



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS Vs ASFALTOS CONFORMADOS
CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO
RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.**

AUTORA: Ana Belén Cepeda Granda

TUTOR: Ing. Byron Genaro Cañizares Proaño, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ANÁLISIS DE ASFALTOS TRADICIONALES VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE”**, elaborado por la Srta. Ana Belén Cepeda Granda, portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1850011055, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



Ing. Byron Genaro Cañizares Proaño, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Ana Belén Cepeda Granda**, con C.I. 1850011055, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS DE ASFALTOS TRADICIONALES Vs. ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



Ana Belén Cepeda Granda

C.I. 1850011055

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



Ana Belén Cepeda Granda

C.I. 1850011055

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Ana Belén Cepeda Granda, de la Carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema **“ANÁLISIS DE ASFALTOS TRADICIONALES Vs. ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE”**.

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



**Ing. Ruth Lorena Pérez Maldonado, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR**



**Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

Dedico mi tesis principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres Paúl y Cristina, pues sin ellos no habría conseguido este logro su amor y bendición han guiado mi camino todos los días de mi vida y es por esa razón que doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y apoyo.

A mis hermanas Paula, Gaby e Isis, por brindarme su apoyo moral y por acompañarme en esas noches en las que ya no podía seguir.

AGRADECIMIENTO

A Dios que es guía de mi vida y hace posible este logro.

Gracias infinitas a mis padres Paul y Cristina, por su amor incondicional y su apoyo constante. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, han sido el pilar de este logro. También expreso mi gratitud a mis hermanas Paula, Gabriela e Isis, quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y hacerme sentir mejor cuando lo necesite, a mi abuelita Digna, quien supo estar presente en los momentos difíciles. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible. Su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico.

Un sincero agradecimiento a mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo en los momentos de estrés y alegría durante este largo y retador camino. Su apoyo, confianza, soporte y cariño han sido invaluable. Cada uno de ustedes ha contribuido a mi fortaleza y ánimo de una manera u otra. Gracias por ser mi punto de apoyo, mi equipo de aliento y, lo más importante, la familia que yo elegí.

Agradezco a mis maestros por las enseñanzas impartidas durante el desarrollo de esta etapa sus conocimientos y sabiduría han influido en la culminación de este proyecto.

Ana Belén Cepeda Granda

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo General.....	5
1.2.2. Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
METODOLOGÍA.....	6
2.1. Materiales.....	7
2.2. Métodos.....	9
2.2.1. Fase 1.....	9
2.2.1.1. Análisis Granulométrico.....	10
2.2.1.2. Resistencia al Desgaste por Abrasión.....	11
2.2.1.3. Resistencia a la acción de los sulfatos.....	13
2.2.1.4. Gravedad específica (Agregado Grueso).....	13
2.2.1.5. Gravedad específica (Agregado Fino).....	14
2.2.1.6. Caras Fracturadas.....	14
2.2.1.7. Ensayo Marshall.....	15
2.2.2. Fase 2.....	20
2.2.2.1. Ensayo de contenido de ligante asfáltico por medio de la centrífuga ..	21
2.2.3. Fase 3.....	22

CAPÍTULO III	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1. Análisis y discusión de los resultados.	24
3.1.1.1. Análisis Granulométrico	24
3.1.1.2. Características físicas del agregado grueso virgen.....	26
3.1.1.3. Características físicas del agregado fino virgen.....	27
3.1.1.4. Diseño de mezcla asfáltica Tradicional.....	27
3.1.1.5. Ensayo Rice.....	28
3.1.1.6. Ensayo Marshall.....	29
3.1.1.7. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo	34
3.1.1.8. Criterios de Diseño para mezclas Marshall.....	34
3.1.2. Material Asfáltico Reciclado.	35
3.1.2.1. Extracción cuantitativa de asfalto	35
3.1.2.2. Análisis Granulométrico.	37
3.1.2.3. Resistencia al Desgaste por Abrasión	38
3.1.2.4. Diseño de mezcla asfáltica – 20% de material asfáltico reciclado.....	39
3.1.2.5. Ensayo Rice.....	39
3.1.2.6. Ensayo Marshall.....	40
3.1.2.7. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo	46
3.1.2.8. Criterios de Diseño para mezclas Marshall.....	46
3.1.2.9. Diseño de mezcla asfáltica – 40% de material asfáltico reciclado.....	47
3.1.2.10. Ensayo Rice.....	48
3.1.2.11. Ensayo Marshall.....	49
3.1.2.12. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo	55
3.1.2.13. Criterios de Diseño para mezclas Marshall.....	55
3.1.2.14. Diseño de mezcla asfáltica – 60% de material asfáltico reciclado.....	56
3.1.2.15. Ensayo Rice.....	57
3.1.2.16. Ensayo Marshall.....	58
3.1.2.17. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo	64
3.1.2.18. Criterios de Diseño para mezclas Marshall.....	64
3.1.3. Material Asfáltico Reciclado con adición de Lana de Acero.....	65
3.1.3.1. Diseño de mezcla asfáltica 20% asfalto reciclado – 1% de lana de acero	65
3.1.3.2. Ensayo Rice.....	66
3.1.3.3. Ensayo Marshall.....	67

3.1.3.4.	Contenido de Líquido Asfáltico óptimo.....	73
3.1.3.5.	Criterios de Diseño para mezclas Marshall.....	73
3.1.3.2.	Diseño de mezcla asfáltica 40% asfalto reciclado – 0.5% de lana de acero	75
3.1.1.1.	Ensayo Rice.....	75
3.1.1.2.	Ensayo Marshall.....	76
3.1.1.3.	Contenido de Líquido Asfáltico óptimo.....	82
3.1.1.4.	Criterios de Diseño para mezclas Marshall.....	82
3.1.3.3.	Diseño de mezcla asfáltica 60% asfalto reciclado – 1.5% de lana de acero	83
3.1.1.5.	Ensayo Rice.....	84
3.1.1.6.	Ensayo Marshall.....	85
3.1.1.7.	Contenido de Líquido Asfáltico óptimo.....	91
3.1.1.8.	Criterios de Diseño para mezclas Marshall.....	91
3.1.3.4.	Análisis Comparativo.....	92
3.1.3.4.1.	Mezcla Asfáltica Tradicional Vs Mezcla Asfáltica con Porcentajes de Material Reciclado.....	93
3.1.3.4.2.	Mezcla Asfáltica con Porcentajes de Material Reciclado Vs Mezclas Asfálticas con porcentaje de reciclado y lana de acero	98
3.1.3.4.3.	Análisis comparativo entre porcentajes óptimos de líquido asfáltico de mezclas tradicional, reciclado y reciclado conformado con lana de acero	105
3.2.	Discusión	106
3.3.	Verificación de hipótesis.....	107
CAPÍTULO IV.....		109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		109
4.1.	Conclusiones.....	109
4.2.	Recomendaciones	111
C. MATERIALES DE REFERENCIA		112
1.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
2.	ANEXOS.....	114
2.1.	ANEXOS TABLAS.....	114
2.1.1.	Tablas de los ensayos Rice realizados.	114
3.	ANEXOS FOTOGRÁFICOS	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	11
Tabla 2. Especificación de la carga	12
Tabla 3. Gradación de muestras para ensayo de Abrasión	12
Tabla 4. Criterios de Diseño mezclas asfálticas	19
Tabla 5. Porcentaje de vacíos llenos de agregado mineral	20
Tabla 6. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	24
Tabla 7. Análisis Granulométrico Agregado Fino	25
Tabla 8. Características físicas del agregado grueso	26
Tabla 9. Características físicas del agregado fino	27
Tabla 10. Diseño de mezcla asfáltica tradicional	27
Tabla 11. Porcentaje de líquido asfáltico y agregados grueso y fino	28
Tabla 12. Ensayo Rice - Mezcla Tradicional.....	28
Tabla 13. Ensayo Marshall Mezcla Tradicional.	29
Tabla 14. Resultados Ensayo Marshall tradicional	30
Tabla 15. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico	34
Tabla 16. Criterios de Diseño	35
Tabla 17. Extracción cuantitativa de asfalto líquido	36
Tabla 18. Análisis Granulométrico del Agregado Reciclado	37
Tabla 19. Resistencia al Desgaste por Abrasión.....	38
Tabla 20. Diseño de Mezcla MAC - 20% Asfalto Reciclado.....	39
Tabla 21. Ensayo Rice - 20% de Material Asfáltico Reciclado.....	39
Tabla 22. Ensayo Marshall mezcla 20% de asfalto reciclado	41
Tabla 23. Resultados de Ensayo Marshall 20% de material asfáltico reciclado	42
Tabla 24. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 20% de material asfáltico reciclado	46
Tabla 25. Criterios de Diseño	47
Tabla 26. Diseño de Mezcla MAC - 40% Asfalto Reciclado.....	48
Tabla 27. Ensayo Rice - 40% de Material Asfáltico Reciclado.....	48
Tabla 28. Ensayo Marshall mezcla 40% de asfalto reciclado	50
Tabla 29. Resultados de Ensayo Marshall 40% de material asfáltico reciclado	51

Tabla 30. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 40% de material asfáltico reciclado	55
Tabla 31. Criterios de Diseño	56
Tabla 32. Diseño de Mezcla Asfáltica - 60% material reciclado.....	57
Tabla 33. Ensayo Rice - 60% de Material Asfáltico Reciclado.....	57
Tabla 34. Ensayo Marshall mezcla 60% de asfalto reciclado	59
Tabla 35. Resultados de Ensayo Marshall 60% de material asfáltico reciclado	60
Tabla 36. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 60% de material asfáltico reciclado.....	64
Tabla 37. Criterios de Diseño	65
Tabla 38 Diseño de Mezcla Asfáltica - 20% material reciclado – 1% Lana de Acero.....	66
Tabla 39 Ensayo Rice - 20% de Material Asfáltico Reciclado – 1% Lana de Acero	66
Tabla 40. Ensayo Marshall mezcla 20% de asfalto reciclado - 1% Lana de Acero ..	68
Tabla 41. Resultados de Ensayo Marshall 20% de material asfáltico reciclado- 1% Lana de Acero	69
Tabla 42. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 20% de material asfáltico reciclado y 1% lana de acero	73
Tabla 43. Criterios de Diseño	74
Tabla 44. Diseño de Mezcla Asfáltica - 40% material reciclado – 0.5% Lana de Acero	75
Tabla 45 Ensayo Rice - 20% de Material Asfáltico Reciclado – 1% Lana de Acero	75
Tabla 46. Ensayo Marshall mezcla 40% de asfalto reciclado – 0.5% Lana de Acero	77
Tabla 47. Resultados de Ensayo Marshall 40% de material asfáltico reciclado- 0.5% Lana de Acero	78
Tabla 48. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 40% AR+0.5%LA.....	82
Tabla 49. Criterios de Diseño	83
Tabla 50 Diseño de Mezcla Asfáltica - 60% material reciclado – 1.5% Lana de Acero	84
Tabla 51 Ensayo Rice - 60% de Material Asfáltico Reciclado – 1.5% Lana de Acero.....	84
Tabla 52. Ensayo Marshall mezcla 60% de asfalto reciclado – 1.5% Lana de Acero	86
Tabla 53. Resultados de Ensayo Marshall 60% de material asfáltico reciclado- 1.5% Lana de Acero	87

Tabla 54. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 60% de material asfáltico reciclado	91
Tabla 55. Criterios de Diseño	92
Tabla 56 Ensayo Rice	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Juego de Tamices	9
Fig. 2 Baño María	9
Fig. 3 Horno.....	9
Fig. 4 Empresa Construcciones JEAL - Mina Las Viñas.....	10
Fig. 5 Ensayo de Abrasión - Método B	13
Fig. 6 Ensayo Gravedad Específica para agregado Fino	14
Fig. 7 Picnómetro + muestra + agua	14
Fig. 8 Vaciado de la mezcla en un recipiente	14
Fig. 9 Agregado con una o varias caras fracturadas	15
Fig. 10 Briquetas Tradicionales	16
Fig. 11 Determinación de la altura de cada briqueta	18
Fig. 12 Ensayo Marshall	19
Fig. 13 Ubicación de la vía de donde se obtuvo el material asfáltico reciclado.....	20
Fig. 14 Obtención de material asfáltico reciclado	21
Fig. 15 Muestra después de 8 ciclos de lavado asfáltico	22
Fig. 16 Inicio del lavado asfáltico	22
Fig. 17 Lana de Acero.....	22
Fig. 18 Curva Granulométrica del agregado grueso	25
Fig. 19 Curva Granulométrica del agregado fino	26
Fig. 20 Rangos aceptables del ensayo Rice.....	28
Fig. 21 Densidad Bulk	30
Fig. 22 Porcentaje de vacíos con aire	31
Fig. 23 Vacíos con Agregado Mineral	31
Fig. 24 Vacíos llenos de Asfalto	32
Fig. 25 Estabilidad	33
Fig. 26 Flujo de Deformación	33
Fig. 27 Curva Granulométrica del asfalto reciclado	38
Fig. 28 Rangos aceptables del ensayo Rice.....	40
Fig. 29 Densidad Bulk 20% de material asfáltico reciclado.....	42
Fig. 30 Porcentaje de vacíos con aire 20% de material asfáltico reciclado.....	43
Fig. 31 Vacíos con Agregado Mineral 20% de material asfáltico reciclado.....	43
Fig. 32 Vacíos llenos de Asfalto 20% de material asfáltico reciclado.....	44
Fig. 33 Estabilidad 20% de material asfáltico reciclado.....	45
Fig. 34 Flujo de Deformación 20% de material asfáltico reciclado.....	45
Fig. 35 Rangos aceptables del ensayo Rice.....	49

Fig. 36 Densidad Bulk 40% de material asfáltico reciclado	51
Fig. 37 Porcentaje de vacíos con aire	52
Fig. 38 Vacíos con Agregado Mineral	52
Fig. 39 Vacíos llenos de Asfalto	53
Fig. 40 Estabilidad	54
Fig. 41 Flujo de Deformación	54
Fig. 42 Rangos aceptables del ensayo Rice.....	58
Fig. 43 Densidad Bulk 60% de material asfáltico reciclado	60
Fig. 44 Porcentaje de vacíos con aire	61
Fig. 45 Vacíos con Agregado Mineral	61
Fig. 46 Vacíos llenos de Asfalto	62
Fig. 47 Estabilidad	63
Fig. 48 Flujo de Deformación	63
Fig. 49 Rangos aceptables del ensayo Rice.....	67
Fig. 50. Densidad Bulk 20% de material asfáltico reciclado -1% Lana de Acero	69
Fig. 51 Porcentaje de vacíos con aire	70
Fig. 52 Vacíos con Agregado Mineral	70
Fig. 53 Vacíos llenos de Asfalto	71
Fig. 54 Estabilidad	72
Fig. 55 Flujo de Deformación	72
Fig. 56 Rangos aceptables del ensayo Rice.....	76
Fig. 57 Densidad Bulk 40% de material asfáltico reciclado- 0.5% Lana de Acero.....	78
Fig. 58 Porcentaje de vacíos con aire	79
Fig. 59 Vacíos con Agregado Mineral	79
Fig. 60 Vacíos llenos de Asfalto	80
Fig. 61 Estabilidad	81
Fig. 62 Flujo de Deformación	81
Fig. 63 Rangos aceptables del ensayo Rice.....	85
Fig. 64 Densidad Bulk 60% de material asfáltico reciclado -1.5% Lana de Acero.....	87
Fig. 65 Porcentaje de vacíos con aire	88
Fig. 66 Vacíos con Agregado Mineral	88
Fig. 67 Vacíos llenos de Asfalto	89
Fig. 68 Estabilidad	90
Fig. 69 Flujo de Deformación	90
Fig. 70 Líquido Asfáltico Vs Densidad Bulk	93
Fig. 71 % de Vacíos con aire Vs Líquido Asfáltico	94

