



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

TEMA:

“ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE
MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA
MARSHALL”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

KLEBER MAURICIO MEJILLONES PANCHANA
DIEGO ALEXANDER PONCE DEL PESO

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2023-2

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A
PARTIR DE MATERIAL ASFALTICO RECICLADO
MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

**KLEBER MAURICIO MEJILLONES PANCHANA
DIEGO ALEXANDER PONCE DEL PESO**

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023-2

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Freddy Huamán Marcillo, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Daniel Campoverde Campoverde MSc.
DOCENTE TUTOR



Ing. Jonny Villao Borbor, MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Lucrecia Moreno Alcivar PhD.
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

El presente trabajo de Integración curricular va dedicado a Dios y a mis padres Kleber Mejillones y Maribel Panchana por brindarme apoyo e inspirarme a seguir mis metas más allá de mi imaginación.

KLEBER MAURICIO MEJILLONES PANCHANA

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Integración Curricular va dedicado a mi familia que con mucho esfuerzo y sacrificio me han brindado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.

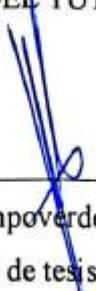
DIEGO ALEXANDER PONCE DEL PESO

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL”** elaborado por los estudiantes **MEJILLONES PANCHANA KLEBER MAURICIO Y PONCE DEL PESO DIEGO ALEXANDER** con **C.I. 2450294042** y **1314232206** respectivamente, 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 proyecto ejecutado, se encuentra con un **2%** de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

FIRMA DEL TUTOR



Ing, Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, Msc

Tutor de tesis

C.I. 0913176541

KLEBER MEJILLONES-DIEGO PONCE-TESIS

2%
Textos
sospechosos



2% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
< 1% Idioma no reconocido
0% Textos potencialmente
generados por la IA

Nombre del documento: KLEBER MEJILLONES-DIEGO PONCE-TESIS.docx
ID del documento: e74669e74519e6b522e91458b25412746344cb8e
Tamaño del documento original: 86,17 MB

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE
Fecha de depósito: 17/11/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 17/11/2023

Número de palabras: 219.250
Número de caracteres: 1.978.841

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec Estudio de suelo, estabilización del material granular ex... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4767/1/UPSE-TIC-2019-0004.pdf 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (1470 palabras)
2	1library.co Determinación de la gravedad específica y el porcentaje de absorción https://1library.co/articulo/determinacion-gravedad-especifica-porcentaje-absorcion-qmjkml8q 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (1182 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec Análisis comparativo de las propiedades fisicomecánica... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5305/1/UPSE-TIC-2020-0006.pdf 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (936 palabras)
4	hdl.handle.net Evaluación de la influencia de la granulometría en el desempeño ... https://hdl.handle.net/20.500.14074/505 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (600 palabras)
5	1library.co (NTP 400.022.2013) AGREGADOS. Metodo Peso Especifico y Absorción ... https://1library.co/document/8625611y-ntp-agregados-metodo-peso-especifico-absorcion-agregado... 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (452 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #642472 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec Estudio y análisis de materiales granulares de la canter... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5224/1/UPSE-TIC-2019-0019.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
3	www.lanamme.ucr.ac.cr https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/889/CONSISTENCIA-DIS...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	www.doi.org h https://www.doi.org/10.0000/WWW.RESEARCHGATE.NET/49241933	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
5	www.doi.org Evaluation of the degradation of fine asphalt-aggregate mixtures co... https://www.doi.org/10.1080/14680629.2017.1304250	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)

Fuentes ignoradas Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec Diseño de mezcla asfáltica en caliente empleando agreg... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/22676/UPSE-TIC-2015-003.pdf.txt	2%		Palabras idénticas: 2% (5349 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/22677/1/UPSE-TIC-2015-003.pdf	2%		Palabras idénticas: 2% (4444 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec Estabilización o mejoramiento de la capacidad portante ... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4968/1/UPSE-TIC-2019-0009.pdf	1%		Palabras idénticas: 1% (3211 palabras)

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

1	https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100463
2	http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4179
3	https://doi.org/10.1080/10296436.2020.1823388
4	https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93221
5	http://repository.unipilota.edu.co/handle/20.500.12277/8146

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **KLEBER MAURICIO MEJILLONES PANCHANA** y **DIEGO ALEXANDER PONCE DEL PESO**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL**”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente 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,



**KLEBER MAURICIO
MEJILLONES PANCHANA**

C.I. 2450294042

AUTOR DE TESIS



**DIEGO ALEXANDER
PONCE DEL PESO**

C.I. 1314232206

AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

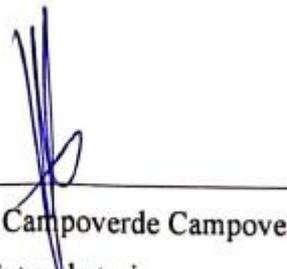
Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “**ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL**” previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Sr/a. Mejillones Panchana Kleber Mauricio y Ponce Del Peso Diego Alexander, egresado de la carrera de Ingeniería 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.

FIRMA DEL TUTOR



Ing, Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, Msc
Tutor de tesis

C.I. 0913176541

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGIA

Certificación de Gramatólogo

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

Magíster En Diseño Y Evaluación

De Modelos Educativos

La Libertad, noviembre 22 del 2023.

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de integración curricular en opción al título de INGENIERO CIVIL de: MEJILLONES PANCHANA KLEBER MAURICIO & PONCE DEL PESO DIEGO ALEXANDER, cuyo tema es: “ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL”, me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



Lic. Alexi Herrera R, MSc.

Docente de Español A: Literatura

Cel: 0962989420

e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser guía y brindarme sabiduría durante mi carrera universitaria, bendecir y no dejarme solo, permitiendo lograr mis objetivos y poder disfrutar con las personas que más quiero.

A mis padres, Kleber Mejillones y Maribel Panchana, por ser los principales promotores de mis metas y logros, por la confianza, fe y amor infinito en los buenos y malos momentos. Gracias por buscar siempre lo mejor para mí, por sus consejos, por su amor y sus palabras, que son necesarias para seguir cumpliendo mis metas.

A los docentes de la carrera, por ser los maestros de vida en cada asignatura y formarme como profesional, sobre todo a mi tutor de tesis Ing. Daniel Campoverde, por la guía, enseñanza y orientación brindada durante la realización de este trabajo de titulación, por la ayuda y dedicación que hicieron posible la culminación de este trabajo.

A mi compañero de tesis, Diego, por su ayuda y experiencias vividas durante nuestra formación como ingenieros civiles. A Denilson, Lady, Doménica, Michelle, Gabriel, Andrea y Dave por brindarme su apoyo en cada momento, con quienes agradezco haber compartido conocimientos y amistad, momentos de alegría y tristeza que se presentan en una carrera universitaria.

Mi gratitud a todos lo que formaron parte de esta meta.

Kleber Mejillones Panchana

AGRADECIMIENTOS

A Dios por tenerme con buena salud y haberme permitido cumplir con esta meta tan importante para mí.

Mi más profundo agradecimiento por todo el esfuerzo, sacrificio y dedicación que han hecho mis padres para llegar a cumplir esta meta, gracias por ese apoyo incondicional, por sus enseñanzas y por los principios y valores que me han inculcado a lo largo de mi vida.

Asimismo, a mis hermanas que siempre están apoyándome en cada momento en este largo camino y a mis sobrinos por ser mi constante inspiración. Su inocencia, alegría y su simple existencia de sus sonrisas han sido una motivación que me ha impulsado a esforzarme más.

De igual manera agradezco a todas las personas que en algún momento me han ayudado a lo largo de este proceso de formación académica y personal.

Finalmente, agradezco a la Universidad Estatal Península de Santa Elena por brindarme el espacio para mi formación profesional, con la ayuda de sus docentes que han contribuido en mi crecimiento intelectual y la adquisición de nuevos conocimientos a lo largo de la carrera.

Al Ing. Daniel Campoverde, que ha sido parte de este trabajo de titulación, como docente tutor ha brindado sus conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

Mi gratitud hacia todos aquellos que han sido parte de este meta.

Diego Ponce Del Peso

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	viii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGIA.....	ix
AGRADECIMIENTOS	x
AGRADECIMIENTOS	xi
LISTA DE FIGURAS	xviii
LISTA DE TABLAS	xxi
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT	xxv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	2
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2. ANTECEDENTES	4
1.3. HIPÓTESIS	8
1.3.1. Hipótesis General.	8
1.3.2. Hipótesis Específicas.	8
1.4. OBJETIVOS.....	9
1.4.1. Objetivo General.	9
1.4.2. Objetivos Específicos.	9

1.5. ALCANCE	10
1.6. VARIABLES	10
1.6.1. Variable Independiente.	10
1.6.2. Variable Dependiente.	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. CEMENTO ASFÁLTICO.....	11
2.1.1. Tipos de cemento asfáltico.....	12
2.2. PAVIMENTOS	13
2.2.1. Tipos de pavimentos.....	14
2.2.2. Pavimentos flexibles.....	14
2.2.3. Capas de pavimento flexible y sus especificaciones.	15
2.2.4. Parámetro de diseño para pavimento flexible.	17
2.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS	18
2.3.1. Tipos de mezclas.....	19
2.4. MÉTODO MARSHALL.....	20
2.4.1. Ensayo de densidad bulk.	22
2.4.2. Ensayo de densidad teórica máxima (Rice).	22
2.4.3. Prueba de estabilidad y flujo.....	23
2.4.4. Análisis de densidad y vacíos.	23
2.5. CENTRÍFUGA ELÉCTRICA	24
2.5.1. Metodología de la centrífuga.....	24
2.5.2. Método de prueba estándar para la extracción cuantitativa de aglutinante de asfalto de mezclas asfálticas.	25
2.6. AGREGADOS	26

2.6.1.	Tipos de agregados para asfalto.....	26
2.6.2.	Propiedades de agregados.	26
2.6.3.	Granulometría.....	27
2.6.4.	Gravedad específica y absorción.	27
2.6.4.1.	<i>Gravedad específica y absorción para agregado grueso.....</i>	28
2.6.4.2.	<i>Gravedad específica y absorción para agregado fino.</i>	28
2.7.	MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO	30
2.7.1.	Fresado.....	31
2.7.2.	Áreas de aplicación del reciclaje.....	32
2.7.3.	Métodos utilizados para el reciclado de pavimento asfáltico....	33
2.8.	MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADA	35
2.8.1.	Diseño de mezclas asfálticas reciclada.....	35
2.8.2.	Beneficios de las mezclas asfálticas con RAP.	36
2.8.3.	Desempeño de la mezcla asfáltica reciclada.....	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		39
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	39
3.1.1.	Tipo.....	39
3.1.2.	Nivel.....	39
3.2.	MÉTODO ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
3.2.1.	Método.....	40
3.2.2.	Enfoque.	40
3.2.3.	Diseño.	40
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	41
3.3.1.	Población.....	41

3.3.2. Muestra.....	41
3.3.3. Muestreo.....	41
3.4. UBICACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO	42
3.5. OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES A UTILIZAR	43
3.6. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	45
3.7. METODOLOGÍA DEL OE1: DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS-MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS NUEVOS Y RECICLADOS PARA LA DOSIFICACIÓN, MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO SIGUIENDO LAS NORMAS AASHTO Y ASTM	46
3.7.1. Caracterización de material asfáltico reciclado.	46
3.7.1.1. Procedimiento para determinar el contenido de asfalto del pavimento fresado.	47
3.7.1.2. Análisis Granulométrico de material asfáltico reciclado lavado.....	51
3.7.2. Caracterización de agregados nuevos.	53
3.7.2.1. Granulometría de agregados nuevos.....	53
3.7.3. Gravedades específicas y absorción de agregados nuevos y reciclados (grueso y fino).....	55
3.7.3.1. Ensayo de gravedad específica para agregados gruesos ASTM C-127. 55	
3.7.3.2. Ensayo de gravedad específica para agregados fino ASTM C-128.....	57
3.7.3.3. Gravedades específicas bulk de la combinación de agregados.....	60
3.7.3.4. Gravedad Específica Aparente de la combinación de agregados.	61
3.8. OE2: DETERMINAR LA COMBINACIÓN Y GRADACIÓN DE AGREGADOS ADECUADOS INCORPORANDO DISTINTOS CONTENIDOS DE ASFALTO PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL..	62
3.8.1. Combinación de agregados reciclado y nuevos para elaborar granulometría de diseño.	62
3.8.2. Dosificación incorporando diferentes contenidos de asfalto.	64
3.8.3. Elaboración de briquetas.....	68
3.8.4. Compactación de briquetas.....	70

3.9. OE3: DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICAS MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA EL NUEVO DISEÑO DE LA MEZCLA	72
3.9.1. Ensayos de laboratorio realizados a las briquetas.....	72
<i>3.9.1.1. Definición del peso específico Bulk.....</i>	<i>72</i>
<i>3.9.1.2. Medición de briquetas para cálculo de espesor y volumen.....</i>	<i>74</i>
<i>3.9.1.3. Rotura de briquetas con equipo Marshall para estabilidad y flujo.</i>	<i>75</i>
<i>3.9.1.4. Ensayo de análisis de vacíos mediante método Rice.....</i>	<i>77</i>
<i>3.9.1.5. Fórmulas de análisis volumétrico de las mezclas asfálticas.....</i>	<i>79</i>
<i>3.9.1.6. Estabilidad y flujo Marshall.</i>	<i>81</i>
<i>3.9.1.7. Corrección de estabilidad por briqueta.</i>	<i>81</i>
3.10. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE.....	82
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	83
4.1. RESULTADOS DE COMBINACIÓN Y GRADACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS Y NUEVOS.....	83
4.2. RESULTADOS ANÁLISIS DE VACÍOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON AGREGADOS RECICLADOS SIN COMPACTAR MEDIANTE EL MÉTODO RICE.	85
4.3. RESULTADOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON AGREGADOS RECICLADOS	86
4.4. RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN PORCENTAJE FALTANTE DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO COMBINADO CON EL AGREGADO NUEVO.....	93
4.5. RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN Y COMPROBACIÓN DE LA NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA INCORPORANDO EL PORCENTAJE DE ASFALTO Y AGREGADOS REQUERIDOS.....	94
4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	104
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
5.1. CONCLUSIÓN.....	106
5.2. RECOMENDACIONES.....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

ANEXOS..... 120

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Perfil de capas estructurales de un pavimento flexible.....	15
Figura 2 Porcentaje mínimo de VMA, según el contenido de vacíos de diseño en la mezcla asfáltica	22
Figura 3 Proceso de fresado	32
Figura 4 Vía Guayaquil- Salinas.....	42
Figura 5 Ubicación del botadero provisional	43
Figura 6 Botadero provisional	43
Figura 7 Ubicación de la Constructora Morocho (CM Construcciones S.A)	44
Figura 8 Agregado ½ de la cantera Chivería	44
Figura 9 Cemento asfáltico AC 30.....	45
Figura 10 Centrífuga eléctrica.....	47
Figura 11 <i>Plato giratorio de la centrífuga eléctrica</i>	48
Figura 12 Colocación del solvente en el plato giratorio de la centrífuga eléctrica	48
Figura 13 Lavado consecutivo de material asfáltico reciclado	48
Figura 14 Expulsión de cemento asfáltico junto a la gasolina (solvente).....	49
Figura 15 Lavado asfáltico.....	49
Figura 16 Papel filtro	49
Figura 17 Granulometría del material reciclado	52
Figura 18 Tamizado manual	53
Figura 19 Curva Granulométrica piedra 1/2	55

Figura 20 Granulometría de diseño TMN 1/2"	64
Figura 21 Material reciclado	65
Figura 22 Pesado de agregados	68
Figura 23 Calentado de los agregados	68
Figura 24 Calentamiento del cemento asfáltico	69
Figura 25 Preparación del martillo Marshall	69
Figura 26 Compactación de las briquetas	70
Figura 27 Desencofrado de briquetas.....	71
Figura 28 Resultado final de la elaboración de las briquetas.....	71
Figura 29 Briquetas en estado natural.....	72
Figura 30 Secado de briquetas	73
Figura 31 Sumergido de las briquetas.....	73
Figura 32 Medición y registro de las alturas y diámetros de las briquetas	74
Figura 33 Contenedor baño maría.....	75
Figura 34 Colocación de briquetas en contenedor baño maría	75
Figura 35 Prensa pinzuar.....	76
Figura 36	78
Figura 37 Gravedad específica Bulk “Gmb” vs Porcentaje de Cemento Asfáltico	87
Figura 38 Vacíos de aire vs % Cemento Asfáltico	88
Figura 39 Vacíos en el agregado mineral “VMA” vs % Cemento asfáltico.....	89
Figura 40 Vacíos llenos de asfalto “VFA” vs % Cemento Asfáltico.....	90
Figura 41 Estabilidad vs % Cemento Asfáltico	91

Figura 42 Flujo vs % Cemento Asfáltico.....	92
Figura 43 Material asfáltico reutilizado	95
Figura 44 Preparación de la nueva mezcla asfáltica	95
Figura 45 Briquetas compactadas	96
Figura 46 Proceso de desencofrado	96
Figura 47 Gravedad específica Bulk “Gmb” vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)	98
Figura 48 Vacíos vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)	99
Figura 49 Vacíos en el agregado mineral “VMA” vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)...	100
Figura 50 Vacíos llenos de asfalto “VFA” vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)	101
Figura 51 Estabilidad vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)	102
Figura 52 Flujo vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)	103

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Criterios de calidad para el cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60°C	12
Tabla 2 Categorías de Subrasante	16
Tabla 3 En función del tráfico, parámetros de diseño en la Metodología Marshall	21
Tabla 4 Porcentaje de cemento asfáltico extraído de siete muestras.....	50
Tabla 5 Promedio de los 7 porcentajes de cemento asfáltico extraído.....	51
Tabla 6 Granulometría de los agregados reciclados.....	52
Tabla 7 Granulometrías indicadas para el diseño de las mezclas asfálticas.....	54
Tabla 8 Tamaño máximo nominal de la muestra de agregados nuevos.....	54
Tabla 9 Pesos en gramos de los agregados gruesos correspondiente al material asfáltico reciclado.....	56
Tabla 10 Gravedades específicas y absorción del agregado grueso reciclado	56
Tabla 11 Pesos en gramos de los agregados gruesos correspondiente al material nuevo	57
Tabla 12 Gravedades específicas y absorción del agregado grueso nuevo.....	57
Tabla 13 Pesos en gramos de los agregados finos correspondiente al material asfáltico reciclado.....	58
Tabla 14 Gravedades específicas y absorción del agregado fino reciclado	59
Tabla 15 Pesos en gramos de los agregados finos correspondiente al material nuevo	59
Tabla 16 Gravedades específicas y absorción del agregado fino nuevo	60
Tabla 17 Combinación final de agregado reciclado y nuevo	62

Tabla 18 Granulometría de diseño	63
Tabla 19 Dosificación para las briquetas con 3,0% de asfalto y su corrección de peso	65
Tabla 20 Dosificación para las briquetas con 3,5% de asfalto y su corrección de peso	66
Tabla 21 Dosificación para las briquetas con 4,0% de asfalto y su corrección de peso	66
Tabla 22 Dosificación para las briquetas con 4,5% de asfalto y su corrección de peso	66
Tabla 23 Dosificación para las briquetas con 5,0% de asfalto y su corrección de peso	67
Tabla 24 Dosificación para las briquetas con 5,5% de asfalto y su corrección de peso	67
Tabla 25 Dosificación para las briquetas con 6,0% de asfalto y su corrección de peso	67
Tabla 26 Registros de estabilidades de la mezcla asfáltica con agregados reciclados	77
Tabla 27 Registros de flujos de la mezcla asfáltica con agregados reciclados	77
Tabla 28 Peso de muestra para ensayo Rice según la norma ASTM D 2041	78
Tabla 29 Cuadro de operacionalización de las variables	82
Tabla 30 Graduación de agregados reciclados y nuevos.....	83
Tabla 31 Porcentajes de pasante y retenido de agregado reciclado	84
Tabla 32 Porcentajes de pasante y retenido de agregado nuevo	84
Tabla 33 Gravedad específica bulk, gravedad específica aparente y porcentaje de absorción	84
Tabla 34 Resultado de la combinación de gravedades específicas de agregados	85

Tabla 35 Resultados de Ensayo Rice	85
Tabla 36 Resultados de las propiedades volumétricas de mezcla asfáltica con agregados reciclados	86
Tabla 37 Porcentajes de asfalto del material reutilizado y el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica.....	93
Tabla 38 Asfalto del material reutilizado en la combinación.....	93
Tabla 39 Contenido de asfalto faltante en la mezcla de materiales	94
Tabla 40 Corrección de pesos de la nueva mezcla asfáltica	94
Tabla 41 Resultados de Análisis de vacíos mediante el método Rice	97
Tabla 42 Resultados de las propiedades volumétricas de la nueva mezcla asfáltica	97

“ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL”

Autores: Kleber Mejillones Panchana y Diego Ponce Del Peso

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

RESUMEN

La incorporación de material asfáltico reciclado en mezclas asfálticas es una alternativa sostenible en la construcción y rehabilitación de carreteras. Esta investigación tuvo como objetivo analizar una nueva mezcla asfáltica en caliente a partir de material asfáltico reciclado mediante la prueba Marshall. Esto se llevó a cabo mediante ensayos de laboratorio, utilizando herramientas numéricas para calcular el contenido óptimo de material asfáltico reciclado. Se añadieron nuevos materiales y cemento asfáltico para crear la nueva mezcla asfáltica. Se determinó que, el material asfáltico reciclado contenía un 5,67%, de cemento asfáltico, por lo que era posible ajustar la composición de la mezcla para alcanzar el porcentaje óptimo de asfalto requerido del 5,50% establecido por la prueba Marshall. Con la proporción de agregados establecidos resultó que la mezcla de diseño contenía un 4,20% de cemento asfáltico. Después de la combinación inicial se encontró un déficit de 1,30% en el contenido de asfalto. Finalmente, para corregir la curva granulométrica, se utilizó un 74% de material asfáltico reciclado y 26% de piedra 1/2”. Además, que la adición de este porcentaje adicional de asfalto (1,30%) se convirtió en la clave para alcanzar los requerimientos establecidos por la normativa NEVI-12 MTOP, los estándares de calidad y rendimiento.

PALABRAS CLAVE: *Material asfáltico reciclado, agregados pétreos, mezcla asfáltica, Método Marshall, sostenibilidad.*

“ANALYSIS OF A NEW ASPHALT MIX FROM RECYCLED ASPHALT MATERIAL BY MEANS OF THE MARSHALL TEST”

Autor: Kleber Mejillones Panchana y Diego Ponce Del Peso

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

ABSTRACT

The incorporation of recycled asphalt material in asphalt mixes is a sustainable alternative in road construction and rehabilitation. This research aimed to analyze a new hot mix asphalt mixture made from recycled asphalt material using the Marshall test. This was carried out through laboratory tests using numerical tools to calculate the optimum content of recycled asphalt material, new aggregate and asphalt cement for the new asphalt mix. It was determined that the recycled asphalt material contained 5.67% asphalt cement, so it was possible to adjust the mix composition to achieve the required optimum asphalt percentage of 5.5% set by the Marshall test. With the aggregate ratio set it was found that the design mix contained 4.20% asphalt cement. After initial blending, a shortfall of 1.30% in asphalt content was found. Finally, to correct the grading curve, 74% recycled asphalt material and 26% 1/2" stone were used. Furthermore, that the addition of this extra percentage of asphalt (1.30%) became the key to achieving the requirements set by the NEVI-12 MTOP and the quality and performance standards.

KEYWORDS: *Recycled asphalt material, stone aggregates, asphalt mix, Marshall Method, sustainability.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La presente investigación estudia la incorporación de material asfáltico reciclado en mezclas asfálticas calientes mediante la prueba Marshall. Al ser una opción sostenible e innovadora, resulta beneficiosa para la conservación del ambiente. Tal como lo indica Méndez (2015), la utilización de pavimento asfáltico reciclado en la construcción y reparación de carreteras resulta favorable para el medio ambiente al reducir la explotación de canteras, de las cuales, se extrae nuevos agregados.

En este sentido, diversos estudios han abordado la incorporación del material o pavimento asfáltico reciclado (RAP) en el diseño de mezclas asfálticas. Por ejemplo, Abel-Jaber et al. (2022) mostraron que el uso de RAP puede mejorar la estabilidad y el flujo de las mezclas asfálticas, incluso a altos contenidos de RAP. Mientras que Ma et al. (2022), añade que la incorporación de RAP influye positivamente en las mezclas asfálticas en términos de durabilidad, resistencia al agrietamiento y a la fatiga.

Esta investigación es significativa para el avance en el campo de la ingeniería civil por su innovadora propuesta en el área de la construcción vial desde un enfoque sostenible y sustentable. Por tal razón, el estudio presenta el interés de conocer la cantidad adecuada de material asfáltico reciclado que incorpore menor cantidad de agregado nuevo y asfalto.

Por tanto, el objetivo del estudio es analizar una nueva mezcla asfáltica en caliente a partir de material asfáltico reciclado mediante la prueba Marshall. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos: determinar las propiedades físicas-mecánicas de los materiales nuevos y reciclados mediante ensayos de laboratorio, así como la combinación y gradación de agregados adecuados incorporando distintos contenidos de asfalto para la elaboración de la mezcla asfáltica. Además, de definir las características volumétricas-mecánicas de la nueva mezcla asfáltica.

La investigación se realiza mediante enfoque mixto, en donde se realizan ensayos de laboratorio utilizando herramientas numéricas para calcular el contenido óptimo de material asfáltico reciclado, agregado nuevos y asfalto para la nueva mezcla asfáltica. De igual manera, los resultados se analizan para elaborar conclusiones y recomendaciones aprovechables por futuras investigaciones en torno al tema de estudio.

De esta manera, la investigación está estructurada de cinco capítulos: Capítulo I, se encuentra la problemática, antecedentes, hipótesis, objetivos, alcances y variables de estudio. Mientras que, en el Capítulo II, se muestra la fundamentación teórica que da soporte al tema de mezclas asfálticas con material asfáltico reciclado y metodología Marshall. Seguido del Capítulo III, donde se describe la metodología empleada en el trayecto del estudio. En el Capítulo IV, se presentan el análisis y discusión de resultados, para que finalmente en el Capítulo V se disponga la conclusión con sus debidas recomendaciones del estudio.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La infraestructura vial es crucial para el desarrollo económico y la comunicación en un país, por lo tanto, su mantenimiento constante es esencial para utilizar eficientemente los recursos y preservar el medio ambiente. Sin embargo, la creación de mezclas asfálticas derivadas del petróleo puede causar contaminación ambiental, en consecuencia, tener un impacto negativo en términos económicos y de tiempo (Castillo Carpio et al., 2021). En este sentido, Méndez (2015) menciona que la utilización de pavimento asfáltico reciclado en la construcción y reparación de carreteras es un tema en crecimiento por su beneficio en el medio ambiente al reducir la explotación de canteras, de las cuales, se extrae nuevos agregados. No obstante, la falta de una guía clara limita el uso de esta técnica, lo que provoca, su escasa utilidad.

En el ámbito de la construcción, la innovación y la búsqueda de nuevas alternativas son constantes. En el caso de los pavimentos, no es la excepción. La construcción de vías es una inversión significativa, tanto en términos económicos como

ambientales. Es evidente que las vías tienen un período de diseño, el cual durante su ciclo de vida se ve afectado por la alta demanda de tráfico y cambios de temperatura a los que están expuestas (Galeas y Suquillo, 2021). Por tanto, en ocasiones es necesario remover las capas asfálticas envejecidas para una rehabilitación efectiva de pavimentos asfálticos. Sin embargo, el uso inadecuado y poco desarrollo de técnicas entorno al RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado) pueden generar el aumento de los costos de rehabilitación al tener que eliminar los materiales no reciclados (Leiva Villacorta y Vargas-Nordcbeck, 2017).

La falta de experiencia en el uso de los materiales reciclados resulta en una acumulación significativa de almacenamiento o acopios sin ser manejados de manera apropiada. La tasa de utilización del pavimento asfáltico reciclado es baja (10%-25%), lo que resulta en acumulación y vertido excesivo de materiales RAP, lo cual no favorece la promoción del valor sostenible (Ma et al., 2022). De esta manera, es necesario encontrar formas de aprovechar mejor los recursos disponibles para satisfacer la creciente demanda de vías seguras y eficientes en Ecuador, por lo tanto, el RAP se figura como una alternativa para la rehabilitación de carreteras. Aunque, es importante destacar que no todas las carreteras son adecuadas para este tipo de pavimento (Vera Piloso, 2022).

El problema planteado se centra en la nueva mezcla asfáltica a partir de material asfáltico reciclado mediante la prueba Marshall, la cual, es un método orientado al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de estabilidad, flujo, densidad y vacíos, por lo que su aplicación permitirá analizar de manera objetiva los resultados obtenidos, de esta manera, este estudio asegura que las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la mezcla estén en los rangos adecuados (Miranda, 2016). Además, este planteamiento contribuirá al desarrollo de conocimiento científico actual y prácticas más sostenibles en la industria del asfalto.

Por consiguiente, el estudio se asienta principalmente en el noveno Objetivo de Desarrollo Sostenible “Industria Innovación e Infraestructura”, el cual, hace referencia a la construcción de infraestructura resiliente, de igual modo, la promoción de la industria sostenible y la innovación. Por lo expuesto anteriormente, el RAP es una alternativa para el desarrollo de infraestructuras resilientes,

sostenibles y de calidad. Asimismo, el ODS 13 “Acción por el Clima”, debido a que, esta práctica es una iniciativa que disminuye la explotación de los recursos naturales y reduce el impacto ambiental dando paso, a un desarrollo armonioso y equilibrado con el entorno (Organización de las Naciones Unidas, 2018).

La formulación del problema de investigación se dispone en la siguiente interrogante general: ¿Cuál es el porcentaje requerido de material nuevo y el contenido óptimo de asfalto para obtener un nuevo diseño de mezcla asfáltica a partir de material asfáltico reciclado, según la prueba Marshall?

En consecuencia, de la pregunta de investigación general, se despliegan las siguientes interrogantes específicas: ¿Los ensayos de laboratorio bajo las normas AASHTO o ASTM, son precisos para determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados nuevos y del material asfáltico reciclado, para la dosificación de mezclas asfálticas?, ¿Qué combinación y gradación de agregados, incorporando distintos contenidos de asfalto, producen las mejores mezclas asfálticas, según el método Marshall?, ¿Cuál es el contenido óptimo de asfalto para la nueva mezcla asfáltica, según las características volumétricas-mecánicas obtenidas mediante ensayos de laboratorio?

1.2. ANTECEDENTES

En esta sección se presenta la recopilación documental del estudio de investigación, la cual, permite establecer una base sólida para la comprensión y el abordaje desde perspectivas técnicas y científicas. Este acervo documental sirve como punto de referencia para profundizar en el conocimiento existente de la mezcla asfáltica a partir de material asfáltico reciclado.

En el ámbito internacional, se cita a Abdel-Jaber et al.(2022) con su investigación de tipo experimental sobre “Evaluación de propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con contenidos variables de pavimento asfáltico recuperado (RAP)”, por tanto, su objetivo se dirigió a evaluar el desempeño de las mezclas asfálticas con RAP en caliente. Para lo cual, se utilizaron dos tipos de agregados: roca dura y

RAP, además, se siguió la norma ASTM C136 para la gradación. Los resultados indicaron que, al aumentar el contenido de RAP, se observó una mejora en la estabilidad y flujo. La mezcla que mostró la estabilidad máxima de 15,11 kN fue aquella con un 75% de RAP y un contenido de cemento asfáltico del 4%. Además, se encontró que a medida que aumentaba el contenido de asfalto, los valores de huecos de aire disminuían. Se concluye que, el uso de altos niveles de RAP puede afectar las propiedades mecánicas de las mezclas, es aplicable en la capa superficial del pavimento cuando se busca reducir el contenido de asfalto sin comprometer la resistencia.

De igual modo, se presenta el artículo de Ma et al. (2022) sobre “Los efectos de las proporciones de RAP en el comportamiento de pavimentos de mezclas asfálticas recicladas”, el cual, examina exhaustivamente el rendimiento de dos tipos de mezclas asfálticas recicladas, la AC-20 y la AC-13 modificada, utilizando distintas proporciones de RAP. Por tanto, tiene un carácter experimental. El mejor rendimiento se logra con un contenido de RAP del 20% y 40% respectivamente. En términos generales, al incrementar el contenido de RAP, se observa una mejora en las propiedades mecánicas y a alta temperatura de ambos tipos de mezclas asfálticas recicladas.

Por otro lado, se cita el trabajo de estudio de Carpio y Mosqueira (2020) sobre “Incorporación de Material Reciclado de Asfalto en Mezcla Asfáltica para Diseño de Pavimento, Jirón Ayacucho km1, Talavera, Andahuaylas”. Esta investigación mantuvo como objetivo general el analizar en qué medida el diseño de pavimentos con material reciclado de asfalto en mezcla asfáltica, para diseño de pavimento es una alternativa para ser aplicado en el lugar anteriormente mencionado. Se emplea una metodología de carácter cuantitativo con alcance descriptivo, debido a que, se detalla la variable, es decir, el RAP es caracterizado en términos de propiedades mecánicas. Se logró un vacío máximo del 3.4% para el 40% de RAP; el asfalto ocupó el 75% del espacio y el flujo límite fue de 3.8mm. Los hallazgos sugieren que el pavimento reciclado fresco puede ser usado en la construcción de nuevos pavimentos, a su vez, es capaz de soportar cargas vehiculares de intensidad media, estimada en 1×10^6 unidades.

En las mismas circunstancias, el artículo científico de Figueroa y Fonseca (2020) sobre “Desempeño del pavimento con mezcla reciclada-RAP y grano de caucho reciclado-GCR” ejecutado en Bogotá-Colombia, su acción se centró en mostrar los resultados del desempeño del pavimento flexible utilizando pavimento asfáltico reciclado y GCR. Para ello, se aplicó un proceso de selección de muestras de RAP a través del Instituto de Desarrollo Urbano-IDU en Bogotá, clasificándolas en grupos homogéneos y realizando análisis de granulometría para ajustar la mezcla. Se obtuvo que el contenido de asfalto en la mezcla envejecida fue una variable esencial para garantizar la homogeneidad de las muestras seleccionadas de RAP, de igual manera, la selección se ajustó a la granulometría, para este caso, se añadió arenas y material fino para cumplir con la franja de mezcla de diseño tipo MDF-25. Llegando a la conclusión, de que los resultados se utilizarían en la red vial secundaria y terciaria de Colombia.

En otro estudio, Balbin y Chochon (2019) presentan su investigación sobre “Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 [...]”. Los autores se propusieron diseñar esta mezcla asfáltica, para lo cual, emplearon una metodología cuantitativa (recolección de datos numéricos para el análisis de las propiedades del reciclado) y un enfoque descriptivo (identificación de parámetros del comportamiento mecánico del reciclado). De esta manera, evaluaron el comportamiento mecánico mediante ensayos normados en las “especificaciones técnicas del Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones EG-2013”. Según los resultados obtenidos, se determinaron el porcentaje de vacíos, la estabilidad, el flujo o deformación como factores que influyen en la reutilización del pavimento. Se concluye, en un nuevo diseño de pavimento que cumple con los estándares convencionales, agregando más materiales reciclados para mejorar su comportamiento mecánico, lo que, resultó en una mayor rigidez y estabilidad en su deformación.

En el ámbito nacional, se sitúa la tesis de Cisneros y Sandoval (2023), los autores presenta el tema “Efecto del Recalentamiento de mezclas asfálticas en la estabilidad y flujo, empleando: Betún AC-20, áridos naturales y áridos reciclados provenientes de asfaltos fresados”, para la cual, su objetivo central se asienta en un análisis. Por

ende, el estudio utiliza materiales provenientes de las zonas de Pintag y San Rafael Bellavista, que incluyen árido grueso y medio de origen fluvial, triturado para su uso en el diseño asfáltico. También se emplea betún AC-20 donado por EPMMOP (Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas), así como material fresado acumulado en la planta asfáltica sin uso. Los resultados indican que, el contenido de asfalto en el material fresado es mayor al óptimo para el agregado natural, lo que demuestra que no es necesario aumentar el cemento asfáltico en este tipo de fabricación en la carpeta asfáltica. Se concluye, que solo se requiere calentar la mezcla a una temperatura adecuada (140°C) para activar las propiedades del asfalto y lograr una mezcla compacta.

Al mismo tiempo, es importante citar el artículo de titulación de Vera (2022), el cual trata sobre el “Uso del pavimento asfáltico reciclado (RAP) en mezclas asfálticas en caliente para la construcción de la vía del Recinto La Carmela, Cantón Santa Lucía”. Para cumplir con los requerimientos se planteó el objetivo de determinar las características de una mezcla modificada con material de asfalto reciclada con las mezclas convencionales, para determinar las propiedades se realizaron pruebas en laboratorio, el diseño se lo realizó por el método ASSHTO 93. Además, el porcentaje recomendado de RAP para el método de Marshall es del 20% previamente, por ello, se realizaron ensayos de caracterización de los materiales que se usaron tanto para la granulometría como para el asfalto según las especificaciones de la norma del MTOP. Una vez determinados los resultados se determinó el diseño de un pavimento flexible con un 20% de RPA. para el recinto de Carmela del cantón Santa Lucía.

