839,4	2839,4	12	514,6
3		1.197,9	1.201,1	686,7											1	2756,3	2756,3	12	514,4
Prmedio	5,20			2.324												2874,0	11,7		
1	2,50%	1.199,3	1.200,2	683,5	2.321	2,599	2,40	85,505	3,512	10,983	0,418	4,804	14,495	75,769	1	2860,2	2860,2	12	516,7
2		1.198,7	1.203,3	686,3											1	2894,8	2894,8	13	517,0
3		1.196,4	1.201,2	685,2											1	2908,6	2908,6	12	516,0
Prmedio	5,20			2.319												2877,5	12,3		
1	3%	1.198,4	1.202,6	685,5	2.318	2,585	2,39	85,378	3,193	11,430	0,204	5,007	14,622	78,167	1	2763,2	2763,2	12	517,1
2		1.195,5	1.201,3	689,7											1	2839,4	2839,4	13	511,6
3		1.196,1	1.201,1	679,6											1	2846,3	2846,3	13	521,5
Prmedio	5,20			2.316												2801,3	12,7		

% de gabazo	BRIQUETA	ESTABILIDAD		0,25 mm		
		Kg	Lb	lectura dial	flujo	
1,0%	5,2	1	1190,6	2624,69	2,5	10
		2	1099,5	2423,86	2,75	11
		3	1005,2	2216,10	2,75	11
1,5%	5,2	1	1303,6	2874,00	2,75	11
		2	1190,6	2624,69	3	12
		3	1272,2	2804,75	2,75	11
2,0%	5,2	1	1319,3	2908,63	2,75	11
		2	1287,9	2839,38	3	12
		3	1250,2	2756,27	3	12
2,5%	5,2	1	1297,4	2860,15	3	12
		2	1313,1	2894,78	3,25	13
		3	1319,3	2908,63	3	12
3,0%	5,2	1	1253,4	2763,20	3	12
		2	1287,9	2839,38	3,25	13
		3	1291,1	2846,30	3,25	13

Analizado y calculado por:
 Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
 Ing. Daniel Campo Verde Msc.



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO
 BRYAN ARIEL

ENSAYO DE RICE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA INCLUYENDO GABAZO DE CAÑA DE AZUCAR

$$Gmm = \frac{A}{A + B - C}$$

Gmm= Gravrda Especifica Teorica Maxima
 A= Peso en Aire de la Mezcla Asfaltica
 B= Peso del Picnometro lleno de Agua
 C= Peso del Picnometro lleno de Agua y Mezcla Asfaltica

PUNTO	1,00%	
W recip	170	gr
W recip+muestra	2170	gr
Wmuestra	2000	gr
Wpicnom+agua	7407	gr
Wmuestra+recip+agua	8585	gr
Gmm	2,433	

PUNTO	1,50%	
W recip	157	gr
W recip+muestra	2157	gr
Wmuestra	2000	gr
Wpicnom+agua	7407	gr
Wmuestra+recip+agua	8582	gr
Gmm	2,424	

PUNTO	2,00%	
W recip	144	gr
W recip+muestra	2144	gr
Wmuestra	2000	gr
Wpicnom+agua	7407	gr
Wmuestra+recip+agua	8578	gr
Gmm	2,413	

PUNTO	2,50%	
W recip	153	gr
W recip+muestra	2153	gr
Wmuestra	2000	gr
Wpicnom+agua	7407	gr
Wmuestra+recip+agua	8575	gr
Gmm	2,404	

PUNTO	3,00%	
W recip	242	gr
W recip+muestra	2242	gr
Wmuestra	2000	gr
Wpicnom+agua	7407	gr
Wmuestra+recip+agua	8571	gr
Gmm	2,392	

Analizado y calculado por:
 Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
 Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

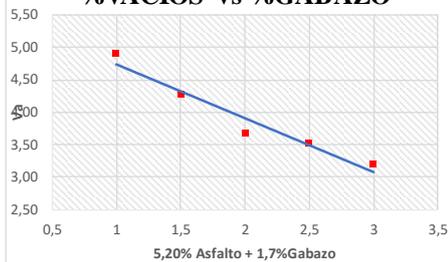
TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRÉS WILFRIDO - MUÑOZ
POZO BRYAN ARIEL