Fig. 72 % Vacíos con agregado mineral Vs Líquido asfáltico	95
Fig. 73 Vacíos Llenos de asfalto Vs Líquido asfáltico	96
Fig. 74 Estabilidad Vs Líquido Asfáltico	96
Fig. 75 Flujo Vs Líquido Asfáltico.....	97
Fig. 76 % Líquido Asfáltico Vs Densidad Bulk	98
Fig. 77 % Líquido Asfáltico Vs Vacíos con aire.....	99
Fig. 78 %Líquido Asfáltico Vs Vacíos con Agregado Mineral	101
Fig. 79 % Líquido Asfáltico Vs Vacíos Llenos de Asfalto.....	102
Fig. 80 % Líquido Asfáltico Vs Estabilidad	103
Fig. 81 % Líquido Asfáltico Vs Flujo de Deformación	104
Fig. 82 Análisis comparativo entre AT - AR Y AR+LA	105
Fig. 83 Ensayo Rice	115
Fig. 84 Ensayo Rice	115
Fig. 85 Ensayo Rice	116
Fig. 86 Ensayo Rice	116
Fig. 87 Ensayo Rice 20% AR.....	117
Fig. 88 Ensayo Rice 20% AR.....	117
Fig. 89 Ensayo Rice 20% AR.....	118
Fig. 90 Ensayo Rice 20% AR.....	118
Fig. 91 Ensayo Rice 20% AR.....	119
Fig. 92 Ensayo Rice 40% AR.....	119
Fig. 93 Ensayo Rice 40% AR.....	120
Fig. 94 Ensayo Rice 40% AR.....	120
Fig. 95 Ensayo Rice 40% AR.....	121
Fig. 96 Ensayo Rice 40% AR.....	121
Fig. 97 Ensayo Rice 60% AR.....	122
Fig. 98 Ensayo Rice 60% AR.....	122
Fig. 99 Ensayo Rice 60% AR.....	123
Fig. 100 Ensayo Rice 60% AR.....	123
Fig. 101 Ensayo Rice 60% AR.....	124
Fig. 102 Ensayo Rice 20% AR +1%LA	124
Fig. 103 Ensayo Rice 20% AR +1%LA	125
Fig. 104 Ensayo Rice 20% AR +1%LA	125
Fig. 105 Ensayo Rice 20% AR +1%LA	126
Fig. 106 Ensayo Rice 20% AR +1%LA	126
Fig. 107 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA	127

Fig. 108 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA	127
Fig. 109 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA	128
Fig. 110 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA	128
Fig. 111 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA	129
Fig. 112 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA	129
Fig. 113 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA	130
Fig. 114 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA	130
Fig. 115 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA	131
Fig. 116 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA	131

RESUMEN EJECUTIVO

Para el desarrollo de esta investigación los materiales como agregado grueso y fino se obtuvieron de la mina Las Viñas perteneciente a la empresa JEAL Construcciones ubicado en la ciudad de Ambato, se realizaron ensayos de laboratorio para analizar sus características mecánicas y determinar que cumplan con las normas de calidad respectivas para cada uno de ellos. Así mismo se realizó la recolección del material asfáltico reciclado perteneciente a la vía Guadalupe – Patate del cantón Pelileo y se determinó su calidad y se optó por recolectar la lana de acero como material de refuerzo.

Determinadas las características de los materiales se preparó los especímenes mediante el Método Marshall cumpliendo con las normas AASHTO T 245, ASTM D 1559 y AASHTO T 225, se elaboraron y ensayaron a compresión tres briquetas de asfalto tradicional por cada porcentaje, tres briquetas con adiciones de asfalto reciclado en porcentajes de 20, 40 y 60 por ciento y tres briquetas con adición de lana de acero en porcentajes de 0.5, 1 y 1.5 por ciento, por cada contenido de cemento asfáltico, lo cual da un total de 105 briquetas asfálticas elaboradas durante el desarrollo de toda la investigación.

Al concluir con los ensayos respectivos se realizó un análisis comparativo de las propiedades mecánicas entre las mezclas asfálticas tradicionales, con porcentajes de asfalto reciclado y con la adición de lana de acero; como son estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos, mediante el empleo de tablas y gráficos.

Palabras Clave: Asfalto Reciclado, Lana de Acero, Mezclas Asfálticas, Ensayo Marshall, Guadalupe-Patate

ABSTRACT

For the development of this research, the materials such as coarse and fine aggregate were obtained from the Las Viñas mine belonging to the company JEAL Constructions located in the city of Ambato. Laboratory tests were conducted to analyze their mechanical characteristics and determine that they comply with the standards of respective quality for each of them. Likewise, the recycled asphalt material belonging to the Guadalupe – Patate road in the Pelileo canton was collected and its quality was determined, and it was decided to collect steel wool as a reinforcement material.

Once the characteristics of the materials were determined, the specimens were prepared using the Marshall Method in compliance with the standards AASHTO T 245, ASTM D 1559 and AASHTO T 225, three briquettes of traditional asphalt for each percentage, three briquettes with additions of recycled asphalt in percentages of 20, 40 and 60 percent and three briquettes with the addition of steel wool in percentages of 0.5, 1 and 1.5 percent, for each asphalt cement content, which gives a total of 105 asphalt briquettes produced during the development of all research.

At the end of the respective tests, a comparative analysis of the mechanical properties was conducted between traditional asphalt mixtures, with percentages of recycled asphalt and with the addition of steel wool, such as stability, flow, and percentage of voids, using tables and graphs.

Keywords: Recycled Asphalt, Steel Wool, Asphalt Mixtures, Marshall Test, Guadalupe-Patate

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

La conectividad vial se ha convertido en una necesidad esencial para satisfacer las demandas de una pronta urbanización es por esta razón que desde hace tiempo la mejoría en la calidad de la superficie de las carreteras acelera el crecimiento económico de cualquier país.

El pavimento flexible, es el tipo más común de infraestructura vial puesto que está conformado por una capa superficial de mezcla asfáltica que consiste en la clasificación de agregados gruesos y finos adicionando líquido asfáltico caliente o aglutinante siendo el resultado de esta unión una capa de desgaste densa, esta mezcla es conocida comúnmente como mezcla asfáltica en caliente (HMA).

Al momento de construir pavimentos flexibles hay que atender a la necesidad de disponibilidad de los componentes tales como agregados vírgenes y aglutinantes asfálticos lo cual ha generado en la industria un agotamiento de recursos naturales no renovables debido a esto se ha ejercido presión sobre organizaciones gubernamentales puesto que la extracción de materiales vírgenes ha aumentado las preocupaciones medioambientales, energéticas y económicas. Por estas situaciones se ha promovido el uso de materiales reciclados en la construcción de pavimentos, definiendo a estos materiales como pavimentos removidos o reprocesados (RAPM). [1]

Por otro lado, el uso del pavimento asfáltico reciclado comienza a inicios de los años setenta, debido a la crisis del petróleo presente en ese año se incrementó el precio del cemento asfáltico. Este hecho, juntamente con un interés paulatino por la conservación de la energía hace que en el año 1974 exista un fuerte impulso por la práctica de reciclaje en los Estados Unidos, según la Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico más del 99% de los materiales retirados durante las actividades de mantenimiento o reparación de carreteras terminaron siendo utilizados en nuevos pavimentos. [2]

Desde 1993 la Agencia de Protección Ambiental y la Administración Federal de Carreteras identificaron al pavimento asfáltico como el producto reciclado número uno de los Estados Unidos. Según los últimos datos de una encuesta desarrollada por la

Asociación Nacional de Pavimento Asfáltico (NAPA), durante el año 2018, más de 82.2 millones de toneladas de material asfáltico reciclado fueron utilizados en nuevos pavimentos en los Estados Unidos, ahorrando más de 2.29 billones de dólares. [2]

El estudio realizado por Williams & Willis [3] expresa que el reciclado de pavimentos asfálticos removidos o reprocesados (RAPM) es superior a cualquier otro material reciclado, ganándose así la popularidad de los usuarios debido a su capacidad de reciclaje in situ, conservación de materias primas, ahorro de costos en materias primas, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, reducción en uso de vertederos entre otros.

Por otro lado el estudio realizado por Ventura *et al.* [4] expresa cuales son las deficiencias presentes al momento de utilizar material asfáltico reciclado, una de ellas es la complejidad debido a la variabilidad de la homogeneidad de los materiales recuperados del pavimento, existen también riesgos relacionados con la salud del ser humano puesto que al momento de realizar el proceso de calentamiento de reciclado del material asfáltico se eliminan hidrocarburos aromáticos policíclicos que pueden afectar a la salud de quien los olfateara. Existe también incertidumbre sobre el rendimiento y durabilidad del material asfáltico reciclado al momento de implementarlo debido a la falta de lineamientos al momento de procesar y diseñar mezclas asfálticas además de las limitaciones existentes en las plantas procesadoras de asfalto reciclado en caliente.

Por otro parte, existen investigaciones realizadas en Europa sobre la incorporación de fibras de acero en las mezclas porosas, que hace que el asfalto sea conductivo. Esto implica que, con la ayuda de una máquina de inducción de gran tamaño, se transmite electricidad al asfalto, lo que provoca que se calienten las fibras de acero. Al aumentar la temperatura (el sol también ayuda en este proceso de calentamiento), el asfalto se reparte al estar fundido y así se arreglan las posibles grietas que se formen con el paso de los vehículos. Con esto se podría doblar la vida útil de una carretera, lo que significa un gran ahorro económico. [5]

Actualmente se han realizado estudios centrados en la eficiencia del calentamiento y las características curativas de las mezclas asfálticas recicladas. Kamali [6] argumenta que la utilización de radiación de microondas en el reciclado del pavimento asfáltico

recuperado podría elevar la resistencia al agrietamiento y la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas debido a una mayor activación de asfalto envejecido.

Por otro parte en el estudio realizado por Mullapudi *et al.* [7] se investigó acerca de la influencia del daño inicial en el proceso de curación de las mezclas asfálticas recicladas a través de los índices de curación de vida útil y el módulo de fatiga y encontraron que los índices de curación y daño inicial revelaron una correlación negativa. Es por esta razón que se introdujeron diferentes materiales de inducción en la mezcla asfáltica reciclada para mejorar sus características curativas, esto reveló que el aumento en la dosis de reciclaje del pavimento asfáltico recuperado presenta una tendencia descendente en la tasa de curación en mezclas asfálticas recicladas en contraste con el contenido de fibra metálica bajo calentamiento de microondas.

En contraste en la investigación realizada por Gómez & Mejjide [8], se fabricaron virutas de metal en lugar de fibras de lana de acero debido a sus características de absorción y conducción de energía térmica las cuales proporcionaron propiedades curativas en las mezclas asfálticas. El calentamiento por radiación de microondas proporciono una temperatura promedio más alta a las mezclas asfálticas recicladas con virutas que el calentamiento por inducción, lo que indica que las virutas de metal poseen una conductividad térmica más efectiva que la radiación por microondas.

También se utilizó escoria de acero para reemplazar el agregado natural en las mezclas asfálticas, lo que indico un efecto positivo en la eficiencia de curación del asfalto debido a la existencia de hierro y FeO (óxido de hierro). [9] [10] por otra parte, se destaca que la integración de escoria de acero y fibra de acero elevo la tasa de calentamiento por inducción de las mezclas en un 34% además se examinaron las propiedades de absorción de microondas de la escoria de acero y se acoplo el modelo electromagnético y de transferencia de calor de la mezcla asfáltica.

Los resultados de esta investigación corroboraron que la escoria de acero es un material magnético con características básicas de convertir energía de microondas en energía térmica.

Una mayor pérdida de conductividad dieléctrica y magnética dota a la escoria de acero de una capacidad potencial de absorción de microondas para migrar el calor y reparar fracturas. [11]

El estudio realizado por González [12] reveló que las virutas de desechos metálicos tienen una forma irregular con anchos mayores que las fibras de lana de acero utilizadas en otros estudios para el calentamiento de mezclas asfálticas con fines de curación de grietas. El efecto general de la adición de virutas de metal fue la mejora de las propiedades de curación mientras que la adición de reciclaje de pavimento asfáltico recuperado con virutas de metal redujo la curación de las mezclas.

Durante la última década, el Ecuador ha experimentado una importante transformación en diferentes ámbitos nacionales, en donde se destaca el desarrollo de la infraestructura vial, que ha posicionado al país como una de las mejores en América Latina, logrado mediante la intervención de más de 9.790 Km de vías. A pesar del considerable avance del país en el ámbito vial, en los últimos años varias vías principalmente las vías secundarias, terciarias y urbanas, han presentado un deterioro notable o desgaste, ya sea por falta de mantenimiento o por el incremento de tráfico en dichas zonas, disminuyendo la resistencia y durabilidad del pavimento ante las sollicitaciones.

Por otra parte, el Gobierno de Ecuador ha demostrado interés en promover prácticas sostenibles en la construcción y mantenimiento de carreteras. En años recientes, se han llevado a cabo proyectos piloto para probar el uso de asfalto reciclado en ciertas vías como parte de un enfoque más amplio hacia la construcción sostenible y la economía circular.

Aunque el asfalto reciclado presenta ventajas, su adopción a gran escala en Ecuador se ha enfrentado a desafíos y barreras. Entre estos se encuentran la falta de infraestructura adecuada para el procesamiento y producción de asfalto reciclado, la necesidad de normativas y regulaciones claras que fomenten su uso y la concienciación y capacitación adecuada para el personal encargado de su aplicación.

1.2.Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento de mezclas asfálticas incorporando material asfáltico reciclado para el tramo 0+000 a 4+290 de la vía Guadalupe - Patate mejorado con lana de acero.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas para establecer el porcentaje óptimo de líquido asfáltico en asfaltos tradicionales mediante el método Marshall.
- Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas modificadas con material reciclado mediante el método Marshall.
- Identificar el porcentaje óptimo de lana de acero para la mezcla asfáltica modificada con asfalto reciclado mediante el método Marshall.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA.

En este capítulo se describen los ensayos realizados a los agregados, previo a la fabricación de las briquetas de asfalto tradicional, los cuales fueron obtenidos de la empresa JEAL Construcciones del sector Las Viñas en la provincia de Tungurahua.