Por otro lado, se destaca la tesis de Méndez y Torres (2022) la cual está relacionada al “Diseño de una mezcla asfáltica en frío reutilizando material asfáltico fresado (RAP) e incorporando fillers comerciales (cal hidratada/cemento) por vía seca”; este trabajo se centró en diseñar la mezcla anteriormente mencionada, además, adopta la metodología del manual Ms-19, el cual, pertenece al Instituto del asfaltado, asimismo, se emplea el diseño Marshall. Por consiguiente, maneja los siguientes métodos: experimental (desarrollo de ensayos de laboratorio), inductivo-deductivo, cuantitativo y comparativo (convencional y modificada). Mediante el ensayo de granulometría se demostró que el RAP cumple con las especificaciones

establecidas en la MOP-001-F 2002 para el diseño de mezclas asfálticas en río con material reciclado, por tanto, se concluye que los porcentajes de RAP que pasan por los tamices se encuentran dentro de los límites recomendados para el diseño.

En el ámbito local, la provincia de Santa Elena tiene pocos estudios sobre las mezclas asfálticas a partir de material asfáltico reciclado. Sin embargo, se logra citar un trabajo de titulación que se relaciona con el tema de estudio. De este modo, Briones y Lucín (2022) estudiaron el “Diseño vial utilizando asfalto reciclado en el sector José Luis Tamayo de la provincia de Santa Elena”. Por eso, su objetivo recayó en determinar las características mecánicas para el diseño antes mencionado, por tanto, su metodología es de carácter cualitativo porque realizan una revisión bibliográfica. A medida del análisis se concluyó que ambos tipos de asfaltados comparten propiedades similares, debido a que, el asfaltado reciclado se somete a un proceso de restauración, con la finalidad, de alcanzar las propiedades originales, aunque, presente mayor porcentaje de vacíos.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General.

El análisis de una mezcla asfáltica a partir de material asfáltico reciclado (fresado) mediante la prueba Marshall, determinará el porcentaje requerido de material nuevo y el contenido óptimo de asfalto para obtener un nuevo diseño de mezcla asfáltica.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

H.E1.: Los ensayos de laboratorio bajo las normas AASHTO o ASTM, determinarán de manera precisa las propiedades físico-mecánicas de los materiales nuevos y del material asfáltico reciclado para la dosificación.

H.E2.: La combinación y gradación de agregados adecuados, incorporando distintos contenidos de asfalto, determinarán la elaboración de las mezclas asfálticas mediante el método Marshall.

H.E3.: Las características volumétricas-mecánicas de la mezcla asfáltica mediante ensayos de laboratorio, determinará el contenido óptimo de asfalto para el nuevo diseño de la mezcla.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Analizar una nueva mezcla asfáltica en caliente a partir de material asfáltico reciclado mediante la prueba Marshall.

1.4.2. Objetivos Específicos.

O.E1.: Determinar las propiedades físicas-mecánicas de los materiales nuevos y reciclados para la dosificación, mediante ensayos de laboratorio siguiendo las normas AASHTO y ASTM.

O.E2.: Determinar la combinación y gradación de agregados adecuados incorporando distintos contenidos de asfalto para la elaboración de las mezclas asfálticas aplicando el método Marshall.

O.E3.: Definir las características volumétricas-mecánicas de la mezcla asfáltica mediante ensayos de laboratorio para la determinación del contenido óptimo de asfalto para el nuevo diseño de la mezcla.

1.5. ALCANCE

El presente trabajo de titulación se centra en la recopilación y análisis de muestras de material asfáltico reciclado. Lo que implicó la toma de muestras de fresado obtenidos de la vía Guayaquil-Salinas, este material está acumulado en el botadero provisional, el cual, está ubicado en la Vía Perimetral Ancón. Las cuales se llevaron al laboratorio para extraer el contenido de asfalto y separar los agregados que componen la mezcla.

El segundo aspecto del alcance es determinar la nueva mezcla asfáltica, es decir conocer cuanto porcentaje de material nuevo y contenido óptimo de asfalto es necesario para la obtención de una mezcla con las características establecidas por las normas. Esto implicará la realización de pruebas de laboratorio para determinar las propiedades y características (físicas, mecánicas y volumétricas) mediante la prueba Marshall.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variable Independiente.

Material asfáltico reciclado recolectado del fresado de la Vía Guayaquil Salinas.

1.6.2. Variable Dependiente.

Nueva mezcla asfáltica en caliente (a partir de material asfáltico reciclado).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. CEMENTO ASFÁLTICO

De acuerdo con Sánchez (2017), el asfalto proviene de la destilación del crudo que se encuentra en la naturaleza en varios escenarios y surge de la migración del petróleo a la superficie. Según investigaciones arqueológicas, la evidencia del uso de líquido asfáltico como producto de la destilación y tratamiento del petróleo en carreteras construidas data desde el año 3200 a. C.

El asfalto también se lo denomina betún y se ha empleado para distintos fines como la reparación de embarcaciones, agente impermeabilizante, revestimiento de tuberías, llantas o en su mayoría para hacer mezclas asfálticas. Además, es un recurso no renovable, sin embargo, desde una perspectiva de sostenibilidad, es una buena acción reutilizarlo, y así, prolongar su ciclo de vida (Sánchez, 2017).

De esta manera, se define como cemento asfáltico, al líquido aglomerante derivado de la fracción más pesada del petróleo, con alto peso molecular de hidrocarburos y viscosidad variable según la temperatura. Por consiguiente, es un material bituminoso negro obtenido del proceso de refinación del petróleo, con propiedades viscoelásticas (elástico y plástico). No obstante, su producción genera emisiones de gases tóxicos perjudiciales para el medio ambiente, lo que contribuye al efecto invernadero (Ramírez, 2008).

Es fundamental realizar un manejo adecuado del líquido asfáltico en la pavimentación para garantizar una aplicación y mantenimiento correctos, lo que prolongará la vida útil de las vías y avalará su seguridad. Al proporcionar una infraestructura vial eficiente, se promueve la conectividad entre ciudades y regiones, facilitando la movilidad, el impulso económico, intercambio cultural y la mejora de la calidad de vida.

2.1.1. Tipos de cemento asfáltico.

A partir del criterio de Minaya y Ordóñez (2001), siendo el cemento asfáltico un ligante cambia de viscosidad en función de la temperatura, permanece en estado sólido a temperatura ambiente y a partir de 60°C se transforma a estado líquido siendo ideal para manipulación y aprovechar sus propiedades. Se clasifica por su grado de viscosidad y temperatura. Se catalogan en cementos asfálticos: AC-5, AC-10, AC-15, AC-20 y AC-30.

La selección del tipo de asfalto se basa en su grado de viscosidad en relación con la temperatura. Para climas fríos se usa asfaltos de baja viscosidad para evitar el daño por fisuras y en climas calientes se emplea un alta viscosidad para evitar fallas por ahuellamiento (Martínez, 2021). Los grados de viscosidad del cemento asfáltico se miden en temperaturas de 60°C.

Tabla 1

Criterios de calidad para el cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60°C

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original				
Viscosidad dinámica a 60 °C; $Pa \cdot s (P^{[1]})$	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135 °C; mm^2 / s , mínimo (1 $mm^2 / s = 1 \text{ centistoke}$)	175	250	300	350

Viscosidad Sayboit- Furol a 135 °C; s, 80 mínimo	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5s; 10 ⁻¹ mm, 140 mínimo	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, 177 mínimo	219	232	232
Solubilidad: %, 99 mínimo	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C 37 – 43	45 – 52	48 – 56	50 – 58
Del residuo de la prueba de la película delgada			
Pérdida por calentamiento: %, 1 máximo	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60 °C; Pa · s(P ^[1]), máxima	200 (2 000)	400 (4 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm; mínimo	100	75	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	58

Nota: Información tomada de *Asphalt Institute*.

2.2. PAVIMENTOS

Los pavimentos son una opción de material para la construcción de carreteras, que implica la modificación del terreno natural para soportar cargas y se compone de varias capas. Este proceso constructivo incluye cortes, rellenos, construcción de

terraplenes, nivelación, transporte de tierras y la implementación de drenajes para garantizar la correcta colocación de las capas y prevenir su deterioro prematuro. Es decir, un pavimento es una superficie de rodamiento construida con capas de material seleccionado que absorbe las cargas de tránsito y las transmite a los estratos inferiores de manera disipada para proporcionar una superficie eficiente y cómoda para los vehículos que transitan por ella (Cardoza-Zambrano et al., 2019).

Por tanto, en un ámbito físico los pavimentos están diseñados para absorber las cargas-esfuerzos que genera el tráfico vehicular, disipando dichos esfuerzos continuamente a lo largo de las capas hasta igualar el esfuerzo a 0 en la cota de la subrasante. La experiencia a lo largo de la historia de la implementación de construcción de pavimentos en vías ha demostrado que pueden fallar por distintos factores como una mala compactación, el grado de viscosidad inadecuado para el clima expuesto o un mal cálculo de espesores de las capas que dan como consecuencia un déficit en la disipación de esfuerzos (Miranda Rebolledo, 2010).

2.2.1. Tipos de pavimentos.

Los pavimentos pueden tener distintas configuraciones de capas que se adaptan en función a los diferentes escenarios y necesidades que se presenten en las construcciones de carretera. Los tipos de pavimentos se clasifican en pavimentos flexibles, semirrígido, rígidos y articulados. Cada uno con sus ventajas y desventajas siendo el pavimento flexible en su mayoría el más utilizado a nivel mundial. En este caso, la investigación abarcará su estudio en los pavimentos flexibles.

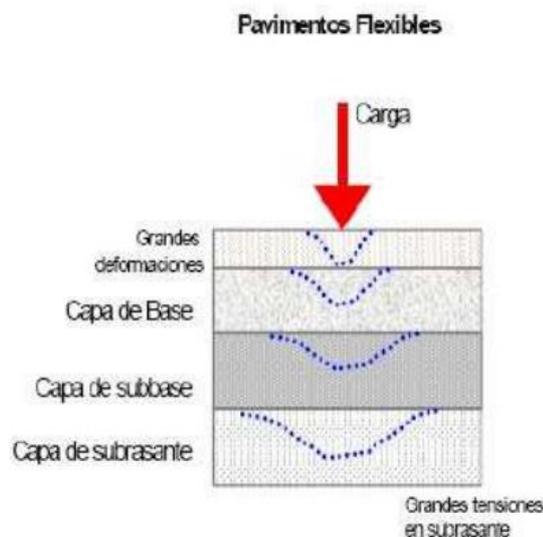
2.2.2. Pavimentos flexibles.

Para Miranda Rebolledo (2010), el pavimento flexible es uno de los más usados, debido a su convencionalidad de sus capas que están divididas en carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante, cabe recalcar que se agrega una capa llamada mejoramiento la cual es opcional si el diseño lo demanda. Esta carpeta asfáltica proporciona una capa de rodadura que absorbe los grandes esfuerzos que se

distribuyen a las capas inferiores disminuyendo el esfuerzo a medida que desciende, una característica de los pavimentos flexibles es su capa de rodadura la cual se pliega a deformaciones pequeñas sin que su estructura se fracture debido a la demanda el tráfico vehicular.

Figura 1

Perfil de capas estructurales de un pavimento flexible



Nota: Información tomada de *Miranda Rebollo, 2010.*

Entonces, un pavimento flexible se define como aquel que está compuesto por una capa de rodadura de material asfáltico que se coloca sobre una base granular, la cual a su vez se sitúa encima de una subbase granular asentada sobre la subrasante natural o mejorada. La duración estima oscila entre 15 y 20 años, siempre y cuando se realicen los correspondientes mantenimientos periódico (Espinoza, 2018).

2.2.3. Capas de pavimento flexible y sus especificaciones.

Subrasante: los suelos con un valor de CBR igual o superior al 6% se consideran adecuados para las capas de la subrasante. Sin embargo, si el valor es inferior (indicando una subrasante pobre o inadecuada), se explorarán diferentes opciones de estabilización, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo

de cimentación, la estabilización química de suelos, el uso de geosintéticos u otros productos aprobados al Ministerio de Transporte. Se evaluará la elevación de la rasante y el rediseño del trazado vial, seleccionando la opción más conveniente desde un punto de vista técnico y económico (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013).

Las propiedades de la capa subrasante en la que se coloca el pavimento se clasifican en seis categorías según su índice de soporte CBR:

Tabla 2

Categorías de Subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S_0 : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S_1 : Subrasante Pobre	De CBR \geq 3% A CBR < 6%
S_2 : Subrasante Regular	De CBR \geq 6% A CBR < 10%
S_3 : Subrasante Buena	De CBR \geq 10% A CBR < 20%
S_4 : Subrasante Muy Buena	De CBR \geq 20% A CBR < 30%
S_5 : Subrasante Extraordinaria	CBR \geq 30%

Nota: Información tomada de *Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013.*

Subbase Granular: las subbases de clase 1, 2, 3 y 4 no deberán tener un CBR menor de 30%. Los agregados utilizados deben tener un coeficiente de desgaste del 50% según el ensayo de abrasión de los Ángeles. La fracción que pase el tamiz 40 debe tener un índice de plasticidad menor a 6 y un límite líquido de 25. Es importante seleccionar la subbase adecuada según las especificaciones, debido a que, cada una tiene diferentes características de permeabilidad, resistencia y compactación (Espinoza, 2018, p. 116).

Base (granular): esta capa se sitúa justo debajo de la capa superficial y suele estar compuesta por agregados, ya sea estabilizados o no (Paneso, 2019). La principal función de la base granular de un pavimento es actuar como un componente resistente que transmite adecuadamente a la subbase y subrasante los esfuerzos generados por el tráfico vehicular (Montejo, 2008). Puede construirse en material granular que cumpla con un $CBR \geq 80\%$, o puede ser mejorada con cal, asfalto o cemento, según lo especificado en el diseño (Baque Solis, 2020).

Carpeta asfáltica: proporciona una superficie de rodadura uniforme que garantiza seguridad y comodidad, además de contribuir a la resistencia a la tensión y mejorar la capacidad estructural del pavimento. También desempeña un papel crucial al facilitar la impermeabilidad para el correcto funcionamiento de las capas inferiores (Ramos, 2013).

2.2.4. Parámetro de diseño para pavimento flexible.

En esta sección se detalla los parámetros de diseño empleados en el método AASHTO 93, tomando como referencia la información proporcionada por Espinoza (2018):

Número estructural (SN): es un número abstracto que indica la resistencia estructural necesaria del pavimento para cierta combinación de soporte del suelo. Para determinar los espesores reales de cada capa (como capa de rodamiento base, subbase), se utiliza coeficientes estructurales que representan la resistencia del material manejado en cada una de ellas (Espinoza, 2018).

Coefficiente estructural (α): cada capa de pavimento flexible contiene materiales con un coeficiente estructural que indica su capacidad para soportar las cargas aplicadas; estos se obtienen mediante la prueba AASHO y otros ensayos adicionales, los cuales se han ampliado para incluir diferentes materiales y condiciones, permitiendo una aplicación más generalizada del método. En muchos casos, el ensayo CBR se utiliza para establecer correlaciones con los coeficientes estructurales (Espinoza, 2018).

Coefficiente de drenaje (m): son valores que estiman cómo los niveles o calidad de drenaje afecta el rendimiento del pavimento. Para seleccionar el coeficiente adecuado, se calcula el tiempo de drenaje de los materiales, se elige una calidad de drenaje basada en ese tiempo y se estima la exposición de la estructura del pavimento a niveles cercanos a la saturación de humedad (Espinoza, 2018).

2.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS

De acuerdo a Bastidas y Rondón (2020), es un material compuesto de cemento asfáltico, agregados finos y gruesos debidamente caracterizados en base a su calidad y aplicación, mezclados en caliente en cantidades establecidas en función a una granulometría de diseño y posteriormente compactados para adquirir las propiedades físico-mecánicas óptimas para resistir al tráfico vehicular estimado para su ciclo de vida. La mezcla en caliente tiene como propósito combinar los agregados para que adquieran una correcta homogenización y llegar al punto ideal para una buena compactación, entre estos agregados.

El uso de pavimentos flexibles demanda construir una capa de rodadura que pueda deformarse bajo las cargas vehiculares sin tener daños en su estructura, esta capa llamada carpeta asfáltica debe tener materiales de calidad con estudios previos que garanticen la validez de sus propiedades o también llamado control de calidad.

Como lo indica Rodríguez De La Cruz (2022), una buena mezcla asfáltica nos proporciona calidad y seguridad en las carreteras contribuyendo al desarrollo de la sociedad, facilita la comunicación entre ciudades, pueblos y provincias, sin embargo, un mal diseño de una mezcla asfáltica puede inducir a un deterioro de la capa de rodadura disminuyendo su periodo de vida.

La experiencia que trae el deterioro de carreteras por un mal cálculo en los diseños de mezclas asfálticas nos obliga a usar herramientas tecnológicas para disminuir los daños en las carreteras, no obstante, surge la necesidad de aplicar estudios mediante ensayos para la corroboración de que el diseño de tal mezcla sea el ideal.

2.3.1. Tipos de mezclas.

En esta sección se presentan los tipos de mezclas, según la temperatura:

Mezcla asfáltica en caliente: son mayoritariamente empleadas y se componen de ligantes, áridos y, en ocasiones, aditivos. Su propósito es ser utilizada en las capas de rodamiento o en las capas inferiores de la estructura vial. Para garantizar una mezcla óptima y una cobertura completa de las partículas del árido, se requiere aplicarlas a altas temperaturas que oscilan entre 150 °C y 160°C, dependiendo de la viscosidad del asfaltado (Buitrago y González, 2016).

Naser et al. (2023) indica que las mezclas asfálticas en caliente (HMA), están compuestas principalmente por dos materiales: asfalto y agregados minerales, los cuales representan entre el 90 y 95% del peso, mientras que, en volumen constituyen el 75 % y 85 %.

Por su parte, Obaid et al. (2022) señala que las mezclas bituminosas en caliente (WMA) son una alternativa a las mezclas asfálticas en caliente (HMA) que utilizan temperaturas de mezcla y compactación más bajas. Esto se debe a que las WMA utilizan aditivos o modifican el asfalto para que sea más fluido y fácil de trabajar. Algunas ventajas de las WMA son: reducción del consumo de energía, mayor flexibilidad, mejores propiedades de rendimiento y menos emisiones de gases de efecto invernadero.

Mezcla asfáltica en frío: son producidas utilizando emulsión asfáltica y se aplican a temperatura ambiente, esto se debe a que el ligante tiene una baja viscosidad durante un largo período de tiempo debido al uso de emulsiones con asfalto fluidificado, lo que permite trabajar la mezcla y cubrir por completo las partículas de agregados sin necesidad de altas temperaturas. Estas mezclas se destacan por ser fáciles de trabajar, incluso durante varias semanas, y se utilizan principalmente en carreteras secundarias con poco tráfico (Buitrago y González, 2016).

Mezcla Asfáltica en tibio: comparten similitud con las mezclas asfálticas em caliente, pero se produce e instalan a temperaturas más bajas. Esto se logra mediante el uso de aditivos que reducen la viscosidad a temperaturas más bajas y aseguran una cobertura óptima de los agregados (Buitrago y González, 2016, p. 55).

2.4. MÉTODO MARSHALL

La finalidad del método Marshall es determinar la cantidad ideal del asfalto para una mezcla específica de agregados. Fue desarrollado por el ingeniero Bruce Marshall, en consecuencia, el cuerpo de ingenieros de los Estado Unidos, mediante una investigación exhaustiva y análisis de datos, realizó mejoras y añadió elementos al proceso de prueba Marshall, además de establecer un criterio de diseño para las mezclas, por tanto, el ensayo fue estandarizado bajo la norma ASTM D 1559 (Miranda, 2016; Garnica et al., 2004).

Por lo tanto, el método Marshall es un ensayo de laboratorio que busca crear una mezcla asfáltica óptima mediante el análisis de su estabilidad, flujo, densidad y vacíos. Una de las ventajas del método es su enfoque en las propiedades de densidad/vacíos del material asfáltico (Miranda, 2016). Según Cervantes-Calvo y Sequeira-Rojas (2014), se debe elegir mezclas asfálticas que cumplan con los parámetros de diseño establecidos en la metodología Marshall de manera económica, considerando los siguientes aspectos:

- ✓ Se requiere la cantidad adecuada de asfalto para formar una capa protectora sobre el agregado, asegurando su unión y proporcionando una capa impermeable para garantizar la durabilidad.
- ✓ La mezcla debe tener la resistencia adecuada para soportar la deformación permanente causada por la carga de tráfico que experimenta durante el uso de la carretera.

- ✓ El porcentaje de vacíos debe ser adecuada para permitir una compactación adicional, debido a la carga de tráfico, sin causar daño, exudación de asfalto o comprometer la permeabilidad de la mezcla asfáltica.
- ✓ La mezcla debe tener la trabajabilidad necesaria para permitir una colocación y compactación eficiente sin que se produzca segregación.

Dentro de la metodología Marshall y de acuerdo a Asphalt Institute (2007), se definen ciertos parámetro de diseño basados en el tráfico estimado durante la fase operativa de la carretera:

Tabla 3

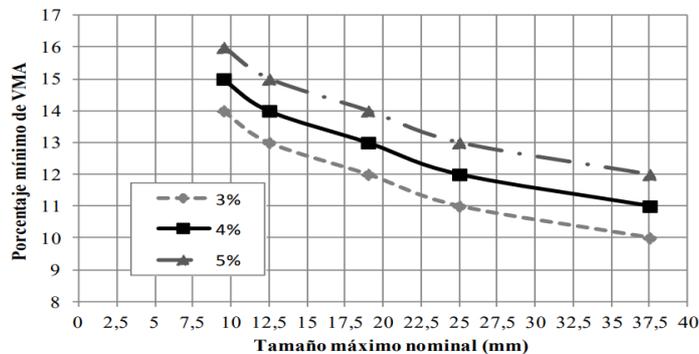
En función del tráfico, parámetros de diseño en la Metodología Marshall

Parámetro de diseño	Tráfico Liviano (ESAL <104)	Tráfico Medio (104 <ESAL<106)	Tráfico Pesado (ESAL>106)
Compactación (número de golpes por cada lado del espécimen)	35	50	75
Estabilidad, N (kgf)	3.336 (450)	5.338 (550)	8.006 (800)
Flujo, 1/100 pulg (1/100 cm)	8 a 18 (20 a 45)	8 a 16 (20 a 40)	8 a 16 (20 a 35)
Vacíos al aire, %	3 a 5	3 a 5	3 a 5
Vacíos en el agregado mineral (VMA), %	Ver Figura 2		
Vacíos llenos con asfalto (VFA), %	70 a 80	65 a 78	65 a 75

Nota: Tomado de Asphalt Institute, 2007.

Figura 2

Porcentaje mínimo de VMA, según el contenido de vacíos de diseño en la mezcla asfáltica



Nota: Tomado de Asphalt Institute, 2007 y Cartel de Licitación Pública N°2009LN-000003-CV (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2011).

2.4.1. Ensayo de densidad bulk.

Maldonado y Pozo (2022) mencionan que la densidad bulk se calcula midiendo la masa en gramos de las briquetas de mezclas asfálticas compactadas, una vez que se han enfriado a temperatura ambiente. Posteriormente, se pesan las briquetas en el aire, luego se sumergen durante cinco minutos y secan superficialmente antes de pesarlas nuevamente. Por último, se sumergen en agua utilizando una canasta de alambre para determinar su peso sumergido.

2.4.2. Ensayo de densidad teórica máxima (Rice).

En este ensayo, se determina la gravedad específica máxima teórica, de la mezcla asfáltica sin compactar. Primero, se deja enfriar la mezcla a temperatura ambiente se toma el peso. Luego, se coloca en el picnómetro y se vierte agua a 25 °C. A continuación, se extraen los vacíos colocando el picnómetro en el aparato de agitación mecánica. Después de 15 minutos, se llena el picnómetro hasta el borde y se registra su peso (Moscoso, 2022). De esta manera, el cálculo se realiza con la siguiente ecuación.

$$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C} \quad (1)$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica máxima teórica.

A = Peso de la mezcla seca en aire(g)

B = Peso del picnómetro + agua (o debajo)

C = Peso del picnómetro + agua + muestra (g)

2.4.3. Prueba de estabilidad y flujo.

Garnica et al. (2005) indica que una vez que se ha determinado la gravedad específica, se realiza la prueba de estabilidad y flujo sumergiendo el espécimen en un baño María a una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) durante 30 a 40 minutos antes de la prueba. Después se retira el espécimen del baño María y se seca cuidadosamente su superficie. Posteriormente se ubica y centra el espécimen en la mordaza inferior, se procede a colocar la mordaza superior y asegurar su completa alineación en el aparato de carga. A continuación, se aplica una carga de prueba al espécimen a una velocidad de deformación constante 51 mm (5") por minuto hasta que se produzca su falla.

El punto de falla se determina mediante la lectura de la carga máxima alcanzada, este valor expresado en Newtons (lb), se registra como el índice de estabilidad Marshall. Durante el transcurso de la prueba de estabilidad, en caso de no contar con un equipo de registro automático, es necesario mantener el medidor de flujo ubicado sobre la barra guía y tomar la lectura cuando la carga comience a disminuir. Dicha lectura se registra como el valor final del flujo. La diferencia entre el valor inicial y el valor final del flujo, expresada en unidades de 0.25 mm (1/100*), corresponde al valor de flujo Marshall (Garnica Anguas et al., 2005).

2.4.4. Análisis de densidad y vacíos.

Una vez finalizadas las pruebas de estabilidad y flujo, se realiza el análisis, se realiza el análisis de densidad y vacíos para cada serie de muestras de prueba. Es necesario determinar la gravedad específica teórica máxima (según ASTM D2041) para al menos dos contenidos de asfalto, dando preferencia a aquellos cercanos al

contenido óptimo de asfalto. Se calcula un valor promedio de la gravedad específica efectiva del agregado total a partir de estos datos, luego se utilizan para calcular el porcentaje de asfalto absorbido, el porcentaje de vacíos (V_a), el porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA), el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) (Garnica Anguas et al., 2005).

2.5. CENTRÍFUGA ELÉCTRICA

De acuerdo a Montoya (2019), una centrífuga eléctrica es un dispositivo que emplea la fuerza centrífuga generada por la rotación para expulsar la materia desde el centro de rotación, separando así las partículas en un líquido mediante sedimentación.

León et al. (2017) indican que la norma de referencia para la centrífuga es ASTM D 2172, además, la centrífuga es considerado como un método de cuantificación de contenido asfáltico, por tanto, su alcance es determinar el contenido de asfalto y la obtención de los materiales agregados, es decir, facilita la recuperación del asfalto. El proceso consiste en poner el solvente en contacto con la combinación de asfalto y agregado en una centrífuga, posteriormente, lavar el asfalto del agregado repetidamente.

Por otro lado, Zhong et al. (2023) menciona que es importante distinguir entre el aglutinante y el agregado en el RAP. Para ello, en la recuperación de asfalto se utilizan técnicas como la extracción centrífuga y la evaporación rotatoria, los cuales, implican disolver el aglutinante en un solvente orgánico en la superficie del agregado y separarlo del solvente orgánico utilizando un evaporador rotatorio.

2.5.1. Metodología de la centrífuga.

Para llevar a cabo este método, se requiere el uso de una centrifugadora adecuada de alta velocidad (hasta 3600 r/min) de flujo continuo. Posteriormente, se calcula el peso de una taza vacía y limpia con una precisión de 0.01 ± 0.005 g y se la coloca en la centrifugadora. Luego, utilizar un recipiente en el desagüe para recolectar el líquido que sale de la centrifugadora, se transfiere todo el extracto a

otro recipiente que tenga un control de alimentación. Para asegurarse de transferir la cantidad correcta, se debe lavar el recipiente original con solvente limpio en pequeñas cantidades, después se agregará las lavaduras al nuevo recipiente. Se enciende la centrifugadora y se espera a que alcance una velocidad constante (Malma, 2013).

Por consiguiente, conecte la línea de alimentación y suministre el extracto en la centrifugadora a una velocidad de 100 a 150 ml/min. Una vez, que todo el extracto haya pasado a través de la centrifugadora, realice varias adiciones de solvente limpio para lavar el mecanismo de alimentación, asegurándose de que cada incremento pase mediante la centrifugadora hasta que el efluente sea prácticamente incoloro. Finalmente, se espera que la centrifugadora se detenga para retirar la taza. Limpia el exterior con un nuevo solvente. Dejar que el solvente residual se evapore en un embudo o caperuza para vapor, luego secar el recipiente en un horno a 110 ± 5 ° C (230 ± 9 ° F). Enfriar el recipiente y se vuelve a medir el peso de inmediato. El aumento representa el peso de la materia mineral (W4) en el extracto (Malma, 2013).

2.5.2. Método de prueba estándar para la extracción cuantitativa de aglutinante de asfalto de mezclas asfálticas.

Metodología: Norma ASTM D2172-05 Metodología para la extracción cuantitativa de asfalto y muestras de pavimento mediante un solvente. El método de extracción mediante el método de la centrífuga con la ayuda de un solvente es útil para determinar el contenido de asfalto que contiene el material reciclado, además el lavado del material reciclado permite obtener muestras de los agregados.

Este procedimiento hace uso de un solvente volátil orgánico como el cloruro de metileno o tricloroetileno que ayuda a la separación del cemento asfáltico con los agregados. Para este método se emplea el uso de gasolina como solvente (León et al., 2017).

2.6. AGREGADOS

Para Hernández (2019), los agregados son componentes inertes resultantes de la trituración tanto natural como artificial de distintas piedras, las cuales presentan una variable granulometría. Estos al ser combinados con agua y cemento, conforman los tres componentes esenciales para la producción de concreto. Por su parte el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2002), lo denominó en este período como áridos o agregados, se utiliza como un término genérico para referirse a diferentes conjuntos de partículas minerales, de diversos tamaños, que resultan de la fragmentación tanto natural como artificial de las rocas.

2.6.1. Tipos de agregados para asfalto.

Agregado pétreo: son materiales sólidos inertes que se utilizan en la construcción de carreteras. Se emplean con materiales aglomerantes hidráulicos como cemento o cal, o con ligantes asfálticos (Patiño-Vera, 2023). Este tipo de agregados se puede clasificar en naturales, de trituración, artificiales y marginales (Padilla, 2004).

Agregado fino: es una arena que se obtiene de canteras aluviales o mediante producción artificial. Sus partículas, generalmente cúbicas o esféricas. Está compuesta por fragmentos de roca limpios, duros y compactos que le confieren durabilidad y resistencia (Patiño-Vera, 2023).

Agregado grueso: material de origen volcánico que se retiene en el tamiz número 4(4,75 mm) debido a su tamaño, después de la desintegración de la roca (Patiño-Vera, 2023).

2.6.2. Propiedades de agregados.

Las propiedades necesarias para que los agregados pétreos sean parte de una mezcla asfáltica de aplicación son las siguientes: “gradación y tamaño máximo, limpieza, dureza, forma y textura de la partícula, capacidad de absorción” (Aguilar y Valer, 2021).

2.6.3. Granulometría.

Metodología: Norma ASTM D2421-85 Establece un procedimiento para preparar muestras de suelo seco, para posteriormente realizar un análisis de tamaño de partículas como lo establece la norma ASTM D422-63, para obtener una curva granulométrica.

El análisis del tamaño de las partículas es fundamental para poder realizar un análisis de los tamaños de las partículas de un material. El método de análisis granulométrico consiste en separar las partículas a través de una serie de tamiz que tienen una determinada abertura de malla, para realizar este ensayo es necesario tener la muestra seca del horno. En este ensayo se utilizan dos métodos, el tamizado para partículas mayores a $75\ \mu\text{m}$ y por hidrómetro para partículas menores. El ensayo se puede hacer de forma mecánica o manual y si es necesario, no se debe sobrecargar los tamices para evitar el exceso de material lo que puede afectar el proceso de tamizado, se pesa el contenido de la malla y la masa total después del tamizado deberán ser verificado con la masa inicial, el resultado mostrará una curva granulométrica en el eje de las abscisas, se tendrá en escala semilogarítmica el tamaño de los agregados y en las ordenadas el % de material pasante de esta menar podremos analizar el material ensayado (Castro y Manzaba, 2022).

2.6.4. Gravedad específica y absorción.

El peso y el volumen de un agregado pétreo se determinan mediante la gravedad o peso específicos, que es el cociente entre el peso y el volumen del material. Esta medida es relevante en la producción de mezcla asfáltica, debido a que, tanto el agregado como el cemento asfáltico se miden, en la mezcla, según su peso.

El agregado pétreo puede ser poroso, absorber agua y cemento asfáltico en una proporción variable (Chiquito y Torres, 2015). Para tener en cuenta estas variaciones en el diseño de mezcla asfáltica, se requieren las siguientes gravedades específicas:

2.6.4.1. Gravedad específica y absorción para agregado grueso.

Se emplea 5000 gramos de material retenido en el tamiz N 4 (4,75mm). La muestra se sumerge en agua por 24 horas y se pesa, obteniendo el peso saturado superficialmente seco. Luego, la muestra se coloca en una canastilla y se sumerge nuevamente en agua para obtener el peso saturado superficialmente seco sumergido en agua. Finalmente, la muestra se coloca en el horno para obtener el peso constante del material (Chiquito y Torres, 2015). Los autores mencionan que las gravedades específicas requeridas y el porcentaje de absorción se calculan mediante las siguientes ecuaciones.

Gravedad Específica Seca Bulk o Neta de los Agregados.

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C} \quad (2)$$

Gravedad Específica Aparente.

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C} \quad (3)$$

Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca bulk.

$$G_{ssb} = \frac{B}{B - C} \quad (4)$$

Porcentaje de Absorción.

$$Absorción(\%) = \frac{(B - A) * 100}{A} \quad (5)$$

Donde:

A = Peso en Aire del Agregado Secado al Horno. (g)

B = Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco. (g)

C = Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua. (g)

2.6.4.2. Gravedad específica y absorción para agregado fino.

Para este método se utilizarán al menos 1000 gramos del agregado que pasa por el tamiz N 4(4,75mm). Se sumerge en agua durante 24 horas y luego se colocado en una superficie limpia y plana con una corriente de aire cálido. Después de secarse ligeramente, se toma una muestra y se compacta

suavemente en un cono golpeándolo 25 veces con un apisonador. La muestra alcanzará el peso saturado superficialmente seco cuando el material caiga al quitar el cono. A continuación, se toma 500 gramos de la muestra y se coloca en un matraz lleno de agua para eliminar los vacíos de aire y se registra el peso. Por último, la muestra se coloca en el horno hasta obtener el peso constante del material (Chiquito y Torres, 2015). Por tanto, los autores indican que las gravedades específicas requeridas y el porcentaje de absorción se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

Gravedad Específica Seca Bulk o Neta de los Agregados.

$$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C} \quad (6)$$

Gravedad Específica Aparente.

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C} \quad (7)$$

Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca bulk.

$$G_{ssb} = \frac{D}{B + D - C} \quad (8)$$

Porcentaje de Absorción.

$$Absorción(\%) = \frac{(D - A) * 100}{A} \quad (9)$$

Donde:

A = Peso en Aire del Agregado Secado al Horno. (g)

B = Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua. (g)

C = Peso del Picnómetro (Matraz) Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca. (g)

D = Peso de Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).

Los métodos para medir esta característica son los siguientes:

✓ Metodología: El agregado grueso, que queda retenido en el tamiz N°4, se somete al ensayo ASTM C 127 (Chiquito y Torres, 2015).

✓ Metodología: El agregado fino, que por el tamiz N°4, se somete al ensayo ASTM C 128 (Chiquito y Torres, 2015).

2.7. MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO

En otras palabras, el RAP conocido como Reciclado de Asfalto en Pavimentos, consiste en la reutilización del material extraído de la capa asfáltica deteriorada. Este material es mezclado cuidadosamente con áridos nuevos, ligante asfáltico nuevo o agentes rejuvenecedores en proporciones adecuadas. El resultado es una nueva mezcla en caliente que satisface los rigurosos requisitos de calidad, resistencia y durabilidad necesarios para su aplicación en el tipo de capa de pavimento correspondiente (Morales et al., 2019).

Por tanto, el RAP radica en finos agregados clasificados y cubiertos con cemento asfáltico que deben ser triturados y clasificados de manera adecuada. Para asegurar su uso exitoso, se deben considerar tres factores críticos: rentabilidad, buen desempeño y respeto al medio ambiente (Dughaishi et al., 2022).

Prosperi et al. (2022) manifiesta que el uso de RAP en la construcción de carreteras es una práctica cada vez más común en todo el mundo. En algunos países, como Alemania, Estados Unidos, Países Bajos y Japón, ya se han fabricado mezclas con 100 % RAP. Esto representa un hito importante en el desarrollo de la ingeniería de pavimentos, debido a que, abre la posibilidad de un reciclaje total de los materiales de construcción.