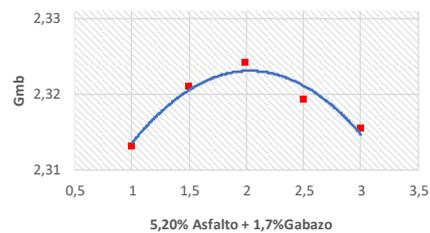
PARAMETROS DE DISEÑO SEGÚN MTOP PARA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA

%VACIOS vs %GABAZO



% Va 4,03

BULK vs %GABAZO



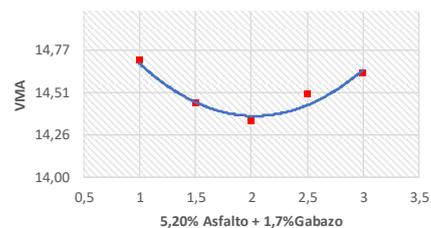
Gmb 2,32

ESTABILIDAD vs %GABAZO



Estabilidad 2799,210

%VMA vs %GABAZO



% VMA 14,3978906

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



INFORME DE RESULTADOS

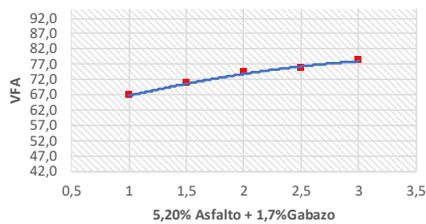
TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

TESISTAS: RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ
POZO BRYAN ARIEL

PARAMETROS DE DISEÑO SEGÚN MTOP PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

%VFA vs %GABAZO



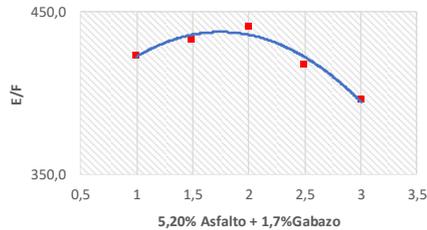
% VFA 72,022

FLUJO vs %Gabazo



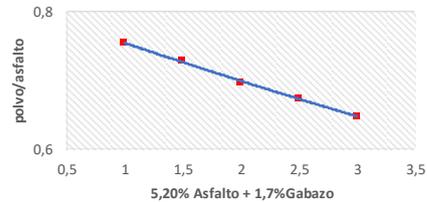
Flujo 11,47

E/F vs %GABAZO



E/F 436,27

POLVO/ASFALTO vs %GABAZO



POLVO/ASFALTO 0,716

Analizado y calculado por:
Ricardo Andres y Muñoz Bryan

Revisado por:
Ing. Daniel Campoverde Msc.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE **TESISTAS:** RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

EVALUACIÓN DE DAÑO POR HÚMEDAD- ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA- MECLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

"NORMA ASTM D 4867- AASHTO T 283"