Por otro lado, se realizaron los ensayos respectivos para la producción de briquetas incorporando 20%, 40% y 60% de material asfáltico reciclado el cual se obtuvo de la vía Guadalupe – Patate perteneciente al cantón Pelileo en la provincia de Tungurahua, además de la realización de los ensayos respectivos a las mezclas asfálticas incorporando 0.5%, 1% y 1.5% de lana de acero en mezclas asfálticas con asfalto tradicional y reciclado. La realización de los ensayos siguió las respectivas normas MOP-F001-2002 e INEN para la correcta obtención de resultados.

El tipo de investigación a desarrollarse en el presente proyecto es: exploratorio, experimental y de laboratorio.

Exploratorio ya que las mezclas asfálticas con adición de material reciclado y fibras de acero no son comunes en nuestro país al no existir un estudio profundo acerca de su uso y propiedades.

Experimental debido a que se analizará el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de asfalto reciclado y lana de acero, para obtener así una mezcla óptima.

De laboratorio al ser necesaria la realización de las briquetas de asfalto tradicional y asfalto con adición de material reciclado y lana de acero con porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5% dentro de un laboratorio que cuente con los equipos necesarios para su elaboración, además de desarrollar los estudios y ensayos para conocer las propiedades de los agregados y determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico, asfalto reciclado y lana de acero para la mezcla asfáltica

Por otro lado la presente investigación se dividió en tres fases las cuales permitieron dar cumplimiento a los objetivos planteados, siendo así; la primera fase corresponde a la determinación de las propiedades mecánicas de la muestra de agregados obtenida mediante ensayos de Granulometría, Resistencia al Desgaste por Abrasión, Resistencia a la acción de los Sulfatos, Caras Fracturadas, Ensayo Marshall, Ensayo Rice, Peso

específico Bulk, entre otros, por otro parte, la segunda fase de la investigación tuvo por objetivo determinar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas incorporando material asfáltico reciclado mediante el método Marshall y finalmente la tercera fase tuvo por propósito determinar el porcentaje óptimo de lana de acero en mezclas asfálticas modificadas con material reciclado utilizando el ensayo Marshall.

A continuación, se describirá los materiales y los métodos implementados en el desarrollo de cada fase de la investigación.

2.1. Materiales

Para cumplir con el objetivo de la primera fase de la presente investigación se realizaron ensayos de laboratorio con los cuales se pudo determinar las propiedades mecánicas de los agregados pétreos y el comportamiento de las mezclas asfálticas tradicionales. Para lo cual se implementaron los siguientes materiales agregado pétreo (grueso y fino), asfalto líquido y lana de acero, cada muestra fue guardada y empaquetada de tal manera que no se humedezca ni se pierda la cantidad de material.

Una vez que el material fue obtenido se determinó la calidad de los agregados pétreos mediante el ensayo de granulometría para lo cual fue necesario un juego de tamices (*JVLAB*), siendo estos 1", ¾", 3/8", #4, #8, #50, #200 además del uso del horno (*Controls*) con una temperatura controlada de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, también se utilizó una tamizadora eléctrica (*Endecotts*) cuya función es remover el juego de tamices y permitir que la muestra sea tamizada correctamente y que cada partícula sea retenida según su tamaño nominal. Por otro lado, para la determinación del porcentaje de desgaste por Abrasión fue necesario la implementación de la máquina de los Ángeles (*Pinzuar*) la cual al girar a 500 revoluciones a una velocidad constante generando así el desgaste del agregado, además se utilizó el tamiz N°12 (*JVLAB*) con el cual se determinó el peso de material retenido.

Por otra parte, en el desarrollo del ensayo de resistencia a la acción de los sulfatos se utilizó el horno (*Controls*) con una temperatura controlada de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, un juego de tamices (*JVLAB*) para agregado grueso y fino y un termómetro (*Grace*).

Finalmente, en el ensayo de caras fracturadas se implementó el uso del horno (*Controls*) con una temperatura controlada de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cabe mencionar que para el desarrollo de estos ensayos fue necesario la implementación de una balanza (*Precisur*) con una aproximación de 0,1 gr ya que con esta se pudo registrar los pesos en cada ensayo realizado.

Una vez que se determinó la calidad del agregado se realizó el ensayo de estabilidad Marshall para lo cual es necesario utilizar la máquina para pruebas de estabilidad Marshall (*Mastest*), se utilizó también el horno (*Controls*) con una temperatura controlada de $160\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por otro lado, para extraer la briqueta del molde se implementó la máquina prensadora (*Mastest*), también se implementó el uso de la máquina de baño María (*Fanem LTDA Modelo 100*) y la implementación de un termómetro (*Grace*) con el que determinó la temperatura a la que se encuentra la briqueta.

Con respecto a la segunda fase de la investigación la cual comprendió la determinación de las características mecánicas de mezclas asfálticas incorporando porcentajes de asfalto reciclado fueron necesarios los materiales descritos anteriormente en la fase número 1.

Por último, para completar la tercera fase de la investigación correspondiente a identificar el porcentaje óptimo de lana de acero fue necesario implementar la máquina para pruebas de estabilidad Marshall (*Mastest*).

Además, para el procesamiento de la información se utilizó el software Excel el cual por medio de hojas de cálculo permitió establecer los resultados de cada ensayo.



Fuente: Autor

2.2. Métodos

La presente investigación corresponde al desarrollo de un trabajo experimental que para su correcta elaboración fue necesario llevar a cabo una serie de procedimientos, como se destacó con anterioridad dividiendo la investigación en tres fases las cuales se explican a continuación:

2.2.1. Fase 1

La primera fase de la investigación consistió en determinar las propiedades mecánicas de los agregados vírgenes para lo cual se implementó una investigación de campo y una investigación de laboratorio.

La investigación de campo fue ejecutada al momento de la recolección de material pétreo virgen (agregado grueso y fino) y el material líquido asfáltico AC-20, mismos que fueron obtenidos de la empresa JEAL- Construcciones en la mina Las Viñas.

Fig. 4 Empresa Construcciones JEAL - Mina Las Viñas



Fuente: Autor

En cuanto a la investigación de laboratorio, está se llevó a cabo mediante el desarrollo de varios ensayos, tales como: Granulometría, Resistencia al Desgaste por Abrasión, Resistencia a la acción de los sulfatos, Gravedad específica para agregado fino y grueso, Caras Fracturadas, ensayo de Estabilidad Marshall, entre otros.

2.2.1.1. Análisis Granulométrico.

La granulometría constituye una de las propiedades físicas de los agregados que impacta directamente en la resistencia y elaboración de mezclas asfálticas. Conceptualmente la granulometría es la distribución, en porcentaje, de los diversos tamaños del agregado en una muestra.

El ensayo se lo realizó en base a la norma INEN 696 el cual cubre la determinación de la distribución por tamaño de las partículas de agregado fino y grueso mediante tamizado.

Se tamiza una muestra de agregado seco de masa conocida la cual es separada en una serie de tamices normados colocados progresivamente desde el más grande al más pequeño para determinar su distribución por tamaño de partículas. [13]

La granulometría estuvo compuesta de piedra triturada, grava triturada, la cual debe cumplir con los requisitos especificados en la Tabla 1.

Tabla 1. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada

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" (19.9 mm)	90-100	100	-	-
½" (12.7 mm)	-	90-100	100	-
3/8" (9.50 mm)	56-80	-	90-100	100
N4 (4.75 mm)	35-65	44-74	55-85	80-100
N8 (2.36 mm)	23-49	28-58	32-67	65-100
N16 (1.18 mm)	-	-	-	40-80
N30 (0.60 mm)	-	-	-	25-65
N50 (0.30 mm)	5-19	5-21	7-23	7-40
N100 (0.15 mm)	-	-	-	3-20
N200 (0.075 mm)	2-8	2-10	2-10	2-10

Fuente: Tabla 405-5.1 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes

2.2.1.2. Resistencia al Desgaste por Abrasión

Este ensayo fue realizado en base a la norma INEN 860, es utilizado para medir la resistencia a la abrasión o desgaste por fricción entre partículas. Durante la prueba agregados de hasta 37.5 mm son impactados dentro de un cilindro metálico por esferas de acero de diámetro aproximado 46.8 mm y una masa comprendida entre 390 g y 445 g, las cuales lo fracturan.

Durante el ensayo la máquina gira 500 revoluciones a una velocidad que se encuentra entre 30 r/min y 33 r/min durante un periodo de 15 minutos. Una vez que ha transcurrido el tiempo se procede a tamizar los residuos que provienen del tambor por el tamiz Nº12. Posteriormente se procede a pesar los agregados retenidos en el tamiz.

Tabla 2. Especificación de la carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±25
D	6	2500±25

Fuente: Norma INEN 860

Tabla 3. Gradación de muestras para ensayo de Abrasión

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm)		Masa por tamaños indicada (gr)			
Pasante	Retenido	Gradación			
		A	B	C	D
37.5	25.0	1250±25	-	-	-
25.0	19.0	1250±25	-	-	-
19.0	12.5	1250±10	2500±10	-	-
12.5	9.5	1250±10	2500±10	-	-
9.5	6.3	-	-	2500±10	-
6.3	4.75	-	-	2500±10	-
4.75	2.36	-	-	-	5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Fuente: Norma INEN 860

En este ensayo se determinó el porcentaje de desgaste que sufren los agregados al ser sometidos a una carga para la cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$D = \frac{B - C}{B} * 100\%$$

(Ec 1)

Donde:

- **D** Valor de degradación en %
- **B** Masa inicial
- **C** masa de la muestra retenida en el tamiz N°12 después del ensayo.

Fig. 5 Ensayo de Abrasión - Método B



Fuente: Autor

2.2.1.3. Resistencia a la acción de los sulfatos.

Para el desarrollo de este ensayo se utilizó la norma INEN 863 el cual establece el método de ensayo para estimar, por medio de soluciones saturadas con sulfato de sodio o con sulfato de magnesio, el desempeño de los áridos a la acción de la intemperie. Para lo cual es necesario realizar la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio y una vez hecha la mezcla se sumergió los agregados pétreos previamente tamizados en la solución y se los deja reposar en el horno por 24 ± 4 horas, una vez transcurrido el tiempo se retira los agregados del horno y se procede a retirar la solución y a secar los agregados, posteriormente se pesó el contenido y se registró el valor obtenido. Este proceso se realizó durante 5 ciclos de repetición según dicta la norma.




2.2.1.4. Gravedad específica (Agregado Grueso)

Para la determinación de este ensayo se utilizó la norma INEN 857 la cual establece que el agregado grueso debe ser sumergido en agua durante un periodo de $24h00 \pm 4h00$ una vez transcurrido el periodo de remojo se seca parcialmente cada partícula del agregado grueso para posteriormente pasar a ser pesado.

Este ensayo permite determinar el peso específico de los agregados con tamaño igual o mayor a 4,75 mm. Para el cálculo correspondiente se utilizará el método de la canastilla.

2.2.1.5. Gravedad específica (Agregado Fino)

Para el desarrollo de este ensayo se basó en los parámetros determinados en la Norma INEN 856 en donde se detalla el procedimiento a seguir para obtener los resultados correspondientes. El ensayo tiene como objetivo determinar el peso específico aparente de la porción fina además de determinar la cantidad de absorción de esta cuando es sumergida en agua por un periodo de $24h00 \pm 4h00$. Para ellos es necesario la implementación de un picnómetro en donde introduciremos la mezcla de agregado fino más agua.

Fig. 6 Ensayo Gravedad Específica para agregado Fino	Fig. 7 Picnómetro + muestra + agua	Fig. 8 Vaciado de la mezcla en un recipiente
		

Fuente: Autor

2.2.1.6. Caras Fracturadas.

Esta norma ASTM D 5821, describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos [18]. Para lo cual se implementó la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de caras fracturadas:

$$C = \left(\frac{B}{A}\right) * 100\%$$

(Ec 2)

Donde:

- **A** Peso exacto de las muestras tomadas para el ensayo
- **B** Peso del material con caras fracturadas para cada tamaño
- **C** Porcentaje de caras fracturadas para cada tamaño

Fig. 9 Agregado con una o varias caras fracturadas



Fuente: Autor

Una vez que se haya recolectado y analizado todo el material necesario para el desarrollo del proyecto se comenzó con la elaboración de mezclas asfálticas tradicionales utilizando material virgen para lo cual se utilizara el método Marshall.

2.2.1.7. Ensayo Marshall

La metodología de diseño utilizada en el desarrollo de este ensayo pertenece a la sección MTC E 504 con la cual se obtiene los parámetros Marshall para determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico en la mezcla convencional.

Para determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico se realizaron mezclas con 5 porcentajes diferentes de líquido asfáltico.

El método Marshall consiste en esencia, una vez fijada la granulometría de los agregados, en la preparación de probetas normalizadas, cada una de ellas con distinto contenido de betún, las probetas serán compactadas, y finalmente sometidas a rotura en la prensa Marshall [14]. Para lo cual será necesario fabricar 3 probetas como mínimo con cada porcentaje de líquido asfáltico.

Fig. 10 Briquetas Tradicionales



Fuente: Autor

Una vez realizado el proceso de elaboración las muestras serán sometidas a los siguientes ensayos:

- Determinación del peso específico “Bulk”
- Ensayo de estabilidad y flujo.
- Análisis de la densidad y vacíos.

Peso específico “Bulk” de las probetas compactadas, que es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables

$$\frac{D}{E - F}$$

(Ec 3)

Donde:

- **D** Peso en el aire de la probeta en gramos
- **E** Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca en gramos
- **F** Peso en gramos de la probeta en agua

Se calcula el peso específico máximo teórico (H) de la muestra para cada porcentaje de asfalto, el cual corresponde al que teóricamente se obtendrá si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una masa de asfalto y de agregados carente de vacíos con aire:

$$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{G_{agr}} + \frac{\%CA}{G_{asj}}}$$

(Ec 4)

El peso específico máximo medido de una mezcla asfáltica sin vacíos con aire (I) no compactada, se determina por medio del método desarrollado por James Rice y su valor es necesario para conocer el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada. Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco (J), para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizado:

$$\frac{(I - H) * 10^4}{I - H - \%Agreg}$$

(Ec 5)

Se calcula el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta (K):

$$\frac{\%Agreg * G}{G \text{ agreg}}$$

(Ec 6)

Se calcula el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta (L):

$$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$$

(Ec 7)

Se calcula el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta (M):

$$100 - K - L$$

(Ec 8)

Se determina el porcentaje de vacíos que contienen los agregados minerales en la mezcla compactada (N):

$$100 - K$$

(Ec 9)

Se determina el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla (O):

$$\%CA = \frac{J * \%Agreg}{100}$$

(Ec 10)

Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (P):

$$\frac{N - L}{N} * 100$$

(Ec 11)

Se pone la lectura que marca el dial de la Estabilidad Marshall (Q) al realizar el ensayo de la probeta de acuerdo con el procedimiento indicado. El valor de la estabilidad se registra en libras.