El reciclado de mezclas bituminosas en caliente implica reutilizar mezclas asfálticas retiradas de capas firmes envejecidos, agregando áridos y ligantes nuevos, en ocasiones, resulta conveniente rejuvenecer el ligante, para obtener mezclas bituminosas recicladas (MBR) con comportamiento similar a las mezclas convencionales. También se recomienda utilizar agentes rejuvenecedores cuando el material a reciclar contiene más del 30% de fresado o cuando el betún está muy envejecido (Barral et al., 2005).

Por lo que, Valdés V. et al. (2008) menciona que las propiedades del RAP están directamente influenciadas por diversos factores, tales como el tipo de mezclas asfálticas de origen, la metodología utilizada en su extracción, la capa del

pavimento de la que se ha extraído, así como el proyecto del cual proviene. Esto genera una heterogeneidad en el material, lo cual implica variaciones significativas en términos de calidad de los áridos, el contenido y tipo de ligante adherido. Estas variaciones pueden tener un impacto en la homogeneidad de la mezcla final deseada, especialmente cuando se emplea RAP en altas tasas.

De este modo, Mubaraki et al. (2019) declara que el RAP es considerada uno de los enfoques más importantes en la industria vial, debido a su impacto ambiental, económico y técnico. Aunque el aglutinante RAP envejecido es más duro que el betún normal, esto puede ser beneficioso para el control de las roderas. No obstante, también puede aumentar la propensión al agrietamiento y reducir la resistencia a la tracción, por tanto, la vida útil del pavimento. En el caso, del pavimento flexible con un 40% de RAP tiene mayor resistencia a la flexión y tenacidad a la fractura.

2.7.1. Fresado.

Rivera (2019) manifiesta que el término fresado se originó de la técnica de desbastar o cortar metales u otras piezas utilizando engranaje con un cortador giratorio o varios freses en movimiento giratorio continuo. Esta expresión se aplica a las máquinas de fresado empleadas en la fabricación de diferentes estructuras. Ahora bien, el fresado del pavimento puede realizarse en frío o en caliente dependiendo de la temperatura.

Cuando se utiliza la máquina de fresado en frío se realiza el desbaste con un abrasivo simple. Las fresadoras en frío son máquinas que se emplean para fresar superficies de asfalto y hormigón de forma rápida y eficiente, creando una base nivelada y adecuada para la colocación de nuevos pavimentos de espesor uniforme. La calidad de los nuevos pavimentos y su utilidad dependen de la superficie fresada (Rivera, 2019).

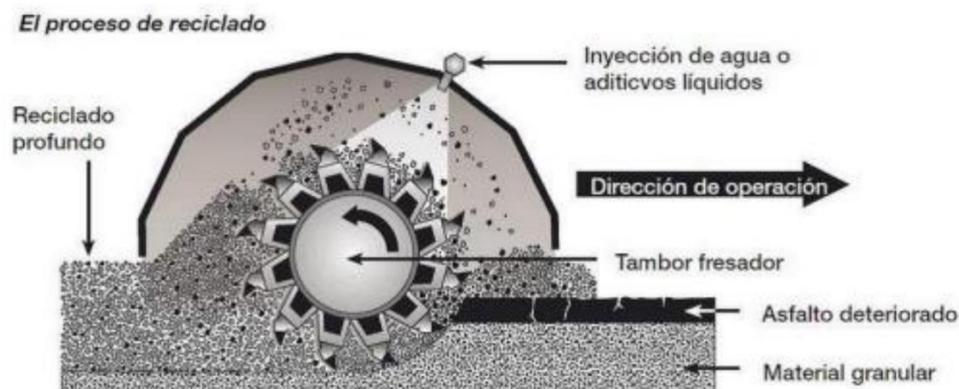
Mientras que, en el proceso en caliente se utiliza un precalentamiento para facilitar el desbaste. Además, es empleado como parte del reciclaje in situ en caliente. En esta modalidad, el fresado es similar, no obstante, se usa la

escarificación como técnica de desbaste de la capa, debido a que, está presenta poca resistencia al corte como consecuencia de su elevada temperatura (Rivera, 2019; Bonfim, 2008).

El proceso de fresado en un pavimento flexible consiste en la eliminación parcial o total de la capa de rodadura del pavimento, con el propósito de remover secciones defectuosas sin afectar aquellas que se encuentran en buen estado. El material extraído a través de este proceso puede ser utilizado para labores de rehabilitación y construcción de nuevos pavimentos. También, es conocido como Pavimento asfáltico recuperado (RAP) (Rojas y Silvestre, 2022).

Figura 3

Proceso de fresado



Nota: Información tomada de Wirtgen, 2004.

2.7.2. Áreas de aplicación del reciclaje.

Dávila (2012) expresa que el reciclaje de pavimentos se puede emplear cuando las fallas sean causadas por:

- ✓ El aumento de la rigidez del ligante asfáltico por el envejecimiento.
- ✓ La falta de adherencia causada por el envejecimiento del asfalto, lo que lleva al desprendimiento de los agregados.

- ✓ Las deformaciones plásticas, tales como el ahuellamiento, las ondulaciones y los corrimientos, pueden manifestarse en el pavimento.
- ✓ El proceso de pulimiento de la superficie de los agregados puede disminuir la resistencia al deslizamiento.
- ✓ Las fisuras y grietas surgidas por la fatiga de la carpeta asfáltica o por variaciones de temperatura.

2.7.3. Métodos utilizados para el reciclado de pavimento asfáltico.

Los pavimentos poseen un ciclo de vida determinado, por lo tanto, es fundamental considerar el reciclaje al llegar al término de dicho ciclo para su aprovechamiento adecuado, además, se convierte en una opción viable y necesaria. Pastás (2021) sostiene que, a lo largo del tiempo, se han desarrollado diversos métodos para reciclar el pavimento asfáltico en vías deterioradas, considerando factores como la temperatura (frío o caliente), la ubicación (in situ o en planta), de remoción (fresado o escarificación) y la profundidad a reciclar. Estos avances han permitido obtener diferentes formas de material deseado y han sido ampliamente aceptados en la industria. Algunos de los métodos más utilizados son:

Reciclado en planta (caliente o frío): después de haber extraído el material de las carreteras o pistas, se transporta a las plantas de tratamiento. Allí, se lleva a cabo un proceso de trituración para homogeneizar el material. Este se mezcla, ya sea en caliente con materiales vírgenes y betún, o en centrales de mezclas en frío. Como resultado, se obtiene una mezcla bituminosa compuesta de material reciclado (Restrepo y Stephens, 2015).

Reciclado in-situ en frío: la técnica consiste en fresar el material existente y luego mezclarlo con un agente aglutinante, como emulsión bituminosa o conglomerante hidráulico, utilizando maquinaria multifuncional que opera a temperatura ambiente. Además, ésta técnica permite reciclar hasta el 100% del

material, aunque se debe evitar reciclar material en buen estado para no afectar la homogeneidad de éste, debido a que, éste suele tener mejores propiedades mecánicas (Quesada, 2004). Entre sus ventajas está la menor producción de CO₂, menor consumo de energía, capacidad de reciclar capas gruesas, beneficios ambientales y económicos. Sin embargo, una desventaja son las posibles irregularidades en la capa final debido a dificultades en la compactación (Pastás, 2021).

Silva et al. (2022) indica que el reciclaje de pavimentos asfálticos es un proceso en el que el RAP, que es el material fresado de un pavimento existente, se incorpora a una nueva mezcla asfáltica. Para ello, se añade ligante asfáltico para estabilizar y se pueden incorporar áridas vírgenes para ajustar la gradación de la mezcla.

Reciclado in-situ en caliente: mediante esta técnica, se puede reciclar el pavimento asfáltico usando máquinas de fresado con calefactores para extraer el material. Después de fresar la superficie, se mezcla con betún y agentes rejuvenecedores para obtener condiciones mecánicas óptimas (Quesada, 2004). Además, Prospero et al. (2022) afirma que este método es el más rentable porque permite recuperar los componentes del RAP, incluido los agregados y el asfalto. No obstante, es de conocimiento que el RAP al provenir de pavimentos viejos presenta un betún envejecido, por tanto, puede afectar el desempeño de la mezcla asfáltica.

Bocci y Prospero (2020) indican que el betún en el RAP se vuelve más fluido cuando se calienta o entra en contacto con agregados vírgenes calientes, esto permite que el asfalto interactúe con los otros componentes del HMA, incluidos el aglutinante virgen y el rejuvenecedor). Ahmad et al. (2022) agrega que el uso de RAP en las mezclas asfálticas en caliente (HMA) puede provocar la producción de una mezcla más rígida y quebradiza. Por ello, estudios han demostrado que las mezclas asfálticas recicladas en caliente con un 50% de RAP puede ser hasta un 25-60 % más rígidas que las mezclas HMA con solo componentes vírgenes.

2.8. MEZCLA ASFÁLTICA RECICLADA

La mezcla asfáltica reciclada es una alternativa sostenible en la construcción de infraestructuras viales, debido a que, permite reutilizar materiales asfálticos, como el fresado de capas antiguas de pavimento, a su vez, se destaca que puede conservar propiedades mecánicas adecuadas, lo que puede garantizar su durabilidad y resistencia.

2.8.1. Diseño de mezclas asfálticas reciclada.

Guio y Sánchez (2014) realizaron una mezcla con base granular y asfalto reciclado en diferentes proporciones, y para la cual, se tomó una muestra representativa de 5000 gramos. Los resultados demostraron que, la mezcla de agregados con el asfalto reciclado no es uniforme, debido a las diferencias en la temperatura y a la necesidad de calentar los asfaltados reciclados para lograr una mezcla adecuada. Además, al integrarse la temperatura que presenta el asfalto tienden a variar la humedad óptima de los agregados, lo que da como consecuencia una mala compactación durante la prueba de laboratorio (CBR). Es importante destacar que el asfalto debe ser combinado rápidamente durante el proceso de mezcla, debido a que, al enfriarse se solidifica y no se adhiere correctamente al agregado.

El proceso de diseño de una mezcla reciclada en caliente consta de varias fases claves que permiten obtener una nueva mezcla mejorada para obtener un producto final de calidad y sostenible. Para lo cual, Puig (2021) destaca los siguientes puntos:

- ✓ Establecer los factores determinantes (como el tipo de infraestructura, el pavimento existente, el tráfico esperado, condiciones climáticas, la forma de construcción y las restricciones económicas) que afectan al diseño de una mezcla reciclada en caliente.

- ✓ Adquirir conocimiento sobre las propiedades claves y prever cómo se comportará la mezcla en las condiciones establecidas en la fase inicial del proceso de diseño.
- ✓ Caracterización del pavimento asfáltico reciclado (RAP).
- ✓ Seleccionar cuidadosamente los agregados (áridos), los cuales preferentemente deben estar disponibles en las cercanías de la obra. Además, considerar la elección del filler a añadir, si es necesario.
- ✓ Decidir qué tipo de ligante se utilizará y evaluar la opción de añadir agentes rejuvenecedores.
- ✓ Determinar la dosificación adecuada del contenido de ligante y rejuvenecedor, así como la proporción del RAP, para asegurar que la granulometría del RAP y los agregados vírgenes estén dentro del rango requerido para la mezcla seleccionada.

2.8.2. Beneficios de las mezclas asfálticas con RAP.

El reciclaje de pavimentos flexibles es beneficioso en términos técnicos, económico y ambientales. De acuerdo a Miranda-Argüello y Aguiar-Moya (2019), se especifican las principales ventajas de emplearlo como sustituto de una parte de la mezcla asfáltica:

Beneficios ambientales: derivados de la implementación de mezclas asfálticas con RAP comprenden la reutilización de materiales al final de su vida útil, la reducción de vertederos, la disminución del uso de material nuevo y la reducción de los procesos de extracción de materias primas limitadas. El uso de RAP en nuevas mezclas asfálticas resultó en una reducción neta de emisiones de gases de efecto invernadero estimada en 21,2 millones de toneladas de CO₂ entre 2009 y 2019 (Abdel-Jaber et al., 2022).

Beneficios económicos: la reducción de costos en pavimentación, el ahorro en importación y extracción de materia prima (asfalto y agregados), la disminución en los tiempos de intervención, la reducción en las importaciones de productos asociados a la obra y disminución de los porcentajes de ligante asfáltico requeridos en la mezcla. Según estudios de costos, Kaya Ozdemir et al. (2023) menciona que el uso de diferentes rejuvenecedores en las mezclas RAP pueden resultar en una reducción de costos de hasta el 55%, lo cual, es una ventaja significativa junto con los beneficios ambientales.

2.8.3. Desempeño de la mezcla asfáltica reciclada.

Miranda-Argüello y Aguiar-Moya (2019) menciona que se ha demostrado la evaluación del desempeño de las mezclas con RAP mediante ensayos de fatiga, deformación permanente y susceptibilidad al daño por humedad. Además, añade las perspectivas de diversos estudios, en donde se indican que a medida que aumenta el contenido de RAP en la mezcla, disminuye la resistencia a la fatiga (Alarcón, 2003; Méndez, 2015; Marín, 2016). No obstante, Petho y Denneman, (2016) sostienen que es factible crear mezclas que contengan un 60% de RAP y todavía obtener un desempeño a la fatiga equiparable al de las mezclas convencionales.

Por su parte, Pradyumna et al. (2013) descubrieron que las mezclas asfálticas con un 20% de RAP tenían una mejor resistencia al ahuellamiento en comparación con las mezclas vírgenes. El endurecimiento del RAP aumentó la resistencia al ahuellamiento, con puntos de penetración y reblandecimiento de 39 (0,1 mm) y 62 ° C respectivamente. Además, pruebas anteriores mostraron un menor envejecimiento en los ligantes de RAP. Mientras que, Boriack et al. (2014) llevaron a cabo cuatro pruebas con diferentes porcentajes de RAP (0%, 20%, 40% y 100%), y descubrieron que a medida que aumentaba el porcentaje de RAP, la rigidez aumentaba y la deformación permanente disminuía.

Por otra parte, Sunil et al., (2014) realizaron pruebas utilizando tres niveles de tensión (60%, 70% y 80%) con el fin de determinar la resistencia a la fatiga. Al

incorporar diferentes proporciones de RAP (asfalto reciclado), observaron que a medida que aumentaba el porcentaje de RAP, la resistencia a la fatiga disminuía, lo cual se evidencia en una reducción en el número de ciclos hasta la falla. La continuidad de estudios evidenció que las mezclas con 50% y 100% de RAP mejoraron el desempeño del pavimento asfáltico, y una mayor proporción de RAP podría aumentar la resistencia a la rodadura y el módulo de resiliencia (Hmrawey et al., 2015).

Diversas investigaciones han demostrado que las mezclas que contienen al menos un 30% de RAP, tienen un rendimiento similar a las mezclas con agregados vírgenes, entre ellas, la mejora en la resistencia a la fatiga y las propiedades mecánicas (Tabakovic et al., 2010; Saliani et al., 2019; Calabi-Floody et al., 2020; Gottumukkala et al., 2021). Por su parte, Chaitanya et al. (2015) descubrieron que las mezclas que incorporaban un máximo del 35% de RAP mejoran la resistencia a la fatiga al aumentar la rigidez.

Sánchez et al. (2017) concluyeron que la heterogeneidad del RAP es una fuente significativa de incertidumbre, lo cual tiene un impacto importante en la variabilidad de la respuesta y el rendimiento de las mezclas asfálticas que incluyen este material.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología que establece los parámetros esenciales para el diseño de una mezcla asfáltica en caliente con material asfáltico reciclado bajo las normas del Ministerio de Obras Públicas y Telecomunicaciones. Los ensayos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo.

Se utiliza el tipo de investigación aplicada, donde se aborda de manera práctica y concreta un problema específico. Tal como lo refiere Murillo (2004), la investigación aplicada es conocida como “investigación práctica o empírica”, porque está enfocada en aplicar y utilizar conocimientos adquiridos, mientras se obtienen nuevos conocimientos, a través de la implementación y sistematización de la práctica basada en investigación. Con relación al tema de estudio, se analiza la nueva mezcla asfáltica incorporando material asfáltico reciclado, lo que implica la realización de pruebas de laboratorio. Por tanto, Vargas (2009) indica que los resultados de la investigación se emplearán para entender de manera rigurosa, organizada y sistemática la realidad, en este caso, de las mezclas asfálticas recicladas.

3.1.2. Nivel.

El nivel de investigación utilizado es exploratorio, debido a que se busca analizar las propiedades de una mezcla asfáltica reciclada a través de los ensayos de laboratorio, lo cual, conduce a la experimentación. Además, se realiza un nivel comparativo al contrastar estas propiedades con las de una mezcla asfáltica convencional.

3.2. MÉTODO ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método.

El método de investigación empleado es experimental, la razón es que en este método “el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas” (Guevara et al., 2020, p. 168). En este caso, si se efectúa un cambio o manipula el valor de la variable independiente (material asfáltico reciclado), se observa el efecto en las variables dependientes (Nueva mezcla asfáltica en caliente).

Por tanto, se da respuesta a las variables de estudio mediante la realización de los ensayos de laboratorio que permiten gradación (tamaño de las partículas) del material asfáltico reciclado, el cálculo del porcentaje óptimo de material nuevo y asfalto a incorporar a la nueva mezcla asfáltica reciclada, posteriormente, para el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de dicha mezcla. A su vez, se da cumplimiento a los objetivos dispuestos en la investigación.

3.2.2. Enfoque.

La investigación utiliza un enfoque mixto que combina elementos cuantitativos y cualitativos. En el enfoque cuantitativo, se realizan ensayos de laboratorio utilizando herramientas numéricas para calcular el contenido óptimo de material nuevo y asfalto para la nueva mezcla asfáltica. Mientras que, en el enfoque cualitativo, se analizan los resultados obtenidos del desempeño de la mezcla asfáltica con material asfáltico reciclado para elaborar conclusiones y recomendaciones aprovechables por futuras investigación en torno al tema de estudio.

3.2.3. Diseño.

Se emplea un diseño experimental, en donde el contenido óptimo de material nuevo y asfalto dependerá del estado del material asfáltico reciclado, del

cual, se ha tomado muestras de áreas determinadas, y todo el proceso conlleva a la ejecución de ensayos de laboratorio. Por ende, en este tipo de situaciones, el investigador tiene como objetivo probar los resultados de una intervención específica, lo que implica, que desempeñe un rol activo en todo el proceso investigativo (Alzamora, 2011). Para luego, cumplir con el análisis de los resultados, tomando en cuenta las especificaciones y comportamientos de las mezclas asfálticas determinadas por la normativa establecida.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población.

Conforme a Arias-Gómez et al.(2016), la población de estudio es un grupo específico y accesible de casos, estos no solo hacen referenciar a seres humanos, más bien, puede corresponder a diversos tipos de muestras, animales, expedientes, entre otros. En esta investigación, la población de estudio está conformada por las mezclas asfálticas a partir de material asfáltico reciclado.

3.3.2. Muestra.

La muestra es una porción representativa de la población utilizada en la investigación (López, 2004). En esta investigación, se considera como muestra a una fracción de material asfáltico reciclado obtenido del fresado de la Vía Guayaquil-Salinas, así como de los agregados propuestos, como el agregado grueso de tamaño máximo nominal $\frac{1}{2}$ y cemento asfáltico proporcionados por la Constructora Morocho S.A que es una planta calificada.

3.3.3. Muestreo.

El muestreo es una técnica para elegir a los componentes de la muestra representativa de la población utilizando reglas, procedimientos y criterios específicos (López, 2004). De esta manera, en cuanto al material asfáltico reciclado el proceso de muestreo consistió en la ejecución de ensayos de caracterización para

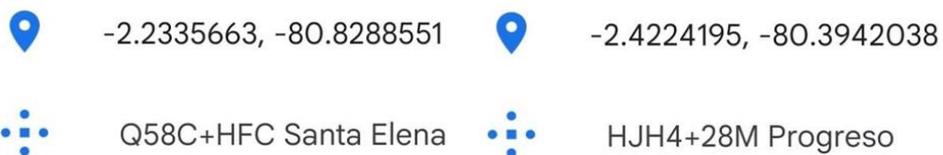
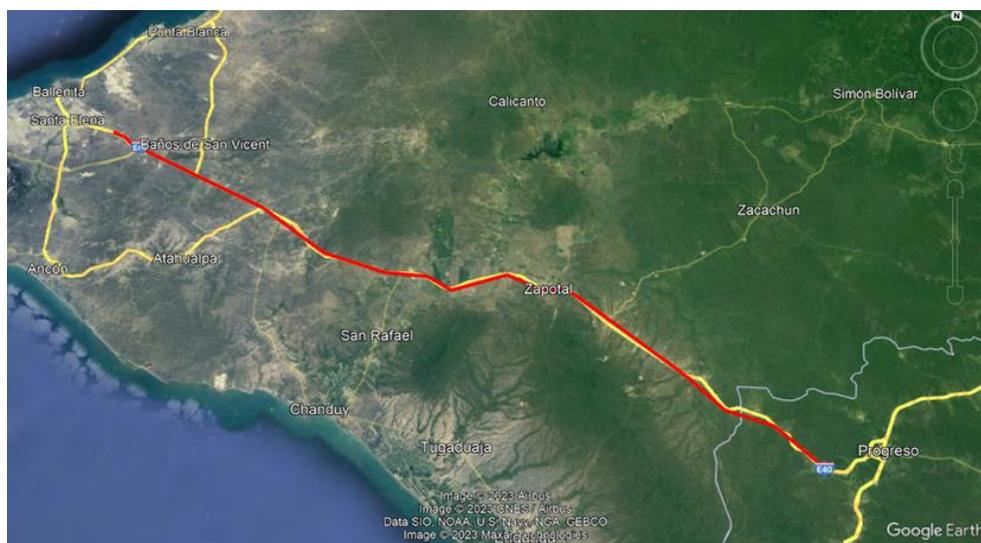
la calificación del estado de calidad del material. Sin embargo, con respecto al asfalto y los agregados nuevos no se aplica el muestreo porque aquellos fueron adquiridos de la Constructora Morocho S.A., la cual, es una constructora que utiliza materiales calificados.

3.4. UBICACIÓN DE LOS SECTORES DE ESTUDIO

El material asfáltico reciclado utilizado en el estudio se obtuvo del fresado de la Vía Guayaquil Salinas E40, el material fresado fue recogido en volquetas y trasladado a un botadero provisional para su almacenamiento libre del tránsito de vehículos y peatones.

Figura 4

Vía Guayaquil- Salinas



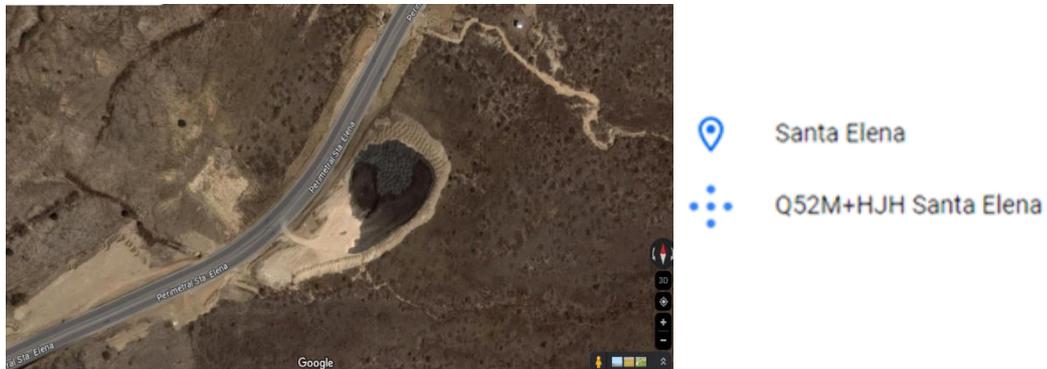
Nota: la figura muestra la ubicación y coordenadas de la vía Guayaquil-Salinas E40, la información fue tomada de *Google Earth* y *Google Maps*.

3.5. OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

El fresado que se obtuvo de la vía Guayaquil-Salinas fue trasladado al botadero provisional, el cual, está ubicado en la vía Perimetral Ancón. De esta zona es donde se extrajo la muestra del material asfáltico reciclado usado en esta investigación y análisis.

Figura 5

Ubicación del botadero provisional



2°14'54.8"S 80°48'57.2"W

Nota: la figura muestra la ubicación y coordenadas de la vía perimetral Ancón de Santa Elena, la información fue tomada de *Google Maps*.

Figura 6

Botadero provisional

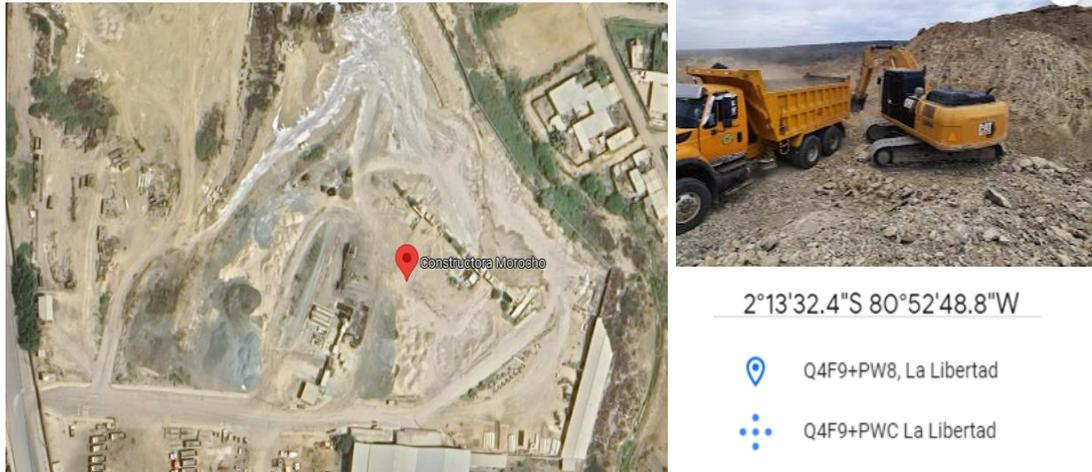


Nota: La figura muestra se observa el botadero provisional de donde fue obtenido el material asfáltico reciclado (fresado).

Los materiales como el agregado nuevo y asfalto fueron suministrados por la Empresa CM Construcciones S.A., propiedad del Ing. Carlos Morocho Duque, la cual está ubicada en el cantón La Libertad, provincia de Santa Elena.

Figura 7

Ubicación de la Constructora Morocho (CM Construcciones S.A)



Nota: La figura muestra las coordenadas de ubicación de la empresa CM Construcciones S.A, la información fue tomada de *Google Maps*.

Agregados suministrados por la empresa CM Construcciones S.A:

Figura 8

Agregado ½ de la cantera Chivería



Nota: En la figura se observa el agregado ½ procedente de la cantera Chivería ubicada en Guayaquil.

Figura 9

Cemento asfáltico AC 30



Nota: En la figura se observa el cemento asfáltico AC 30 originario de la ciudad de Esmeraldas, proporcionado por la empresa CM Construcciones S.A.

3.6. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

La presente investigación se aborda de la siguiente manera, se da inicio con la caracterización del material asfáltico reciclado y el material nuevo que se dispone para adicionar al diseño de la mezcla. Es importante realizar los ensayos correspondientes para determinar el estado del material reciclado para ser reutilizados en una nueva mezcla asfáltica, es decir, se analizan las deficiencias que presenten estos materiales con el fin de compensar las deficiencias con los materiales nuevos que se dispone para el nuevo diseño.

La siguiente parte comprende realizar un diseño de mezcla asfáltica con la combinación del material reciclado y agregado nuevo mediante el método Marshall, el cual permite conocer cuál es el porcentaje requerido de material nuevo y contenido óptimo de cemento asfáltico. Cada uno de los procesos realizados son fundamentales para la obtención de los resultados que se pretende conseguir con el análisis de una mezcla asfáltica con material reciclado.

3.7. METODOLOGÍA DEL OE1: DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS-MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS NUEVOS Y RECICLADOS PARA LA DOSIFICACIÓN, MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO SIGUIENDO LAS NORMAS AASHTO Y ASTM

Es necesario que los materiales que se utilicen sean apropiados, por lo tanto, deben someterse a ensayos que determinen esas características necesarias para calificar como óptimo para la elaboración de mezclas asfálticas. No obstante, los materiales nuevos que disponemos para el diseño de la mezcla asfáltica provienen de la Constructora Morocho, la cual, provee materiales calificados. Ante esta situación se han omitido ensayos para verificar el control de calidad de estos materiales nuevos.

Para el cumplimiento del OE1 se considera los siguientes ensayos: Granulometría, Gravedad Específica de los Agregados Finos y Gruesos tanto del material reciclado y del material nuevo), extracción de agregados y asfalto mediante la centrífuga eléctrica. Finalmente, los ensayos realizados a los agregados son requeridos antes de aplicar el método Marshall, que es la metodología empleada para el diseño. Además, cada ensayo debe cumplir con las normas NEVI 12-MTOP y ASTM para obtener las dosificaciones adecuadas de materiales para mezclas asfálticas de tamaño máximo nominal ½” en esta investigación.

3.7.1. Caracterización de material asfáltico reciclado.

Extracción de asfalto mediante centrífuga eléctrica: para caracterizar el agregado reciclado es preciso extraer todo el asfalto que contenga, para que finalmente se logre realizar los respectivos estudios para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Para ello, se aplicará la norma ASTM 2172. Para este método se empleará el uso de la centrífuga eléctrica y un solvente (gasolina), equipo que permite separar los agregados del asfalto de la mezcla fresada o también denominado pavimento reciclado para su respectivo análisis de caracterización y ejecución.

Figura 10

Centrífuga eléctrica



Nota: en la figura se muestra la centrífuga eléctrica utilizada para el proceso de extracción de cemento asfáltico del material asfáltico reciclado.

3.7.1.1. Procedimiento para determinar el contenido de asfalto del pavimento fresado.

Se debe tomar 1500 gramos de muestra fresada que es la capacidad máxima de la centrífuga, serán puestos al horno a una temperatura de 100 grados Celsius aproximadamente. Posteriormente, se deposita la muestra caliente en el plato de la centrífuga y se sumerge en 500ml de gasolina, añadiendo papel para evitar fugas de muestra, se ajustan los seguros y se inicia el proceso de extracción. La máquina gira a 3600rpm expulsando el asfalto junto con la gasolina. Se agrega consecutivamente 500ml de gasolina hasta que el ducto saliente muestra el color propio de la gasolina, indicando que la muestra ha sido lavada satisfactoriamente.

Después de lavar las muestras, se retira con precaución el papel filtro y el plato de la centrífuga, y se secan en el horno para luego, registrar el peso final tanto de la muestra lavada como del papel filtro, para finalmente calcular el porcentaje de líquido asfáltico de la muestra. Revisar anexos 1 y 2.

Figura 11

Plato giratorio de la centrífuga eléctrica



Nota: en la figura se muestra la colocación de los 1500 g de muestra de asfalto fresado en el plato de la centrífuga eléctrica.

Figura 12

Colocación del solvente en el plato giratorio de la centrífuga eléctrica



Nota: en la figura se muestra la colocación de 500ml de gasolina (solvente) para sumergir el material fresado.

Figura 13

Lavado consecutivo de material asfáltico reciclado



Nota: en la figura se muestra la incorporación de 500ml de gasolina (solvente) aplicado consecutivamente, como parte del proceso de lavado del material asfáltico reciclado.

Figura 14

Expulsión de cemento asfáltico junto a la gasolina (solvente)



Nota: en la figura se representa el proceso de expulsión de asfalto y solvente (gasolina) a través del orificio de desagüe.

Figura 15

Lavado asfáltico



Nota: en la figura se aprecia el resultado final del material lavado

Figura 16

Papel filtro



Nota: En la figura se muestra la limpieza del papel filtro para eliminar cualquier material que pueda haber quedado atrapado, y tenerlo en cuenta en el peso final.

Para calcular el porcentaje de asfalto extraído de la muestra fresada se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%C.A_{ext} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (10)$$

Donde:

$\%C.A_{ext}$ = Porcentaje de asfalto extraído

P_i = Peso inicial de la muestra (1500 gramos)

P_f = Peso final de la muestra, sin omitir el peso de los residuos que han quedado en el papel filtro

Tabla 4

Porcentaje de cemento asfáltico extraído de siete muestras

MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7
Peso inicial de la muestra (gr)	1500,00 gr	1500,00 gr	1499,56 gr	1500,00 gr	1500,00 gr	1500,00 gr	1500,00 gr
Peso papel filtro antes del ensayo (gr)	14,88 gr	15,56 gr	15,30 gr	15,15 gr	16,60 gr	16,91 gr	15,70 gr
Peso papel filtro después del ensayo (gr)	18,41 gr	18,82 gr	17,80 gr	17,89 gr	18,90 gr	20,00 gr	18,10 gr
Peso final de la muestra	1407,97 gr	1405,19 gr	1422,10 gr	1402,75 gr	1407,80 gr	1415,40 gr	1424,10 gr
Peso de muestra retenida en papel filtro	3,53 gr	2,26 gr	2,50 gr	2,74 gr	2,30 gr	3,09 gr	2,40 gr
Porcentaje de asfalto de la muestra (%)	5,90%	6,15%	5,03%	6,30%	5,99%	5,43%	4,90%

Nota: en la tabla se muestra los porcentajes de asfalto extraído de siete muestras de material asfáltico reciclado, el cual, paso por el proceso de lavado.

Tabla 5

Promedio de los 7 porcentajes de cemento asfáltico extraído

MUESTRAS	% ASFALTO
Muestra 1	5,90%
Muestra 2	6,15%
Muestra 3	5,03%
Muestra 4	6,30%
Muestra 5	5,99%
Muestra 6	5,43%
Muestra 7	4,90%
TOTAL	5,67%

Nota: en la tabla se muestra el promedio de los porcentajes de asfalto extraído, el cual, consistió en 5,67 %.

3.7.1.2. Análisis Granulométrico de material asfáltico reciclado lavado.

Este ensayo determina la cantidad de partículas de diferentes tamaños que hay en el agregado reciclado. Para realizarlo, se utiliza una balanza para pesar una muestra del material y luego se vierte en una serie de tamices de diferentes tamaños. Las partículas que pasan a través de cada tamiz se recogen y se pesan. Los resultados del ensayo se utilizan para calcular la distribución de tamaños de partículas del material asfáltico.

Por tanto, luego de que el material fresado fue lavado se aplica un análisis granulométrico, se toma los agregados que suman un total de 9718,7 gramos y se los pasa con el número de tamices que requiere las especificaciones para mezclas en caliente MTOP-ASTM D3515. En el anexo N

Tabla 6

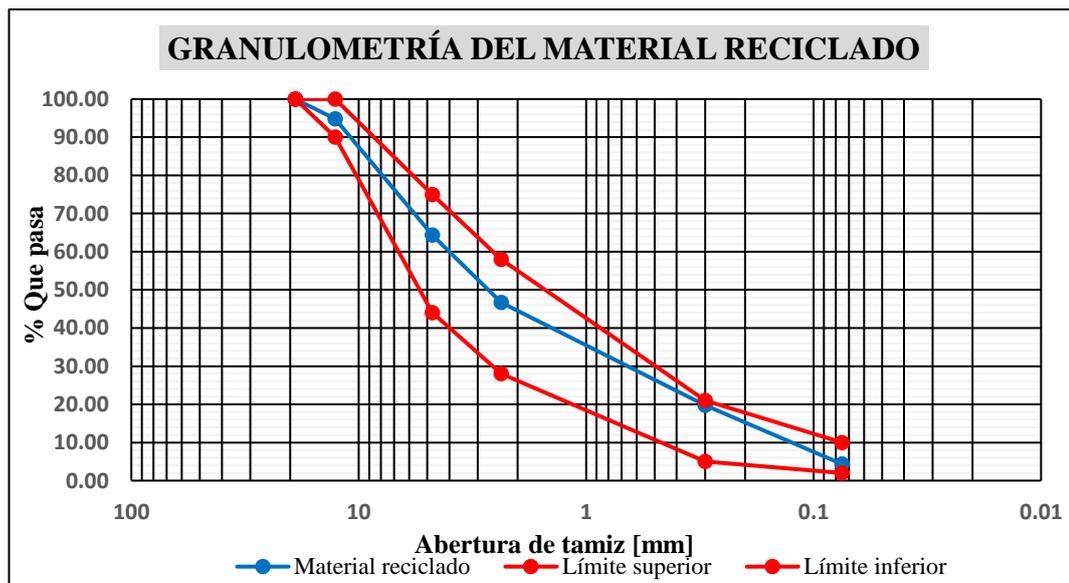
Granulometría de los agregados reciclados

Tamaño máximo nominal de agregados reciclados					1/2
N° de tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado	% Retenido	% Que pasa del total
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,7	501,7	501,70	5,16	94,84
3/8"	9,5	689,7	1191,40	12,26	87,74
N°4	4,75	2275,6	3467,00	35,67	64,33
N°8	2,36	1713,9	5180,90	53,31	46,69
N°16	1,18	969,8	6150,70	63,29	36,71
N°30	0,6	575,4	6726,10	69,21	30,79
N°50	0,3	1075,8	7801,90	80,28	19,72
N°100	0,15	960	8761,90	90,16	9,84
N°200	0,075	535,3	9297,20	95,66	4,34
Fondo		421,5	9718,70	100,00	0,00

Nota: esta tabla muestra los resultados de la granulometría realizada a los agregados reciclados.