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)	6,41	6,42	6,53	6,4	6,42	6,51
Diámetro(cm)	10,17	10,18	10,3	10,16	10,18	10,28
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1195,9	1196,8	1204,9	1197,9	1198,5	1201,6
Peso SSS (g)	1201,7	1202,6	1210,9	1201,3	1203,4	1204,8
Peso Sumergido (g)	687,2	688,8	694,6	685,7	687,2	689,6
Volumen (cm3)	514,5	513,8	516,3	515,6	516,2	515,2
Gravedad Bulk "Gmb" 25°C	2,32	2,33	2,33	2,32	2,32	2,33
Gravedad Teórica Máxima "Gt"	2,489	2,489	2,489	2,489	2,489	2,489
% de vacíos en la Mezcla	6,61	6,42	6,24	6,66	6,72	6,30
Índice de vacíos en la Mezcla	34,03	32,96	32,21	34,32	34,68	32,44
SATURACIÓN AL VACÍO (BOMBA DE VACÍO)						
Peso SSS (g)	1206,8	1207,3	1214,4			
Peso Sumergido (g)	688,5	689,3	695,7			
Volumen (cm3)	518,3	518	518,7			
Volumen de Agua Absorbida (g)	10,9	10,5	9,5			
% Saturación	32,03	31,85	29,49			
% Expansión	0,74	0,82	0,46			
BRIQUETAS SUMERGIDAS DURANTE 24 HORAS A 60°C						
Peso después de la inmersión						
Peso SSS (g)	1209,9	1211,3	1218,5			
Peso Sumergido (g)	689,4	691,3	697,2			
Volumen (cm3)	520,5	520,0	521,3			
Volumen de Agua Absorbida (g)	14	14,5	13,6			
% Saturación	41,15	43,99	42,22			
% Expansión	1,17	1,21	0,97			
ROTURA A TRACCIÓN						
Carga (kg)	561,3	560,2	562,9	694,2	692,5	693,7
Resistencia a la Tensión (kg/cm²)	5,48	5,46	5,33	6,80	6,75	6,60
PROMEDIO	RTh= 5,42			RTs= 6,71		

RESULTADO		
Relación de Resistencia a la Tracción	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$	80,76%

Analizado y calculado por: Ricardo Andres y Muñoz Bryan **Revisado por:** Ing. Daniel Campoverde Msc.



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**



INFORME DE RESULTADOS

TEMA: "EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO FIBRA DE GABAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, MEDIANTE METODOLOGÍA MARSHALL"

TUTOR: ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE **TESISTAS:** RICARDO RODRIGUEZ ANDRES WILFRIDO - MUÑOZ POZO BRYAN ARIEL

VALUACIÓN DE DAÑO POR HÚMEDAD- ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA- MECLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

"NORMA ASTM D 4867- AASHTO T 283"

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)	6,41	6,42	6,53	6,4	6,42	6,51
Diámetro(cm)	10,17	10,18	10,3	10,16	10,18	10,28
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1197,3	1198,5	1201,6	1199,3	1198,6	1203,4
Peso SSS (g)	1203,7	1201,9	1205,3	1202,4	1203,2	1206,2
Peso Sumergido (g)	684,6	689,7	695,2	684,9	689,3	689,3
Volumen (cm ³)	519,1	512,2	510,1	517,5	513,9	516,9
Gravedad Bulk "Gmb" 25°C	2,31	2,34	2,36	2,32	2,33	2,33
Gravedad Teórica Máxima "Gm"	2,478	2,478	2,478	2,478	2,478	2,478
% de vacíos en la Mezcla	6,92	5,57	4,94	6,48	5,88	6,05
Índice de vacíos en la Mezcla	35,93	28,54	25,19	33,52	30,20	31,27
SATURACIÓN AL VACÍO (BOMBA DE VACÍO)						
Peso SSS (g)	1208,3	1206,8	1210,5			
Peso Sumergido (g)	686,2	691,7	697,9			
Volumen (cm ³)	522,1	515,1	512,6			
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	11	8,3	8,9			
% Saturación	30,62	29,08	35,33			
% Expansión	0,58	0,57	0,49			
BRIQUETAS SUMERGIDAS DURANTE 24 HORAS A 60°C						
Peso después de la inmersión						
Peso SSS (g)	1211,6	1210,6	1216,8			
Peso Sumergido (g)	689,1	690,8	696,8			
Volumen (cm ³)	522,5	519,8	520			
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	14,3	12,1	15,2			
% Saturación	39,80	42,39	60,33			
% Expansión	0,65	1,48	1,94			
ROTURA A TRACCIÓN						
Carga (kg)	578,6	574,7	578,9	674,2	676,5	672,2
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²)	5,65	5,60	5,48	6,60	6,59	6,39
PROMEDIO	RTh= 5,58			RTs= 6,53		

RESULTADO

Relación de Resistencia a a la Tracción	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$	85,41%
---	-------------------------	---------------

Analizado y calculado por: Ricardo Andres y Muñoz Bryan **Revisado por:** Ing. Daniel Campoverde Msc.