Se registra el factor de corrección que depende del espesor de las probetas (R)

Con los factores de corrección, se rectifican los valores de la estabilidad de cada probeta (S):

$$Q * S$$

(Ec 12)

Donde:

- **Q** Factor de corrección por espesor de la probeta
- **R** Valor correspondiente a la estabilidad en libras

(T) Representa el flujo que es el movimiento o deformación total que se produce en la briqueta desde el inicio de la carga, hasta que se consigue la máxima, viene expresado en centésimas de pulgada. [14]

Fig. 11 Determinación de la altura de cada briqueta



Fuente: Autor

Fig. 12 Ensayo Marshall



Fuente: Autor

Para determinar que los parámetros Marshall cumplan la norma establece las siguientes especificaciones.

Tabla 4. Criterios de Diseño mezclas asfálticas

Ensayos de acuerdo con el método Marshall	TRÁFICO							
	MUY PESADO		PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín.	Max	Mín.	Max	Min	Max	Min	Max
N° de golpes	75		75		50		35	
Estabilidad (lb)	2200		1800		1200		750	
Flujo (centésimas de pulgada)	8	14	8	16	8	18	8	20
Porcentaje de vacíos (%)	3	5	3	5	3	5	3	5
% de vacíos llenos de asfalto	65	75	65	75	65	78	70	80
Relación Filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% de vacíos llenos de agregado mineral	Ver Tabla VMA							

Fuente: MOP-001F 2002 Tabla 405-5.2

Tabla 5. Porcentaje de vacíos llenos de agregado mineral
Mínimo % de vacíos de agregado mineral (VMA)

Máximo tamaño de partículas nominal		% de Diseño vacíos con aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	N16	21.5	22.5	23.5
2.36	N8	19.0	20.0	21.0
4.75	N6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

Fuente: MOP-001F 2002 [16]

2.2.2. Fase 2

La segunda fase de la investigación consistió en la determinación de las propiedades mecánicas del material asfáltico reciclado además de la obtención del porcentaje óptimo de asfalto reciclado el cual fue obtenido de la vía Guadalupe- Patate perteneciente al cantón de Pelileo para ello se desarrollaron ensayos de granulometría, Ensayo de contenido de ligante asfáltico por medio de la centrífuga , ensayo de abrasión, para el cumplimiento de estos ensayos se realizó una investigación de campo y una investigación de laboratorio.

Fig. 13 Ubicación de la vía de donde se obtuvo el material asfáltico reciclado



Fuente: Google Earth

La investigación de campo se llevó a cabo al momento de recolectar el material asfáltico reciclado por medio de una máquina fresadora en frío la cual extrajo el material asfáltico directamente de la vía.

Fig. 14 Obtención de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En contraste la investigación de laboratorio se llevó a cabo mediante la implementación de ensayos mismos que fueron llevados a cabo mediante el uso de normas. Los ensayos realizados en esta segunda fase consistieron en el desarrollo de los ensayos realizados en la primera fase con la adición del ensayo de contenido de ligante asfáltico por medio de la centrífuga.

2.2.2.1. Ensayo de contenido de ligante asfáltico por medio de la centrífuga

Tiene por finalidad conocer el porcentaje de líquido asfáltico que presenta el material asfáltico reciclado. Para empezar, se extrae el líquido asfáltico por medio de la centrífuga incrementando gradualmente la velocidad, seguidamente se añade gasolina que para este caso se utilizó la gasolina Extra, hasta observar que por el dren de descarga fluya el líquido disolvente de un color marrón claro. Una vez lavadas las muestras, se retira cuidadosamente el papel filtro y el tazón de la centrífuga para llevar a secar al horno por 16 horas, posteriormente, se registró el peso final tanto de la muestra lavada como del papel filtro y calcular el porcentaje de líquido asfáltico de la muestra. [17]

Fig. 16 Inicio del lavado asfáltico



Fuente: Autor

Fig. 15 Muestra después de 8 ciclos de lavado



Fuente: Autor

2.2.3. Fase 3

La tercera fase de la investigación consistió en identificar el porcentaje óptimo de lana de acero que se implementó en el desarrollo de las mezclas asfálticas modificadas con material asfáltico reciclado, para el cumplimiento de estos ensayos se realizó una investigación de campo y una investigación de laboratorio.

La investigación de campo se llevó a cabo al momento de recolectar el material de refuerzo para lo cual se adquirió el (Lustre) lana de acero en el supermercado SuperMaxi, en contraste la investigación de laboratorio se llevó a cabo mediante la implementación de ensayos mismos que fueron llevados a cabo mediante el uso de normas. Los ensayos realizados en esta tercera fase son los mismos que se desarrolló en la primera fase.

Fig. 17 Lana de Acero



Fuente: Autor

Una vez que se realizaron los ensayos correspondientes a cada fase se pasó a digitalizar los valores obtenidos mediante una hoja de cálculo en el software Excel para finalmente procesar la información de cada uno de los ensayos y obtener resultados con los cuales se procederá a realizar las respectivas conclusiones y recomendaciones si ese fuere el caso.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados.

3.1.1. Material Asfáltico Tradicional.



3.1.1.1. Análisis Granulométrico.

Agregado Grueso

Para la realización de esta investigación se utilizó la graduación del tamiz $\frac{3}{4}$ ".

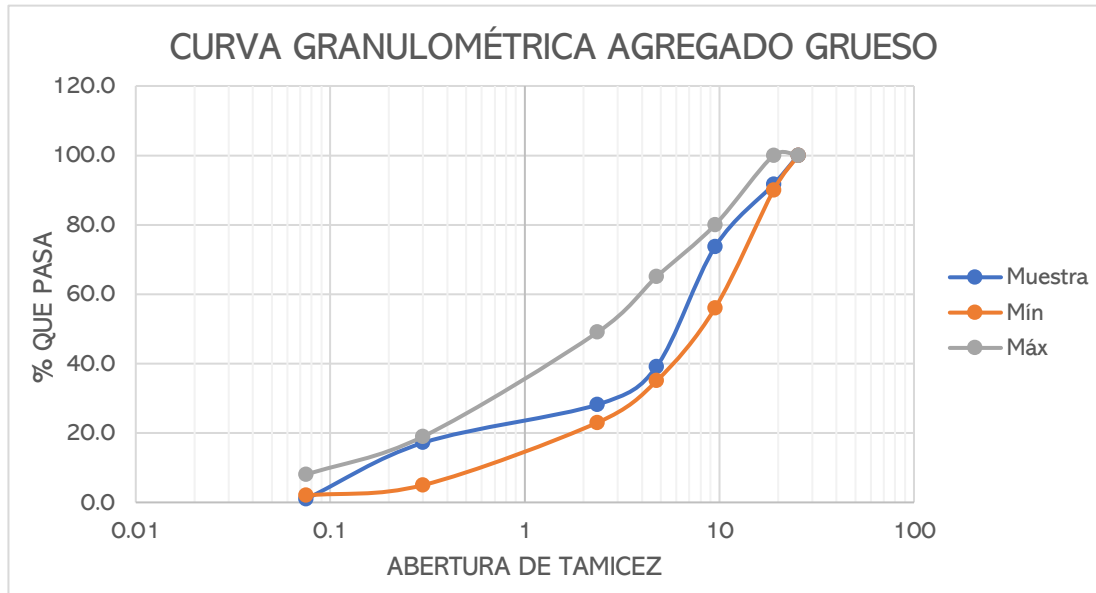
El agregado grueso virgen presenta la siguiente graduación.

Tabla 6. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS GRUESOS						
ORIGEN:		JEAL - Construcciones - Ambato				
ENSAYADO POR:		Cepeda Granda Ana Belén				
FECHA:		Martes 07 de noviembre, 2023				
NORMA:		INEN 696				
PESO DE LA MUESTRA:		5000 gr				
TAMIZ (pulg)	ABERTURA (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN (NEVI - 12) 3/4" MOP
1"	25.4	0	0	0.0	100.0	100
3/4"	19.0	416	416	8.3	91.7	90-100
3/8"	9.5	900	1316	26.3	73.7	56-80
N°4	4.75	1727	3043	60.9	39.1	35-65
N°8	2.36	547.5	3590.5	71.8	28.2	23-49
N°50	0.3	550	4140.5	82.8	17.2	5-19
N°200	0.075	810	4950.5	99.0	1.0	2-8
Bandeja		49.5	5000	100.0	0.0	-

Fuente: Autor

Fig. 18 Curva Granulométrica del agregado grueso





Fuente: Autor

Agregado Fino

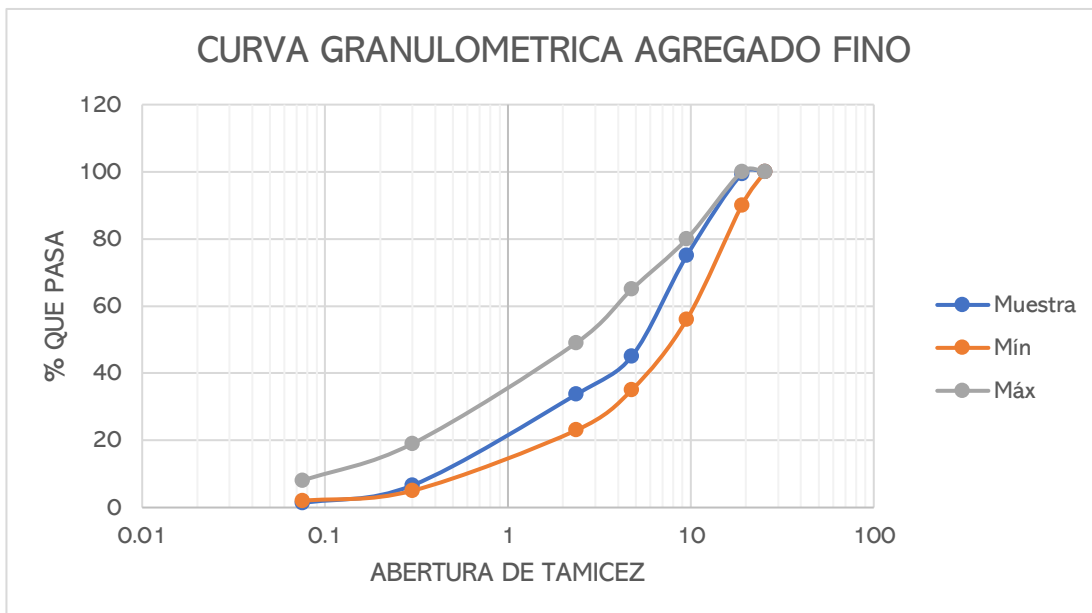
El agregado fino virgen presenta la siguiente gradación.

Tabla 7. Análisis Granulométrico Agregado Fino

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS GRUESOS						
ORIGEN:		JEAL - Construcciones - Ambato				
ENSAYADO POR:		Cepeda Granda Ana Belén				
FECHA:		Martes 07 de noviembre, 2023				
NORMA:		INEN 696				
PESO DE LA MUESTRA:		1000 gr				
TAMIZ (plg)	ABERTURA (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN (NEVI - 12)
1"	25.4	0	0	0	100	100
3/4"	19.0	6	6	0.6	99.4	90-100
3/8"	9.5	244	250	25	75	56-80
Nº4	4.75	300	550	55	45	35-65
Nº8	2.36	113.5	663.5	66.35	33.65	23-49
Nº50	0.3	270.5	934	93.4	6.6	5-19
Nº200	0.075	53	987	98.7	1.3	2-8
Bandeja		13	1000	100	0	-

Fuente: Autor

Fig. 19 Curva Granulométrica del agregado fino



Fuente: Autor

Los resultados mostrados en las figuras 18 y 19, indican que las curvas granulométricas tanto del agregado grueso como agregado del fino cumplen con el diseño granulométrico en la Tabla N°1 establecido por la norma MOP (NEVI 2023).

3.1.1.2. Características físicas del agregado grueso virgen.

La Tabla 8 presenta las características físicas y los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados al agregado grueso virgen, basándose en los requerimientos establecidos en el Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción EG 2013

Tabla 8. Características físicas del agregado grueso

ENSAYO	NORMA	RESULTADO	REQUERIMIENTO	CRITERIO
Absorción	INEN 856	1.6%	$\leq 2\%$	Cumple
Resistencia al Desgaste por Abrasión	INEN 860	35.08%	$\leq 40\%$	Cumple
Durabilidad al Sulfato de Sodio	INEN 863	11.00%	$\leq 12\%$	Cumple
Caras Fracturadas	ASTM D 5821	80%70%	85% 80%	Cumple

Fuente: Autor

Se observa en la tabla N° 8 que los ensayos realizados a los agregados cumplen con los requisitos establecidos por la norma por lo cual se procede a utilizar el agregado.

3.1.1.3. Características físicas del agregado fino virgen.

Tabla 9. Características físicas del agregado fino

ENSAYO	NORMA	RESULTADO	REQUERIMIENTO	CRITERIO
Absorción	INEN 856	1.6%	$\leq 2\%$	Cumple
Durabilidad al Sulfato de Sodio	INEN 863	11%	$\leq 12\%$	Cumple

Fuente: Autor

En la Tabla N° 9 se muestra las características físicas de agregado fino virgen, que cumplen en su totalidad con lo establecido en el Manual de Especificaciones Técnicas para Construcción EG 201 lo cual asegura que el agregado brindará propiedades de durabilidad a la mezcla asfáltica.

3.1.1.4. Diseño de mezcla asfáltica Tradicional

La Tabla 10 muestra de manera esquemática el porcentaje de agregados grueso, fino, filler y líquido asfáltico que posee cada espécimen fabricado en el laboratorio de pavimentos para la realización de cada mezcla.