Figura 17

Granulometría del material reciclado



Nota: la figura muestra la curva granulométrica del agregado reciclado de tamaño máximo nominal (TMN) de 1/2", según lo dispuesto por la norma ASTM D3515.

Figura 18

Tamizado manual



Nota: la figura muestra el proceso de tamizado manual

3.7.2. Caracterización de agregados nuevos.

3.7.2.1. Granulometría de agregados nuevos.

Los agregados nuevos proporcionados por la Constructora Morocho se almacenan a la intemperie, por lo que es necesario que los agregados tengan que pasar por un proceso de secado. Para ello, se colocan en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante un tiempo suficiente para que pierdan toda su humedad. Una vez secos, se retiran del horno y se dejan enfriar a temperatura ambiente. A continuación, se tamizan los agregados por una serie de tamices: 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.

Esto permite clasificarlos según su tamaño y, por tanto, preparar el diseño de la mezcla con los agregados finos y gruesos. Para el diseño de la mezcla granulométrica es necesario cumplir con alguna de las fajas granulométrica de las especificaciones MOP-001 F 2002 sección 405, Tabla 405-5.1. El procedimiento para cumplir con estas especificaciones es obtener por tanteo la gradación que nos especifica la norma.

Tabla 7*Granulometrías indicadas para el diseño de las mezclas asfálticas*

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25,4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90-100	100	--	--
½" (12.07 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80		90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Nota: en el año 2002, el *Ministerio de Obras Públicas y Comunicación* estableció en sus "*Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes*" las granulometrías apropiadas para una mezcla asfáltica, las cuales se presentan en la tabla.

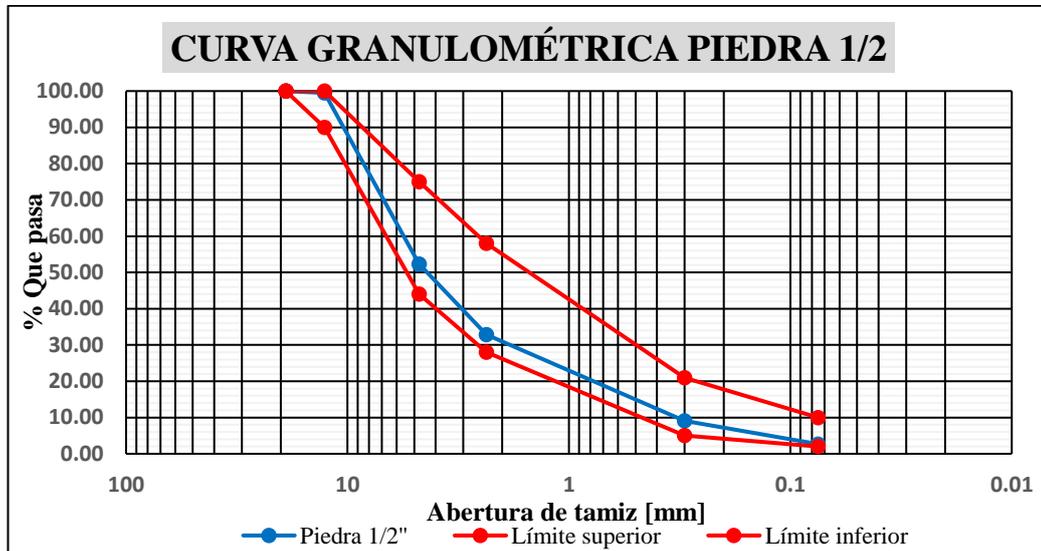
Tabla 8*Tamaño máximo nominal de la muestra de agregados nuevos*

Nº de tamices	Tamaño máximo nominal				1/2
	Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado	% Retenido	% Que pasa del total
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00
¾"	19	0	0,00	0,00	100,00
½"	12,7	15,13	15,13	0,50	99,50
3/8"	9,5	227,34	242,47	8,05	91,95
Nº4	4,75	1194,01	1436,48	47,68	52,32
Nº8	2,36	585,63	2022,11	67,12	32,88
Nº16	1,18	335,9	2358,01	78,27	21,73
Nº30	0,6	201,06	2559,07	84,94	15,06
Nº50	0,3	179,01	2738,08	90,88	9,12
Nº100	0,15	111,72	2849,80	94,59	5,41
Nº200	0,075	82,56	2932,36	97,33	2,67
FONDO		80,42	3012,78	100,00	0,00
	Suma	3012,78			

Nota: la tabla indica los resultados de granulometría del nuevo agregado.

Figura 19

Curva Granulométrica piedra 1/2



Nota: la figura muestra la curva granulométrica del agregado nuevo de tamaño máximo nominal (TMN) de 1/2", según lo dispuesto por la norma ASTM D3515.

3.7.3. Gravedades específicas y absorción de agregados nuevos y reciclados (grueso y fino).

3.7.3.1. Ensayo de gravedad específica para agregados gruesos ASTM C-127.

Para realizar este ensayo, es necesario seguir las normas AASHTO y ASTM C-127. Se tomó una muestra de aproximadamente 5000 gramos de agregados retenidos por el tamiz N°4, los cuales fueron lavados para eliminar cualquier partícula de polvo y luego se sumergieron en agua por 24 horas. Después, se retira una porción del material del agua y se seca suavemente con una franela para obtener el peso de la muestra en condición superficialmente seca. Esta masa se coloca en una canastilla para obtener el peso sumergido en agua. Finalmente, la muestra se deja secar a horno para obtener su peso en condición seca. A partir de estos tres datos, se procede a calcular la gravedad específica mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Gravedad específica seca aparente: } G_{sa} = \frac{A}{A - C} \quad (11)$$

$$\text{Gravedad específica seca bulk: } \mathbf{Gsb} = \frac{A}{B - C} \quad (12)$$

Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk: \mathbf{Gssb}

$$= \frac{B}{B - C} \quad (13)$$

$$\text{Absorción(\%): } \mathbf{Abs} = \frac{(B - A) * 100}{A} \quad (14)$$

Tabla 9

Pesos en gramos de los agregados gruesos correspondiente al material asfáltico reciclado

Material Reciclado Grueso	
A	3253,00 gr
B	3317,00 gr
C	2072,65 gr

Nota: en la tabla se muestra los pesos de los agregados gruesos correspondiente al material asfáltico reciclado, dispuestos a partir del proceso respectivo a su selección.

Tabla 10

Gravedades específicas y absorción del agregado grueso reciclado

Fórmulas	Resultados
$\mathbf{Gsb} = \frac{A}{B - C}$	2,61 gr/cm ³
$\mathbf{Gssb} = \frac{B}{B - C}$	2,67 gr/cm ³
$\mathbf{Gsa} = \frac{A}{A - C}$	2,76 gr/cm ³
$\% \mathbf{Abs} = \frac{B - A}{A} \times 100$	1,97%

Nota: la tabla muestra las gravedades específicas y absorción del agregado grueso correspondiente al material asfáltico reciclado.

Tabla 11

Pesos en gramos de los agregados gruesos correspondiente al material nuevo

Material Nuevo Grueso	
A	3241,00 gr
B	3325,00 gr
C	2080,00 gr

Nota: en la tabla se muestra los pesos de los agregados gruesos correspondiente al material nuevo, dispuestos a partir del proceso respectivo a su selección.

Tabla 12

Gravedades específicas y absorción del agregado grueso nuevo

Fórmulas	Resultados
$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,60 gr/cm ³
$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,67 gr/cm ³
$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,79 gr/cm ³
$\% \text{ Abs} = \frac{B - A}{A} \times 100$	2,59%

Nota: la tabla muestra las gravedades específicas y absorción del agregado grueso correspondiente al material nuevo.

3.7.3.2. Ensayo de gravedad específica para agregados fino ASTM C-128.

El procedimiento para realizar el ensayo consiste en los siguientes pasos: primero, se toman 1000 gramos del material fino y se sumergen en agua por 24 horas. Luego, se extiende la muestra sobre una superficie seca y se expone a una corriente de aire caliente. A continuación, se recoge la muestra

para obtener la condición de saturación superficialmente seca. Esto se logra cuando el material cae al invertir el cono en donde se compactó la muestra. Después, se toman 500 gramos del material en esa condición, y se añade agua al matraz hasta la marca. Luego, se coloca la muestra en el matraz, asegurándose de que el nivel del agua llegue hasta la marca. Se agita el matraz para eliminar los vacíos de aire y se obtiene el peso del matraz con el agregado y agua hasta la marca sin vacíos de aire. Con estos 4 datos se realiza el cálculo de la gravedad específica: **A:** Peso en el aire del agregado seco al horno, gr; **B:** Peso del matraz (picnómetro) con agua, gr; **C:** Peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca, gr; **D:** Peso del material saturado superficialmente seco (500 +10 gr).

$$\text{Gravedad específica seca aparente: } \mathbf{Gsa} = \frac{A}{B + A - C} \quad (15)$$

$$\text{Gravedad específica seca bulk: } \mathbf{Gsb} = \frac{A}{B + D - C} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{Gravedad específica saturada superficialmente seca Bulk: } \mathbf{Gssb} \\ = \frac{D}{B + D - C} \quad (17) \end{aligned}$$

$$\text{Absorción(\%): } \mathbf{Abs} = \frac{(D - A) * 100}{A} \quad (18)$$

Tabla 13

Pesos en gramos de los agregados finos correspondiente al material asfáltico reciclado

Material Reciclado Fino	
A	492,20 gr
B	659,10 gr
C	959,00 gr
D	500,00 gr

Nota: en la tabla se muestra los pesos de los agregados finos correspondiente al material asfáltico reciclado, dispuestos a partir del proceso respectivo a su selección.

Tabla 14*Gravedades específicas y absorción del agregado fino reciclado*

Fórmulas	Resultados
$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,46 gr/cm ³
$G_{ssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,50 gr/cm ³
$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,56 gr/cm ³
$\% \text{ Abs} = \frac{D - A}{A} * 100$	1,58%

Nota: la tabla muestra las gravedades específicas y absorción del agregado fino correspondiente al material asfáltico reciclado.

Tabla 15

Pesos en gramos de los agregados finos correspondiente al material nuevo

Material Nuevo Fino	
A	490,50 gr
B	657,90 gr
C	972,00 gr
D	500,00 gr

Nota: en la tabla se muestra los pesos de los agregados finos correspondiente al material nuevo, dispuestos a partir del proceso respectivo a su selección.

Tabla 16*Gravedades específicas y absorción del agregado fino nuevo*

Fórmulas		Resultados
$G_{sb} =$	$\frac{A}{B + D - C}$	2,66 gr/cm ³
$G_{ssb} =$	$\frac{D}{B + D - C}$	2,69 gr/cm ³
$G_{sa} =$	$\frac{A}{B + A - C}$	2,78 gr/cm ³
$\% \text{ Abs} =$	$\frac{D - A}{A} * 100$	1,94%

Nota: la tabla muestra las gravedades específicas y absorción del agregado fino correspondiente al material nuevo.

3.7.3.3. Gravedades específicas bulk de la combinación de agregados.

Hemos calculado las gravedades individuales de cada agregado nuevo y reciclado tanto en finos como en grueso ahora vamos a aplicar las siguientes fórmulas para determinar las gravedades específicas bulk y aparente de los materiales combinados.

a) Cálculo por agregados

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{A_{gr1}}{(P_1 \times G_{sb1}) + (R_1 \times G_{sb1})} + \frac{A_{gr2}}{(P_2 \times G_{sb2}) + (R_2 \times G_{sb2})}} \quad (19)$$

Donde:

Agr1, Agr2= % de cada Agregado en la mezcla.

P1, P2= % que pasa el tamiz N°8 de cada agregado.

R1, R2 = % que retiene el tamiz N°8 de cada agregado.

Gsb1, Gsb2= Gravedad específica bulk de cada agregado.

b) Cálculo por la combinación de agregados

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{\% Ret. N^{\circ}8}{G_{sb} grueso} + \frac{\% Pasa N^{\circ}8}{G_{sb} fino}} \quad (20)$$

Donde:

% Ret. N°8= % retenido en el tamiz N°8 de la combinación de agregados.

% Pasa N°8= % pasante del tamiz N°8 de la combinación de agregados.

Gsb= Gravedades específicas bulk del agregado grueso como del agregado fino.

3.7.3.4. Gravedad Específica Aparente de la combinación de agregados.

a) Cálculo para cada agregado

$$G_{sa} = \frac{100}{\frac{A_{gr1}}{(P_1 \times G_{sa1}) + (R_1 \times G_{sa1})} + \frac{A_{gr2}}{(P_2 \times G_{sa2}) + (R_2 \times G_{sa2})}} \quad (21)$$

Donde:

Agr1, Agr2= % de cada Agregado en la mezcla

P1, P2= % que pasa el tamiz N°8 de cada agregado

R1, R2 = % que retiene el tamiz N°8

Gsa1, Gsa2= Gravedad específica aparente de cada agregado

b) Cálculo para la combinación de agregados

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{\% Ret. N^{\circ}8}{G_{sa} grueso} + \frac{\% Pasa N^{\circ}8}{G_{sa} fino}} \quad (22)$$

Donde:

% Ret. N°8= % retenido en el tamiz N°8 de la combinación de agregados.

% Pasa N°8= % pasante del tamiz N°8 de la combinación de agregados.

Gsa= Gravedades específicas aparente del agregado grueso y agregado fino

3.8. OE2: DETERMINAR LA COMBINACIÓN Y GRADACIÓN DE AGREGADOS ADECUADOS INCORPORANDO DISTINTOS CONTENIDOS DE ASFALTO PARA LA ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS APLICANDO EL MÉTODO MARSHALL

3.8.1. Combinación de agregados reciclado y nuevos para elaborar granulometría de diseño.

La granulometría de los agregados reciclados y nuevos se combinan para formar una granulometría de diseño. El objetivo es encontrar la mejor combinación, teniendo en cuenta que el porcentaje de agregado reciclado debe ser considerablemente mayor que el de agregado nuevo. Esto se debe a que la finalidad es reciclar más material y reducir el uso de recursos naturales, procurando que se cumpla con los requerimientos de las fajas granulométricas establecidas para un agregado que tiene un tamaño máximo nominal de 1/2".

De esta manera, se prueban varias combinaciones y se seleccionan las que cumplen con los requerimientos de las fajas granulométricas. Finalmente, se elige la combinación que tiene el mayor porcentaje de agregado reciclado y la mejor granulometría que se pueda elaborar con la combinación de materiales.

Tabla 17

Combinación final de agregado reciclado y nuevo

MATERIALES	%
Material reciclado (A)	74%
Piedra 1/2" (B)	26%
Total	100%

Nota: la tabla muestra la combinación final que se eligió para establecer la granulometría de diseño.

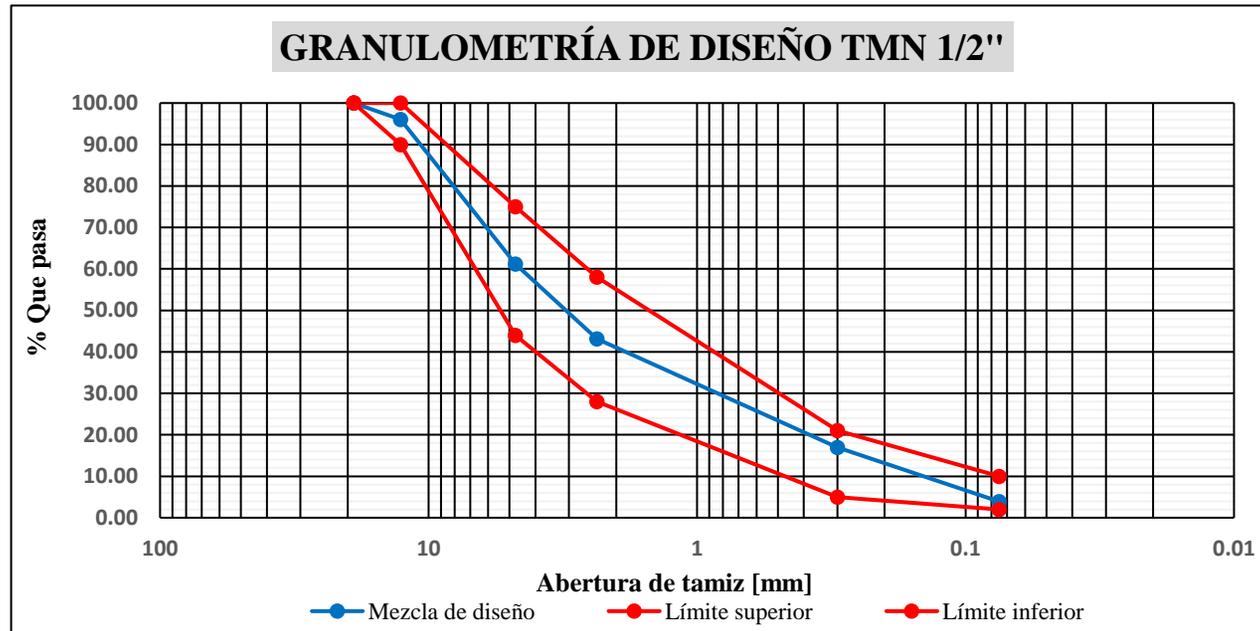
Tabla 18*Granulometría de diseño*

TAMIZ		MATERIAL A	MATERIAL B	MATERIAL A	MATERIAL B	MEZCLA DE DISEÑO	Especificaciones del MTOP-ASTM D3515	
Nº	Tamaño (mm)	% Que pasa	% Que pasa	74%	26%		Límite superior	Límite inferior
3/4"	19	100,00	100,00	74,00	26,00	100,00		
1/2"	12,7	94,84	99,50	70,18	25,87	96,05	90	100
3/8"	9,5	87,74	91,95	64,93	23,91	88,84		
Nº4	4,75	64,33	52,32	47,60	13,60	61,20	44	75
Nº8	2,36	46,69	32,88	34,55	8,55	43,10	28	58
Nº16	1,18	36,71	21,73	27,17	5,65	32,82		
Nº30	0,6	30,79	15,06	22,79	3,92	26,70		
Nº50	0,3	19,72	9,12	14,59	2,37	16,97	5	21
Nº100	0,15	9,84	5,41	7,29	1,41	8,69		
Nº200	0,075	4,34	2,67	3,21	0,69	3,90	2	10
FONDO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Nota: la tabla muestra la granulométrica de diseño establecida, la cual cumple con los rangos requeridos en la faja granulométrica especificada por la *norma ASTM D3515*.

Figura 20

Granulometría de diseño TMN 1/2"



Nota: la figura muestra la curva granulométrica de la combinación de los agregados para mejorar la granulometría del agregado reciclado, según lo dispuesto por la *norma ASTM D3515*.

3.8.2. Dosificación incorporando diferentes contenidos de asfalto.

Una vez definida la granulometría de diseño, se calculan los porcentajes de agregados que necesita un determinado contenido de asfalto para cada briqueta. Considerando que cada briqueta tiene una capacidad de 1200 gramos, por lo que se ajustan los pesos de los agregados en función del porcentaje de asfalto requerido.

Se utilizaron siete contenidos de asfalto, evaluando desde el 3%; 3,5%; 4%; 4,5%; 5%; 5,5% y 6% de asfalto. Para lo cual, se elaboraron 3 briquetas por cada contenido de asfalto, como lo exige la norma. En total se obtuvieron 21 briquetas. Es importante destacar que se llevaron a cabo extracciones adicionales de asfalto utilizando la centrífuga eléctrica para obtener la cantidad suficiente de material reciclado necesario para la fabricación de las briquetas y el ensayo rice.

Figura 21

Material reciclado



Nota: la figura muestra el material reciclado destinado a la elaboración de briquetas y ensayo volumen de vacíos (rice).

Tabla 19

Dosificación para las briquetas con 3,0% de asfalto y su corrección de peso

MEZCLA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFALTICA				
MATERIAL	%	PESO	% CORREGIDO	PESO CORREGIDO
Material reciclado 1/2"	74%	888 gr	71,84%	862,14 gr
Piedra 1/2"	26%	312 gr	25,24%	302,91 gr
Asfalto	3,0%	36 gr	2,91%	34,95 gr
Total	103,0%	1236 gr	100%	1200,00 gr

Nota: la tabla muestra las dosificaciones para las briquetas con 3,0% de contenido de asfalto, con su debida corrección de peso.

Tabla 20*Dosificación para las briquetas con 3,5% de asfalto y su corrección de peso*

MEZCLA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFALTICA				
MATERIAL	%	PESO	% CORREGIDO	PESO CORREGIDO
Material reciclado 1/2"	74%	888 gr	71,50%	857,97 gr
Piedra 1/2"	26%	312 gr	25,12%	301,45 gr
Asfalto	3,5%	42 gr	3,38%	40,58 gr
Total	103,5%	1242 gr	100%	1200,00 gr

Nota: la tabla muestra las dosificaciones para las briquetas con 3,5% de contenido de asfalto, con su debida corrección de peso.

Tabla 21*Dosificación para las briquetas con 4,0% de asfalto y su corrección de peso*

MEZCLA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA				
MATERIAL	%	PESO	% CORREGIDO	PESO CORREGIDO
Material reciclado 1/2"	74%	888 gr	71,15%	853,85 gr
Piedra 1/2"	26%	312 gr	25%	300,00 gr
Asfalto	4,0%	48 gr	3,85%	46,15 gr
Total	104,0%	1248 gr	100%	1200,00 gr

Nota: la tabla muestra las dosificaciones para las briquetas con 4,0% de contenido de asfalto, con su debida corrección de peso.

Tabla 22*Dosificación para las briquetas con 4,5% de asfalto y su corrección de peso*

MEZCLA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFALTICA				
MATERIAL	%	PESO	% CORREGIDO	PESO CORREGIDO
Material reciclado 1/2"	74%	888 gr	70,81%	849,76 gr
Piedra 1/2"	26%	312 gr	24,88%	298,56 gr
Asfalto	4,5%	54 gr	4,31%	51,67 gr
Total	104,5%	1254 gr	100%	1200,00 gr

Nota: la tabla muestra las dosificaciones para las briquetas con 4,5% de contenido de asfalto, con su debida corrección de peso.

Tabla 23

Dosificación para las briquetas con 5,0% de asfalto y su corrección de peso

MEZCLA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA				
MATERIAL	%	PESO	% CORREGIDO	PESO CORREGIDO
Material reciclado 1/2"	74%	888 gr	70,48%	845,71 gr
Piedra 1/2"	26%	312 gr	24,76%	297,14 gr
Asfalto	5,0%	60 gr	4,76%	57,14 gr
Total	105,0%	1260 gr	100%	1200,00 gr

Nota: la tabla muestra las dosificaciones para las briquetas con 5,0% de contenido de asfalto, con su debida corrección de peso.

Tabla 24

Dosificación para las briquetas con 5,5% de asfalto y su corrección de peso

MEZCLA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA				
MATERIAL	%	PESO	% CORREGIDO	PESO CORREGIDO
Material reciclado 1/2"	74%	888 gr	70,14%	841,71 gr
Piedra 1/2"	26%	312 gr	24,64%	295,73 gr
Asfalto	5,5%	66 gr	5,21%	62,56 gr
Total	105,5%	1266 gr	100%	1200,00 gr

Nota: la tabla muestra las dosificaciones para las briquetas con 5,5% de contenido de asfalto, con su debida corrección de peso.

Tabla 25

Dosificación para las briquetas con 6,0% de asfalto y su corrección de peso

MEZCLA DE AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA				
MATERIAL	%	PESO	% CORREGIDO	PESO CORREGIDO
Material reciclado 1/2"	74%	888 gr	69,81%	837,74 gr
Piedra 1/2"	26%	312 gr	24,53%	294,34 gr
Asfalto	6,0%	72 gr	5,66%	67,92 gr
Total	106,0%	1272 gr	100%	1200,00 gr

Nota: la tabla muestra las dosificaciones para las briquetas con 6,0% de contenido de asfalto, con su debida corrección de peso.

3.8.3. Elaboración de briquetas.

Se pesan las cantidades de las dosificaciones de cada briqueta utilizando taras y la balanza, el asfalto es sólido a temperatura ambiente, por lo que se debe calentar con la ayuda de una cocineta eléctrica a una temperatura de 140 °C a 160 °C aproximadamente. El agregado también debe estar a una temperatura similar al asfalto para que la mezcla se pueda realizar de forma segura y eficiente. Para evitar la pérdida de temperatura de la mezcla, los moldes se calentaron en el horno por 15 minutos.

Figura 22

Pesado de agregados



Nota: la figura muestra el pesado de los agregados destinados a la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.

Figura 23

Calentado de los agregados



Nota: la figura muestra el calentado de los agregados antes de ser mezclados con el asfalto.

Figura 24

Calentamiento del cemento asfáltico



Nota: la figura muestra el proceso de calentamiento del asfalto para poner manipularlo en su estado líquido.

La mezcla debe estar a una temperatura de 160 °C antes de colocarla en el molde de la briqueta. Esto se debe a que la temperatura de la mezcla baja con el ambiente, y la compactación debe realizarse a una temperatura de 140 °C como mínimos. Después, el martillo Marshall se prepara en un lugar nivelado para una compactación eficiente. La briqueta se retira del horno y se coloca en la base del martillo Marshall.

Figura 25

Preparación del martillo Marshall



Nota: la figura muestra la preparación del martillo Marshall, donde se compactarán las briquetas.

3.8.4. Compactación de briquetas.

Se coloca la mezcla asfáltica en el molde a una temperatura de 160°C. Se ajusta con un círculo de papel al molde la briqueta, para evitar escapes de la mezcla. Luego, se varilla la mezcla con una espátula, 15 veces al alrededor y 10 veces en el centro. Se coloca el collarín y el seguro del martillo para ajustar todas las piezas y lograr una compactación eficiente. Se aplica 75 golpes en cada cara de la briqueta, según lo dispuesto por la Tabla 3. Una vez dado los 75 golpes, se retira el seguro y el collarín para voltear la briqueta y continuar la compactación en la cara faltante.

Figura 26

Compactación de las briquetas



Nota: la figura muestra el proceso de compactación de las briquetas.

Después de efectuar los respectivos golpes, se retira el molde y se coloca en un lugar fresco para que se enfríe temperatura ambiente. Luego, se procede a hacer las briquetas faltantes. Se elaboraron un total de 21 briquetas para este análisis, debido a que, se realizaron 3 ensayos por cada uno de los 7 contenidos de asfalto.

Se espera aproximadamente 2 horas hasta que las briquetas tengan una temperatura ideal para su manipulación. Consecutivamente, se desencofran y se almacenan en un lugar seguro y a temperatura ambiente para sus posteriores análisis y estudios no se vean alterados.

Figura 27

Desencofrado de briquetas



Nota: en la figura se observa el proceso de desencofrado de briquetas.

Figura 28

Resultado final de la elaboración de las briquetas



Nota: la figura muestra las 21 briquetas, tres por cada contenido de asfalto.

3.9. OE3: DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS-MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICAS MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA EL NUEVO DISEÑO DE LA MEZCLA

3.9.1. Ensayos de laboratorio realizados a las briquetas.

Una vez listas y enfriadas a temperatura ambiente, las 21 briquetas se someten a estudios para la determinación del peso específico Bulk, cálculo de su volumen, estabilidad y flujo mediante maquinaria Marshall y análisis de vacíos mediante método Rice.

3.9.1.1. Definición del peso específico Bulk.

Para calcular el peso específico Bulk, se obtiene el peso en el aire, por ello, se toma el peso de la briketa en estado natural, después de retirar el papel circular utilizado en la compactación para que no modifique el peso de las briquetas para su análisis.

Figura 29

Briquetas en estado natural



Nota: la figura muestra el peso de las briquetas en estado natural, que se utiliza para determinar el peso en el aire.

Figura 30

Secado de briquetas



Nota: la figura muestra el proceso de secado de las briquetas para las determinaciones del peso superficialmente seco.

Finalmente, para determinar el peso superficialmente seco sumergido en agua, se sumerge la briqueta junto a una canastilla conectada a una piola, la briqueta debe sumergirse cuidadosamente para evitar que queden burbujas de aire, debido a que, alteraría el peso neto.

Figura 31

Sumergido de las briquetas



Nota: la figura muestra el sumergido de las briquetas para las determinaciones del peso superficialmente seco sumergido.

Los valores obtenidos permiten calcular la gravedad específica Bulk (G_{mb}), se divide el peso en el aire para la diferencia entre el peso superficialmente seco y el peso superficialmente seco sumergido en agua utilizando el software Excel para la tabulación de los datos.

3.9.1.2. Medición de briquetas para cálculo de espesor y volumen.

Para determinar el volumen de las briquetas, se deben medir la altura y el diámetro. Para obtener una mejor precisión de los cálculos, se realizan 4 medidas de altura y se las promedian. De igual manera, se toman 4 medidas de diámetro y se los promedia. Finalmente, se promedian las medidas de las 3 briquetas de cada contenido de asfalto para obtener una mejor precisión en el cálculo de los volúmenes.

Figura 32

Medición y registro de las alturas y diámetros de las briquetas



Nota: la figura muestra el proceso de medición y registro de las alturas y diámetros de las briquetas con ayuda del calibrador vernier.

3.9.1.3. Rotura de briquetas con equipo Marshall para estabilidad y flujo.

La metodología Marshall requiere que las briquetas sean calentadas en agua a una temperatura de 60 °C en el contenedor llamado baño maría por un tiempo de 30 minutos, la temperatura debe permanecer constante en todo momento para una correcta obtención de datos de estabilidad y flujo.

Figura 33

Contenedor baño maría



Nota: la figura muestra el contenedor baño maría regulado a una temperatura de 60 °C.

Figura 34

Colocación de briquetas en contenedor baño maría



Nota: la figura muestra la colocación de las briquetas en el contenedor baño maría.

Las mordazas se calientan en el horno a una temperatura de 35°C. Luego, se prepara la prensa pinzuar juntos con el dial, que se utilizará para medir el flujo de cada briqueta. Una vez transcurridos los 30 minutos en donde las briquetas fueron sometidas a una temperatura de 60 °C sumergidos en agua, se retiran una por una, debido a que, al sacarlas pierden temperatura, por tal razón, el tiempo máximo que deben estar sumergidas es de 42 minutos. Se emergen para secarlas con una toalla, para que puedan ser colocadas en la mordaza y se asegura.

Para recolectar los datos de este ensayo, se requiere de un dispositivo de video. Esto se debe a que cuando ocurre la rotura, la deformación del dial se dispara y es crucial tomar la medida en el momento preciso de la rotura. Con la ayuda del video, se consigue pausar la reproducción y registrar la lectura del dial y de la carga.

Figura 35

Prensa pinzuar



Nota: la figura muestra la prensa pinzuar preparada para el proceso de rotura.

Tabla 26*Registros de estabilidades de la mezcla asfáltica con agregados reciclados*

ESTABILIDAD MARSHALL (LB)			
No. Briquetas	1	2	3
3,00%	1927,40	1992,14	2268,04
3,50%	3458,98	3294,13	4096,02
4,00%	4313,41	4137,03	3964,74
4,50%	4404,59	4993,95	4164,26
5,00%	4313,30	3880,75	4815,64
5,50%	3107,71	3929,46	3752,04
6,00%	2416,67	2139,06	2081,65

Nota: en la tabla se observa los registros de estabilidades de las briquetas obtenidas con el equipo marshal.

Tabla 27*Registros de flujos de la mezcla asfáltica con agregados reciclados*

FLUJO			
No. Briquetas	1	2	3
3,00%	9	7	8
3,50%	9	7	8
4,00%	8	9	9
4,50%	9	8	10
5,00%	8	9	11
5,50%	9	10	10
6,00%	11	9	11

Nota: la tabla muestra los registros de flujos de las briquetas obtenidas con el equipo marshal y un dial.

3.9.1.4. Ensayo de análisis de vacíos mediante método Rice.

Para determinar la gravedad específica máxima teórica, se llevó a cabo el ensayo Rice que proporciona valores esenciales para establecer la calidad de la mezcla. Se selecciona una muestra en función al tamaño máximo nominal del agregado, en este caso, con un tamaño máximo nominal de ½”, se usará 1500 gramos de mezcla como nuestra mínima.

Tabla 28

Peso de muestra para ensayo Rice según la norma ASTM D 2041

Tamaño máximo nominal de la partícula en la muestra; 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: la tabla indica la cantidad necesaria de muestra para realizar el ensayo rice según lo que dispone la norma ASTM D 2041.

Se selecciona una muestra por cada contenido de asfalto, se la pesa para registrar el peso en el aire de mezcla asfáltica secada en el horno (A). Luego, se desmorona la mezcla en partículas sueltas que no excedan los 6mm. A continuación, se toma el peso del picnómetro con agua y tapa para registrar el peso del picnómetro de vacío lleno de agua a 25 °C (B).

Figura 36

Equipo para ensayo Rice



Nota: la figura muestra la preparación del equipo para la ejecución del ensayo rice.

Después, se retira la suficiente agua para poder introducir la mezcla asfáltica desmoronada, sin derramar agua por acción de la máquina. De esta forma, se coloca el caucho en la tapa y se ajustan los seguros para iniciar el equipo. Por tanto, se enciende la bomba y el vibrador por 20 minutos, considerando que la bomba debe mantenerse a -0,3 bar en todo el tiempo de vibrado.

Al finalizar los 20 minutos de vibrado, se retira la bomba y se llena el picnómetro con agua hasta el borde. El agua se vierte cuidadosamente para evitar el ingreso de aire al picnómetro y así impedir que se altere el peso final. Terminado ese proceso, se coloca la tapa del picnómetro y se pesa para registrar el peso del picnómetro de vacío lleno de agua y mezcla asfáltica a 25°C (C). Para calcular la gravedad específica teórica máxima se usa la siguiente fórmula

$$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C} \quad (23)$$

A=Peso en aire de la mezcla asfáltica secada en horno, gr.

B=Peso del picnómetro de vacío lleno de agua a 25°C ± 1°C (77°F), gr.

C=Peso del picnómetro de vacío lleno de agua y mezcla asfáltica a 25°C, gr.

3.9.1.5. Fórmulas de análisis volumétrico de las mezclas asfálticas

a) Gravedad específica efectiva de la mezcla (Gse)

$$Gse = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (24)$$

Donde:

Gmm= Gravedad específica teórica máxima (Ensayo rice).

Pmm= Porcentaje de masa del total de la mezcla suelta=100.

Pb= Contenido de asfalto.

Gb= Gravedad específica del asfalto.

b) Vacíos de aire

$$V_a = \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100 \quad (25)$$

Donde:

Gmb= Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

Gmm= Gravedad específica teórica máxima de la mezcla ensayo Rice.

c) Vacíos en el agregado mineral (VMA)

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (26)$$

Donde:

Gmb= Gravedad específica bulk de la mezcla compactada.

Ps= Porcentaje del agregado en la briqueta.

Gsb= Gravedad específica bulk de los agregados.

d) Vacíos llenos de asfalto (VFA)

$$VFA = 100 - \frac{VMA - V_a}{VMA} \quad (27)$$

Donde:

VMA= Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

Va= Porcentaje de vacíos de aire del volumen total de la muestra.

e) Porcentaje de asfalto absorbido (Pba)

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times G_b \quad (28)$$

Donde:

Gse= Gravedad específica efectiva del agregado.

Gsb= Gravedad específica bulk del agregado.

Gb=Gravedad específica del asfalto.

f) Contenido de asfalto efectivo (P_{be})

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} x P_s \quad (29)$$

Donde:

P_b =Contenido de asfalto, porcentaje de la masa de la mezcla.

P_{ba} = asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

P_s =Contenido de agregad, porcentaje de la masa de la mezcla.

3.9.1.6. Estabilidad y flujo Marshall.

El análisis de estabilidad evalúa la resistencia a la deformación, mientras que la prueba de flujo mide la deformación causada por una carga aplicada a la mezcla asfáltica. Las muestras se someten a un baño de agua a 60°C durante 30 o 40 minutos, simulando la temperatura máxima que podría experimentar la carpeta asfáltica en su vida útil. Posteriormente, las muestras se retiran del baño, se secan y se colocan rápidamente en el dispositivo de sujeción Marshall. Se aplica una carga a las muestras y, mediante medidores de carga y deformación, se obtienen los valores de estabilidad y flujo.

3.9.1.7. Corrección de estabilidad por briqueta.

Después de completar la prueba de rotura Marshall, se lleva a cabo un ajuste de la estabilidad para cada una de las muestras, considerando la altura del espécimen compactado mediante el uso del martillo Marshall, las correcciones se realizan en función de la altura de cada briqueta.