Tabla 10. Diseño de mezcla asfáltica tradicional

TAMIZ	% QUE PASA (Especificación)	GRANULOMETRÍA DE DISEÑO	% RETENIDO	Peso Mate.	Peso Mate.	Peso Mate.	Peso Mate.	Peso Mate.
(plg)	%	%	%	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
1"	100	100%	0%	0	0	0	0	0
3/4"	90-100	95%	5%	57	56.7	56.4	56.1	55.8
3/8"	56-80	75%	20%	228	226.8	225.6	224.4	223.2
N°4	35-65	65%	10%	114	113.4	112.8	112.2	111.6
N°8	23-49	30%	35%	399	396.9	394.8	392.7	390.6
N°50	5-19	15%	15%	171	170.1	169.2	168.3	167.4
N°200	2-8	5%	10%	114	113.4	112.8	112.2	111.6
FILLER			5%	57	56.7	56.4	56.1	55.8
PORCENTAJE DE ASFALTO				5.00%	5.50%	6.00%	6.50%	7.00%
Asfalto Líquido				60	66	72	78	84
Agregados				1140	1134	1128	1122	1116
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Autor

Tabla 11. Porcentaje de líquido asfáltico y agregados grueso y fino

Asfalto Líquido (%)		5.0%	5.5%	6.0%	6.5%	7.0%
% Agregados	Agreg. Grueso (33%)	399	396.9	394.8	392.7	390.6
	Agreg. Fino (57%)	684	680.4	676.8	673.2	669.6
	Filler (5%)	57	56.7	56.4	56.1	55.8
Peso total del agregado (gr)		1140	1134	1128	1122	1116
Peso líquido asfáltico (gr)		60	66	72	78	84
Peso briqueta (gr)		1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Autor

3.1.1.5. Ensayo Rice

El ensayo Rice se determinó para cada porcentaje de líquido asfáltico ensayado, escogiendo un espécimen por cada porcentaje de líquido asfáltico. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 12. Ensayo Rice - Mezcla Tradicional

Líquido Asfáltico (%)	Ensayo Rice (%)
5%	2.412
5.5%	2.414
6%	2.482
6.5%	2.323
7%	2.366

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la tabla 12 se encuentran en el rango de aceptación determinados en la figura 20 ya que como se puede apreciar los resultados van desde 2.366% hasta 2.412%. Por lo cual se puede inferir que la mezcla asfáltica realizada cumple con el rango de aceptación de porcentaje de vacíos con aire y se encuentra en el rango de Muy Bueno. Se puede apreciar también que mientras va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico el porcentaje de vacíos va decreciendo esto debido a que los vacíos existentes se llenan de material mineral en este caso Filler y también son llenados con el líquido asfáltico

Fig. 20 Rangos aceptables del ensayo Rice

RANGO: 2.1 - 2.8
MUY BUENO: 2.3 - 2.5
NO TAN BUENO: MENOR A 2.3 Y MAYOR A 2.5

Fuente: Autor

3.1.1.6. Ensayo Marshall

Tabla 13. Ensayo Marshall Mezcla Tradicional.

Peso específico de los agregados para diseño (Gagr): 2.612 gr/cm ³ Peso específico del asfalto (Gsaf): 1.009 gr/cm ³																				
MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO (gr)			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (lbf)			FLUJO pulg/100	
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MAXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
% Agreg						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gsaf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} * 100$			Q * R		
95.00	B1	5.00	6.80	1191.50	1199.00	645.20	2.15									5641	0.898	5062.92	8.13	
	B2		6.73	1187.40	1198.30	651.60	2.17										5092	0.908	4620.74	10.19
	B3		6.63	1183.60	1190.20	644.20	2.17										6138	0.930	5708.07	10.93
	PROMEDIOS					2.15	2.420	2.412	0.136	78.20	10.87	10.93	21.80	4.87	50.14			5130.58	9.75	
94.50	B4	5.50	6.76	1180.70	1187.70	634.80	2.14									5370	0.908	4873.50	9.89	
	B5		6.70	1185.60	1193.40	647.50	2.17										5242	0.923	4835.43	10.68
	B6		6.66	1182.30	1188.90	643.20	2.17										5948	0.930	5531.21	9.86
	PROMEDIOS					2.16	2.402	2.414	0.223	78.07	10.62	11.31	21.93	5.29	51.57			5080.05	10.14	
94.00	B7	6.00	6.43	1191.70	1192.90	662.40	2.25									5569	0.965	5373.84	10.96	
	B8		6.50	1184.40	1188.20	652.20	2.21										5394	0.934	5039.66	11.59
	B9		6.36	1182.30	1184.60	659.90	2.25										5955	0.996	5928.67	11.09
	PROMEDIOS					2.24	2.385	2.482	1.750	80.48	9.90	9.62	19.52	4.35	49.29			5447.39	11.21	
93.50	B10	6.50	6.46	1189.40	1190.90	658.00	2.23									4244	0.952	4039.33	6.06	
	B11		6.56	1186.90	1191.70	655.70	2.21										4629	0.930	4304.84	10.92
	B12		5.70	1189.30	1191.20	665.90	2.26										4610	1.198	5520.71	10.46
	PROMEDIOS					2.24	2.368	2.323	0.875	80.07	3.69	16.24	19.93	5.68	81.48			4621.63	9.15	
93.00	B13	7.00	5.40	1189.50	1065.30	590.80	2.51									3960	1.320	5227.00	11.50	
	B14		6.30	1184.40	1179.60	643.10	2.21										4887	1.013	4948.47	11.58
	B15		6.50	1181.00	1174.60	641.00	2.21										4553	0.934	4254.51	10.19
	PROMEDIOS					2.31	2.351	2.366	0.305	82.22	2.41	15.37	17.78	6.72	86.43			4809.99	11.09	

A continuación, se muestran los resultados del diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional.

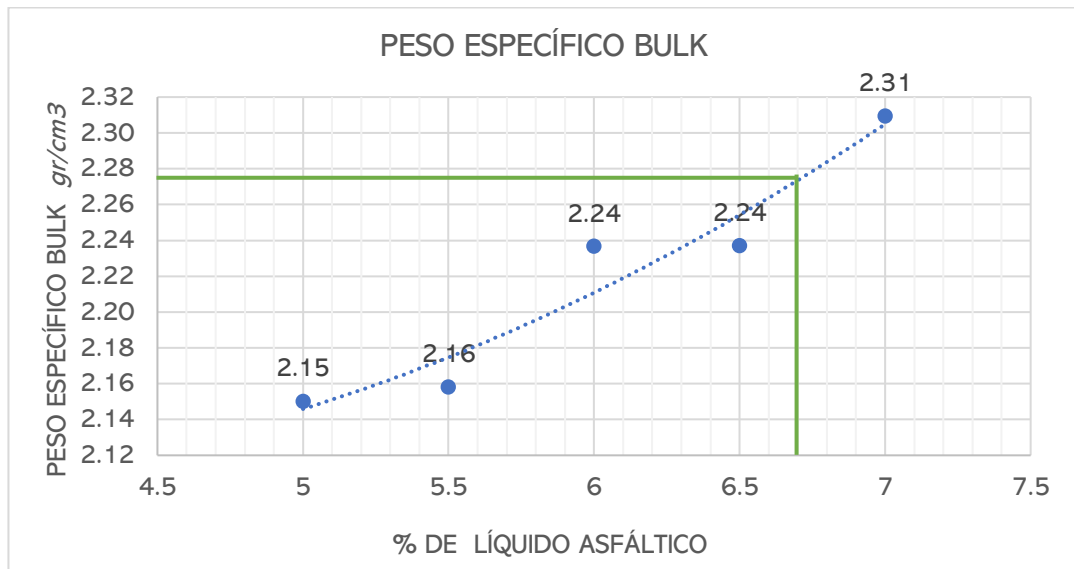
Tabla 14. Resultados Ensayo Marshall tradicional

ASFALTO LÍQUIDO (%)	BULK (gr)	VACÍOS (%)			ESTABILIDAD (lbf)	FLUJO (pulg)
		AIRE	Agreg. Mineral	Lleno de Asfalto		
5	2.15	10.87	21.80	50.14	5130.58	9.75
5.5	2.16	10.62	21.93	51.57	5080.05	10.14
6	2.24	9.90	19.52	49.29	5447.39	11.21
6.5	2.24	3.69	19.93	81.48	4621.63	9.15
7	2.31	2.41	17.78	86.43	4809.99	11.09

Fuente: Autor

Una vez que los resultados fueron obtenidos se realizaron gráficos de densidad, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo, con los que se determinó el porcentaje óptimo de líquido asfáltico. A continuación, se muestran las figuras:

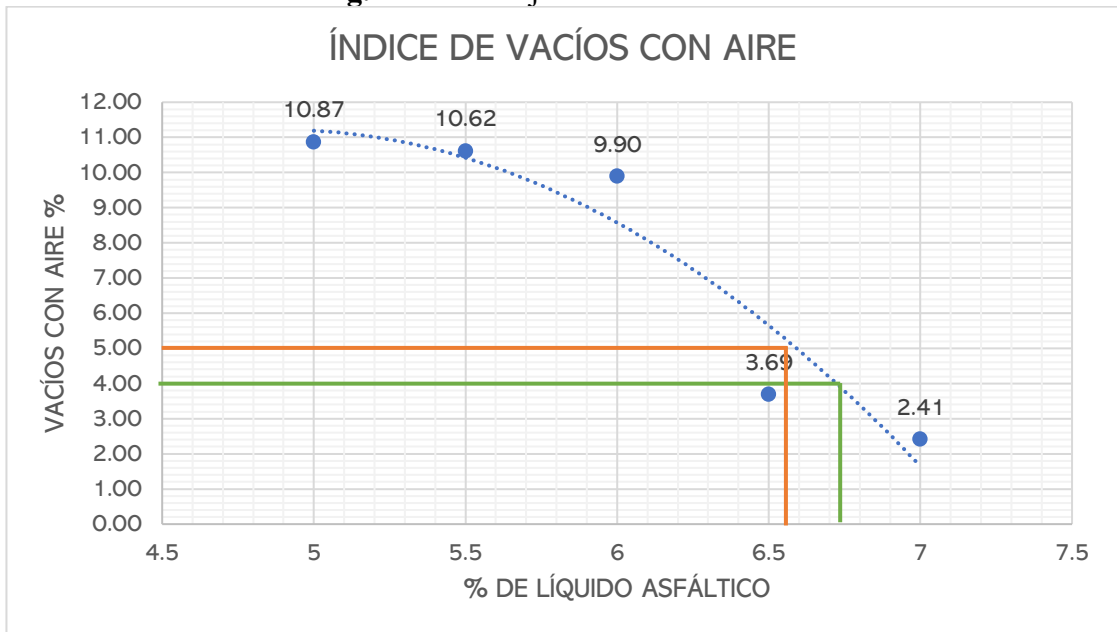
Fig. 21 Densidad Bulk



Fuente: Autor

En la figura N 21 se determina la curva de densidad Bulk Vs contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas convencionales en donde se aprecia que los valores de densidad Bulk de la mezcla convencional van aumentando su valor mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

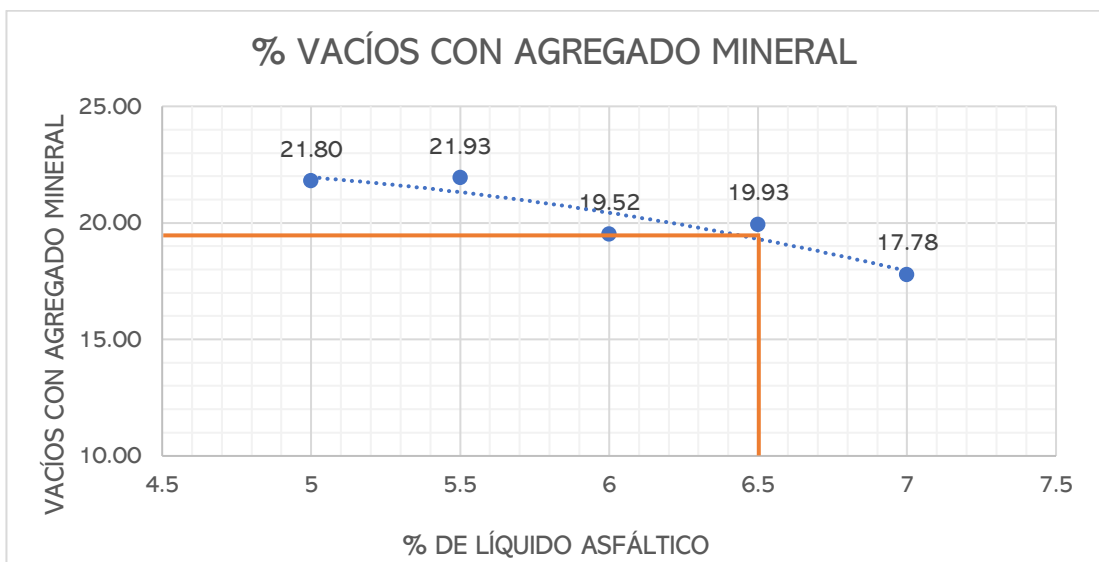
Fig. 22 Porcentaje de vacíos con aire



Fuente: Autor

En la figura N 22 se puede observar la curva generada entre el porcentaje de vacíos con aire y el contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas convencionales en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos van decreciendo su valor mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son inversamente proporcionales.

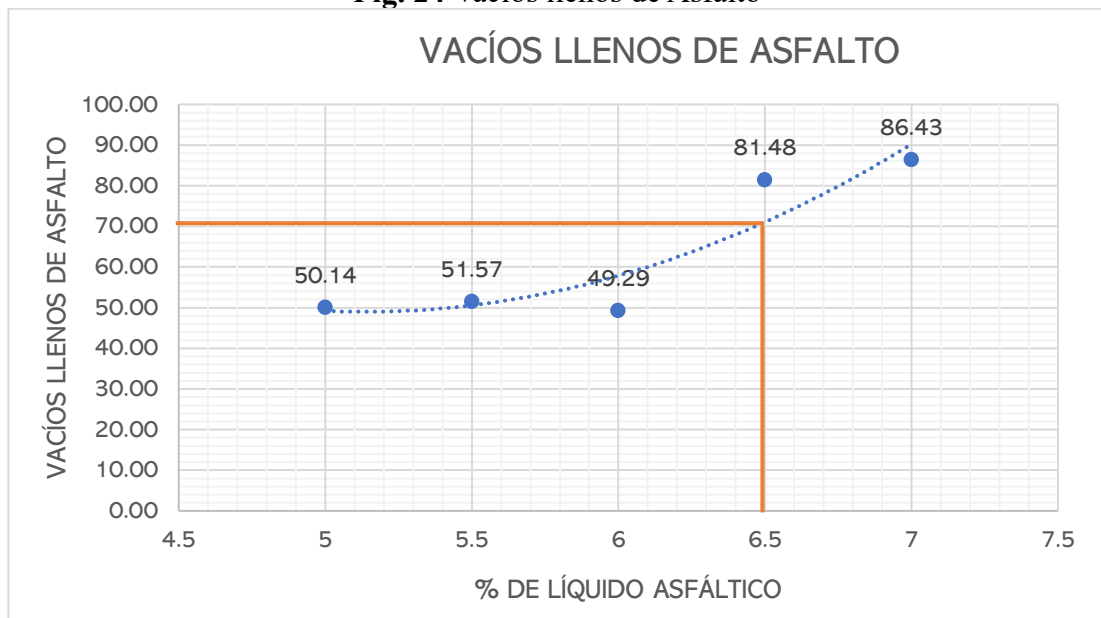
Fig. 23 Vacíos con Agregado Mineral



Fuente: Autor

En la figura N 23 se representa la curva realizada entre el porcentaje de vacíos con agregado mineral versus contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas convencionales en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos con agregado mineral van decreciendo su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 6.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son inversamente proporcionales.

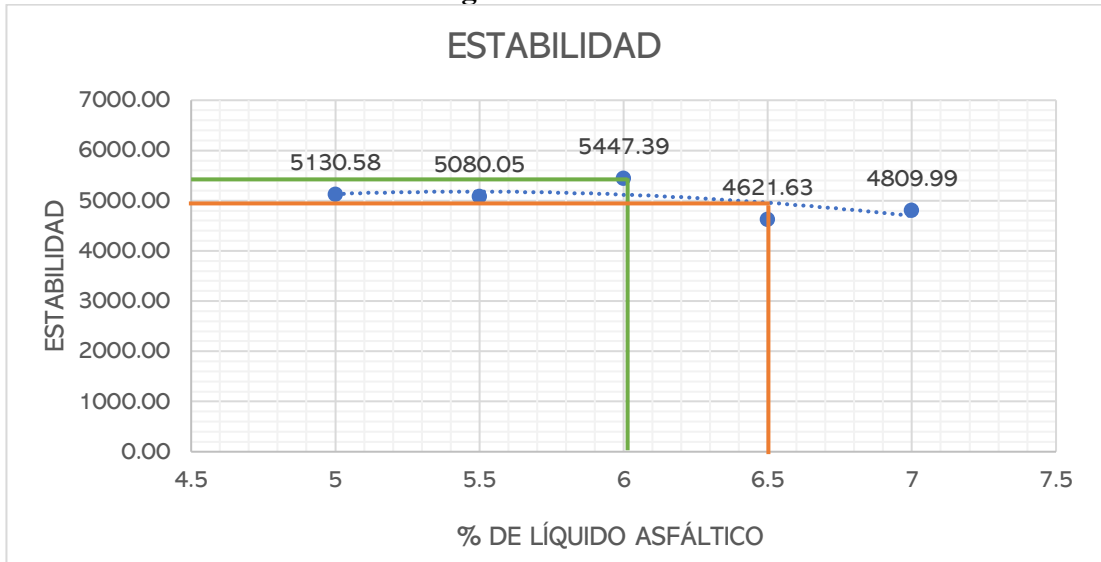
Fig. 24 Vacíos llenos de Asfalto



Fuente: Autor

En la figura N 24 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos llenos de asfalto versus contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas convencionales en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos llenos de asfalto van aumentando su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 6, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

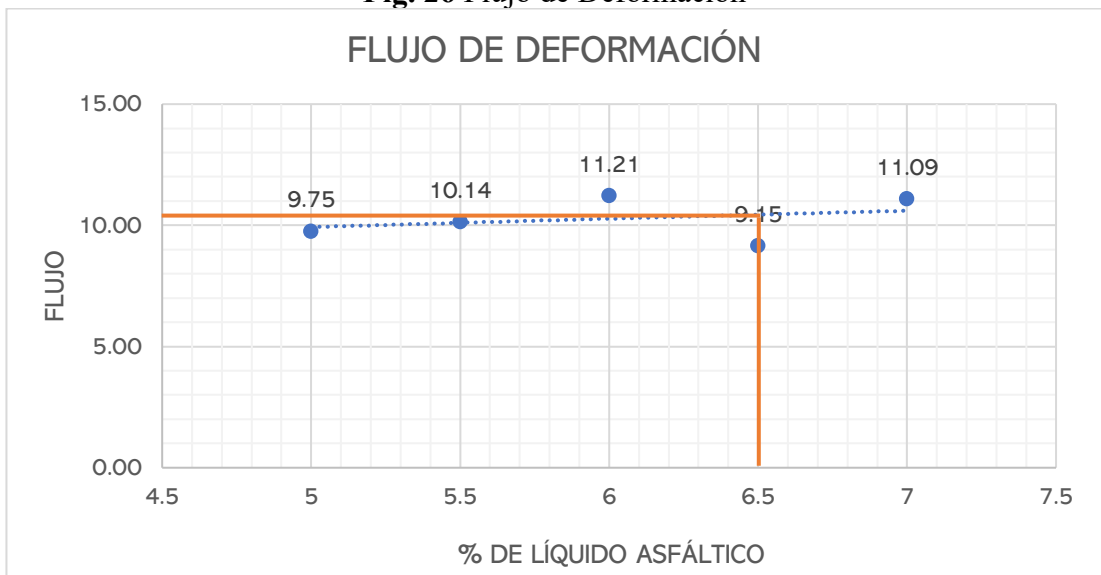
Fig. 25 Estabilidad



Fuente: Autor

En la figura N 25 se puede observar la curva generada entre la estabilidad y el contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas convencionales en donde se aprecia que los valores de estabilidad van decreciendo su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 6, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son indirectamente proporcionales.

Fig. 26 Flujo de Deformación



Fuente: Autor

En la figura N 26 se registra la curva generada entre el flujo de deformación y el contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas convencionales en donde se aprecia que los valores de flujo van aumentando su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 6.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

3.1.1.7. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo

Para la obtención del porcentaje de líquido asfáltico óptimo se toman en cuenta tres de las curvas representadas en las figuras 21, 22 y 25, el resultado promediado de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto líquido.

Tabla 15. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico

Peso Específico Bulk	6.70%
Índice de Vacíos con Aire	6.75%
Estabilidad	6.00%
Contenido óptimo de Asfalto	6.50%

Fuente: Autor

La tabla N 15 indica el porcentaje de líquido asfáltico óptimo que se obtuvo mediante el ensayo Marshall para la mezcla de material asfáltico tradicional dando como resultado un porcentaje de 6.5%

3.1.1.8. Criterios de Diseño para mezclas Marshall

Una vez realizadas las figuras con los parámetros Marshall y obtenido el porcentaje de líquido asfáltico óptimo se procede a determinar los criterios de diseño obteniendo los valores proyectados en cada gráfica. (ver Fig. 21,22,23,24,25,26)

Se procedió a determinar si los valores obtenidos cumplen con las características establecidas en la norma y determinar si la mezcla realizada es aceptable.

Tabla 16. Criterios de Diseño

CRITERIO DE MEZCLA	DISEÑO DE MEZCLA	
Estabilidad (lb)	5000	OK
Flujo (centésimas de pulgada)	10.50	OK
Porcentaje de vacíos (%)	4.90	OK
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	70.00	OK
Relación <i>FILLER/Betun</i>	0.8	OK
Porcentaje de vacíos con agregado mineral (%)	19.00	OK

Fuente: Autor

La tabla N 16 indica que para los 6 parámetros establecidos por la norma MOP los resultados obtenidos en los ensayos previamente elaborados cumplen con las especificaciones dadas lo cual proporciona un criterio positivo acerca de la mezcla de material asfáltico tradicional realizada.



Se puede observar que la mezcla tradicional realizada (ver Tabla N° 9) con un porcentaje de asfalto óptimo de 6.5% presenta una estabilidad de 5000 lb (ver Fig. 25) la cual es mayor al valor mínimo establecido por la norma (ver Tabla N° 4) por otro lado se puede apreciar que el flujo determinado para esta mezcla dio como resultado 10.50 (ver Fig. 26) el cual también supera al valor mínimo establecido, el porcentaje de vacíos arrojó como resultado un porcentaje de 4.9 (ver Fig. 22) un valor que se encuentra en el límite del rango establecido pero que aún así cumple con lo solicitado en la norma. Por otra parte, se puede observar que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto dio como resultado un valor de 70% (ver Fig. 24) valor que es aceptable en relación con las solicitudes, la relación entre filler y betún también arrojó un valor de 0.8 el cual se encuentra en el límite de los establecido pero que aún así se encuentra en el rango de lo permitido.

3.1.2. Material Asfáltico Reciclado.

3.1.2.1. Extracción cuantitativa de asfalto

La Tabla 17 presenta el porcentaje de líquido asfáltico de una muestra recuperada de la carpeta asfáltica perteneciente a la vía Guadalupe – Patate del cantón Pelileo.

Tabla 17. Extracción cuantitativa de asfalto líquido

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE- PATATE.			
CONTENIDO DE LIGANTE LIGANTE ASFÁLTICO EN MEZCLAS DE PAVIMENTOS (POR MEDIO DE LA CENTRÍFUGA)			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate cantón Pelileo		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 18 de diciembre, 2023		
NORMA:	ASTM D 2172		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	NOMENCLARURA	VALOR
PESO DE LA MUESTRA			
Peso recipiente	gr	A	255.3
Peso recip. + muestra	gr	B	3160.1
Peso muestra $C=(A-B)$	gr	C	2904.8
PESO FILTRO			
Peso inicial	gr	D	20.5
Peso final	gr	E	23.5
Peso aumentado $F=(D-E)$	gr	F	3.00
LÍQUIDO DE LA EXTRACCIÓN			
Vol. total de la extracción	ml	G	11880
Alicuota	ml	H	50.00
TOTAL $I=(G/H)$	ml	I	237.6
PESO CENIZAS EN EL FILTRO			
Peso crisol	gr	J	135.6609
Peso crisol + residuo	gr	K	135.6886
Peso de residuo $L=(J-K)$	gr	L	0.0277
Peso total de las cenizas $M=(L*I)$	gr	M	6.5815
PESO DEL AGREGADO			
Peso recipiente	gr	N	255.3
Peso recip. + agregado	gr	O	3310.9
Peso del agregado $P=(N-O)$	gr	P	3055.6
PESO TOTAL DE LOS AGREGADOS			
Peso del agregado	gr	Q	3055.6
Peso total de las cenizas	gr	R	6.5815
Peso aumentado	gr	S	3.00
PESO TOTAL DEL AGREGADO $T=(Q+R+S)$	gr	T	3065.1815
CONTENIDO DE ASFALTO LÍQUIDO			
Peso de líquido asfáltico en la muestra $U=(C-T)$	gr	U	160.3815
Porcentaje de líquido asfáltico $V=U/(C*100)$	%	V	5.521
Porcentaje de líquido asfáltico encontrado		%	5.521

Fuente: Autor

Esto significa que la carpeta asfáltica reciclada presenta en la actualidad un contenido de asfalto de 5.521%, por lo cual se ahorrará cemento asfáltico en el nuevo diseño de mezcla en caliente con la adición de material asfáltico reciclado.

Se determina el porcentaje de cemento asfáltico exacto, luego de calcular el porcentaje de cemento asfáltico óptimo para cada diseño de mezcla con las variaciones de 20%, 40% y 60% de material asfáltico reciclado.

3.1.2.2. Análisis Granulométrico.

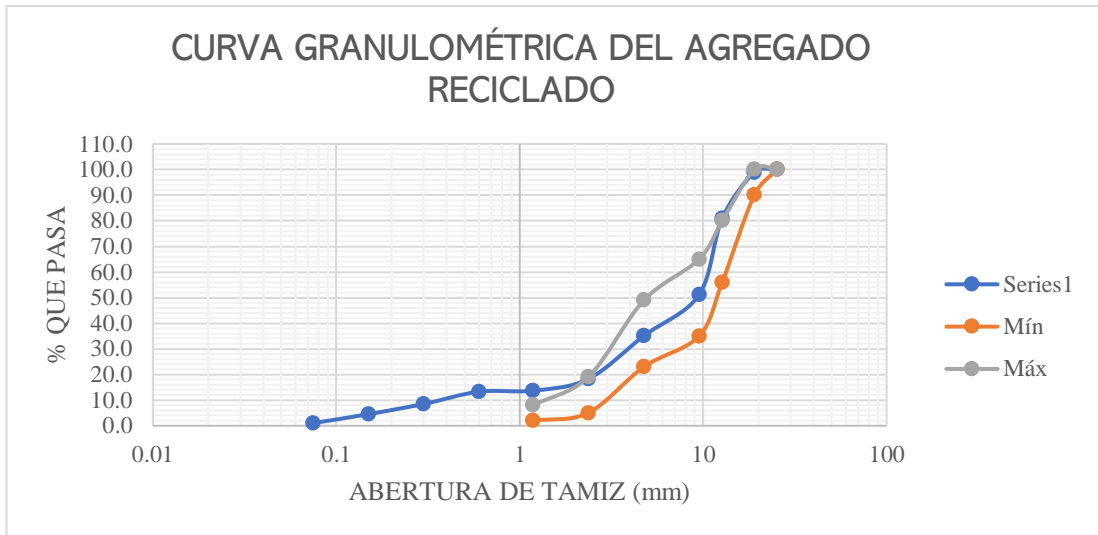
La Tabla 18 presenta el análisis granulométrico de la muestra N1 del material asfáltico reciclado, es necesario reiterar que, para realizar este ensayo necesariamente se tuvo que extraer el porcentaje de cemento asfáltico con el ensayo anterior

Tabla 18. Análisis Granulométrico del Agregado Reciclado

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div> 						
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS RECICLADOS						
ORIGEN:		Vía Guadalupe- Patate cantón Pelileo				
ENSAYADO POR:		Cepeda Granda Ana Belén				
FECHA:		Miércoles 20 de diciembre, 2023				
NORMA:		ASTM D 2172				
TAMIZ (plg)	ABERTURA (mm)	RETENIDO PARCIAL (gr)	RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN (NEVI - 12) 3/4" MOP
1"	25.4	0	0	0.0	100.0	100
3/4"	19.0	33.8	33.8	1.2	98.8	-
1/2"	12.7	522.7	556.5	19.0	81.0	90-100
3/8"	9.5	871.8	1428.3	48.9	51.1	56-80
Nº4	4.75	467.8	1896.1	64.9	35.1	35-65
Nº8	2.36	493.4	2389.5	81.8	18.2	23-49
Nº16	1.18	132.1	2521.6	86.3	13.7	-
Nº30	0.60	11.1	2532.7	86.7	13.3	-
Nº50	0.30	140.2	2672.9	91.5	8.5	5-19
Nº100	0.15	116.5	2789.4	95.5	4.5	-
Nº200	0.075	101.8	2891.2	99.0	1.0	2-8
Bandeja		30.6	2921.8	100.0	0.0	-

Fuente: Autor

Fig. 27 Curva Granulométrica del asfalto reciclado



Fuente: Autor

Los resultados mostrados en la figura 27, indican la curva granulométrica generada con el material reciclado una vez que se ha extraído el líquido asfáltico en donde se puede observar que la granulometría en su mayor parte cumple con los límites establecidos por la norma MOP-001-F-2002. Sin embargo, la cantidad de finos en el tamiz N°200 no se encuentra en el límite permitido, no obstante, se tratará de mejorar la gradación con la ayuda de agregado pétreo virgen.

3.1.2.3. Resistencia al Desgaste por Abrasión

Tabla 19. Resistencia al Desgaste por Abrasión

RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN		
ORIGEN:	JEAL - Construcciones - Ambato	
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén	
FECHA:		
NORMA:	INEN 860	
PESO DE LA MUESTRA:	5000 gr	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Masa de la muestra a ensayar (<i>A</i>)	gr	5000
Masa de la muestra despues del ensayo (<i>B</i>)	gr	3308
Masa perdida por desgaste $C = A - B$	gr	1692
Desgaste del agregado $D = (C/A) * 100\%$	%	33.84

Condición que establece la Norma	<40%	CUMPLE
----------------------------------	------	--------

Fuente: Autor

En la Tabla N 19 se presenta el ensayo al desgaste por abrasión realizado al agregado asfáltico reciclado se lo efectuó mediante el método D con el cual se obtuvo resultados favorables teniendo como valor final un desgaste del 33.84 % estando dentro del desgaste permitido por la norma INEN 860.