3.10. OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE

Tabla 29

Cuadro de operacionalización de las variables

Variables		Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente	Material asfáltico reciclado	Material extraído de la capa asfáltica deteriorada que pasa por un proceso para ser reutilizado (Morales et al., 2019)	Obtenido a partir de la trituración de pavimento asfáltico existente, mediante un proceso mecánico. El material triturado se procesa para obtener una granulometría variada, que incluye el contenido de líquido asfáltico adherido a los agregados.	Pavimento reciclado (fresado)	Contenido de asfalto	%
					Granulometría	%
					Gravedades específicas	gr/cm^3
					Absorción	%
Variable Dependiente	Nueva mezcla asfáltica en caliente	Combinación de agregados, asfalto y otros materiales inertes, que incluyen un porcentaje de material asfáltico reciclado	-La incorporación de varios contenidos de asfalto determina el comportamiento de la mezcla -Análisis comparativo de los estudios realizado a las briquetas mediante el método Marshall	Propiedades volumétricas-mecánicas	Criterios Marshall	Compactación (número de golpes)
						Estabilidad (kgf)
						Flujo (pulg)
						Vacíos al aire %
						Vacíos en el agregado mineral (VMA) %
						Vacíos llenos con asfalto (VFA) %

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE COMBINACIÓN Y GRADACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS Y NUEVOS

Para el estudio de una mezcla asfáltica con agregados reciclados, se combinaron agregados pétreos reciclados y nuevos para obtener una granulometría de diseño con TMN de ½". La dosificación de los agregados pétreos utilizados para la mezcla fue la siguiente:

Tabla 30

Graduación de agregados reciclados y nuevos

COMBINACIÓN DE AGREGADOS	
Materiales	Porcentaje
Agregado reciclado (A)	74%
Piedra 1/2" (B)	26%
Total	100%

Nota: la tabla muestra el porcentaje de agregados que conforma la mezcla asfáltica con material asfáltico reciclado.

En la figura 19, se puede observar la *Granulometría de Diseño TMN ½"*, en donde, se muestra la combinación de porcentajes de agregados que conforma la mezcla asfáltica con material asfáltico reciclado. Esta combinación cumple con la granulometría de diseño para un agregado de tamaño máximo nominal (TMN) de ½", según lo dispuesto por la *norma ASTM D3515*.

Para mejorar la granulometría de diseño, se agregó el 26% de piedra ½”, cabe destacar que es la combinación que más se mantiene dentro de los rangos permitidos para un agregado de tamaño máximo nominal de ½”. Para la determinación de gravedad específica y absorción de los agregados combinados, se debe usar el tamiz N 8 como porcentaje de pasante para obtener el porcentaje retenido y calcular las gravedades específicas bulk (Gsb), gravedades específicas aparente (Gsa) y porcentaje de absorción de cada agregado.

Tabla 31

Porcentajes de pasante y retenido de agregado reciclado

Agregado Reciclado	
Pasante % Tz N8=	46,69
Retenido % Tz N8=	53,31

Nota: la tabla muestra la determinación del porcentaje de pasante y porcentaje de retenido en el tamiz N8 del agregado reciclado.

Tabla 32

Porcentajes de pasante y retenido de agregado nuevo

Piedra ½”	
Pasante % Tz N8=	32,88
Retenido % Tz N8=	67,12

Nota: la tabla muestra la determinación del porcentaje de pasante y porcentaje de retenido en el tamiz N8 del agregado nuevo.

Tabla 33

Gravedad específica bulk, gravedad específica aparente y porcentaje de absorción

Agregados	% usado	Gravedad específica		% Absorción
		Bulk(gr/cm ³)	Aparente(gr/cm ³)	
Agregado Reciclado	74%	2,54	2,66	1,77%
Piedra 1/2"	26%	2,62	2,79	2,14%

Nota: la tabla muestra el cálculo de las gravedades específicas (bulk y aparente) y porcentaje de absorción de los agregados reciclado y la piedra ½”.

Tabla 34*Resultado de la combinación de gravedades específicas de agregados*

Resultados de la combinación de agregados	
Gravedad específica Bulk o neta	2,56 gr/cm ³
Gravedad específica aparente	2,69 gr/cm ³
Porcentaje de absorción	1,85%

Nota: la tabla muestra los resultados de la combinación de gravedades específicas de los agregados reciclado y la piedra ½”.

4.2. RESULTADOS ANÁLISIS DE VACÍOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON AGREGADOS RECICLADOS SIN COMPACTAR MEDIANTE EL MÉTODO RICE.

Para el análisis de vacíos se usó la metodología rice, ensayo que proporciona las Gravedades específicas teóricas máximas de cada porcentaje de asfalto de 3% a 6%, intervalos que se estableció para determinar el contenido óptimo de asfalto y este Análisis complementa el método marshal.

Tabla 35*Resultados de Ensayo Rice*

PORCENTAJE DE ASFALTO UTILIZADO	DATOS		RESULTADOS
	Nom.	Muestra 1	Muestra 1
3	A=	1500	2,48 gr/cm ³
	B=	7409	
	C=	8304	
3,5	A=	1500	2,47 gr/cm ³
	B=	7409	
	C=	8301	
4	A=	1500	2,46 gr/cm ³
	B=	7409	
	C=	8299	
4,5	A=	1500	2,44 gr/cm ³
	B=	7409	

	C=	8294	
	A=	1500	
5	B=	7409	2,43 gr/cm ³
	C=	8292	
	A=	1500	
5,5	B=	7409	2,42 gr/cm ³
	C=	8288	
	A=	1500	
6	B=	7409	2,39 gr/cm ³
	C=	8281	

Nota: la tabla muestra los resultados del ensayo rice obteniendo las gravedades específicas teóricas máximas de cada porcentaje de asfalto.

4.3. RESULTADOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON AGREGADOS RECICLADOS

Tabla 36

Resultados de las propiedades volumétricas de mezcla asfáltica con agregados reciclados

% Asfalto	(Gmb) Densidad	(Va) % Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (lb)	Flujo
3,00	2,20	11,11	16,51	32,71	2062,53	7,96
3,50	2,24	9,30	15,67	40,65	3616,37	8,40
4,00	2,27	7,88	15,07	47,72	4138,39	8,53
4,50	2,29	5,91	14,41	58,98	4520,94	8,92
5,00	2,31	4,65	14,19	67,25	4336,56	9,15
5,50	2,32	4,02	14,44	72,16	3596,40	9,64
6,00	2,30	3,56	15,44	76,92	2212,46	10,29

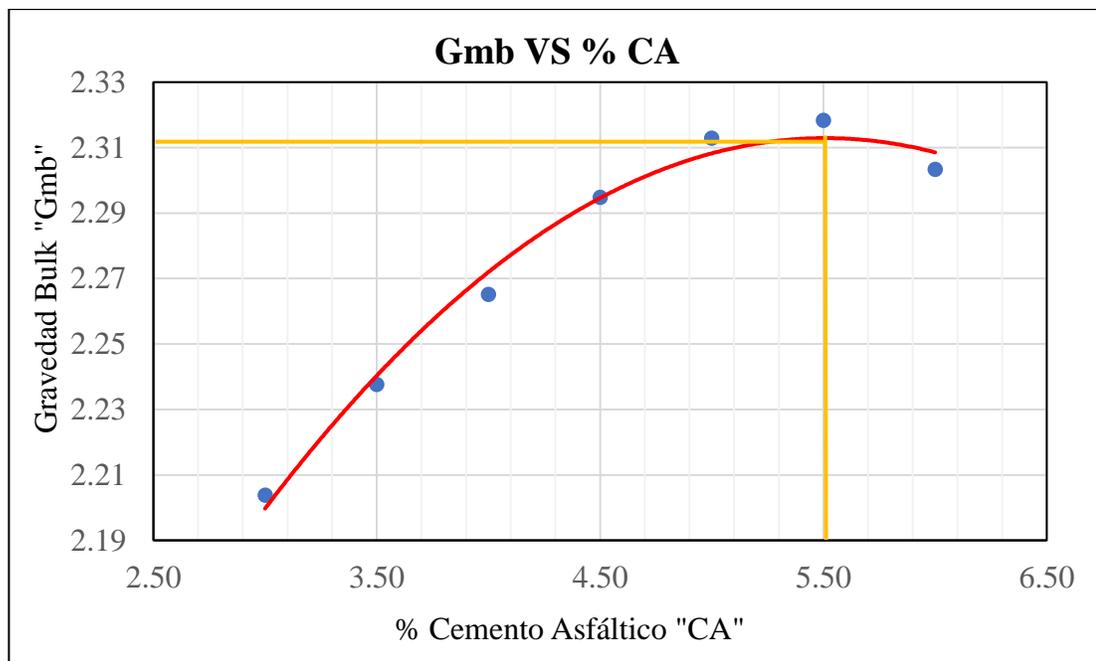
Nota: en la tabla se observa los resultados de los ensayos realizados de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica con agregado reciclado con una evaluación de contenido de asfalto de 3 a 6 %.

La mezcla asfáltica se elaboró con una capacidad de 1200 gramos por briquetas como referencia. Luego de la elaboración, las briquetas se sometieron a ensayos de gravedades específica, cálculos de volúmenes, estabilidad y flujo. También se realizó el ensayo de gravedad específica teórica máxima con el método Rice con una mezcla asfáltica no compactada. Finalmente, los cálculos mediante fórmulas arrojaron resultados y gráficas de cada propiedad volumétrica que forman parte del diseño de mezclas asfálticas en caliente mediante el método Marshall.

Según la norma NEVI-12 MTOP, mediante rangos permitidos y recomendados, se obtiene un porcentaje de asfalto óptimo de 5,5%. Este valor se comprueba en las gráficas, que cumplen con las especificaciones de la norma. Los siguientes gráficos se muestra los valores obtenidos.

Figura 37

Gravedad específica Bulk "Gmb" vs Porcentaje de Cemento Asfáltico



Gmb = 2,31 gr/cm³

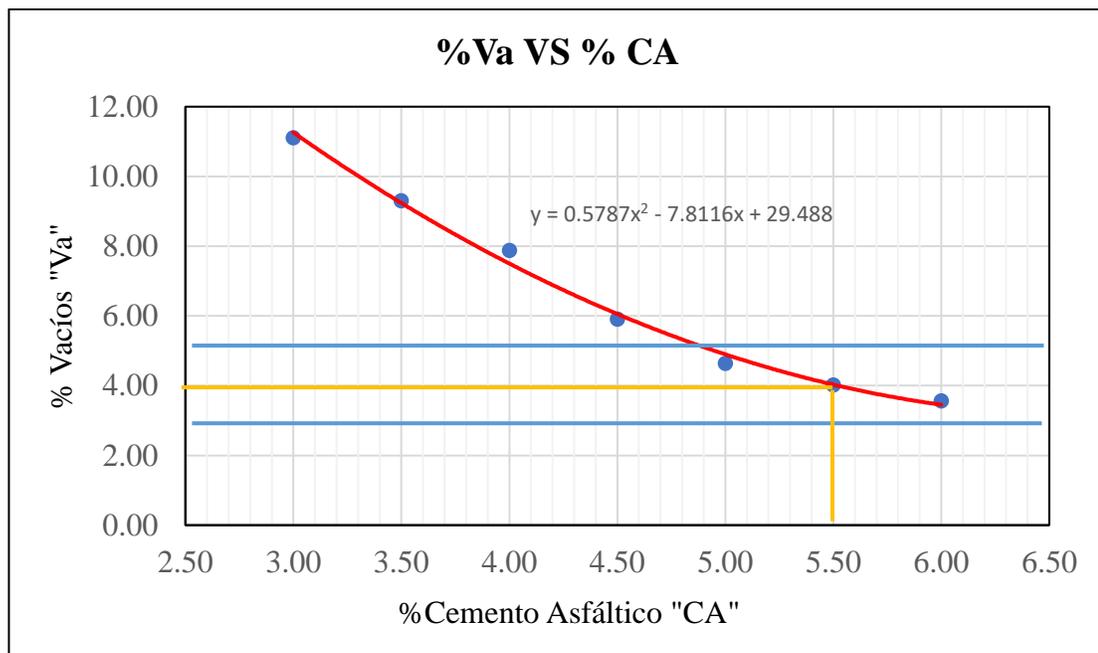
Nota: en la figura se observa los resultados de la gravedad específica bulk "Gmb" vs el porcentaje de asfalto evaluado en la mezcla asfáltica con agregados reciclados.

En la figura 37, se muestra la relación o comparación entre la gravedad específica bulk y el porcentaje de asfalto para una mezcla asfáltica con material reciclado. Se observa que para un porcentaje de asfalto de 5,5%, la gravedad específica bulk de diseño es de 2,31 gr/cm³. Por tanto, este valor de Gmb es considerado óptimo, debido a que, se encuentra dentro del rango recomendado por la norma.

En las gráficas se muestra un promedio de los resultados de gravedad específica, porque para este cálculo hemos ensayado 3 muestra para cada contenido de asfalto es decir iniciamos con un 3% hasta un 6% aumentando un 0.5% por cada muestra es decir 3%, 3,5% de esta manera hasta llegar a un 6% de contenido de asfalto.

Figura 38

Vacíos de aire vs % Cemento Asfáltico



%VACIOS = 4,03%

Nota: en la figura se observa los resultados del porcentaje de vacíos vs el porcentaje de asfalto evaluado en la mezcla asfáltica con agregados reciclados.

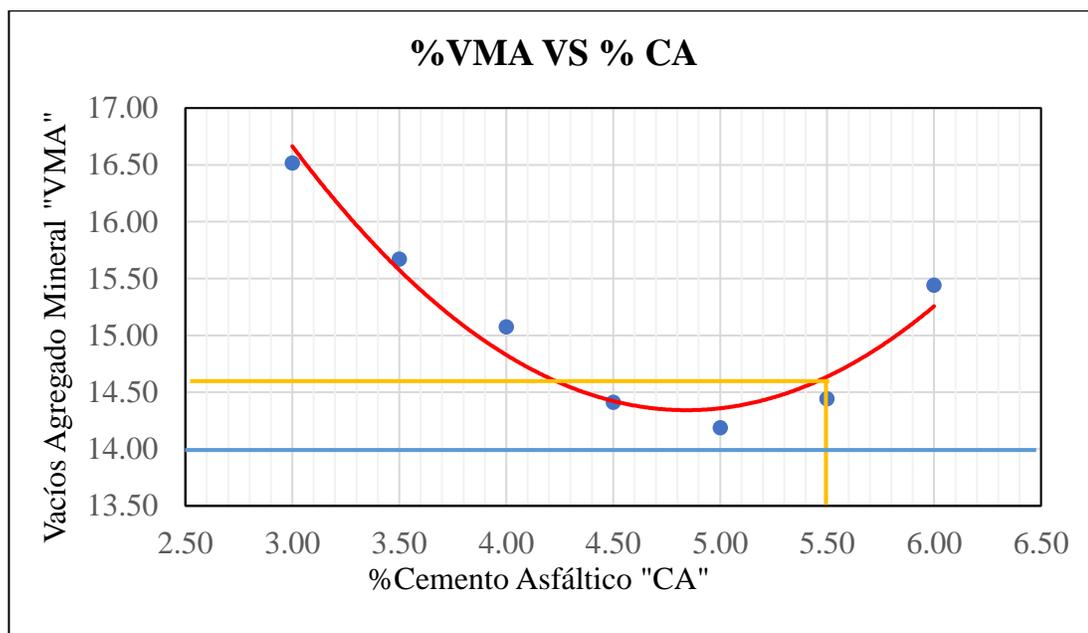
En la figura 38, se muestra la relación o comparación entre el porcentaje de vacíos y el porcentaje de asfalto para una mezcla asfáltica. Se observa que para un porcentaje de

asfalto de 5,5% el porcentaje de vacíos es de 4,03%, según la NEVI-12 MTOP, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado pueden existir de 3% a 5% de vacíos de aire.

El método Marshall establece un porcentaje de 4% para un diseño óptimo de una mezcla asfáltica, un valor menor o superior compromete la calidad de un buen diseño de mezcla asfáltica en caliente por lo tanto el método establece como primer paso trazar una recta perpendicular al 4% de vacíos de aire.

Figura 39

Vacíos en el agregado mineral "VMA" vs % Cemento asfáltico



VMA = 14,64%

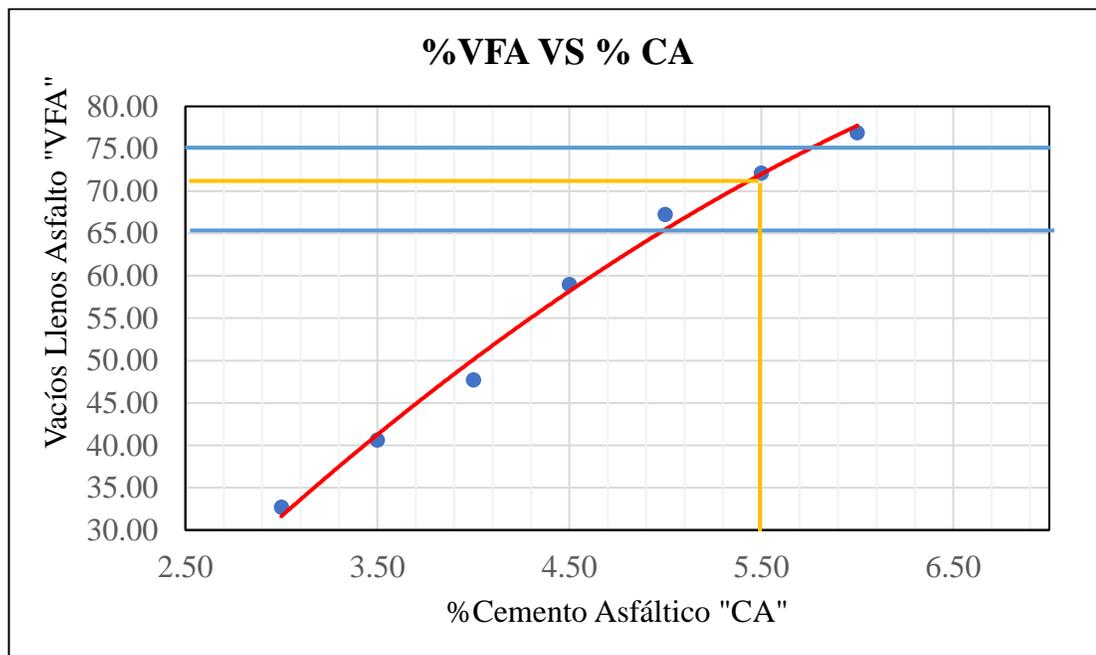
Nota: en la figura se observan los resultados de vacíos en el agregado mineral vs el porcentaje de asfalto evaluado en la mezcla asfáltica con agregados reciclados.

En la figura 39, para un porcentaje de asfalto de 5,5% el porcentaje de vacíos en el agregado mineral es de 14,64%, según la NEVI-12 MTOP, para una mezcla asfáltica correspondiente a un TMN de 1/2", el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) es de 14%.

Un VMA menor al 14% puede comprometer la calidad y el rendimiento de la mezcla asfáltica en este caso la mezcla asfáltica con material asfáltico reciclado. Estos resultados serán importantes verificar los resultados de la comprobación de la mezcla asfáltica

Figura 40

Vacíos llenos de asfalto "VFA" vs % Cemento Asfáltico



VFA = 72,30%

Nota: en la figura se observa los resultados de vacíos llenos de asfalto "VFA" vs el porcentaje de asfáltico evaluado en la mezcla asfáltica con agregados reciclados.

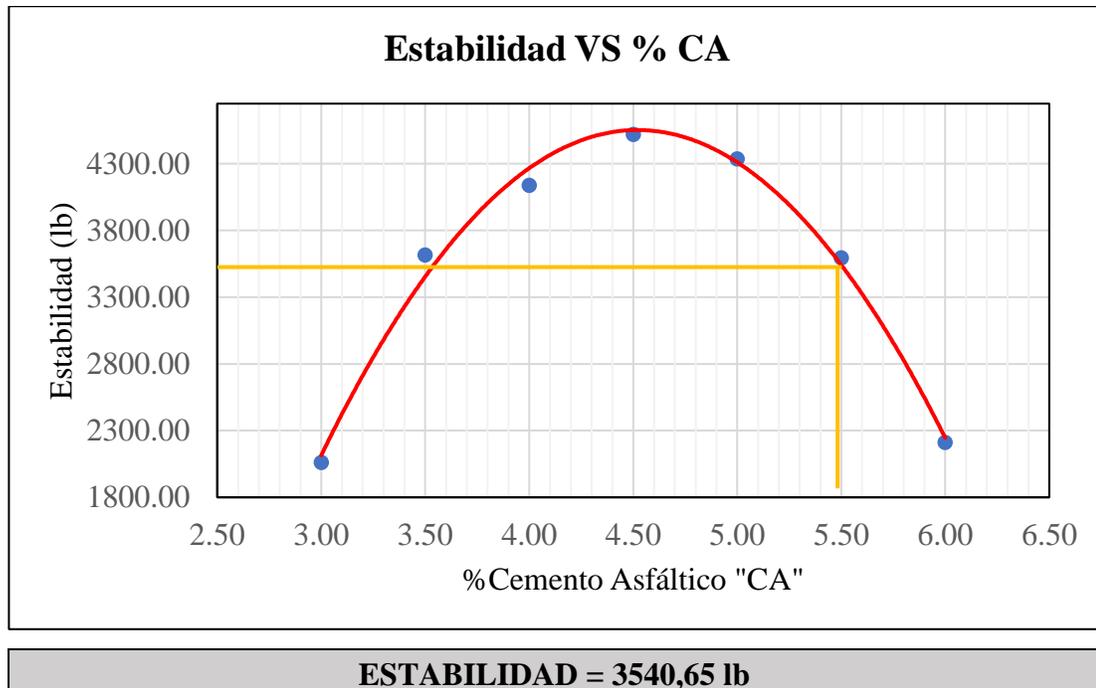
En la figura 40, para un porcentaje de asfáltico de 5,5% el porcentaje de vacíos llenos de asfalto es de 72,30%, según la NEVI-12 MTOP, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado pueden existir un rango de 65% a 75% de vacíos ocupados por el asfalto (VFA).

El VFA mide el espacio ocupado por el asfalto dentro de la mezcla asfáltica compactada, si tenemos un valor mínimo indica que se puede tener poco asfalto y esto afecta la durabilidad y la resistencia al envejecimiento y por el otro lado si tenemos

cercanos al valor máximo se puede decir que hay mucho asfalto y por lo tanto afecta la estabilidad y la resistencia al deslizamiento.

Figura 41

Estabilidad vs % Cemento Asfáltico



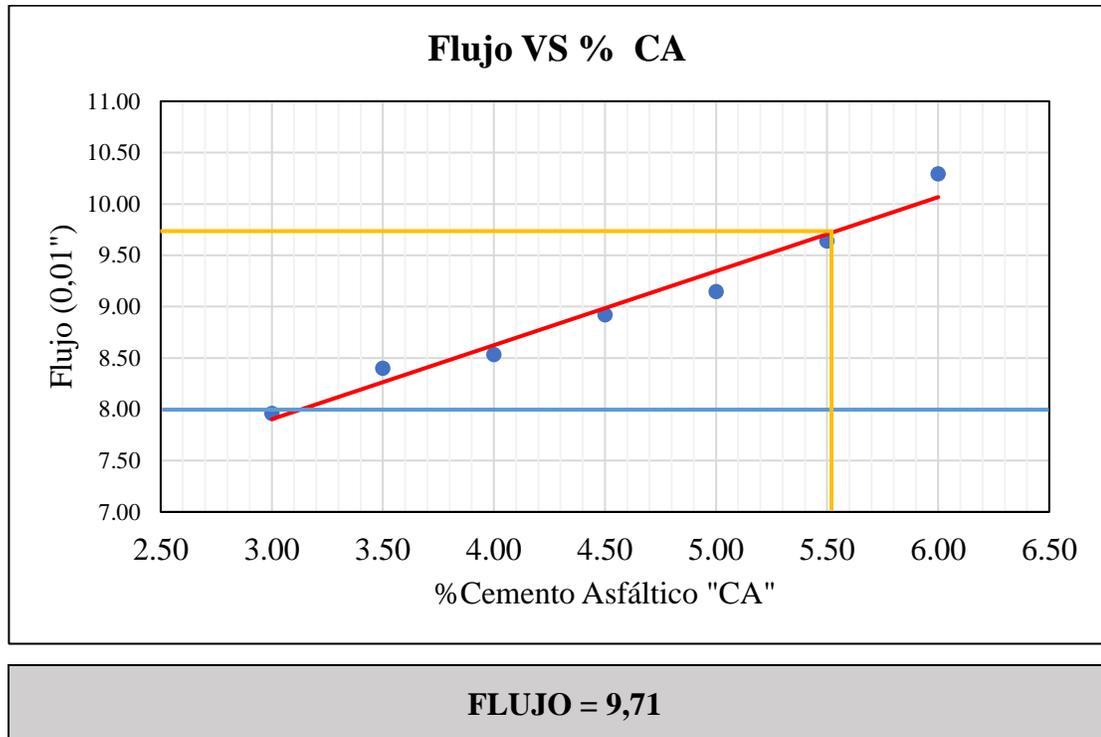
Nota: en la figura se observa los resultados de estabilidad vs el porcentaje de asfalto evaluado en la mezcla asfáltica con agregados reciclados.

En la figura 41, para un porcentaje de asfalto de 5,5% la estabilidad es de 3540,65 lb, según la NEVI-12 MTOP, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado se considera un valor mínimo de 1800 lb, valor establecido por la normativa para garantizar el buen funcionamiento.

Con el valor de la estabilidad estamos midiendo la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica. Este ensayo nos da el resultado de la carga de falla de las mezclas asfálticas compactadas se realiza en la prensa de Marshall hay muestra el valor de la carga que hemos obtenido al ensayar todas las briquetas.

Figura 42

Flujo vs % Cemento Asfáltico



Nota: en la figura se observa los resultados de flujo vs el porcentaje de asfalto evaluado en la mezcla asfáltica con agregados reciclados.

En la figura 42, para un porcentaje de asfalto de 5,50% el flujo es de 9,71, según la NEVI-12 MTOP, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado considera un valor recomendado de flujo de 8 a 14 (0,01''), flujo que garantiza una correcta deformación del pavimento.

Las figuras anteriores muestran las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica con agregados reciclados. Además, el porcentaje de asfalto de 5,5% cumple con las especificaciones de valores mínimos y rangos establecidos por la normativa MTOP, los resultados de cada una de las gráficas representan el promedio de los resultados obtenidos de flujo vs el porcentaje de asfalto evaluado en la mezcla asfáltica con agregados reciclados.

4.4. RESULTADOS DE OPTIMIZACIÓN PORCENTAJE FALTANTE DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO COMBINADO CON EL AGREGADO NUEVO

Para el proceso de ajuste del porcentaje de asfalto a utilizar en la mezcla de diseño, se partió de un material asfáltico reutilizado que contiene un porcentaje de asfalto de 5,67%. El objetivo es alcanzar el porcentaje óptimo de 5,5% que se determinó anteriormente. En primer lugar, se calculó el aporte inicial de asfalto del material reutilizado en la combinación, considerando que representaba el 74% del total de los agregados. Esto resultó en un contenido de asfalto del 4,20% en la mezcla.

Tabla 37

Porcentajes de asfalto del material reutilizado y el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica

Porcentaje de asfalto del material reutilizado	5,67%
Porcentaje de asfalto óptimo de la mezcla	5,50%

Nota: la tabla permite comparar el porcentaje de asfalto del material reutilizado con el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica. Esto ayuda a determinar la cantidad de asfalto adicional que se debe agregar a la mezcla para alcanzar el porcentaje óptimo.

Tabla 38

Asfalto del material reutilizado en la combinación

Agregado	% CA	% agregado	% CA Corregido
reciclado	5,67%	74%	4,20%

Nota: la tabla muestra el porcentaje de asfalto que el material reutilizado aporta en la combinación de la mezcla asfáltica.

Tabla 39*Contenido de asfalto faltante en la mezcla de materiales*

RESTA FINAL	
% CA Corregido	4,20%
% CA Óptimo	5,50%
%CA Faltante	1,30%

Nota: la tabla muestra la diferencia entre el porcentaje que aporta el material reutilizado y el porcentaje óptimo de la mezcla, obteniendo un resultado del 1,30%.

Finalmente, se compara el porcentaje de asfalto que aporta el material reutilizado con el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla de 5,5%. Esto da como resultado una diferencia de 1,30%, que es la cantidad de asfalto adicional que se debe agregar a la mezcla para alcanzar el porcentaje óptimo.

4.5. RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN Y COMPROBACIÓN DE LA NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA INCORPORANDO EL PORCENTAJE DE ASFALTO Y AGREGADOS REQUERIDOS

Los porcentajes de agregados y asfalto requeridos para la nueva mezcla con material asfáltico reciclado son 74% de agregado reciclado, 26% de piedra 1/2" y 5,5% de contenido de asfalto óptimo. Sin embargo, los cálculos anteriores establecieron un contenido de asfalto de 1,30%. Por lo tanto, se debe corregir los pesos a usar en las briquetas para incorporar este porcentaje adicional de asfalto.

Tabla 40*Corrección de pesos de la nueva mezcla asfáltica*

MEZCLA DE AGREGADOS Y ASFALTO DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA				
MATERIAL	%	PESO	% CORREGIDO	PESO CORREGIDO
Material reciclado 1/2"	74%	888 gr	70%	841,71 gr
Piedra 1/2"	26%	312 gr	25%	295,73 gr
Asfalto aportado	4,20%	50 gr	4%	47,77 gr
Asfalto adicional	1,30%	16 gr	1%	14,79 gr
Total	104,20%	1266 gr	100%	1200,00 gr

Nota: la tabla muestra la corrección de pesos a usar en la ejecución de la nueva mezcla asfáltica.

Figura 43

Material asfáltico reutilizado



Nota: la figura muestra el material asfáltico reutilizado para la nueva mezcla asfáltica

Figura 44

Preparación de la nueva mezcla asfáltica



Nota: la figura muestra la preparación de la nueva mezcla asfáltica mediante el Método Marshall para ser compactada.

A continuación, se colocan los agregados pétreos en los porcentajes requeridos para compactar y elaborar las briquetas, las cuales, son evaluadas por los mismos ensayos y criterios utilizados en el método Marshall. Se realizaron tres briquetas por cada contenido de asfalto óptimo 5,5%.

Figura 45

Briquetas compactadas



Nota: la figura muestra las tres briquetas compactadas de un porcentaje de asfalto del 5,5% de la nueva mezcla ejecutada.

Figura 46

Proceso de desencofrado



Nota: la figura muestra el proceso de desencofrado de las briquetas de la nueva mezcla asfáltica.

Terminado esta parte del proceso, las briquetas son sometidas a mediciones de altura y diámetro, registros de peso en el aire, en el agua y superficialmente secas. También se ejecutan pruebas de análisis de vacíos, pruebas de estabilidad y flujo para determinar y

comprobar que la nueva mezcla cumple con todos los parámetros requeridos por la normativa NEVI-12 MTOP.

Tabla 41

Resultados de Análisis de vacíos mediante el método Rice

PORCENTAJE DE ASFALTO UTILIZADO	DATOS		RESULTADOS
	Nom.	Muestra 1	Muestra 1
5,5	A=	1500	2,41 gr/cm ³
	B=	7409	
	C=	8287	

Nota: la tabla muestra los resultados del ensayo rice obteniendo las gravedades específicas teóricas máximas del 5,5% de contenido de asfalto de la nueva mezcla asfáltica.

Tabla 42

Resultados de las propiedades volumétricas de la nueva mezcla asfáltica

% Asfalto	(Gmb) Densidad	(Va) % Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (lb)	Flujo
5,50	2,32	3,82	14,40	73,46	3967,69	9,05

Nota: en la tabla muestra los resultados de los ensayos de las propiedades volumétricas de la nueva mezcla asfáltica con un porcentaje óptimo de asfalto del 5,5%.

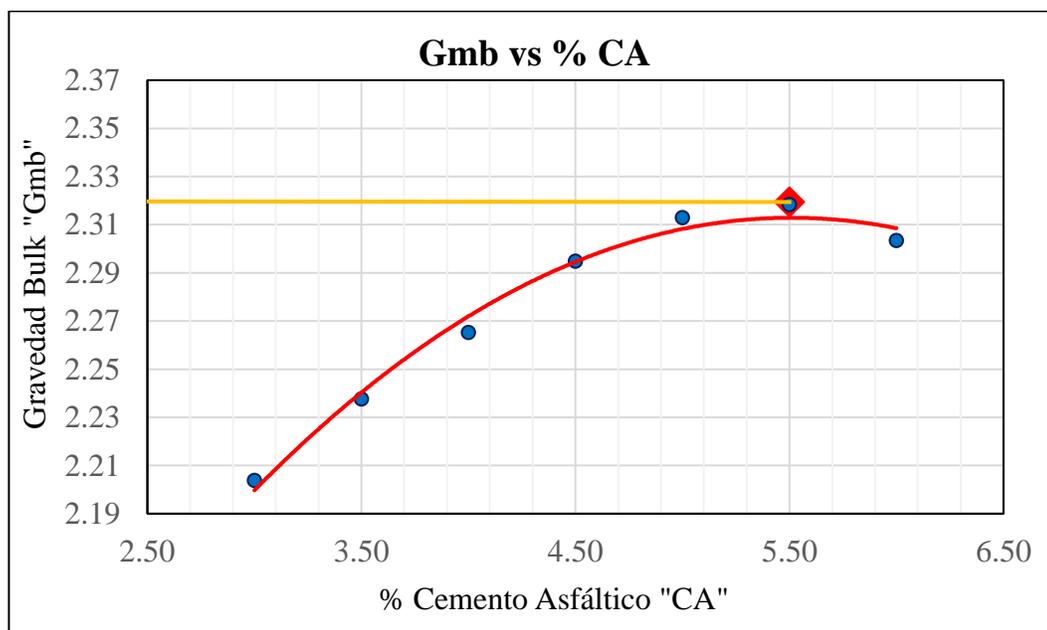
De acuerdo con la normativa NEVI-12 MTOP, los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio establecidos por el método Marshall, usando un contenido de asfalto del 5,5% en la nueva mezcla asfáltica, cumplen con los rangos permitidos y recomendados para una mezcla asfáltica de tráfico pesado. Estos valores se pueden verificar en las gráficas, donde se representan visualmente los puntos de los ensayos.

A continuación, se muestran los resultados de la nueva mezcla asfáltica ejecutada con su respectiva comparación sobre las gráficas originales mostradas en los resultados

anteriores, datos que proporciona la comprobación de que la mezcla de diseño y el porcentaje de asfalto usado es la ideal.

Figura 47

Gravedad específica Bulk "Gmb" vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)



$$Gmb = 2,32 \text{ gr/cm}^3$$

Nota: en la figura se observa los resultados de la gravedad específica bulk "Gmb" vs el porcentaje de asfalto evaluado en la nueva mezcla asfáltica con material reciclado.

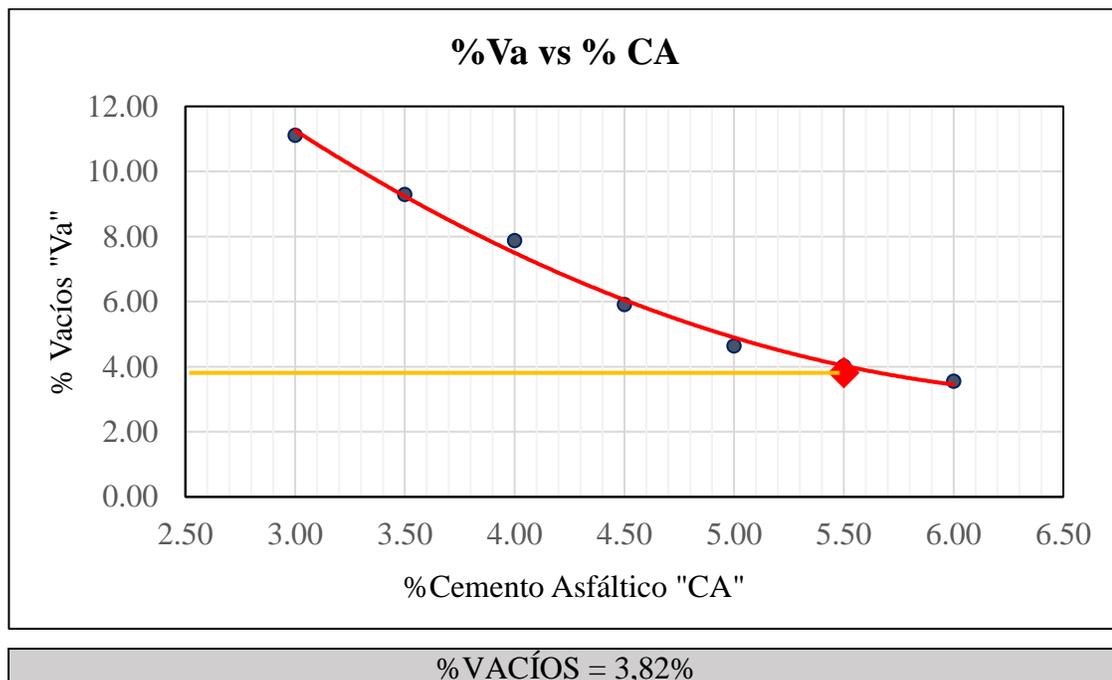
En la figura 47, se muestra la relación o comparación entre la gravedad específica bulk y el porcentaje de asfalto para una mezcla asfáltica con la granulometría de diseño. Se observa que para un porcentaje de asfalto de 5,5% que está compuesto por 4,2% de asfalto del RAP y 1,3% de asfalto nuevo.

La gravedad específica bulk de diseño es de 2,32 gr/cm³. Por tanto, este valor de Gmb es considerado óptimo, debido a que, se encuentra dentro del rango recomendado por la norma. La comprobación del diseño de la mezcla asfáltica se realizó con el RAP e incorporando las cantidades requeridas de material nuevo y asfalto.

De esta manera hemos obtenidos los resultados de comprobación y se lo realizó como seria en planta, además podemos ver en la gráfica que el valor obtenido no hay dispersión de la gráfica lo que nos corrobora buenos resultados en la comprobación.

Figura 48

Vacíos vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)



Nota: en la figura se observa los resultados del porcentaje de vacíos vs el porcentaje de asfalto evaluado en la mezcla asfáltica con agregados reciclados.

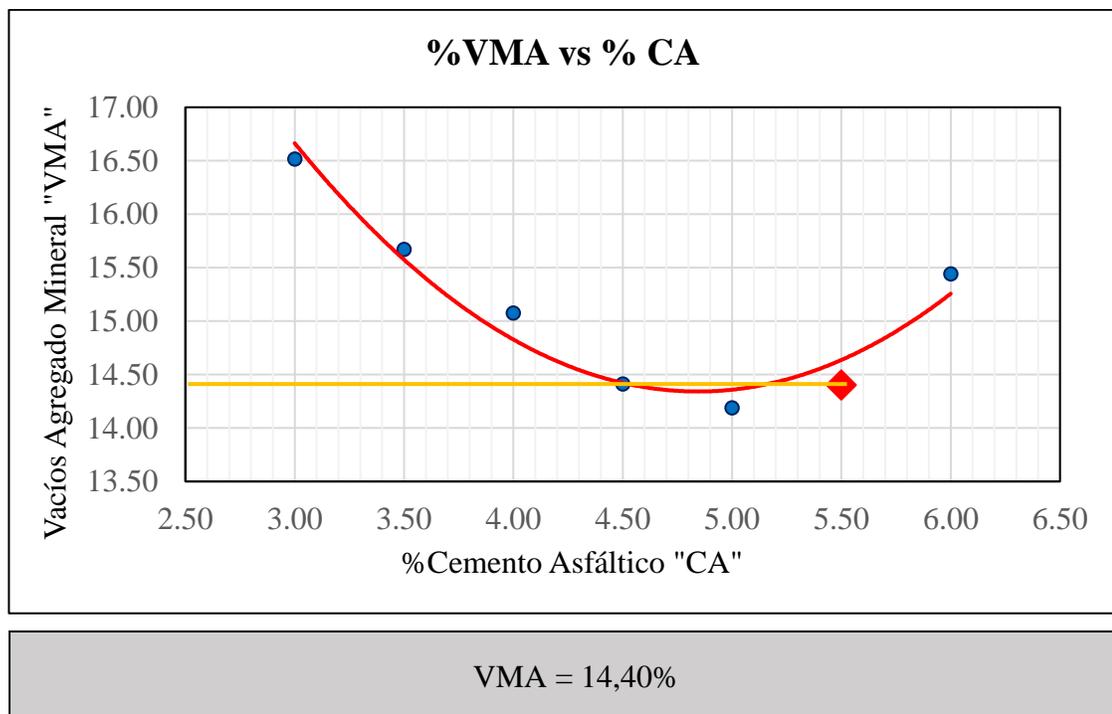
En la figura 48, se muestra la relación entre el porcentaje de vacíos y el porcentaje de asfalto para una mezcla asfáltica. Se observa que, para un porcentaje de asfalto de 5,5% que está compuesto por 4,2% de asfalto de RAP y 1,3% de asfalto nuevo, el porcentaje de vacíos de aire es de 3,82%.

Este valor se encuentra dentro del rango permitido para una mezcla asfáltica de tránsito pesado, que es de 3% a 5% de vacíos de aire, según la NEVI-12 MTOP. Por lo tanto, se está diseñando una mezcla asfáltica con el porcentaje ideal de vacíos en la mezcla.

El porcentaje de 5.5% está compuesto de asfalto que contiene el RAP se le agrego el material requerido para lograr el contenido óptimo de asfalto, podemos observar que el resultado de la comprobación esta un tanto sobrepuesto de la gráfica lo que indica buenos resultados es decir resultados similares a los obtenidos anteriormente

Figura 49

Vacíos en el agregado mineral "VMA" vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)

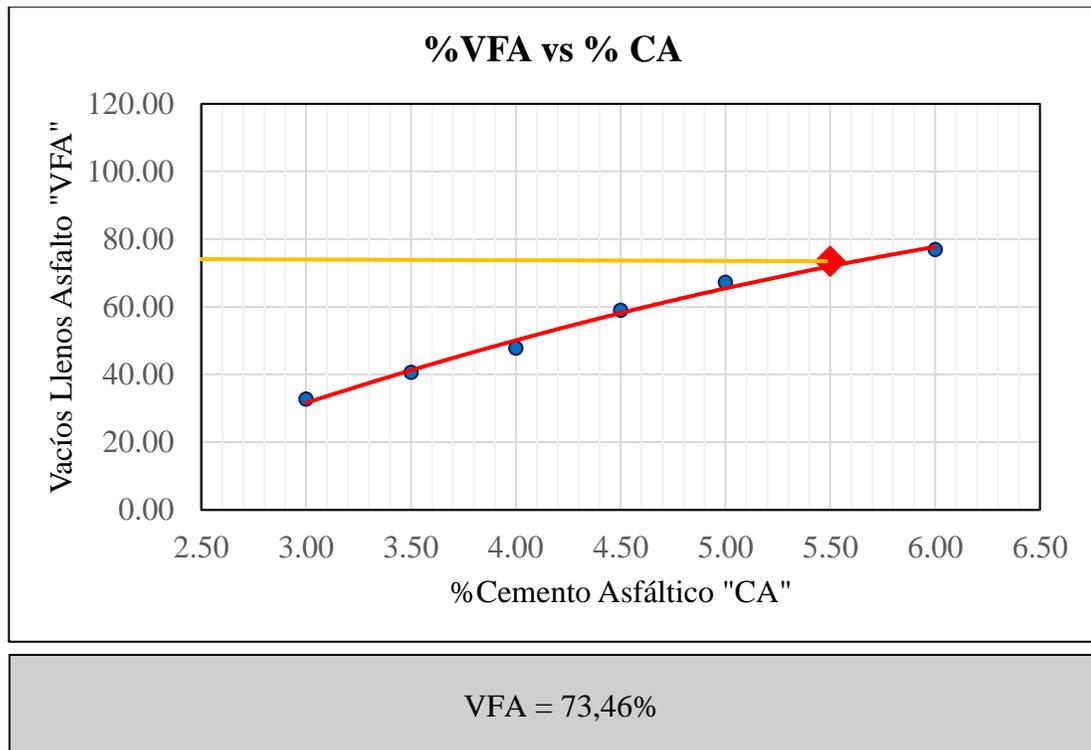


Nota: en la figura se observa los resultados de vacíos en el agregado mineral vs el porcentaje de asfalto evaluado en la nueva mezcla asfáltica.

En la figura 49, se muestran los resultados de vacíos para un porcentaje de asfalto de 5,5% que está compuesto por 4,2% de asfalto de RAP y 1,3% de asfalto nuevo, el porcentaje de vacíos en el agregado mineral es de 14,40%. Este valor cumple con el porcentaje mínimo requerido de 14% que asegura una cantidad ideal de vacíos en el agregado mineral para una mezcla asfáltica con un TMN de 1/2", según la NEVI-12 MTOP.

Figura 50

Vacíos llenos de asfalto "VFA" vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)



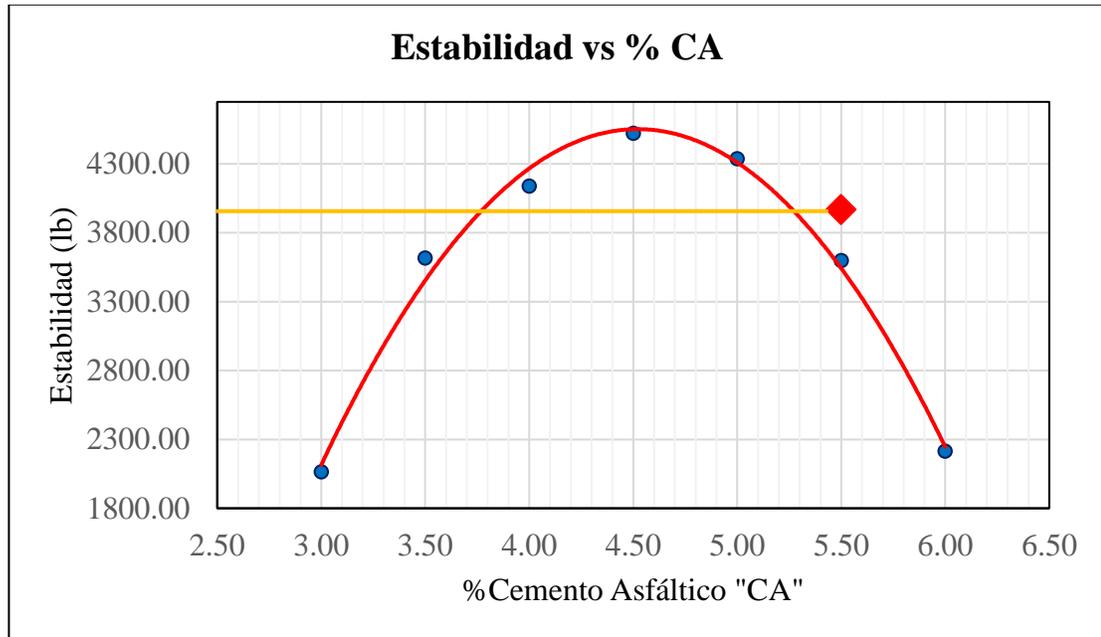
Nota: en la figura se observa los resultados de vacíos llenos de asfalto "VFA" vs el porcentaje de asfalto evaluado en la nueva mezcla asfáltica.

En la figura 50, para un porcentaje de asfalto de 5,5% que está compuesto por 4,2% de asfalto de RAP y 1,3% de asfalto nuevo. El porcentaje de vacíos llenos de asfalto es de 73,46%, según la NEVI-12 MTOP, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado pueden existir un rango de 65% a 75% de vacíos ocupados por el asfalto (VFA) estos valores aseguran un correcto diseño de mezcla asfáltica en caliente.

Los resultados que estamos obteniendo corroboran lo resultados antes mencionados una manera de observar esto es que los resultados están muy cercanos de los que se habían obtenido, eso lo podemos ver en las gráficas ya que no existe una dispersión significativa respecto al valor referencial.

Figura 51

Estabilidad vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)



ESTABILIDAD = 3967,69 lb

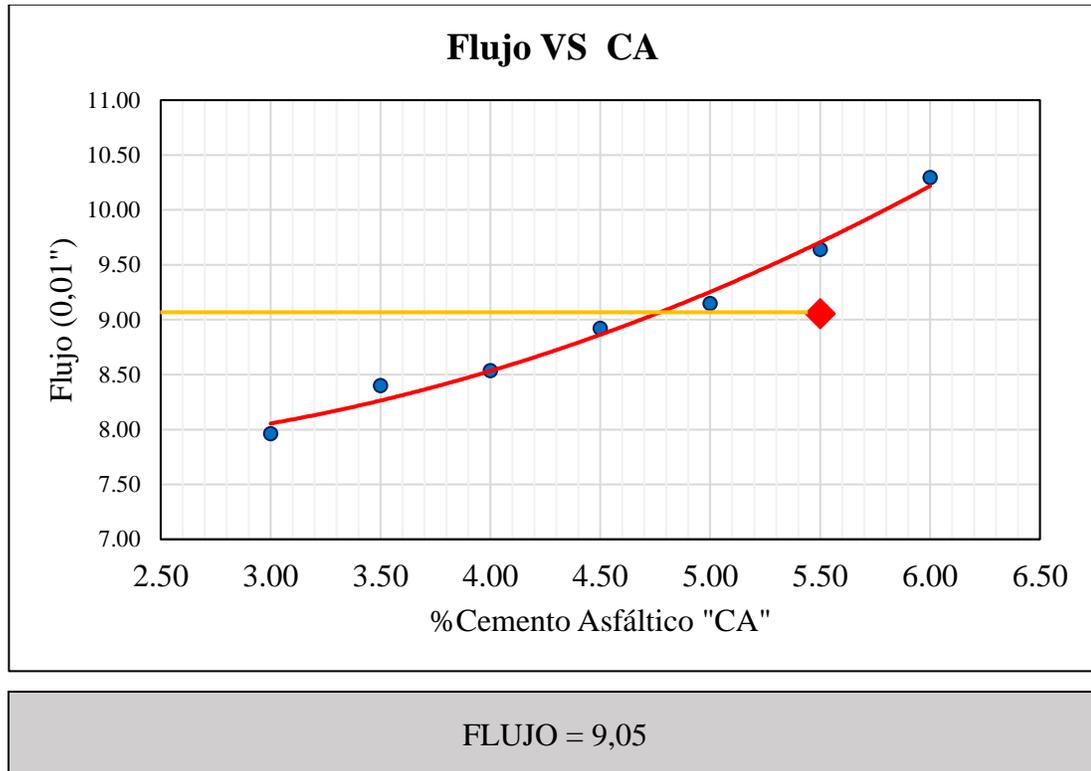
Nota: en la figura se observa los resultados de estabilidad vs el porcentaje asfalto evaluado en la nueva mezcla asfáltica.

En la figura 51 para un porcentaje de asfalto de 5,5% que está compuesto por 4,2% de asfalto de RAP y 1,3% de asfalto nuevo, la estabilidad es de 3967,69 lb, según la NEVI-12 MTOP, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado se considera un valor mínimo de 1800 lb, valor establecido para garantizar un correcto funcionamiento del pavimento.

Podemos observar una dispersión sin relevancia en la comprobación respecto a la gráfica, recordemos que aquí estamos realizando la comprobación del diseño de la nueva mezcla asfáltica con el material tal como se encuentra, solo lo calentamos y adicionamos el material requerido para alcanzar los valores de diseño que hemos calculado anteriormente esta es la manera como se lo haría en una planta de asfalto que valla a reutilizar el RAP.

Figura 52

Flujo vs % Porcentaje de Cemento Asfáltico del nuevo diseño de mezcla asfáltica con material reciclado (RAP)



Nota: en la figura se observa los resultados de flujo vs el porcentaje de asfalto evaluado en la nueva mezcla asfáltica.

En la figura 52, se muestra que para un porcentaje de asfalto de 5,5% que está compuesto por 4,2% de asfalto de RAP y 1,3% de asfalto nuevo, el porcentaje de vacíos es de 3,82%. El flujo es de 9,05, según la NEVI-12 MTOP, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado considera un valor recomendado de flujo de 8 a 14 (0,01”), valor establecido para garantizar un correcto funcionamiento.

Las figuras anteriores se muestran las propiedades volumétricas de la nueva mezcla asfáltica. Además, se comprueba que el porcentaje de asfalto de 5,5% cumple con las especificaciones de valores mínimos y rangos establecidos por la normativa NEVI-12 MTOP.

4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La relación entre las variables en estudio se estableció para cumplir con el objetivo general de la investigación, el cual consistió en el análisis de una nueva mezcla asfáltica en caliente utilizando material asfáltico reciclado a través de la prueba o metodología Marshall. Esto se logró mediante ensayos de laboratorio, los cuales, permitieron establecer propiedades físicas-mecánicas de los materiales nuevos y reciclados, así mismo, la combinación y gradación adecuada de los agregados, de igual manera, la definición de las características volumétricas-mecánicas de la mezcla. Estos resultados permitieron establecer el contenido óptimo de asfalto para el nuevo diseño de la mezcla.

Por tanto, el proceso de determinación del contenido óptimo de asfalto de una mezcla asfáltica compuesta principalmente de material asfáltico reciclado se puede manifestar que la dosificación establecida de los agregados pétreos y el porcentaje de asfalto, expresado en la Tabla 25, fue efectiva para obtener una mezcla asfáltica caliente de buena calidad en términos de eficiencia cumpliendo con los estándares de calidad y rendimientos requeridos.

En el estudio Balbin y Chochon (2019) se demostró que el porcentaje de asfalto del material reciclado que se obtuvo fue de 3% y el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica con agregados reciclado fue de 4,1%, al incrementar la cantidad de agregado grueso a la mezcla asfáltica reciclada se mejora su comportamiento mecánico debido a que se observó un alto porcentaje de material fino (75%) y bajo porcentaje de material grueso (25%) dando una curva que no se encontraba dentro de los rangos correspondientes, para corregir la curva granulométrica se utilizó un 40% de material asfáltico reciclado, 10% de piedra 3/8", 20% de piedra 3/8 y se incrementa en un 30% el agregado fino (arena para pavimento), este incremento de agregados corrige la curva granulométrica.

Por tanto, con base a las investigaciones y comparando con los resultados de este estudio, se encontró que el porcentaje de asfalto en el agregado reciclado fue de 5,67%. Mientras que, el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica reciclada con agregados

reciclados fue de 5,5%. La granulometría del agregado reciclado posee un 46,69% de material fino y 53,31% de agregado grueso dando, lo cual está en los límites de los rangos permitidos en el agregado fino. Para corregir la curva granulométrica, se utilizó un 74% de material asfáltico reciclado y 26% de piedra 1/2", este incremento de agregado corrige la curva granulométrica.

Es así como, los cálculos efectuados demostraron que al reutilizar un material fresado con un contenido de asfalto del 5,67% era posible ajustar la composición de la mezcla para alcanzar el porcentaje óptimo de asfalto requerido del 5,5% en la mezcla asfáltica. Con la proporción de agregados establecidos resultó en un contenido de asfalto de 4,20%. Sin embargo, después de la combinación inicial se encontró un déficit de 1,30% en el contenido de asfalto. La adición de este porcentaje adicional de asfalto se convirtió en la clave para alcanzar los requerimientos establecidos por la normativa NEVI-12 MTOP y los estándares de calidad y rendimiento. Es importante aclarar que no se debe sobrepasar el porcentaje óptimo de asfalto, podría traer efectos negativos en la resistencia y tiempo de vida de la carretera.

Esta metodología soluciona el problema de contaminación del medio ambiente causado por la acumulación de material asfáltico fresado, convirtiéndolo en material asfáltico reciclado, que es material de construcción sostenible. Además de los beneficios que trae al medio ambiente, presenta una ventaja económica al reducir la necesidad de agregados pétreos nuevos y minimizar el desperdicio. Este análisis ofrece una valiosa contribución al campo de la ingeniería de pavimentos y gestión de recursos naturales en proyectos de pavimentación.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIÓN

La construcción y mantenimiento de infraestructuras viales presentan una demanda el uso de grandes cantidades de recursos naturales para la pavimentación como los son los agregados pétreos; en este ámbito, la optimización de las mezclas asfálticas ofrece un papel importante en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes. Por esta razón, el material asfáltico reciclado se presenta como una alternativa viable que puede ser utilizado para la construcción o rehabilitación de las carreras, además, de poseer ventajas ambientales y económicas.

De esta manera, la investigación se enmarcó en el análisis de una nueva mezcla asfáltica a partir de material asfáltico reciclado, el cual fue obtenido del botadero provisional que contiene el fresado de la Vía E40 Guayaquil-Salinas. Para dar cumplimiento al primer objetivo específico, de determinar las propiedades físicas-mecánicas de los materiales asfáltico reciclado y el agregado nuevo, se comenzó por lavar el material asfáltico reciclado mediante la centrífuga eléctrica para calcular el contenido de asfalto, el cual resultó un 5,67 %.

Posteriormente, se sometió al agregado lavado y la piedra 1/2" a un análisis granulométrico para obtener la curva granulométrica que proporcionó el tamaño máximo nominal de 1/2" para ambos agregados. También se obtuvo las gravedades específicas seca bulk, saturada superficialmente seca bulk y seca aparente, lo que permitió una comprensión profunda de los componentes clave en la dosificación de la mezcla asfáltica. Por lo tanto, la primera hipótesis específica se alcanzó realizando los ensayos de laboratorio regido por las normas AASHTO o ASTM.

Los datos obtenidos fueron esenciales para el cumplimiento del segundo objetivo específico, que consistió en determinar la combinación y gradación de agregados para obtener una granulometría de diseño con un tamaño máximo nominal de 1/2". Tal granulométrica se obtuvo combinando agregados reciclados y agregados nuevos en una proporción de 74% y 26% respectivamente como la combinación más ideal. Se obtuvo la combinación de las gravedades específicas bulk de $2,56\text{gr}/\text{cm}^3$ y la gravedad específica aparente de $2,69\text{ gr}/\text{cm}^3$.

Con esta granulometría de diseño se establecieron los porcentajes de asfalto que formaron parte de este análisis. Los porcentajes de asfalto estudiados fueron desde el 3% hasta el 6% en un intervalo del 0,5% para la elaboración de briquetas mediante el método Marshall. Por lo tanto, la segunda hipótesis específica se alcanzó realizando las combinaciones de agregados en la mejor proporción establecida para la elaboración de la mezcla asfáltica.

De esta manera, para el cumplimiento del tercer objetivo específico se definieron las características volumétricas y mecánicas de cada mezcla asfáltica con distinto contenido de asfalto datos como densidad (G_{mb}), porcentajes de vacíos de aire, el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA), porcentajes de vacíos ocupados por el asfalto (VFA), estabilidad y flujo. Esto permitió determinar el contenido óptimo de asfalto, que resultó ser de un 5,5%. Este porcentaje cumple con los estándares requeridos por la normativa, lo que representa un logro en términos de calidad y rendimiento de la mezcla asfáltica. Por lo tanto, la tercera hipótesis específica se alcanzó mediante ensayos de laboratorio que permitieron determinar el contenido óptimo de asfalto para el nuevo diseño de la mezcla.

Finalmente, se determina que el material asfáltico reciclado, con un contenido de asfalto del 5,67%, representa un 74% del total de la mezcla asfáltica. Por lo tanto, la mezcla de diseño se redujo a un 4,20% de contenido de asfalto. El método Marshall estableció un porcentaje óptimo de 5,5% de contenido de asfalto. Ante esta situación, se encontró un déficit del 1,30% de contenido de asfalto que debe agregarse a la nueva

mezcla asfáltica para alcanzar el contenido óptimo y cumplir con todos los requerimientos de una mezcla asfáltica convencional.

Este estudio fue ejecutado y comprobado en la elaboración de la nueva mezcla asfáltica incorporando el porcentaje de asfalto y agregados requeridos para la mejora de este material asfáltico reciclado, ejecutando el mismo método Marshall y obteniendo resultados que cumplen y están dentro de los rangos especificados por la normativa NEVI-12 MTOP.

A través de este proceso de cálculo y combinación controlada de agregados y asfalto se busca encontrar el camino hacia la viabilidad de esta técnica, su contribución a la sostenibilidad en la construcción de carretera y su importancia en la eficiente gestión de recurso. Se concluye que este estudio representa un paso significativo en la mejora de las prácticas de pavimentación y, sobre todo, en la optimización de los procesos de reciclaje y reutilización de materiales, aportando a la eficiencia y calidad en los proyectos de construcción de infraestructuras viales.

A partir de los resultados obtenidos, se puede analizar que las mezclas asfálticas con material reciclado tienen un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, debido a que, reduce la cantidad de residuos generados, disminuye la necesidad de extraer y procesar nuevos materiales. Además, ayudan a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Por ejemplo, el uso de estos materiales promueve la acción por el clima (Objetivo 13), ya que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción y transporte de materiales nuevos. También contribuye a la producción y consumo responsables (Objetivo 12), al fomentar la reutilización y reciclaje de materiales en lugar de depender únicamente de recursos naturales.

En términos de desempeño, como ya se lo ha demostrado en esta investigación, las mezclas asfálticas con material reciclado pueden ser tan duraderas y resistentes como las mezclas convencionales. Los avances en tecnología y técnicas de diseño han permitido mejorar las propiedades mecánicas y funcionales de estas mezclas,

asegurando su adecuado desempeño en cuanto a resistencia al desgaste, capacidad portante y durabilidad. Esto demuestra que es posible combinar la sostenibilidad ambiental con resultados técnicos satisfactorios en la construcción de infraestructuras viales.

5.2. RECOMENDACIONES

1. Los agregados y asfalto que se utilicen en mezclas asfálticas deben cumplir las especificaciones de la normativa ASTM D3515 y NEVI-12 MTOP. Para verificar su cumplimiento, se deben realizar ensayos de acuerdo con la norma vigente.
2. Implementar programas de reciclaje de carpetas asfálticas deterioradas en las vías del país, promoviendo el uso masivo de material reciclado en la elaboración de mezclas asfálticas. Esto generaría beneficios ambientales al reducir la cantidad de desechos y costos al aprovechar los materiales existentes.
3. Establecer alianzas con empresas de reciclaje, fomentar la investigación y desarrollo de tecnologías para la reutilización de materiales asfálticos en la construcción de carreteras. Esto permitiría maximizar el uso de materiales reciclados, reducir el impacto ambiental y optimizar los costos de construcción.
4. Realizar estudios piloto en diferentes proyectos viales donde se utilicen mezclas asfálticas con alto contenido de material reciclado, demostrando su viabilidad técnica y evaluando su desempeño a largo plazo. Compartir los resultados positivos obtenidos en proyectos que han utilizado mezclas asfálticas recicladas, destacando los beneficios ambientales, la reducción de costos y la durabilidad de las carreteras.
5. Para hacer una mezcla asfáltica en caliente, los agregados y asfalto no deben exceder las temperaturas especificadas por la normativa. Si se exceden estas temperaturas, los materiales pueden sufrir efectos negativos, como el

envejecimiento. Por otro lado, tampoco deben estar a una temperatura por debajo de lo especificado en la normativa, debido a que puede ocasionar accidentes y dificultar la compactación de la mezcla.

6. La elaboración de mezclas asfálticas compactadas debe realizarse con el número de golpes establecidos para un tráfico pesado, que son 75 golpes en cada cara de la briqueta. Estos golpes deben realizarse en un tiempo máximo de 90 segundos. El martillo debe estar en una superficie totalmente nivelada para que tenga una caída libre y sólida.
7. Para la realización de ensayos de laboratorio, como el método Marshall, es necesario utilizar equipos de protección para manipular y asfalto de manera segura. Esto se debe a que se está expuesto a altas temperaturas, lo que puede provocar accidentes y quemaduras.
8. El uso de material asfáltico reciclado tiene un gran impacto en la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente, porque evita la contaminación por exceso de volumen de material fresado sin utilizar. Por ello, es importante promover esta práctica a nivel local en proyectos de construcción o rehabilitación vial.
9. Verificar que los equipos de laboratorio estén correctamente calibrados para obtener datos acertados, los cuales, son empleados en los cálculos. La finalidad es evitar todo tipo de congruencias.
10. Los pavimentos fresados a reutilizar como material reciclado deben tener un bajo porcentaje de daño. Si el contenido de asfalto es bajo o la granulometría es deficiente, se necesitará agregar más asfalto y agregados pétreos nuevos. Esto va en contra del objetivo de la tesis, que es usar la mayor proporción de material reciclado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Jaber, M., Al-shamayleh, R. A., Ibrahim, R., Alkhrissat, T., y Alqatamin, A. (2022). Mechanical properties evaluation of asphalt mixtures with variable contents of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Results in Engineering*, 14. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100463>
- Aguilar Ampuero, J. A., y Valer Arotaipe, Á. S. (2021). *Análisis del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica convencional frente a una mezcla asfáltica adicionada con botellas de plástico trituradas recicladas (BPTR) y granos de neumáticos reciclados (GNR) con agregados de la región del Cusco*. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4179>
- Ahmad, T., Ahmad, N., Jamal, M., Badin, G., y Suleman, M. (2022). Investigation into possibility of rejuvenating aged asphalt binder using mustard oil. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(6), 1738-1753. Scopus. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1823388>
- Alarcón Ibarra, J. (2003). Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta [Doctoral thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93221>
- Alzamora de los Godos Urcia, L. (2011). *Tipos de Estudio*. <https://inppares.org/magazine/Revista%20XIII%202011/9-%20Tipos%20de%20Estudio.htm>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., y Miranda Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206.
- Asphalt Institute. (2007). *The Asphalt Handbook (MS-4)* (Séptima).
- Balbin Archi, R., y Chochon Gomez, V. H. (2019). Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019. *Repositorio Académico USMP*. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6001>
- Baque Solis, B. S. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 203-228.

- Barral, A., Muñoz, M. E., Romera, R., García, E., Santamaría, A., y Jáñez, V. (2005). Reciclado de pavimentos asfálticos: Parte I, caracterización y regeneración del betún envejecido. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, 135, 36-42.
- Bastidas Martínez, J. G., y Rondón Quintana, H. A. (2020). *Caracterización de mezclas de concreto asfáltico*. Universidad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/8146>
- Bocci, E., y Prospero, E. (2020). Analysis of different reclaimed asphalt pavements to assess the potentiality of RILEM cohesion test. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 53(5). Scopus. <https://doi.org/10.1617/s11527-020-01551-3>
- Bonfim, V. (2008). *Fresado de pavimentos asfálticos* (1.^a ed.). Editorial Exceção.
- Boriack, P., Katicha, S., y Flintsch, G. (2014). Laboratory Study on Effects of High Reclaimed Asphalt Pavement and Binder Content. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2445, 64-74. <https://doi.org/10.3141/2445-08>
- Briones Moreira, A. E., y Lucín Morales, M. J. (2022). *Diseño vial utilizando asfalto reciclado en el sector José Luis Tamayo de la provincia de Santa Elena* [BachelorThesis, Guayaquil: ULVR, 2022.]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5768>
- Buitrago Zarabanda, J. F., y González Méndez, A. N. P. (2016). *Caracterización de RAP e identificación de su influencia en el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente*. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3207>
- Cardoza-Zambrano, M., Palomino-Cadena, K. V., y Angulo-Blanquissett, G. (2019). Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad en Colombia. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.25213/2216-1872.16>
- Carpio Garcés, S. H., y Mosqueira Niño De Guzman, E. C. (2020). Incorporación de material reciclado de asfalto en mezcla asfáltica para diseño de pavimento, Jirón Ayacucho km1, Talavera, Andahuaylas, 2020. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82998>
- Castillo Carpio, S. A., Yamasqui Freire, R. A., y Areche García, J. N. (2021). Comportamiento de las propiedades mecánicas de material reciclado de mezcla

asfáltica con aceite de motor. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(10), 25.

Castro Valle, R. E., y Manzaba Terán, A. J. (2022). *Evaluación del comportamiento de materiales estabilizados con el sistema consolid.* [BachelorThesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022.]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8431>

Cervantes-Calvo, V., y Sequeira-Rojas, W. (2014). *Consistencia de los diseños de mezcla según la metodología Marshall.* <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/889>

Chaitanya, G., Srib, M. R., y Reddy, K. (2015, diciembre 17). *Fatigue performance of bituminous mixes containing reclaimed asphalt pavement (RAP) material.*

Chiquito Salcedo, A. J., y Torres Borbor, F. E. (2015). *Diseño de mezcla asfáltica en caliente empleando agregados de la cantera San Vicente de Colonche y del río San Rafael de la provincia de Santa Elena utilizando el método Marshall* [BachelorThesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2015.]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2267>

Cisneros Acevedo, J. M., y Sandoval Toapanta, D. A. (2023). *Efecto del recalentamiento de mezclas asfálticas en la estabilidad y flujo, empleando: Betún AC-20, áridos naturales y áridos reciclados provenientes de asfaltos fresados* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24185>

Dávila Ruiz, M. V. (2012). *Diseño de la rehabilitación del pavimento flexible en el tramo Guayllabamba—El Pisque* [BachelorThesis, Quito / UIDE / 2012]. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2070>

Dughaishi, H. A., Lawati, J. A., Bilema, M., Babalghaith, A. M., Mashaan, N. S., Yusoff, N. I. M., y Milad, A. (2022). Encouraging Sustainable Use of RAP Materials for Pavement Construction in Oman: A Review. *Recycling*, 7(3). Scopus. <https://doi.org/10.3390/recycling7030035>

Espinoza Correa, L. E. (2018). *Análisis de alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO 93* [BachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30348>

Figueroa Infante., A. S., y Fonseca Santanilla., E. (2020). Desempeño del pavimento con mezcla reciclada-RAP y grano de caucho reciclado-GCR. *Infraestructura Vial*, 22(39), 20-28. <https://doi.org/10.15517/iv.v22i39.41205>

- Galeas Verdezoto, B. M., y Suquillo Suquillo, C. P. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica tibia, mediante la utilización de asfalto espumado, aplicando la metodología Marshall*. [BachelorThesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22867>
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Gómez López, J. A., Alonso Romero, S., y Alarcón Orta, H. A. (2004). *Aspecto del diseño volumétrico de mezclas asfálticas* (Publicación Técnica No 246). Instituto mexicano del transporte.
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., y Sandoval Sandoval, C. D. (2005). Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superave para compactación de mezclas asfálticas. *Publicación Técnica No 271*.
- Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., y Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), Article 3. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Guio Vargas, E. I. G., y Sánchez Abril, H. M. (2014). Mezclas Asfálticas Recicladas y su uso en capas granulares para pavimentos. *Revista Colombiana de Materiales*, 5, Article 5. <https://doi.org/10.17533/udea.rcm.19627>
- Hernández Capacho, C. E. (2019). *Estado del arte sobre el uso de agregados en Santander para la construcción de pavimentos*. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8293>
- Hmrawey, S., Abu El-Maaty, A., y Elmohr, A. (2015). Durability of Hot Asphalt Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavements. *OALib*, 02, 1-18. <https://doi.org/10.4236/oalib.1101508>
- Kaya Ozdemir, D., Aghazadeh Dokandari, P., Raufi, H., Topal, A., y Sengoz, B. (2023). Feasibility and mixture performance assessment of waste oil based rejuvenators in high-RAP asphalt mixtures. *Materials Research Express*, 10(4). Scopus. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/accd3e>
- Leiva Villacorta, F., y Vargas-Nordcbeck, A. (2017). Mejores prácticas para diseñar mezclas asfálticas con pavimento asfáltico recuperado (RAP). *Infraestructura Vial*, 19(33), 35-44.
- León Loayza, O., Castro Rodríguez, E., y Delgado Salazar, J. (2017). Comparación de los métodos de contenido de asfalto de mezcla asfáltica en caliente. *Métodos y Materiales*, 7, 11-19. <https://doi.org/10.15517/mym.v7i1.30320>
- López, P. L. (2004). Población muestra y muestreo. *Punto Cero*, 09(08), 69-74.