3.1.2.4. Diseño de mezcla asfáltica – 20% de material asfáltico reciclado

La Tabla 20 presenta de forma esquemática el porcentaje de sustitución de agregados, filler, material asfáltico reciclado y el contenido de líquido asfáltico de cada uno de los especímenes que se fabricaron. Cabe señalar que el 20% de material asfáltico reciclado, aporta aproximadamente con 1.104% de líquido asfáltico a la mezcla.

Tabla 20. Diseño de Mezcla MAC - 20% Asfalto Reciclado

TAMIZ (plg)	% QUE PASA (Especificación) %	GRANULOMETRÍA DE DISEÑO %	% RETENIDO %	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
				Asf. Reciclado 20% (gr)	Asf. Reciclado 20% (gr)	Asf. Reciclado 20% (gr)	Asf. Reciclado 20% (gr)	Asf. Reciclado 20% (gr)
1"	100	100	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	90-100	95	5%	57.7	57.4	57.1	56.8	56.5
3/8"	56-80	75	20%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº4	35-65	55	10%	115.3	114.7	114.1	113.5	112.9
Nº8	23-49	30	35%	403.6	401.5	399.4	397.3	395.2
Nº50	5-19	10	15%	173.0	172.1	171.2	170.3	169.4
Nº200	2-8	5	10%	115.3	114.7	114.1	113.5	112.9
FILLER			5%	57.7	57.4	57.1	56.8	56.5
% de Asfalto				3.90%	4.40%	4.90%	5.40%	5.90%
Asfalto Líquido				47	53	59	65	71
Asfalto reciclado				230.65	229.45	228.25	227.05	225.85
Agregados Tradicionales				922.60	917.80	913.00	908.20	903.40
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Autor

3.1.2.5. Ensayo Rice

El ensayo Rice se determinó para cada porcentaje de líquido asfáltico ensayado un espécimen por cada porcentaje de líquido asfáltico. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 21. Ensayo Rice - 20% de Material Asfáltico Reciclado

Líquido Asfáltico (%)	Ensayo Rice (%)
5%	2.373
5.5%	2.382
6%	2.368
6.5%	2.301
7%	2.246

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la Tabla N 21 se encuentran en el rango establecido de aceptación determinados en la figura 28 siendo que los resultados van desde 2.373% hasta el 2.446%. Por lo cual se puede inferir que la mezcla asfáltica realizada con el 20% de material asfáltico reciclado cumple con la solicitud del ensayo Rice y se encuentra en un rango de Muy Bueno.

Fig. 28 Rangos aceptables del ensayo Rice

RANGO: 2.1 - 2.8
MUY BUENO: 2.3 - 2.5
NO TAN BUENO: MENOR A 2.3 Y MAYOR A 2.5

Fuente: Norma ASTM D 2041

3.1.2.6. Ensayo Marshall

Para determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico en la mezcla asfáltica elaboramos mezclas con 5 contenidos de líquido asfáltico diferentes (ver Tabla 24).

Los parámetros Marshall para cada contenido de líquido asfáltico, se promedian los resultados de 3 especímenes, cuyos valores no difieren entre ellas. Se muestra los resultados del diseño Marshall de la MAC – 20% material asfáltico reciclado.

Tabla 22. Ensayo Marshall mezcla 20% de asfalto reciclado

MUESTRA No.		CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO (gr)			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (lbf)			FLUJO pulg/100		
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA			
A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T		
							$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} * 100$				Q * R		
% Agreg	95.00	B1	5.00	6.80	1199.50	1207.60	663.40	2.20									4854	0.898	4356.36	10.20		
		B2		6.70	1195.50	1205.50	650.00	2.15										4567	0.923	4212.88	9.24	
		B3		6.80	1198.50	1209.40	660.50	2.18											4708	0.898	4225.82	10.43
		PROMEDIOS						2.18	2.420	2.373	0.849	79.28	8.16	12.56	20.72	4.19	60.63			4265.02	9.95	
	94.50	B4	5.50	6.80	1194.00	1202.70	647.70	2.15										6018	0.898	5400.86	10.52	
		B5		6.80	1195.60	1205.00	650.20	2.16											5505	0.898	4940.85	9.57
		B6		6.70	1195.50	1204.30	661.00	2.20											5773	0.923	5325.88	11.19
		PROMEDIOS						2.17	2.402	2.382	0.374	78.47	8.94	12.59	21.53	5.15	58.48			5222.53	10.42	
	94.00	B7	6.00	6.60	1173.00	1180.80	641.60	2.18										5713	0.930	5313.36	10.83	
		B8		6.80	1188.90	1186.50	659.20	2.25											5490	0.898	4927.13	9.15
		B9		6.70	1190.50	1178.20	655.80	2.28											5248	0.923	4841.24	9.28
		PROMEDIOS						2.24	2.385	2.368	0.307	80.48	5.57	13.94	19.52	5.71	71.44			5027.24	9.75	
93.50	B10	6.50	6.60	1182.80	1189.10	657.10	2.22										5694	0.930	5295.59	11.88		
	B11		6.80	1190.50	1192.10	659.00	2.23											5548	0.898	4979.59	12.22	
	B12		6.80	1185.90	1190.00	650.50	2.20											5467	0.898	4906.55	12.67	
	PROMEDIOS						2.22	2.368	2.301	1.306	79.40	3.60	17.00	20.60	5.28	82.53			5060.58	12.26		
93.00	B13	7.00	6.50	1189.20	1178.90	644.10	2.22										4324	0.934	4039.84	10.48		
	B14		6.80	1175.60	1175.60	634.50	2.17											4126	0.898	3703.07	6.07	
	B15		6.60	1189.90	1179.70	635.90	2.19											4079	0.930	3793.88	6.48	
	PROMEDIOS						2.19	2.351	2.246	2.133	78.15	2.28	19.58	21.85	5.02	89.59			3845.60	7.68		

A continuación, se muestran los resultados del diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional.

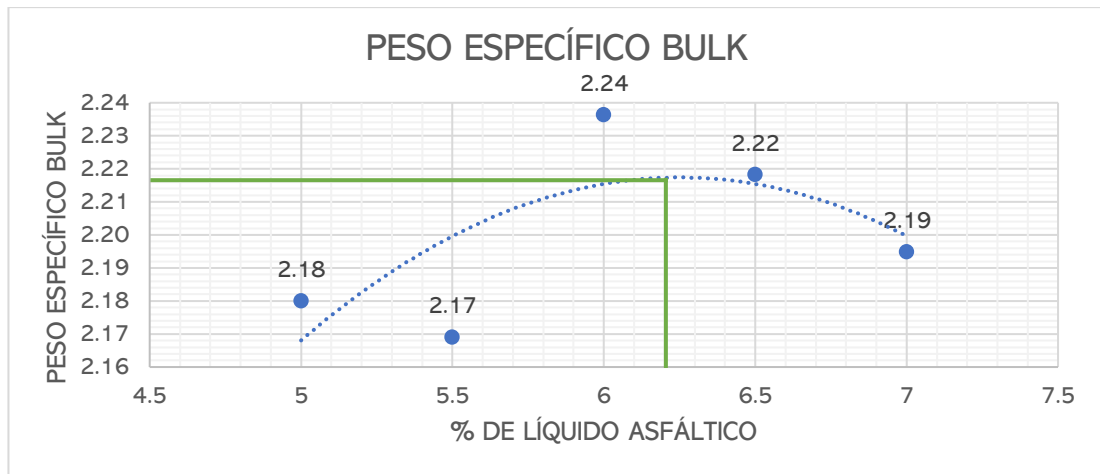
Tabla 23. Resultados de Ensayo Marshall 20% de material asfáltico reciclado

ASFALTO LÍQUIDO (%)	BULK (gr)	VACÍOS (%)			ESTABILIDAD (lbf)	FLUJO (pulg)
		AIRE	Agreg. Mineral	Lleno de Asfalto		
5	2.18	8.16	20.72	60.63	4265.02	9.95
5.5	2.17	8.94	21.53	58.48	5222.53	10.42
6	2.24	5.57	19.52	71.44	5027.24	9.75
6.5	2.22	3.60	20.60	82.53	5060.58	12.26
7	2.19	2.28	21.85	89.59	3845.60	7.68

Fuente: Autor

Una vez que los resultados fueron obtenidos se realizaron gráficos de densidad, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo, con los que se determinó el porcentaje óptimo de líquido asfáltico. A continuación, se muestran las figuras:

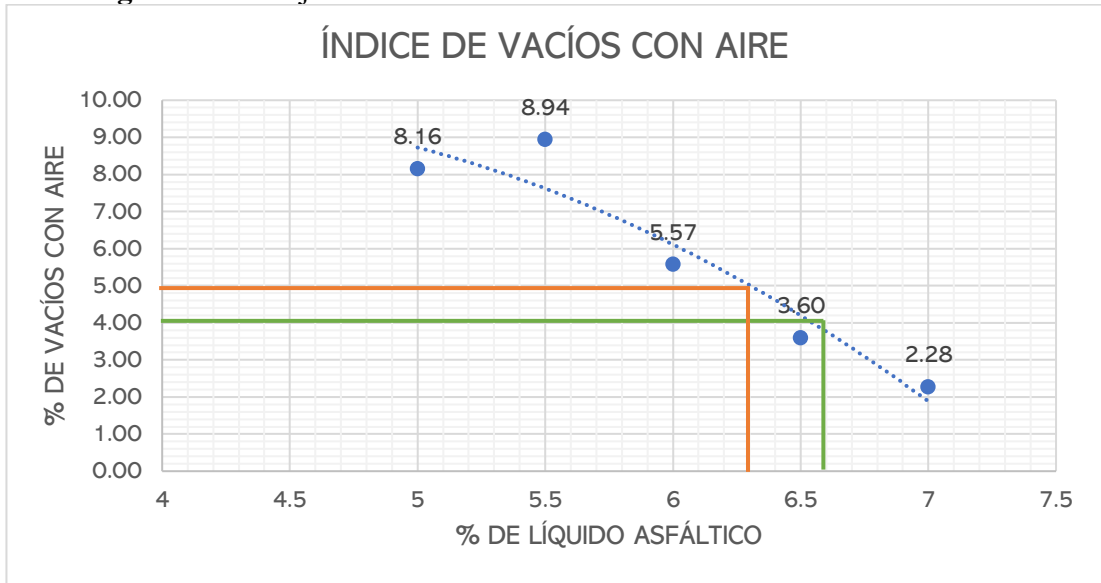
Fig. 29 Densidad Bulk 20% de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En la figura N 29 se puede observar la curva de densidad Bulk Vs contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas tradicionales incorporando 20% de material asfáltico reciclado en donde se aprecia que los valores de densidad Bulk de la mezcla MAC-20% AR tienden a aumentar su valor de densidad mientras aumenta el contenido de asfalto hasta un 6% sin embargo la densidad comienza a decrecer mientras sigue aumentando el porcentaje de líquido asfáltico.

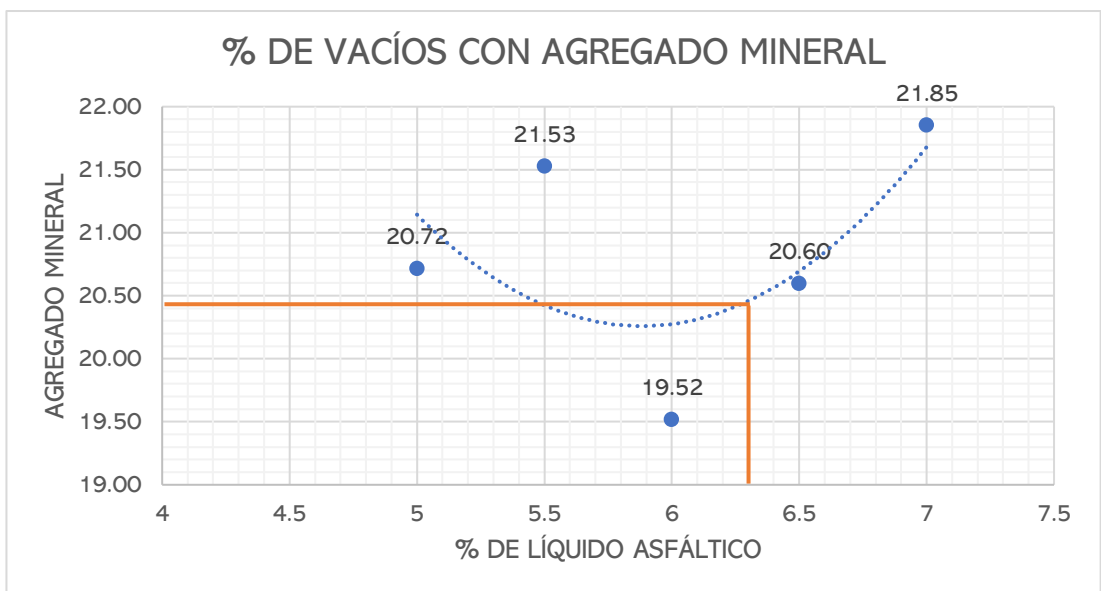
Fig. 30 Porcentaje de vacíos con aire 20% de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En la figura N 30 se puede observar la curva generada entre el porcentaje de vacíos con aire y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-20% AR en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos van decreciendo su valor a excepción del valor obtenido en el porcentaje 5.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son inversamente proporcionales.

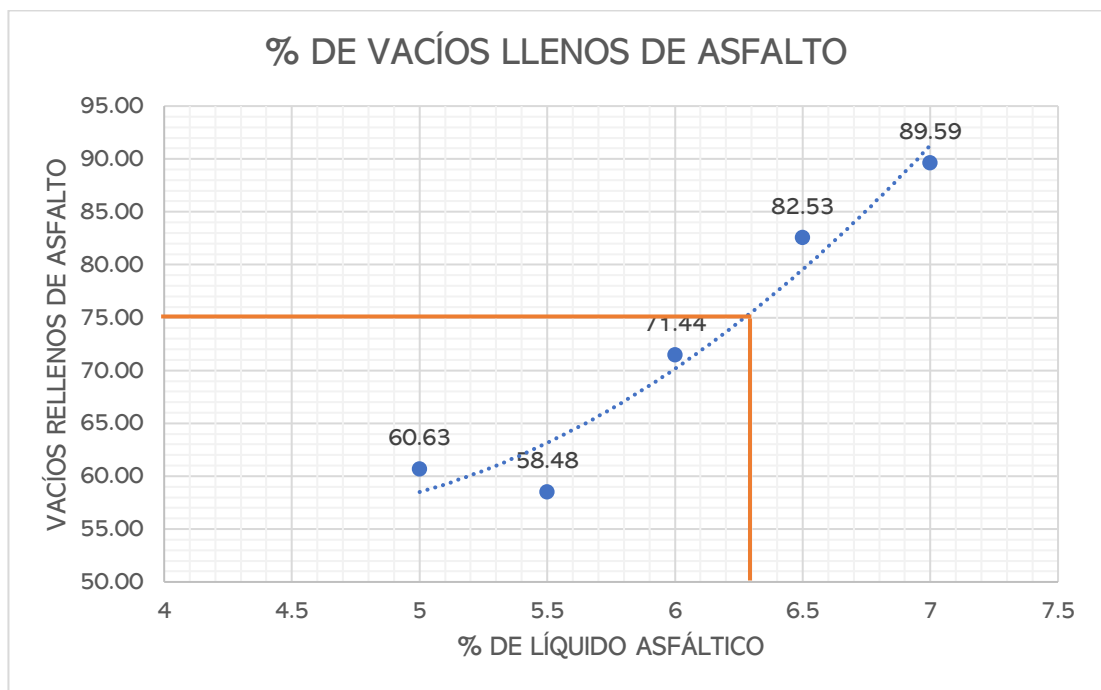
Fig. 31 Vacíos con Agregado Mineral 20% de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En la figura N 31 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos con agregado mineral versus el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-20% AR en donde se aprecia que los valores obtenidos presentan cierta constancia a excepción del valor existente en el porcentaje 6, ya que los resultados se mantienen por encima del 20.5% de vacíos con agregado mineral.