- Ma, X., Wang, J., y Xu, Y. (2022). Investigation on the Effects of RAP Proportions on the Pavement Performance of Recycled Asphalt Mixtures. *Frontiers in Materials*, 8. Scopus. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.842809>
- Maldonado Hidrobo, J. G., y Pozo Constante, J. F. (2022). *Comparación entre Parámetros Marshall de mezclas asfálticas en caliente, obtenidos sobre muestras taladradas y briquetas compactadas en sitio* [BachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21562>
- Malma González, R. P. (2013). *Ensayo Lavado de Asfalto (AST D 2172 y AASHTO T 164)*.
- Martínez Herrera, C. J. (2021). *Efectos de la adición de aceite usado de motor en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente* [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/33093>
- Méndez Chafla, J. X., y Torres Lucio, E. V. (2022). *Diseño de una mezcla asfáltica en frío reutilizando material asfáltico fresado (RAP) e incorporando fillers comerciales (cal hidratada / cemento) por vía seca* [BachelorThesis, Quito : UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/27245>
- Méndez Revollo, A. A. (2015). *Evaluación técnica y económica del uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en vías colombianas*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13208>
- Minaya Gonzalez, S., y Ordóñez Huaman, A. (2001). *Manual de Laboratio Ensayos para pavimentos* (Vol. 1).
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes*.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2011). *Cartel de Licitación Pública N° 2009LN-000003- CV*.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras*.
- Miranda Donato, N. I. (2016). *Verificación del diseño Marshall para MDC-19 (rodadura) para un tránsito de categoría NT2, a partir de agregados pétreos obtenidos de la trituración de material crudo del río Coello ubicado en el municipio de Coello Tolima, cumpliendo norma Invias 2013*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/15941>

- Miranda Rebolledo, R. J. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Universidad Austral de Chile.
- Miranda-Argüello, F., y Aguiar-Moya, J. P. (2019). *Mezclas Asfálticas Con RAP: Pavimentos Asfálticos Reciclados*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/1421>
- Montejo Fonseca, A. (2008). *Ingeniería de pavimentos: Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías* (Tercera edición). Universidad Católica de Colombia.
- Montoya Pelaez, P. A. (2019). Evaluación de las patologías del pavimento flexible de la Av. Argentina—Nuevo Chimbote—Santa. *Universidad San Pedro*. <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/8029>
- Morales Fournier, J., Alonso Aenlle, A., Moll Martínez, R., y López Quintana, O. (2019). Influencia del ensayo de fragmentación en la combinación granulométrica de las mezclas asfálticas con adición de material fresado de los pavimentos. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 13(2), 1-11.
- Moscoso Sanabria, D. C. (2022). *Proyecto de implementación de laboratorio de mezclas asfálticas con fines académicos y comerciales del Complejo Tecnológico Landívar de la Universidad Rafael Landívar*. Universidad Rafael Landívar.
- Mubaraki, M., Osman, S. A., y Sallam, H. E. M. (2019). Effect of rap content on flexural behavior and fracture toughness of flexible pavement. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 16(3). Scopus. <https://doi.org/10.1590/1679-78255516>
- Murillo Hernandez, W. J. (2004, mayo 9). La investigación científica. *Monografias*. <https://www.monografias.com/trabajos15/invest-cientifica/invest-cientifica>
- Naser, M., Abdel-Jaber, M., Al-Shamayleh, R., Ibrahim, R., Louzi, N., y AlKhrissat, T. (2023). Improving the Mechanical Properties of Recycled Asphalt Pavement Mixtures Using Steel Slag and Silica Fume as a Filler. *Buildings*, 13(1). Scopus. <https://doi.org/10.3390/buildings13010132>
- Obaid, H. A., Hashim, T. M., Al-Abody, A. A. M., Nasr, M. S., Abbas, G. H., Kadhim, A. M., y Sadique, M. (2022). Properties of Modified Warm-Mix Asphalt Mixtures Containing Different Percentages of Reclaimed Asphalt Pavement. *Energies*, 15(20). Scopus. <https://doi.org/10.3390/en15207813>

- Organización de las Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3)*.
- Padilla Rodríguez, A. (2004). *Materiales Básicos*.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13&isAllowed=y>
- Paneso Torres, G. A. (2019). *Diseño Estructural De Pavimento Flexible De La Vía Virgilio Ratti, Atahualpa De La Ciudad De Bahía De Caraquez*.
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1696>
- Pastás Morales, R. J. (2021). *Estudio y análisis de los procesos de obtención, almacenamiento y uso del material de pavimento asfáltico reciclado en las diferentes obras viales*.
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/21785>
- Patiño-Vera, H. (2023). *Diseño de Mezcla Asfáltica con Adición de Pavimento Asfáltico Reciclado*.
<https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/00c5d96a-7165-42ce-8815-90b1b341b9d6>
- Petho, L., y Denneman, E. (2016). *Maximising the use of reclaimed asphalt pavement in asphalt mix design: Field validation (AP-R517-16)*.
<https://trid.trb.org/view/1408102>
- Pradyumna, T. A., Mittal, A., y Jain, P. K. (2013). Characterization of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for Use in Bituminous Road Construction. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.211>
- Prosperi, E., Bocci, E., y Bocci, M. (2022). Effect of Bitumen Production Process and Mix Heating Temperature on the Rheological Properties of Hot Recycled Mix Asphalt. *Sustainability (Switzerland)*, 14(15). Scopus.
<https://doi.org/10.3390/su14159677>
- Puig Salesa, R. (2021). *Análisis de las técnicas de reciclado de mezclas asfálticas. Evolución y tendencias actuales* [Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/360390>
- Quesada Vallejo, I. (2004). *Evaluación del comportamiento de diferentes tramos de carretera rehabilitados utilizando mezclas recicladas en frío*.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6624>

- Ramírez Soto, L. E. (2008). *Análisis de un asfalto tipo AC-20 modificado con Elvaloy® por medio del método UCL® (Método Universal de Caracterización de Ligantes)*.
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/7035
- Ramos Silva, L. H. (2013). *Análisis de la estructura y del diseño geométrico de la vía Piatúa 4 de Agosto, hasta San Juan de Piatúa del cantón Santa Clara, provincia de Pastaza para mejorar el tráfico vehicular y fomentar la producción agrícola* [BachelorThesis].
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/3773>
- Restrepo Sierra, H. A., y Stephens Zapata, S. A. (2015). *Reciclaje de pavimentos: Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío in situ de pavimentos asfálticos*. <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2163>
- Rivera, J. (2019). *Estudio de Riegos Asfálticos de Liga entre Capas Asfálticas para Rehabilitación de Pavimentos Flexibles Fresados*.
- Rodríguez De La Cruz, L. K. (2022). *Evaluación del comportamiento de mezclas asfálticas incorporando cemento como Filler, mediante la metodología de Marshall* [BachelorThesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2022]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8442>
- Rojas Vivanco, P. E., y Silvestre Julca, M. C. (2022). Técnicas de reutilización del fresado de asfalto para optimizar costos en pavimentos urbanos. *Universidad Ricardo Palma*. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/6408>
- Saliani, S. S., Carter, A., Baaj, H., y Tavassoti, P. (2019). Characterization of Asphalt Mixtures Produced with Coarse and Fine Recycled Asphalt Particles. *Infrastructures*, 4(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/infrastructures4040067>
- Sánchez, D. B., Grenfell, J., Airey, G., y Caro, S. (2017). Evaluation of the degradation of fine asphalt-aggregate mixtures containing high reclaimed asphalt pavement contents. *Road Materials and Pavement Design*, 18(sup2). <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1304250>
- Silva, V. D., Meneses, J. P. C., Vasconcelos, K., y Bernucci, L. L. B. (2022). Permanent Deformation Assessment of Cold Recycled Asphalt Mixtures. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2022. Scopus. <https://doi.org/10.1155/2022/8247787>
- Sunil, S., Mallesh, K. M., y Chandrasekaraiah, T. (2014). Experimental Investigations On The Performance Of Bituminous Mixes With Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) Materials (Case Study Tumkur To Chitradurga-Nh4). *International*

Journal of Research in Engineering and Technology, 03, 297-303.
<https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0318045>

- Valdés V., G. A., Martínez R, A. H., y Pérez-Jiménez, F. E. (2008). Estudio de Variabilidad en Mezclas Asfálticas en Caliente Fabricadas con Altas Tasas de Material Asfáltico Reciclable (RAP). *Revista de la Construcción*, 7(1), 60-71.
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). La Investigación Aplicada: Una Forma De Conocer Las Realidades Con Evidencia Científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165.
- Vera Piloso, L. N. (2022). *Uso del Pavimento asfáltico reciclado (RAP) en mezclas asfálticas en caliente para la construcción de la vía del recinto la Carmela, cantón Santa Lucía* [BachelorThesis, Universidad de Guayaquil - Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas - Carrera de Ingeniería Civil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/63654>
- Zhong, H., Huang, W., Lin, P., Zhou, L., y Lv, Q. (2023). Critical considerations and effective assessment of extraction and recovery processes of RAP. *Construction and Building Materials*, 403. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133039>

ANEXOS

Anexos 1: Informe de extracción de asfalto del material a reutilizar o reciclar.

Anexos 2: Informe de ensayos realizados a los agregados pétreos.

Anexo 3: Informe de determinación de Gravedad Específica y absorción del material reciclado-agregado grueso.

Anexo 4: Informe de determinación de gravedad específica y absorción del material reciclado-agregado fino.

Anexo 5: Informe de Análisis Granulométrico de agregado nuevo.

Anexo 6: Informe de determinación de gravedad específica y absorción del material nuevo-agregado grueso.

Anexo 7: Informe de determinación de gravedad específica y absorción del material nuevo-agregado fino.

Anexos 8: Informe de combinación de agregados para mezcla asfáltica con agregados reciclados.

Anexos 9: Informe de caracterización de la combinación de agregados para mezcla asfáltica con agregados reciclados.

Anexos 10: Informe de análisis de vacíos mediante el método rice para mezcla asfáltica con agregados reciclados.

Anexos 11: Informe de cálculo para el diseño de mezcla asfáltica con agregados reciclados.

Anexo 12: Informe de gráficas resultantes para propiedades de la mezcla asfáltica.

Anexo 13: Informe de gráficas de resultados para propiedades de la mezcla asfáltica modificada.

Anexo 14: Informe de gráficas de resultados para propiedades de la mezcla asfáltica reciclada.

Anexos 15: Cálculo del déficit de porcentaje de asfalto que se debe adicionar a la mezcla asfáltica con material asfáltico reciclado.

Anexos 16: Informe de análisis de vacíos mediante el método rice para la nueva mezcla asfáltica.

Anexos 17: Cálculo para el diseño de la nueva mezcla asfáltica.

Anexo 18: Gráficas de resultados de ejecución para propiedades de la mezcla asfáltica.

Anexo 19: Gráficas de resultados de ejecución para propiedades de la mezcla asfáltica.

Anexo 20: Gráficas de resultados de ejecución para propiedades de la mezcla asfáltica.

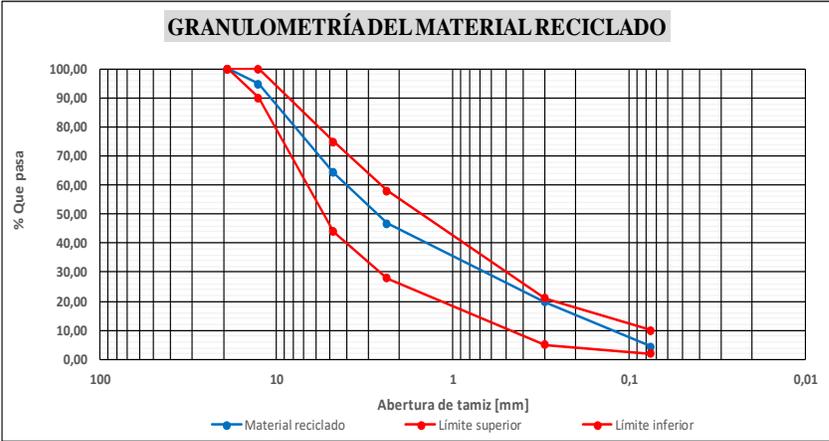
Anexos 1.

Informe de extracción de asfalto del material a reutilizar o reciclar.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO			
INFORME DE DETERMINACIÓN DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO				
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL				
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE			
NORMA ASTM D 2172-AASTHO T 164				
CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ASFALTO EN EL MATERIAL RECICLADO				
MUESTRAS	1	2	3	4
Peso inicial de la muestra (gr)	1500,00 gr	1500,00 gr	1500,00 gr	1500,00 gr
Peso papel filtro antes del ensayo (gr)	14,88 gr	15,56 gr	15,30 gr	15,15 gr
Peso papel filtro después del ensayo (gr)	18,41 gr	18,12 gr	17,80 gr	17,89 gr
Peso final de la muestra	1407,97 gr	1405,19 gr	1422,10 gr	1402,75 gr
Peso de muestra retenida en papel filtro	3,53 gr	2,56 gr	2,50 gr	2,74 gr
Porcentaje de asfalto de la muestra (%)	5,90%	6,15%	5,03%	6,30%
MUESTRAS	5	6	7	
Peso inicial de la muestra (gr)	1500,00 gr	1500,00 gr	1500,00 gr	
Peso papel filtro antes del ensayo (gr)	16,60 gr	16,91 gr	15,70 gr	
Peso papel filtro después del ensayo (gr)	18,90 gr	20,00 gr	18,10 gr	
Peso final de la muestra	1407,80 gr	1415,40 gr	1424,10 gr	
Peso de muestra retenida en papel filtro	2,30 gr	3,09 gr	2,40 gr	
Porcentaje de asfalto de la muestra (%)	5,99%	5,43%	4,90%	
MUESTRAS	PORCENTAJE DE ASFALTO			
1	5,90%			
2	6,15%			
3	5,03%			
4	6,30%			
5	5,99%			
6	5,43%			
7	4,90%			
PROMEDIO	5,67%			
Analizado y Calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.		Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.		

Anexos 2.

Informe de ensayos realizados a los agregados pétreos.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																																																																																																											
INFORME DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO RECICLADO																																																																																																												
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																																																																																																												
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																																																																																																											
NORMA ESPECIFICACIONES MTOP-ASTM D3515																																																																																																												
GRANULOMETRÍA DE AGREGADO RECICLADO TMN 1/2"																																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nº de tamices</th> <th rowspan="2">Tamaño (mm)</th> <th rowspan="2">Peso retenido (gr)</th> <th rowspan="2">Retenido acumulado (gr)</th> <th rowspan="2">% Retenido</th> <th rowspan="2">% Que pasa del total</th> <th colspan="2">Especificaciones del MTOP-ASTM D3515</th> </tr> <tr> <th>Límite superior</th> <th>Límite inferior</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>19</td> <td>0</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>12,7</td> <td>501,7</td> <td>501,70</td> <td>5,16</td> <td>94,84</td> <td>90</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,5</td> <td>689,7</td> <td>1191,40</td> <td>12,26</td> <td>87,74</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>4,75</td> <td>2275,6</td> <td>3467,00</td> <td>35,67</td> <td>64,33</td> <td>44</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>Nº8</td> <td>2,36</td> <td>1713,9</td> <td>5180,90</td> <td>53,31</td> <td>46,69</td> <td>28</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>Nº16</td> <td>1,18</td> <td>969,8</td> <td>6150,70</td> <td>63,29</td> <td>36,71</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº30</td> <td>0,6</td> <td>575,4</td> <td>6726,10</td> <td>69,21</td> <td>30,79</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº50</td> <td>0,3</td> <td>1075,8</td> <td>7801,90</td> <td>80,28</td> <td>19,72</td> <td>5</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Nº100</td> <td>0,15</td> <td>960</td> <td>8761,90</td> <td>90,16</td> <td>9,84</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº200</td> <td>0,075</td> <td>535,3</td> <td>9297,20</td> <td>95,66</td> <td>4,34</td> <td>2</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">FONDO</td> <td>421,5</td> <td>9718,70</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Suma</td> <td>9718,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Nº de tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido	% Que pasa del total	Especificaciones del MTOP-ASTM D3515		Límite superior	Límite inferior	3/4"	19	0	0,00	0,00	100,00			1/2"	12,7	501,7	501,70	5,16	94,84	90	100	3/8"	9,5	689,7	1191,40	12,26	87,74			Nº4	4,75	2275,6	3467,00	35,67	64,33	44	75	Nº8	2,36	1713,9	5180,90	53,31	46,69	28	58	Nº16	1,18	969,8	6150,70	63,29	36,71			Nº30	0,6	575,4	6726,10	69,21	30,79			Nº50	0,3	1075,8	7801,90	80,28	19,72	5	21	Nº100	0,15	960	8761,90	90,16	9,84			Nº200	0,075	535,3	9297,20	95,66	4,34	2	10	FONDO		421,5	9718,70	100,00	0,00			Suma		9718,7							
Nº de tamices							Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido	% Que pasa del total	Especificaciones del MTOP-ASTM D3515																																																																																																
	Límite superior	Límite inferior																																																																																																										
3/4"	19	0	0,00	0,00	100,00																																																																																																							
1/2"	12,7	501,7	501,70	5,16	94,84	90	100																																																																																																					
3/8"	9,5	689,7	1191,40	12,26	87,74																																																																																																							
Nº4	4,75	2275,6	3467,00	35,67	64,33	44	75																																																																																																					
Nº8	2,36	1713,9	5180,90	53,31	46,69	28	58																																																																																																					
Nº16	1,18	969,8	6150,70	63,29	36,71																																																																																																							
Nº30	0,6	575,4	6726,10	69,21	30,79																																																																																																							
Nº50	0,3	1075,8	7801,90	80,28	19,72	5	21																																																																																																					
Nº100	0,15	960	8761,90	90,16	9,84																																																																																																							
Nº200	0,075	535,3	9297,20	95,66	4,34	2	10																																																																																																					
FONDO		421,5	9718,70	100,00	0,00																																																																																																							
Suma		9718,7																																																																																																										
 <p style="text-align: center;">GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL RECICLADO</p> <p style="text-align: center;">% Que pasa vs. Abertura de tamiz [mm]</p> <p style="text-align: center;"> ● Material reciclado ● Límite superior ● Límite inferior </p>																																																																																																												
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																																																																																																											

Anexo 3.

Informe de determinación de Gravedad Específica y absorción del material reciclado-agregado grueso.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO											
INFORME DE DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL MATERIAL RECICLADO												
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL												
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE											
NORMA ASTM C 127 - ASSHTO T 85												
MATERIAL RECICLADO AGREGADO GRUESO												
NOMENCLATURA												
<p>G_{sb} = Gravedad Específica Seca Bulk o Gravedad Específica Neta del Agregado. G_{sssb} = Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk. G_{sa} = Gravedad Específica Seca Aparente. $\%Abs$ = Porcentaje de Absorción. A= Peso en Aire del Agregado Secado al Horno. B= Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco. C= Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.</p>												
DATOS												
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">Material Reciclado Grueso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">3253,00 gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">3317,00 gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">2072,65 gr</td> </tr> </tbody> </table>			Material Reciclado Grueso		A	3253,00 gr	B	3317,00 gr	C	2072,65 gr		
Material Reciclado Grueso												
A	3253,00 gr											
B	3317,00 gr											
C	2072,65 gr											
CÁLCULOS												
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Fórmulas</th> <th style="width: 40%;">Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,61 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,67 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,76 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$</td> <td style="text-align: center;">1,97%</td> </tr> </tbody> </table>			Fórmulas	Resultados	$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,61 gr/cm ³	$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,67 gr/cm ³	$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,76 gr/cm ³	$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	1,97%
Fórmulas	Resultados											
$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,61 gr/cm ³											
$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,67 gr/cm ³											
$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,76 gr/cm ³											
$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	1,97%											
<p>NOTA: Balanzas con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0,1g o menor.</p>												
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.											

Anexo 4.

Informe de determinación de gravedad específica y absorción del material reciclado-agregado fino.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																										
INFORME DE DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL MATERIAL RECICLADO																											
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																											
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																										
NORMA ASTM C 128 - ASSTHO T 84																											
<p>MATERIAL RECICLADO AGREGADO FINO</p> <p>NOMENCLATURA</p> <p>G_{sb} = Gravedad Específica Seca Bulk o Gravedad Específica Neta del Agregado. G_{sssb} = Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk. G_{sa} = Gravedad Específica Seca Aparente. $\%Abs$ = Porcentaje de Absorción. A = Peso en Aire del Agregado Secado al Horno. B = Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua. C = Peso del Picnómetro (Matraz) Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca. D = Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).</p> <p style="text-align: center;">DATOS</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Material Reciclado Fino</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">492,20 gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">659,10 gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">959,00 gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">D</td> <td style="text-align: center;">500,00 gr</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">CÁLCULOS</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Fórmulas</th> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 40%;">Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$G_{sb} =$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{A}{B + D - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,46 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$G_{sssb} =$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{D}{B + D - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,50 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$G_{sa} =$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{A}{B + A - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,56 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$\% Abs =$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{D - A}{A} * 100$</td> <td style="text-align: center;">1,58%</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">NOTA: Balanzas con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0,1g o menor.</p>			Material Reciclado Fino		A	492,20 gr	B	659,10 gr	C	959,00 gr	D	500,00 gr	Fórmulas		Resultados	$G_{sb} =$	$\frac{A}{B + D - C}$	2,46 gr/cm ³	$G_{sssb} =$	$\frac{D}{B + D - C}$	2,50 gr/cm ³	$G_{sa} =$	$\frac{A}{B + A - C}$	2,56 gr/cm ³	$\% Abs =$	$\frac{D - A}{A} * 100$	1,58%
Material Reciclado Fino																											
A	492,20 gr																										
B	659,10 gr																										
C	959,00 gr																										
D	500,00 gr																										
Fórmulas		Resultados																									
$G_{sb} =$	$\frac{A}{B + D - C}$	2,46 gr/cm ³																									
$G_{sssb} =$	$\frac{D}{B + D - C}$	2,50 gr/cm ³																									
$G_{sa} =$	$\frac{A}{B + A - C}$	2,56 gr/cm ³																									
$\% Abs =$	$\frac{D - A}{A} * 100$	1,58%																									
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																										

Anexo 5.

Informe de Análisis Granulométrico de agregado nuevo.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																																																																																																																			
INFORME DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO NUEVO																																																																																																																				
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																																																																																																																				
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																																																																																																																			
NORMA ESPECIFICACIONES MTOP-ASTM D3515																																																																																																																				
GRANULOMETRÍA DE AGREGADO NUEVO TMN 1/2" (12.5 mm)																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">N° de tamices</th> <th rowspan="2">Tamaño (mm)</th> <th rowspan="2">Peso retenido (gr)</th> <th rowspan="2">Retenido acumulado(gr)</th> <th rowspan="2">% Retenido</th> <th rowspan="2">% Que pasa del total</th> <th colspan="2">Especificaciones del MTOP-ASTM D3515</th> </tr> <tr> <th>Límite superior</th> <th>Límite inferior</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1"</td> <td>25,4</td> <td>0</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>19</td> <td>0</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100,00</td> <td>90</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>12,7</td> <td>15,13</td> <td>15,13</td> <td>0,50</td> <td>99,50</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,5</td> <td>227,34</td> <td>242,47</td> <td>8,05</td> <td>91,95</td> <td>44</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>4,75</td> <td>1194,01</td> <td>1436,48</td> <td>47,68</td> <td>52,32</td> <td>28</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>Nº8</td> <td>2,36</td> <td>585,63</td> <td>2022,11</td> <td>67,12</td> <td>32,88</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº16</td> <td>1,18</td> <td>335,9</td> <td>2358,01</td> <td>78,27</td> <td>21,73</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº30</td> <td>0,6</td> <td>201,06</td> <td>2559,07</td> <td>84,94</td> <td>15,06</td> <td>5</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Nº50</td> <td>0,3</td> <td>179,01</td> <td>2738,08</td> <td>90,88</td> <td>9,12</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº100</td> <td>0,15</td> <td>111,72</td> <td>2849,80</td> <td>94,59</td> <td>5,41</td> <td>2</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Nº200</td> <td>0,075</td> <td>82,56</td> <td>2932,36</td> <td>97,33</td> <td>2,67</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FONDO</td> <td></td> <td>80,42</td> <td>3012,78</td> <td>100,00</td> <td>0,00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">Suma</td> <td style="text-align: center;">3012,78</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	N° de tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado(gr)	% Retenido	% Que pasa del total	Especificaciones del MTOP-ASTM D3515		Límite superior	Límite inferior	1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00			3/4"	19	0	0,00	0,00	100,00	90	100	1/2"	12,7	15,13	15,13	0,50	99,50			3/8"	9,5	227,34	242,47	8,05	91,95	44	75	Nº4	4,75	1194,01	1436,48	47,68	52,32	28	58	Nº8	2,36	585,63	2022,11	67,12	32,88			Nº16	1,18	335,9	2358,01	78,27	21,73			Nº30	0,6	201,06	2559,07	84,94	15,06	5	21	Nº50	0,3	179,01	2738,08	90,88	9,12			Nº100	0,15	111,72	2849,80	94,59	5,41	2	10	Nº200	0,075	82,56	2932,36	97,33	2,67			FONDO		80,42	3012,78	100,00	0,00					Suma	3012,78						
N° de tamices							Tamaño (mm)	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado(gr)	% Retenido	% Que pasa del total	Especificaciones del MTOP-ASTM D3515																																																																																																								
	Límite superior	Límite inferior																																																																																																																		
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00																																																																																																															
3/4"	19	0	0,00	0,00	100,00	90	100																																																																																																													
1/2"	12,7	15,13	15,13	0,50	99,50																																																																																																															
3/8"	9,5	227,34	242,47	8,05	91,95	44	75																																																																																																													
Nº4	4,75	1194,01	1436,48	47,68	52,32	28	58																																																																																																													
Nº8	2,36	585,63	2022,11	67,12	32,88																																																																																																															
Nº16	1,18	335,9	2358,01	78,27	21,73																																																																																																															
Nº30	0,6	201,06	2559,07	84,94	15,06	5	21																																																																																																													
Nº50	0,3	179,01	2738,08	90,88	9,12																																																																																																															
Nº100	0,15	111,72	2849,80	94,59	5,41	2	10																																																																																																													
Nº200	0,075	82,56	2932,36	97,33	2,67																																																																																																															
FONDO		80,42	3012,78	100,00	0,00																																																																																																															
		Suma	3012,78																																																																																																																	
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																																																																																																																			

Anexo 6.

Informe de determinación de gravedad específica y absorción del material nuevo-agregado grueso.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																
INFORME DE DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL MATERIAL NUEVO																	
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																	
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.		TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE															
NORMA ASTM C 127 - ASSTHO T 85																	
MATERIAL NUEVO AGREGADO GRUESO																	
NOMENCLATURA																	
<p>G_{sb} = Gravedad Específica Seca Bulk o Gravedad Específica Neta del Agregado. G_{sssb} = Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk. G_{sa} = Gravedad Específica Seca Aparente. $\%Abs$ = Porcentaje de Absorción. A= Peso en Aire del Agregado Secado al Horno. B= Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco. C= Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.</p>																	
DATOS																	
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Material Nuevo Grueso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">3241,00 gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">3325,00 gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">2080,00 gr</td> </tr> </tbody> </table>			Material Nuevo Grueso		A	3241,00 gr	B	3325,00 gr	C	2080,00 gr							
Material Nuevo Grueso																	
A	3241,00 gr																
B	3325,00 gr																
C	2080,00 gr																
CÁLCULOS																	
<table border="1" style="margin: auto; width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Fórmulas</th> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 40%;">Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$G_{sb} =$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{A}{B - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,60 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$G_{sssb} =$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{B}{B - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,67 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$G_{sa} =$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{A}{A - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,79 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$\% Abs =$</td> <td style="text-align: center;">$\frac{B - A}{A} \times 100$</td> <td style="text-align: center;">2,59%</td> </tr> </tbody> </table>			Fórmulas		Resultados	$G_{sb} =$	$\frac{A}{B - C}$	2,60 gr/cm ³	$G_{sssb} =$	$\frac{B}{B - C}$	2,67 gr/cm ³	$G_{sa} =$	$\frac{A}{A - C}$	2,79 gr/cm ³	$\% Abs =$	$\frac{B - A}{A} \times 100$	2,59%
Fórmulas		Resultados															
$G_{sb} =$	$\frac{A}{B - C}$	2,60 gr/cm ³															
$G_{sssb} =$	$\frac{B}{B - C}$	2,67 gr/cm ³															
$G_{sa} =$	$\frac{A}{A - C}$	2,79 gr/cm ³															
$\% Abs =$	$\frac{B - A}{A} \times 100$	2,59%															
<p>NOTA: Balanzas con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0,1g o menor.</p>																	
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.		Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.															

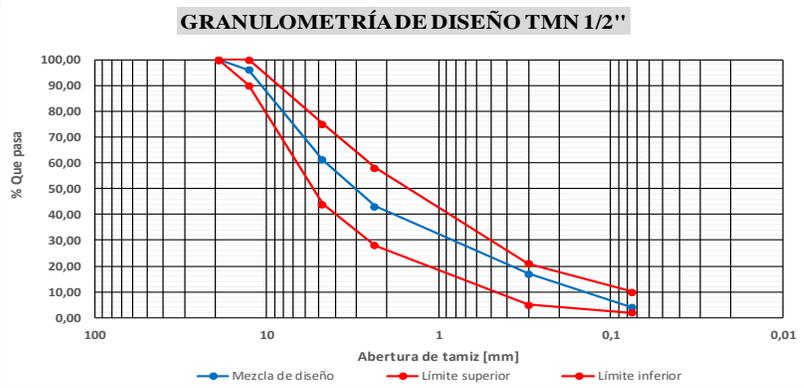
Anexo 7:

Informe de determinación de gravedad específica y absorción del material nuevo-agregado fino.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																
INFORME DE DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL MATERIAL NUEVO																	
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																	
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.		TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE															
NORMA ASTM C 128 - ASSHTO T 84																	
MATERIAL NUEVO AGREGADO FINO																	
NOMENCLATURA																	
G_{sb} = Gravedad Específica Seca Bulk o Gravedad Específica Neta del Agregado.																	
G_{sssb} = Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.																	
G_{sa} = Gravedad Específica Seca Aparente.																	
%Abs = Porcentaje de Absorción.																	
A = Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.																	
B = Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua.																	
C = Peso del Picnómetro (Matraz) Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca.																	
D = Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).																	
DATOS																	
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Material Nuevo Fino</th></tr></thead><tbody><tr><td>A</td><td>490,50 gr</td></tr><tr><td>B</td><td>657,90 gr</td></tr><tr><td>C</td><td>972,00 gr</td></tr><tr><td>D</td><td>500,00 gr</td></tr></tbody></table>			Material Nuevo Fino		A	490,50 gr	B	657,90 gr	C	972,00 gr	D	500,00 gr					
Material Nuevo Fino																	
A	490,50 gr																
B	657,90 gr																
C	972,00 gr																
D	500,00 gr																
CÁLCULOS																	
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Fórmulas</th><th>Resultados</th></tr></thead><tbody><tr><td>$G_{sb} =$</td><td>$\frac{A}{B + D - C}$</td><td>2,66 gr/cm³</td></tr><tr><td>$G_{sssb} =$</td><td>$\frac{D}{B + D - C}$</td><td>2,69 gr/cm³</td></tr><tr><td>$G_{sa} =$</td><td>$\frac{A}{B + A - C}$</td><td>2,78 gr/cm³</td></tr><tr><td>% Abs =</td><td>$\frac{D - A}{A} * 100$</td><td>1,94%</td></tr></tbody></table>			Fórmulas		Resultados	$G_{sb} =$	$\frac{A}{B + D - C}$	2,66 gr/cm ³	$G_{sssb} =$	$\frac{D}{B + D - C}$	2,69 gr/cm ³	$G_{sa} =$	$\frac{A}{B + A - C}$	2,78 gr/cm ³	% Abs =	$\frac{D - A}{A} * 100$	1,94%
Fórmulas		Resultados															
$G_{sb} =$	$\frac{A}{B + D - C}$	2,66 gr/cm ³															
$G_{sssb} =$	$\frac{D}{B + D - C}$	2,69 gr/cm ³															
$G_{sa} =$	$\frac{A}{B + A - C}$	2,78 gr/cm ³															
% Abs =	$\frac{D - A}{A} * 100$	1,94%															
NOTA: Balanzas con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0,1g o menor.																	
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.		Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.															

Anexos 8.

Informe de combinación de agregados para mezcla asfáltica con agregados reciclados.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																																																																																																											
INFORME DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS MEZCLADOS																																																																																																												
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																																																																																																												
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.		TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																																																																																																										
NORMA ESPECIFICACIONES MTOP-ASTM D3515																																																																																																												
COMBINACIÓN DE AGREGADOS																																																																																																												
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>MATERIALES</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado reciclado (A)</td> <td>74%</td> </tr> <tr> <td>Piedra 1/2" (B)</td> <td>26%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>			MATERIALES	%	Agregado reciclado (A)	74%	Piedra 1/2" (B)	26%	Total	100%																																																																																																		
MATERIALES	%																																																																																																											
Agregado reciclado (A)	74%																																																																																																											
Piedra 1/2" (B)	26%																																																																																																											
Total	100%																																																																																																											
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">TAMIZ</th> <th rowspan="2">MATERIAL A</th> <th rowspan="2">MATERIA L B</th> <th rowspan="2">MATERIAL A</th> <th rowspan="2">MATERIA L B</th> <th rowspan="2">MEZCLA DE DISEÑO</th> <th colspan="2">Especificaciones del MTOP-ASTM D3515</th> </tr> <tr> <th>Límite superior</th> <th>Límite inferior</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nº</td> <td>Tamaño (mm)</td> <td>% Que pasa</td> <td>% Que pasa</td> <td>74%</td> <td>26%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>19</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>74,00</td> <td>26,00</td> <td>100,00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>12,7</td> <td>94,84</td> <td>99,50</td> <td>70,18</td> <td>25,87</td> <td>96,05</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,5</td> <td>87,74</td> <td>91,95</td> <td>64,93</td> <td>23,91</td> <td>88,84</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>4,75</td> <td>64,33</td> <td>52,32</td> <td>47,60</td> <td>13,60</td> <td>61,20</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>Nº8</td> <td>2,36</td> <td>46,69</td> <td>32,88</td> <td>34,55</td> <td>8,55</td> <td>43,10</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Nº16</td> <td>1,18</td> <td>36,71</td> <td>21,73</td> <td>27,17</td> <td>5,65</td> <td>32,82</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº30</td> <td>0,6</td> <td>30,79</td> <td>15,06</td> <td>22,79</td> <td>3,92</td> <td>26,70</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº50</td> <td>0,3</td> <td>19,72</td> <td>9,12</td> <td>14,59</td> <td>2,37</td> <td>16,97</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Nº100</td> <td>0,15</td> <td>9,84</td> <td>5,41</td> <td>7,29</td> <td>1,41</td> <td>8,69</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nº200</td> <td>0,075</td> <td>4,34</td> <td>2,67</td> <td>3,21</td> <td>0,69</td> <td>3,90</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>FONDO</td> <td></td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			TAMIZ	MATERIAL A	MATERIA L B	MATERIAL A	MATERIA L B	MEZCLA DE DISEÑO	Especificaciones del MTOP-ASTM D3515		Límite superior	Límite inferior	Nº	Tamaño (mm)	% Que pasa	% Que pasa	74%	26%			3/4"	19	100,00	100,00	74,00	26,00	100,00		1/2"	12,7	94,84	99,50	70,18	25,87	96,05	90	3/8"	9,5	87,74	91,95	64,93	23,91	88,84		Nº4	4,75	64,33	52,32	47,60	13,60	61,20	44	Nº8	2,36	46,69	32,88	34,55	8,55	43,10	28	Nº16	1,18	36,71	21,73	27,17	5,65	32,82		Nº30	0,6	30,79	15,06	22,79	3,92	26,70		Nº50	0,3	19,72	9,12	14,59	2,37	16,97	5	Nº100	0,15	9,84	5,41	7,29	1,41	8,69		Nº200	0,075	4,34	2,67	3,21	0,69	3,90	2	FONDO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TAMIZ	MATERIAL A	MATERIA L B							MATERIAL A	MATERIA L B	MEZCLA DE DISEÑO	Especificaciones del MTOP-ASTM D3515																																																																																																
			Límite superior	Límite inferior																																																																																																								
Nº	Tamaño (mm)	% Que pasa	% Que pasa	74%	26%																																																																																																							
3/4"	19	100,00	100,00	74,00	26,00	100,00																																																																																																						
1/2"	12,7	94,84	99,50	70,18	25,87	96,05	90																																																																																																					
3/8"	9,5	87,74	91,95	64,93	23,91	88,84																																																																																																						
Nº4	4,75	64,33	52,32	47,60	13,60	61,20	44																																																																																																					
Nº8	2,36	46,69	32,88	34,55	8,55	43,10	28																																																																																																					
Nº16	1,18	36,71	21,73	27,17	5,65	32,82																																																																																																						
Nº30	0,6	30,79	15,06	22,79	3,92	26,70																																																																																																						
Nº50	0,3	19,72	9,12	14,59	2,37	16,97	5																																																																																																					
Nº100	0,15	9,84	5,41	7,29	1,41	8,69																																																																																																						
Nº200	0,075	4,34	2,67	3,21	0,69	3,90	2																																																																																																					
FONDO		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																						
																																																																																																												
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.		Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																																																																																																										

Anexos 9.

Informe de caracterización de la combinación de agregados para mezcla asfáltica con agregados reciclados.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																		
INFORME DE DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS COMBINADOS																			
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																			
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																		
NORMA ASTM C 128 - ASSTHO T 84																			
COMBINACIÓN DE AGREGADOS																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Agregado Reciclado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 60%;">Pasante % Tz N8=</td> <td style="text-align: center;">46,69</td> </tr> <tr> <td>Retenido % Tz N8=</td> <td style="text-align: center;">53,31</td> </tr> </tbody> </table>	Agregado Reciclado		Pasante % Tz N8=	46,69	Retenido % Tz N8=	53,31		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Material Reciclado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 60%;">Gravedad E. Bulk o neta (Gsb)=</td> <td style="text-align: center;">2,54 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Gravedad E.aparente (Gsa)=</td> <td style="text-align: center;">2,66 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción =</td> <td style="text-align: center;">1,77%</td> </tr> </tbody> </table>	Material Reciclado		Gravedad E. Bulk o neta (Gsb)=	2,54 gr/cm ³	Gravedad E.aparente (Gsa)=	2,66 gr/cm ³	Porcentaje de absorción =	1,77%			
Agregado Reciclado																			
Pasante % Tz N8=	46,69																		
Retenido % Tz N8=	53,31																		
Material Reciclado																			
Gravedad E. Bulk o neta (Gsb)=	2,54 gr/cm ³																		
Gravedad E.aparente (Gsa)=	2,66 gr/cm ³																		
Porcentaje de absorción =	1,77%																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Piedra 1/2"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 60%;">Pasante % Tz N8=</td> <td style="text-align: center;">32,88</td> </tr> <tr> <td>Retenido % Tz N8=</td> <td style="text-align: center;">67,12</td> </tr> </tbody> </table>	Piedra 1/2"		Pasante % Tz N8=	32,88	Retenido % Tz N8=	67,12		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Material Nuevo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 60%;">Gravedad E. Bulk o neta (Gsb)=</td> <td style="text-align: center;">2,62 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Gravedad E.aparente (Gsa)=</td> <td style="text-align: center;">2,79 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción =</td> <td style="text-align: center;">2,14%</td> </tr> </tbody> </table>	Material Nuevo		Gravedad E. Bulk o neta (Gsb)=	2,62 gr/cm ³	Gravedad E.aparente (Gsa)=	2,79 gr/cm ³	Porcentaje de absorción =	2,14%			
Piedra 1/2"																			
Pasante % Tz N8=	32,88																		
Retenido % Tz N8=	67,12																		
Material Nuevo																			
Gravedad E. Bulk o neta (Gsb)=	2,62 gr/cm ³																		
Gravedad E.aparente (Gsa)=	2,79 gr/cm ³																		
Porcentaje de absorción =	2,14%																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="width: 20%;">Agregados</th> <th rowspan="2" style="width: 10%;">% usado</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Gravedad específica</th> <th rowspan="2" style="width: 10%;">% Absorción</th> </tr> <tr> <th style="width: 15%;">bulk(gr/cm³)</th> <th style="width: 15%;">aparente(gr/cm³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado Reciclado</td> <td style="text-align: center;">74%</td> <td style="text-align: center;">2,54</td> <td style="text-align: center;">2,66</td> <td style="text-align: center;">1,77%</td> </tr> <tr> <td>Piedra 1/2"</td> <td style="text-align: center;">26%</td> <td style="text-align: center;">2,62</td> <td style="text-align: center;">2,79</td> <td style="text-align: center;">2,14%</td> </tr> </tbody> </table>			Agregados	% usado	Gravedad específica		% Absorción	bulk(gr/cm ³)	aparente(gr/cm ³)	Agregado Reciclado	74%	2,54	2,66	1,77%	Piedra 1/2"	26%	2,62	2,79	2,14%
Agregados	% usado	Gravedad específica			% Absorción														
		bulk(gr/cm ³)	aparente(gr/cm ³)																
Agregado Reciclado	74%	2,54	2,66	1,77%															
Piedra 1/2"	26%	2,62	2,79	2,14%															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Resultados de la combinación de agregados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 60%;">Gravedad específica Bulk o neta</td> <td style="text-align: center;">2,56 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Gravedad específica aparente</td> <td style="text-align: center;">2,69 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>% de absorción</td> <td style="text-align: center;">1,85%</td> </tr> </tbody> </table>			Resultados de la combinación de agregados		Gravedad específica Bulk o neta	2,56 gr/cm ³	Gravedad específica aparente	2,69 gr/cm ³	% de absorción	1,85%									
Resultados de la combinación de agregados																			
Gravedad específica Bulk o neta	2,56 gr/cm ³																		
Gravedad específica aparente	2,69 gr/cm ³																		
% de absorción	1,85%																		
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																		

Anexos 10.

Informe de análisis de vacíos mediante el método rice para mezcla asfáltica con agregados reciclados.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																																																																
INFORME DE DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA																																																																	
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																																																																	
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																																																																
ENSAYO RICE																																																																	
"NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209"																																																																	
<p>NOMENCLATURA</p> <p>G_{mm}= Gravedad específica teórica máxima A Peso en aire de la mezcla asfáltica secada en horno, gr. B Peso del picnómetro de vacío lleno de agua a 25° C ± 1°C (77°F), gr. C Peso del picnómetro de vacío lleno de agua y mezcla asfáltica a 25°C, gr.</p> <p>FÓRMULA</p> $G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}$ <p>CÁLCULOS</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">% DE ASFALTO</th> <th colspan="2">DATOS</th> <th>RESULTADOS</th> </tr> <tr> <th>Nom.</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">3</td> <td>A=</td> <td>1500</td> <td rowspan="3">2,48 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8304</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3,5</td> <td>A=</td> <td>1500</td> <td rowspan="3">2,47 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8301</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">4</td> <td>A=</td> <td>1500</td> <td rowspan="3">2,46 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8299</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">4,5</td> <td>A=</td> <td>1500</td> <td rowspan="3">2,44 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8294</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">5</td> <td>A=</td> <td>1500</td> <td rowspan="3">2,43 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8292</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">5,5</td> <td>A=</td> <td>1500</td> <td rowspan="3">2,42 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8288</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6</td> <td>A=</td> <td>1500</td> <td rowspan="3">2,39 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8281</td> </tr> </tbody> </table>			% DE ASFALTO	DATOS		RESULTADOS	Nom.	Muestra 1	Muestra 1	3	A=	1500	2,48 gr/cm ³	B=	7409	C=	8304	3,5	A=	1500	2,47 gr/cm ³	B=	7409	C=	8301	4	A=	1500	2,46 gr/cm ³	B=	7409	C=	8299	4,5	A=	1500	2,44 gr/cm ³	B=	7409	C=	8294	5	A=	1500	2,43 gr/cm ³	B=	7409	C=	8292	5,5	A=	1500	2,42 gr/cm ³	B=	7409	C=	8288	6	A=	1500	2,39 gr/cm ³	B=	7409	C=	8281
% DE ASFALTO	DATOS			RESULTADOS																																																													
	Nom.	Muestra 1	Muestra 1																																																														
3	A=	1500	2,48 gr/cm ³																																																														
	B=	7409																																																															
	C=	8304																																																															
3,5	A=	1500	2,47 gr/cm ³																																																														
	B=	7409																																																															
	C=	8301																																																															
4	A=	1500	2,46 gr/cm ³																																																														
	B=	7409																																																															
	C=	8299																																																															
4,5	A=	1500	2,44 gr/cm ³																																																														
	B=	7409																																																															
	C=	8294																																																															
5	A=	1500	2,43 gr/cm ³																																																														
	B=	7409																																																															
	C=	8292																																																															
5,5	A=	1500	2,42 gr/cm ³																																																														
	B=	7409																																																															
	C=	8288																																																															
6	A=	1500	2,39 gr/cm ³																																																														
	B=	7409																																																															
	C=	8281																																																															
<p>NOTA: Todos los ensayos fueron elaborados a una temperatura de 25 °C por lo que según lo indicado en la Norma, su factor de corrección es 1,00.</p>																																																																	
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																																																																

Anexos 11.

Informe de cálculo para el diseño de mezcla asfáltica con agregados reciclados.

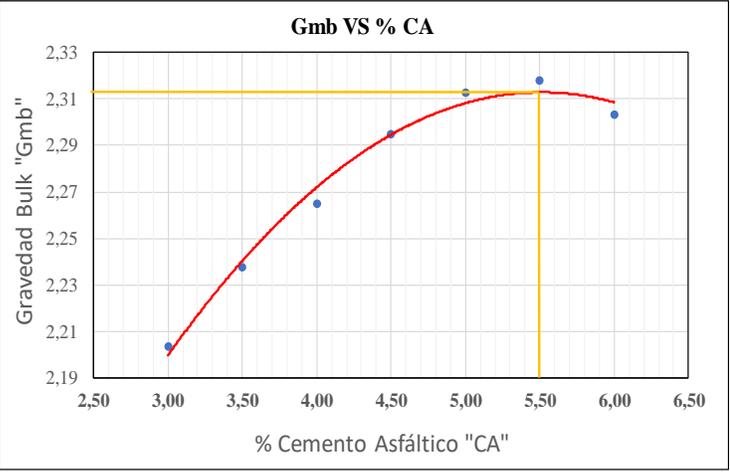
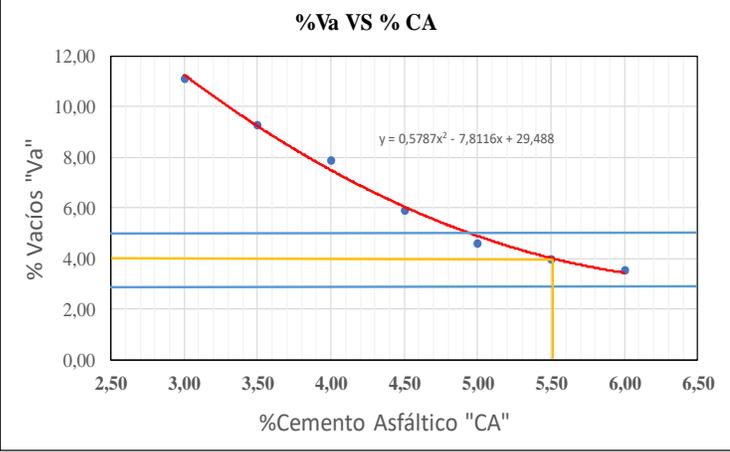
UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																		
INFORME DE MEZCLA ASFÁLTICA CON MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO																								
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.				TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																				
Gravedad específica del asfalto Gb=		1,017 gr/cm ³		Gsa de los agregados=		2,69 gr/cm ³																		
				Gsb de los agregados=		2,56 gr/cm ³																		
N° Briquetas	% Asfalto utilizado (Pb)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen en cm ³	Peso de Briqueta			Gravedad Específica de la Mezcla		% VOLUMEN TOTAL (BRIQUETAS)			% VOLUMEN DE VACÍOS			% ASFALTO		ESTABILIDAD					Flujo 0.01"	
					Aire (gr)	SSS (gr)	Agua (gr)	(Gmb) gr/cm ³	Teórica Máxima (Gmm) gr/cm ³	Efectiva (Gse) g/cm ³	Agregado (Vsb)-(Vagre)	Vacíos (Va)	Asfalto (Vca)	Aire (Va)	Agregado mineral (VMA)	Llenos de asfalto (VFA)	Absorbido (Pba)	Efectivo (Pbe)	Estabilidad ensayo kg	Corrección por altura de briqueta	Estabilidad corregida kg	Estabilidad Corregida Lb		Lectura del dial
1	3	6,53	10,275	541,46	1207,8	1213,5	661,5	2,188	2,479	2,595	83,49	11,112	5,402	11,112	16,515	32,713	0,52	2,49	914,5	0,956	874,26	1927,40	2,30	9
2		6,38	10,220	523,37	1189,2	1190,9	653,1	2,211											910	0,993	903,63	1992,14	1,69	7
3		6,20	10,260	512,60	1196,8	1198,6	657,6	2,212											989,2	1,04	1028,77	2268,04	1,98	8
Promedio		6,37	10,25	525,81	1197,9	1201,0	657,4	2,204											937,9		935,55	2062,53		7,96
1	3,5	6,21	10,230	510,43	1179,8	1184	656,8	2,238	2,467	2,602	84,33	9,301	6,370	9,301	15,671	40,648	0,63	2,90	1513	1,037	1568,98	3458,98	2,35	9
2		6,16	10,280	511,28	1186,5	1190,5	658,6	2,231											1419	1,053	1494,21	3294,13	1,85	7
3		6,66	10,305	555,47	1285,8	1289,1	716,2	2,244											1993,5	0,932	1857,94	4096,02	2,10	8
Promedio		6,34	10,27	525,72	1217,4	1221,2	677,2	2,238											1641,8		1640,38	3616,37		8
1	4	6,04	10,280	501,32	1183,7	1186,2	667,2	2,281	2,459	2,613	84,93	7,881	7,193	7,881	15,074	47,716	0,80	3,23	1795	1,09	1956,55	4313,41	1,97	8
2		6,01	10,277	498,54	1180,2	1183,6	664,6	2,274											1707,5	1,099	1876,54	4137,03	2,28	9
3		6,14	10,210	502,70	1179,4	1181,4	655,1	2,241											1698,2	1,059	1798,39	3964,74	2,15	9
Promedio		6,06	10,26	500,85	1181,1	1183,7	662,3	2,265											1733,6		1877,16	4138,39		8,53
1	4,5	5,93	10,243	488,65	1180,4	1182,8	669,4	2,299	2,439	2,611	85,59	5,911	8,500	5,911	14,411	58,983	0,77	3,77	1777,5	1,124	1997,91	4404,59	2,33	9
2		6,03	10,207	493,40	1180,1	1183	665,6	2,281											2072,5	1,093	2265,24	4993,95	1,96	8
3		5,89	10,240	485,07	1177,4	1179,6	668,7	2,305											1661,3	1,137	1888,90	4164,26	2,40	10
Promedio		5,95	10,23	489,04	1179,3	1181,8	667,9	2,295											1837,1		2050,68	4520,94		8,92
1	5	5,95	10,270	492,89	1190,7	1191,3	674,7	2,305	2,431	2,623	85,81	4,646	9,542	4,646	14,188	67,252	0,95	4,10	1750	1,118	1956,50	4313,30	1,91	8
2		5,93	10,273	491,52	1188,7	1190,1	676,8	2,316											1566,1	1,124	1760,30	3880,75	2,27	9
3		5,84	10,257	482,55	1176,7	1177,5	669,9	2,318											1894,5	1,153	2184,36	4815,64	2,68	11
Promedio		5,91	10,27	488,99	1185,4	1186,3	673,8	2,313											1736,9		1967,05	4336,56		9,15
1	5,5	5,78	10,177	470,17	1151,5	1152,3	657,1	2,325	2,415	2,626	85,56	4,021	10,420	4,021	14,440	72,156	0,98	4,57	1203,8	1,171	1409,65	3107,71	2,21	9
2		5,88	10,197	480,19	1171,8	1172,4	663,9	2,304											1563,5	1,14	1782,39	3929,46	2,45	10
3		5,97	10,213	489,07	1191,7	1192,4	679,9	2,325											1530,5	1,112	1701,92	3752,04	2,57	10
Promedio		5,88	10,20	479,81	1171,7	1172,4	667,0	2,318											1432,6		1631,32	3596,40		9,64
1	6	5,73	10,213	469,41	1157,7	1157,9	660,3	2,327	2,389	2,614	84,56	3,563	11,877	3,563	15,441	76,922	0,80	5,24	923,5	1,187	1096,19	2416,67	2,66	11
2		6,78	10,240	558,37	1173,8	1173,8	661,5	2,291											1074,5	0,903	970,27	2139,06	2,34	9
3		5,80	10,263	479,81	1174,2	1175,5	663,3	2,292											810,5	1,165	944,23	2081,65	2,72	11
Promedio		6,10	10,24	502,53	1168,6	1169,1	661,7	2,303											936,2		1003,57	2212,46		10

% Asfalto	(Gmb) Densidad	(Va) % Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (lb)	Flujo
3,00	2,20	11,11	16,51	32,71	2062,53	7,96
3,50	2,24	9,30	15,67	40,65	3616,37	8,40
4,00	2,27	7,88	15,07	47,72	4138,39	8,53
4,50	2,29	5,91	14,41	58,98	4520,94	8,92
5,00	2,31	4,65	14,19	67,25	4336,56	9,15
5,50	2,32	4,02	14,44	72,16	3596,40	9,64
6,00	2,30	3,56	15,44	76,92	2212,46	10,29

Analizado y calculado por:	Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por:	Ing. Daniel Campoverde Msc.
----------------------------	----------------------------------	---------------	-----------------------------

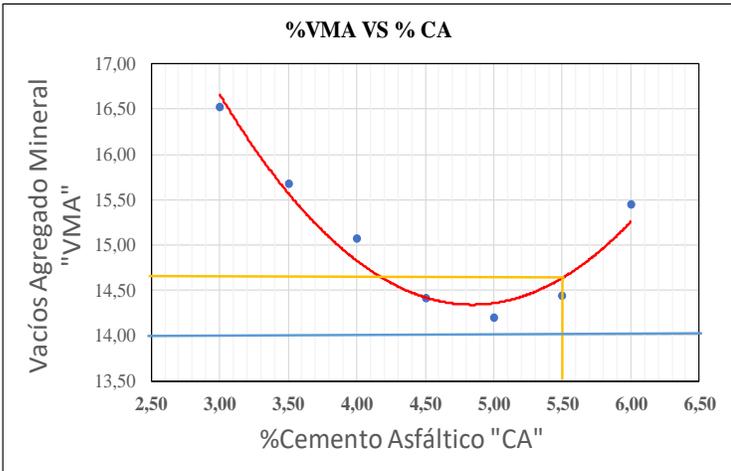
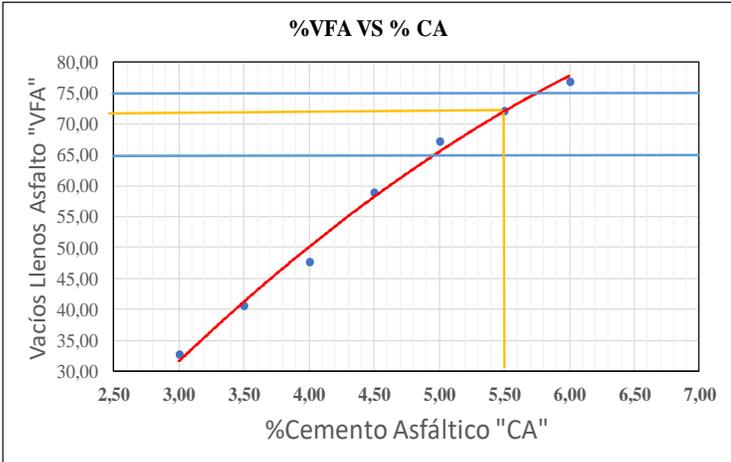
Anexo 12.

Informe de gráficas resultantes para propiedades de la mezcla asfáltica.

	<p>UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO</p>																	
<p>INFORME DE GRÁFICAS DE RESULTADOS PARA PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA</p>																		
<p>TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL</p>																		
<p>TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.</p>		<p>TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE</p>																
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center;">Gmb VS % CA</p>  <table border="1" style="margin: 5px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>% Cemento Asfáltico "CA"</th> <th>Gravedad Bulk "Gmb"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3.00</td><td>2.21</td></tr> <tr><td>3.50</td><td>2.23</td></tr> <tr><td>4.00</td><td>2.27</td></tr> <tr><td>4.50</td><td>2.29</td></tr> <tr><td>5.00</td><td>2.31</td></tr> <tr><td>5.50</td><td>2.31</td></tr> <tr><td>6.00</td><td>2.30</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; background-color: #cccccc; padding: 2px;">Gmb = 2,31 gr/cm³</p> </div>			% Cemento Asfáltico "CA"	Gravedad Bulk "Gmb"	3.00	2.21	3.50	2.23	4.00	2.27	4.50	2.29	5.00	2.31	5.50	2.31	6.00	2.30
% Cemento Asfáltico "CA"	Gravedad Bulk "Gmb"																	
3.00	2.21																	
3.50	2.23																	
4.00	2.27																	
4.50	2.29																	
5.00	2.31																	
5.50	2.31																	
6.00	2.30																	
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center;">%Va VS % CA</p>  <table border="1" style="margin: 5px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>% Cemento Asfáltico "CA"</th> <th>% Vacíos "Va"</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3.00</td><td>11.5</td></tr> <tr><td>3.50</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>4.00</td><td>8.0</td></tr> <tr><td>4.50</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>5.00</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>5.50</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>6.00</td><td>3.5</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; background-color: #cccccc; padding: 2px;">%VACÍOS = 4,03%</p> <p style="text-align: center; background-color: #cccccc; padding: 2px;">Según la NEVI-12, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado pueden existir de 3% a 5% de vacíos de aire.</p> </div>			% Cemento Asfáltico "CA"	% Vacíos "Va"	3.00	11.5	3.50	9.5	4.00	8.0	4.50	6.5	5.00	5.0	5.50	4.0	6.00	3.5
% Cemento Asfáltico "CA"	% Vacíos "Va"																	
3.00	11.5																	
3.50	9.5																	
4.00	8.0																	
4.50	6.5																	
5.00	5.0																	
5.50	4.0																	
6.00	3.5																	
<p>Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.</p>		<p>Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.</p>																

Anexo 13.

Informe de gráficas de resultados para propiedades de la mezcla asfáltica modificada.

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO</p>	
<p>FORME DE GRÁFICAS DE RESULTADOS PARA PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA</p>		
<p>TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL</p>		
<p>TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.</p>		<p>TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">%VMA VS % CA</p>  </div>		
<p>VMA = 14,64%</p> <p>Según la NEVI-12, para una mezcla asfáltica correspondiente a un TMN de 1/2", el porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral (VMA) es de 14%.</p>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">%VFA VS % CA</p>  </div>		
<p>VFA = 72,30%</p> <p>Según la NEVI-12, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado pueden existir un rango de 65% a 75% de vacíos ocupados por el asfalto (VFA).</p>		
<p>Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.</p>		<p>Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.</p>

Anexo 14.

Informe de gráficas de resultados para propiedades de la mezcla asfáltica reciclada.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO

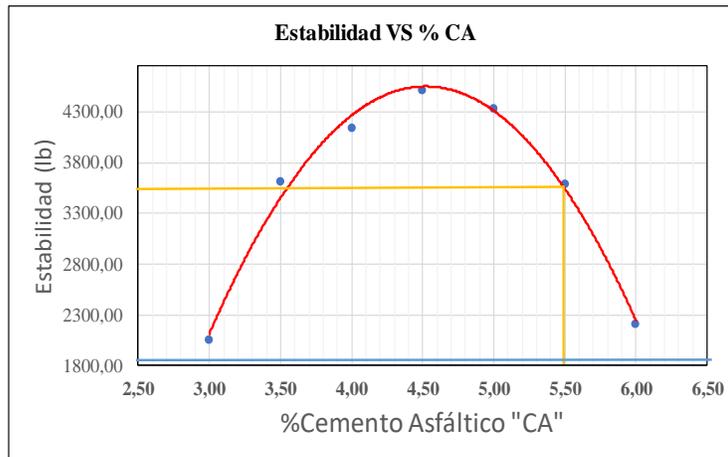


FORME DE GRÁFICAS DE RESULTADOS PARA PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL

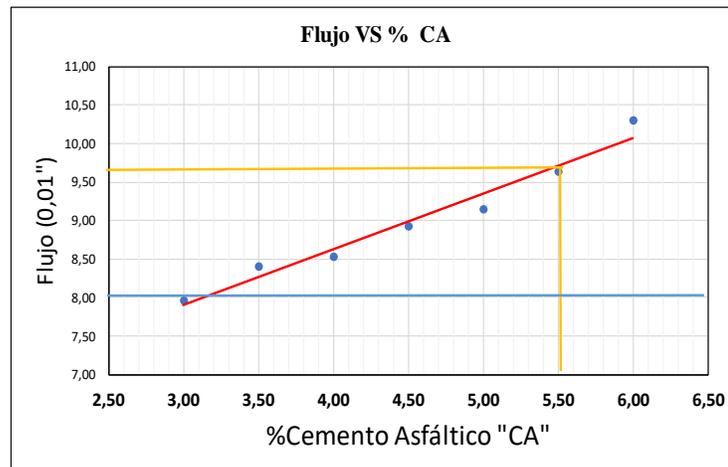
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.

TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE



ESTABILIDAD = 3540,65 lb

Según la NEVI-12, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado la estabilidad mínima que debe cumplir la gráfica debe ser de 1800 lb.



FLUJO = 9,71

Según la NEVI-12, para una mezcla asfáltica de tránsito pesado el flujo debe estar en el rango de de 8 a 14.

Analizado y calculado por:

Kleber Mejillones y Diego Ponce.

Revisado por:

Ing. Daniel Campoverde Msc.

Cálculo del déficit de porcentaje de asfalto que se debe adicionar a la mezcla asfáltica con material asfáltico reciclado.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																													
INFORME DE DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA																														
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																														
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																													
CÁLCULO DE CONTENIDO DE ASFALTO FALTANTE EN LA MEZCLA DE MATERIALES																														
<p>CÁLCULO DE PORCENTAJE FALTANTE</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Porcentaje de asfalto del material reutilizado</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5,67%</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Porcentaje de asfalto óptimo de la mezcla</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5,50%</td> </tr> </table> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">Combinación de Materiales</th> <th style="padding: 2px;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">Material reciclado (A)</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">74%</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Piedra 1/2" (B)</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">26%</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Total</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">100%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">Agregado</th> <th style="padding: 2px;">% CA</th> <th style="padding: 2px;">% agregado</th> <th style="padding: 2px;">% CA Corregido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">reciclado</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5,67%</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">74%</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">4,20%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="padding: 2px;">RESTA FINAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">% CA Corregido</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">4,20%</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">% CA Óptimo</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">5,50%</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">% CA Faltante</td> <td style="text-align: right; padding: 2px;">1,30%</td> </tr> </tbody> </table>			Porcentaje de asfalto del material reutilizado	5,67%	Porcentaje de asfalto óptimo de la mezcla	5,50%	Combinación de Materiales	%	Material reciclado (A)	74%	Piedra 1/2" (B)	26%	Total	100%	Agregado	% CA	% agregado	% CA Corregido	reciclado	5,67%	74%	4,20%	RESTA FINAL		% CA Corregido	4,20%	% CA Óptimo	5,50%	% CA Faltante	1,30%
Porcentaje de asfalto del material reutilizado	5,67%																													
Porcentaje de asfalto óptimo de la mezcla	5,50%																													
Combinación de Materiales	%																													
Material reciclado (A)	74%																													
Piedra 1/2" (B)	26%																													
Total	100%																													
Agregado	% CA	% agregado	% CA Corregido																											
reciclado	5,67%	74%	4,20%																											
RESTA FINAL																														
% CA Corregido	4,20%																													
% CA Óptimo	5,50%																													
% CA Faltante	1,30%																													
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																													

Anexos 16.

Informe de análisis de vacíos mediante el método rice para la nueva mezcla asfáltica.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																
INFORME DE DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA NUEVA MEZCLA																	
TESIS: ANÁLISIS DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA A PARTIR DE MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO MEDIANTE LA PRUEBA MARSHALL																	
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.	TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																
ENSAYO RICE DE EJECUCIÓN DE NUEVA MEZCLA ASFÁLTICA																	
"NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209"																	
<p>NOMENCLATURA</p> <p>G_{mm}= Gravedad específica teórica máxima A Peso en aire de la mezcla asfáltica secada en horno, gr. B Peso del picnómetro de vacío lleno de agua a 25° C ± 1°C (77°F), gr. C Peso del picnómetro de vacío lleno de agua y mezcla asfáltica a 25°C, gr.</p> <p style="text-align: center;">FÓRMULA</p> $G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}$ <p style="text-align: center;">CÁLCULOS</p> <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">% DE ASFALTO</th> <th colspan="2">DATOS</th> <th>RESULTADOS</th> </tr> <tr> <th>Nom.</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">5,5</td> <td>A=</td> <td>1500</td> <td rowspan="3">2,41 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B=</td> <td>7409</td> </tr> <tr> <td>C=</td> <td>8287</td> </tr> </tbody> </table> <p style="margin-top: 20px;">NOTA: Todos los ensayos fueron elaborados a una temperatura de 25 °C por lo que según lo indicado en la Norma, su factor de corrección es 1,00.</p>			% DE ASFALTO	DATOS		RESULTADOS	Nom.	Muestra 1	Muestra 1	5,5	A=	1500	2,41 gr/cm ³	B=	7409	C=	8287
% DE ASFALTO	DATOS			RESULTADOS													
	Nom.	Muestra 1	Muestra 1														
5,5	A=	1500	2,41 gr/cm ³														
	B=	7409															
	C=	8287															
Analizado y calculado por: Kleber Mejillones y Diego Ponce.	Revisado por: Ing. Daniel Campoverde Msc.																

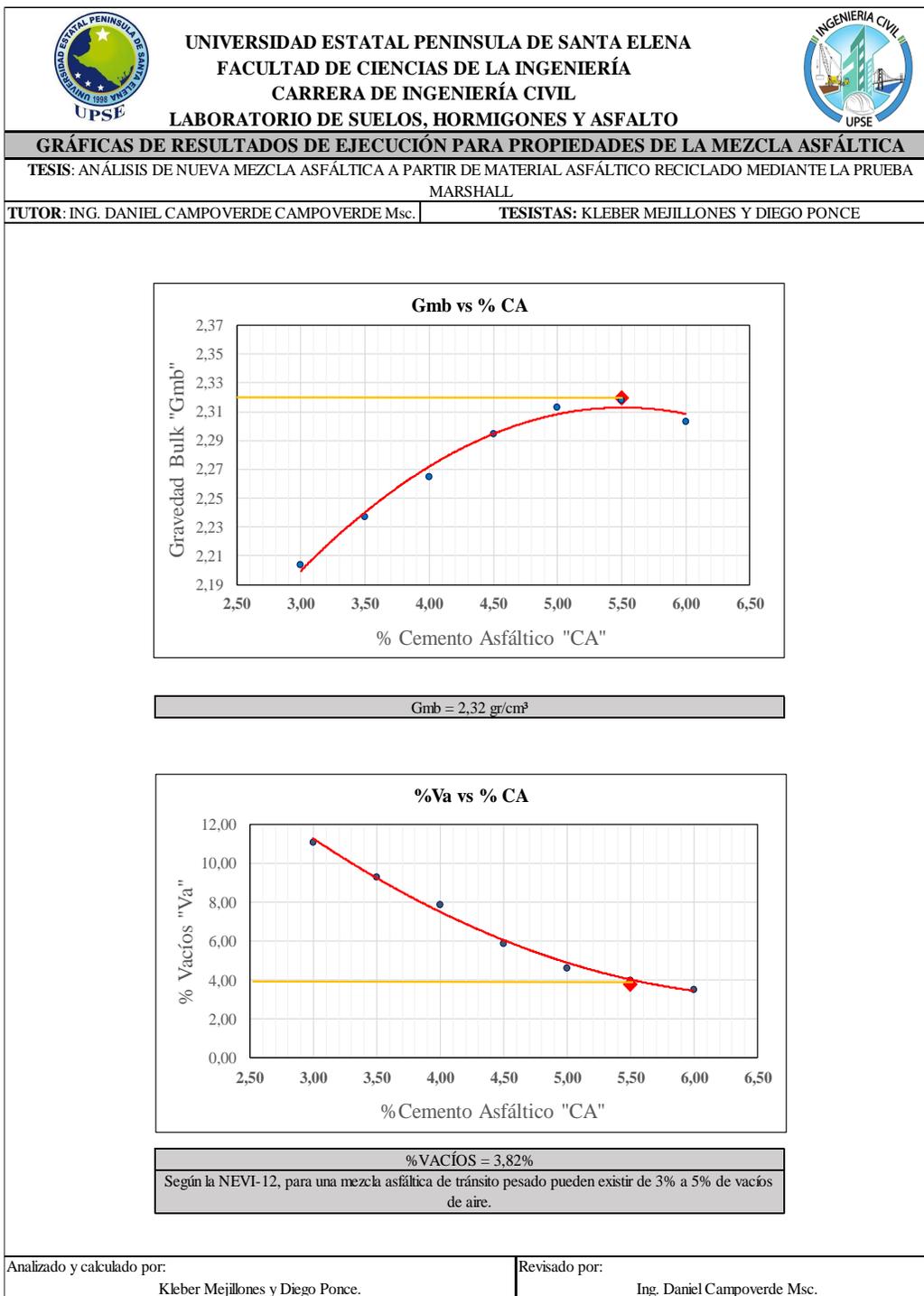
Anexos 17.

Cálculo para el diseño de la nueva mezcla asfáltica.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTO																							
INFORME DE EJECUCIÓN MEZCLA ASFÁLTICA CON MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO																								
TUTOR: ING. DANIEL CAMPOVERDE CAMPOVERDE Msc.		TESISTAS: KLEBER MEJILLONES Y DIEGO PONCE																						
Gravedad específica del asfalto Gb=	1.017 gr/cm ³	Gsa de los agregados=																						
		2.69 gr/cm ³																						
		Gsb de los agregados=																						
		2.56 gr/cm ³																						
N° Briquetas	% Asfalto utilizado (Pb)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen en cm ³	Peso de Briqueta			Gravedad Específica de la Mezcla		% VOLUMEN TOTAL (BRIQUETAS)			% VOLUMEN DE VACÍOS			% ASFALTO		ESTABILIDAD					Flujo 0.01"	
					Aire (gr)	SSS (gr)	Agua (gr)	(Gmb) gr/cm ³	Teórica Máxima (Gmm) gr/cm ³	Efectiva (Gse) g/cm ³	Agregado (Vsb)+Vagre)	Vacíos (Va)	Asfalto (Vca)	Aire (Va)	Agregado mineral (VMA)	Llenos de asfalto (VFA)	Absorbido (Pba)	Efectivo (Pbe)	Estabilidad ensayo kg	Corrección por altura de briqueta	Estabilidad corregida kg	Estabilidad Corregida Lb		Lectura del dial
1	5.5	6.04	10.267	500.02	1181.8	1182.5	669.23	2.302	2.412	2.621	85.60	3.821	10.579	3.821	14.400	73.464	0.91	4.64	1506.3	1.09	1641.87	3619.66	2.32	9
2		6.04	10.207	494.22	1188.6	1183.1	678.1	2.354											1815.1	1.09	1978.46	4361.71	1.99	8
3		6.03	10.273	499.84	1183.4	1185.4	671.4	2.302											1627.5	1.093	1778.86	3921.70	2.48	10
Promedio		6.04	10.25	498.03	1184.6	1183.7	672.9	2.319										1649.6		1799.73	3967.69		9.05	
% Asfalto	(Gmb) Densidad	(Va) % Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (lb)	Flujo																		
5.50	2.32	3.82	14.40	73.46	3967.69	9.05																		
Analizado y calculado por:										Revisado por:														
Kleber Mejillones y Diego Ponce.										Ing. Daniel Campo Verde Msc.														

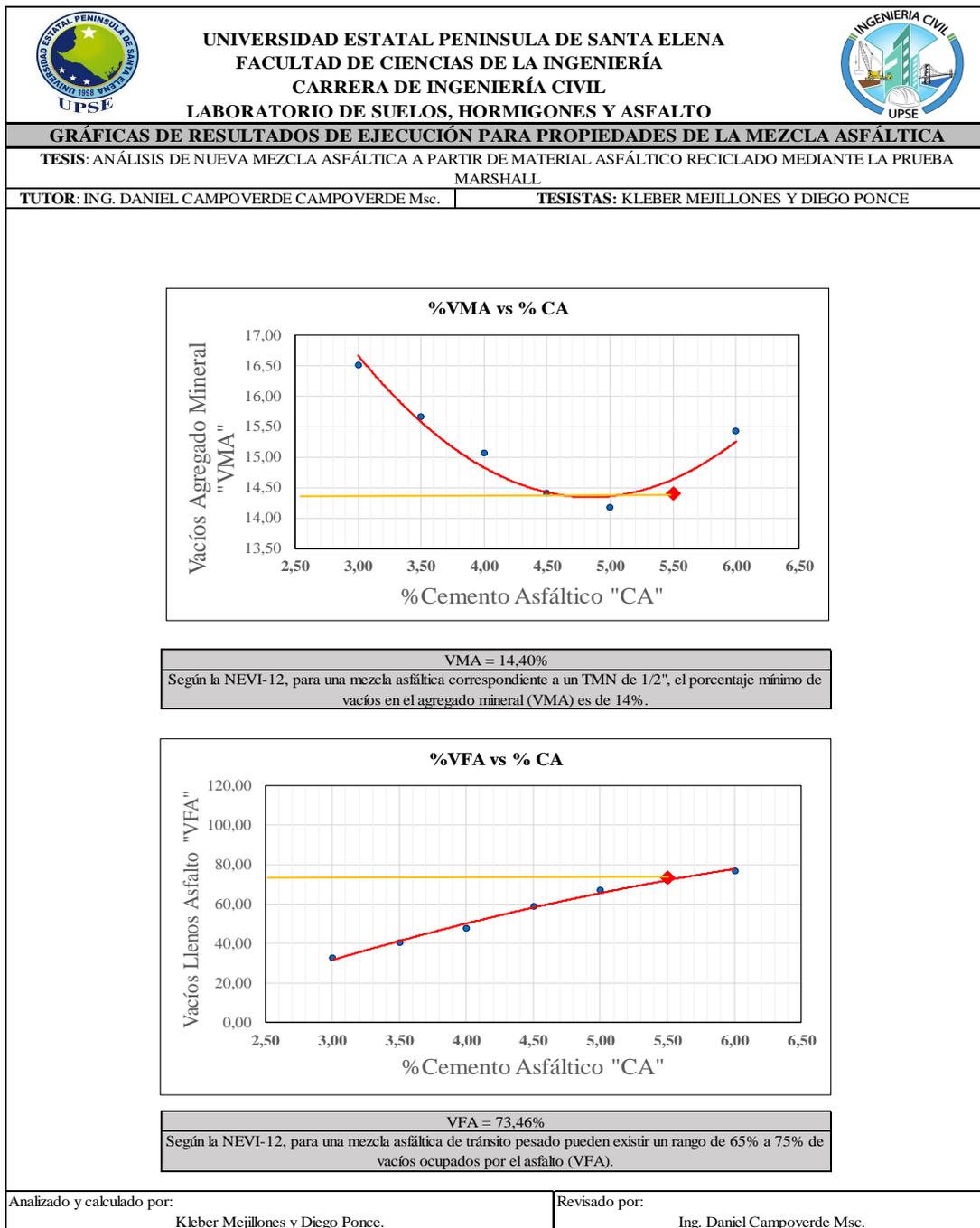
Anexo 18.

Gráficas de resultados de ejecución para propiedades de la mezcla asfáltica.



Anexo 19.

Gráficas de resultados de ejecución para propiedades de la mezcla asfáltica.



Anexo 20.

Gráficas de resultados de ejecución para propiedades de la mezcla asfáltica.