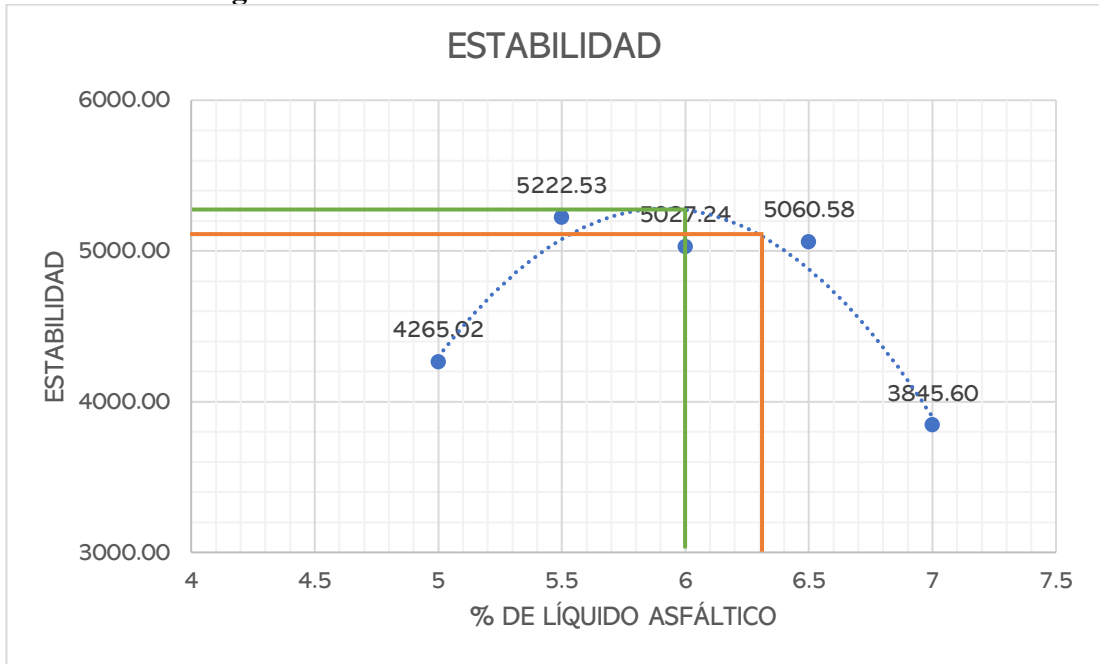
Fig. 32 Vacíos llenos de Asfalto 20% de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En la figura N 32 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos llenos de asfalto versus contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-20% AR en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos llenos de asfalto van aumentando su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 5.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

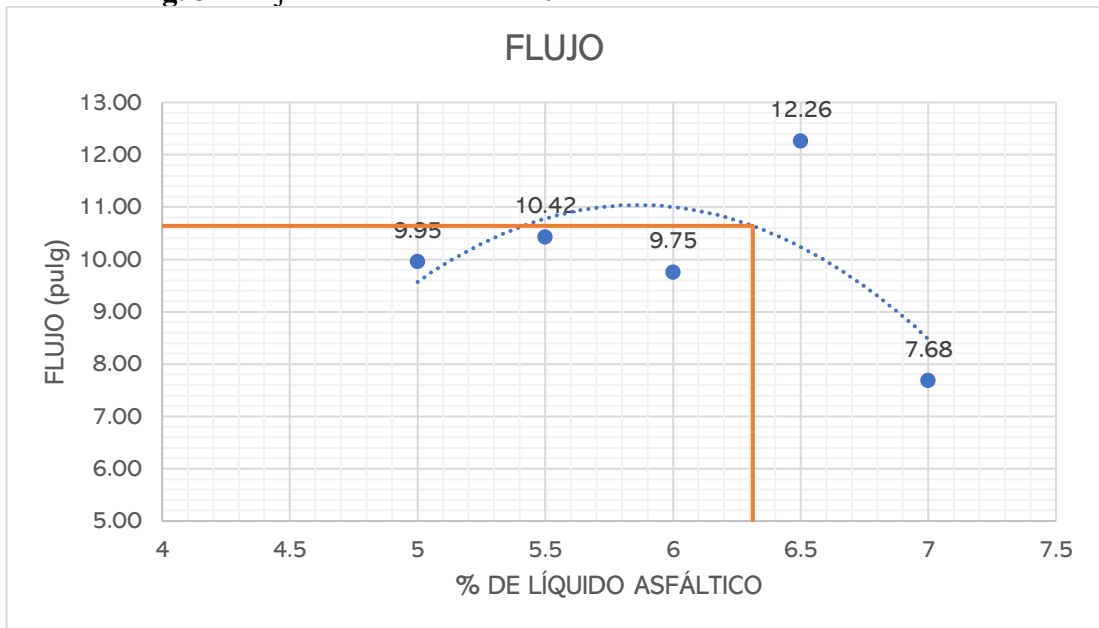
Fig. 33 Estabilidad 20% de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En la figura N 33 se puede observar la curva generada entre la estabilidad y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-20% AR en donde se aprecia que los valores de estabilidad presentan un aumento en los porcentajes 5.5 hasta el 6.5 de líquido asfáltico, mientras que en 5 y 7% la estabilidad decrece su valor.

Fig. 34 Flujo de Deformación 20% de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En la figura N 34 se puede observar la curva generada entre el flujo de deformación y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC – 20% AR en donde se aprecia que los valores de flujo tienden a decrecer su valor a excepción de los valores existente en el porcentaje 6 y 6.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son indirectamente proporcionales.

3.1.2.7. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo

Para la obtención del porcentaje de líquido asfáltico óptimo se toman en cuenta tres de las curvas representadas en las figuras 29,30 y 33, el resultado promediado de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto líquido.

Tabla 24. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 20% de material asfáltico reciclado

Peso Específico Bulk	6.25%
Índice de Vacíos con Aire	6.59%
Estabilidad	6.00%
Contenido óptimo de Asfalto	6.30%

Fuente: Autor

La tabla N 24 indica el porcentaje de líquido asfáltico óptimo que se obtuvo mediante el ensayo Marshall para la mezcla de material asfáltico tradicional dando como resultado un porcentaje de 6.30%

3.1.2.8. Criterios de Diseño para mezclas Marshall

Una vez realizadas las figuras con los parámetros Marshall y obtenido el porcentaje de líquido asfáltico óptimo se procede a determinar los criterios de diseño obteniendo los valores proyectados en cada gráfica. (ver Fig. 29,30,31,32,33,34)

Se procedió a determinar si los valores obtenidos cumplen con las características establecidas en la norma y determinar si la mezcla realizada es aceptable.

Tabla 25. Criterios de Diseño

CRITERIO DE MEZCLA	DISEÑO DE MEZCLA	
Estabilidad (lb)	5100	OK
Flujo (centésimas de pulgada)	10.50	OK
Porcentaje de vacíos (%)	5.00	OK
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	75.00	OK
Relación <i>FILLER/Betun</i>	0.8	OK
Porcentaje de vacíos con agregado mineral (%)	20.49	OK

Fuente: Autor

La tabla N 25 indica que para los 6 parámetros establecidos por la norma MOP los resultados obtenidos en los ensayos previamente elaborados cumplen con las especificaciones dadas lo cual proporciona un criterio verdadero acerca de la mezcla MAC-20% Asfalto Reciclado.

Se puede observar que la mezcla MAC – 20% AR (ver Tabla N 20) con 6.3% de líquido asfáltico óptimo presenta una estabilidad de 5100 lb (ver Fig. 33) la cual es mayor al valor mínimo establecido por la norma (ver Tabla N 4) por otro lado se puede apreciar que el flujo determinado para esta mezcla dio como resultado 10.50 (ver Fig. 34), el porcentaje de vacíos arrojo como resultado un porcentaje de 5.0% (ver Fig. 30) un valor que se encuentra en el límite del rango establecido pero que aún así cumple con lo solicitado en la norma. Por otra parte, se puede observar que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto dio como resultado un valor de 75% (ver Fig.32) valor que también se encuentra en el límite de los establecido pero que de igual manera cumple con las solicitudes antes mencionadas, la relación entre filler y betún también arrojo un valor que se encuentra en el límite de los establecido pero que aún así se encuentra en el rango de lo permitido.

3.1.2.9. Diseño de mezcla asfáltica – 40% de material asfáltico reciclado

La Tabla 26 presenta de forma esquemática el porcentaje de sustitución de agregados, filler, material asfáltico reciclado y el contenido de líquido asfáltico de cada uno de los especímenes que se fabricaron en el laboratorio de pavimentos. Cabe señalar que el 40% de material asfáltico reciclado, aporta aproximadamente 2.208% de líquido asfáltico a la mezcla.

Tabla 26. Diseño de Mezcla MAC - 40% Asfalto Reciclado

TAMIZ (pulg)	% QUE PASA (Especificación) %	GRANULOMETRÍA DE DISEÑO %	% RETENIDO %	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
				Asf. Reciclado 40% (gr)	Asf. Reciclado 40% (gr)	Asf. Reciclado 40% (gr)	Asf. Reciclado 40% (gr)	Asf. Reciclado 40% (gr)
1"	100	100	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	90-100	95	5%	58.3	58.0	57.7	57.4	57.1
3/8"	56-80	75	20%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº4	35-65	55	10%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº8	23-49	30	35%	291.6	290.1	288.6	287.1	285.6
Nº50	5-19	10	15%	175.0	174.1	173.2	172.3	171.4
Nº200	2-8	5	10%	116.6	116.0	115.4	114.8	114.2
FILLER			5%	58.3	58.0	57.7	57.4	57.1
% de Asfalto				2.79%	3.29%	3.79%	4.29%	4.79%
Asfalto Líquido				34	40	46	52	58
Asfalto reciclado				466.60	464.20	461.80	459.40	457.00
Agregados Tradicionales				699.90	696.30	692.70	689.10	685.50
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Autor**3.1.2.10. Ensayo Rice**

El ensayo Rice se determinó para cada porcentaje de líquido asfáltico ensayado un espécimen por cada porcentaje de líquido asfáltico. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 27. Ensayo Rice - 40% de Material Asfáltico Reciclado

Líquido Asfáltico (%)	Ensayo Rice (%)
5%	2.303
5.5%	2.344
6%	2.398
6.5%	2.348
7%	2.229

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la Tabla N 27 se encuentran en el rango establecido de aceptación determinados en la figura 35 como se puede apreciar los resultados van desde 2.398% hasta el 2.229%. Por lo cual se puede inferir que la mezcla MAC-40% AR realizada cumple con las solicitudes y se encuentra en un rango de Muy Bueno.

Fig. 35 Rangos aceptables del ensayo Rice

<p>RANGO: 2.1 - 2.8 MUY BUENO: 2.3 - 2.5 NO TAN BUENO: MENOR A 2.3 Y MAYOR A 2.5</p>

Fuente: Norma ASTM D 2041

3.1.2.11. Ensayo Marshall

Para determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico en la mezcla asfáltica elaboramos mezclas con 5 contenidos de líquido asfáltico diferentes (ver Tabla 26).

Los parámetros Marshall para cada contenido de líquido asfáltico, se promedian los resultados de 3 especímenes, cuyos valores no difieren entre ellas. Se muestra los resultados del diseño Marshall de la MAC – 40% material asfáltico reciclado.

Tabla 28. Ensayo Marshall mezcla 40% de asfalto reciclado

Peso específico de los agregados para diseño (Gagr): 2.612 gr/cm ³ Peso específico del asfalto (Gsaf): 1.009 gr/cm ³ % de Asfalto Reciclado: 40%																				
MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPOSOR PROBETA (cm)	PESO (gr)			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (lbf)			FLUJO pulg/100	
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gsaf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} * 100$			Q * R		
95.00	B1	5.00	7.00	1182.50	1184.80	646.70	2.20									3305	0.858	2836.30	10.56	
	B2		7.00	1190.30	1191.90	642.40	2.17										3465	0.858	2973.27	10.44
	B3		7.10	1189.60	1194.00	645.20	2.17										3690	0.839	3097.37	10.40
	PROMEDIOS						2.18	2.42	2.303	2.210	79.18	5.46	15.36	20.82	2.90	73.78			2968.98	10.47
94.50	B4	5.50	7.00	1186.60	1190.80	643.30	2.17									4003	0.858	3435.47	9.80	
	B5		7.10	1189.40	1190.40	648.50	2.19										3923	0.839	3293.04	8.37
	B6		7.10	1188.70	1190.50	640.90	2.16										4041	0.839	3391.73	9.96
	PROMEDIOS						2.18	2.40	2.344	1.083	78.69	7.23	14.08	21.31	4.48	66.08			3373.42	9.38
94.00	B7	6.00	7.10	1183.90	1190.00	647.20	2.18									3802	0.839	3190.96	10.72	
	B8		7.10	1195.70	1199.20	650.90	2.18										3923	0.839	3293.04	8.84
	B9		7.10	1194.80	1198.60	655.70	2.20										3956	0.839	3320.40	10.00
	PROMEDIOS						2.19	2.38	2.398	0.251	78.72	8.78	12.49	21.28	5.76	58.72			3268.14	9.85
93.50	B10	6.50	7.20	1184.60	1189.50	663.10	2.25									4049	0.823	3333.74	9.44	
	B11		7.10	1186.30	1190.70	655.30	2.22										4236	0.839	3555.89	9.73
	B12		7.20	1189.20	1194.50	668.20	2.26										4441	0.823	3656.16	10.01
	PROMEDIOS						2.24	2.37	2.334	0.655	80.25	3.93	15.82	19.75	5.89	80.09			3515.27	9.73
93.00	B13	7.00	6.70	1163.70	1170.10	648.00	2.23									5732	0.923	5287.93	9.22	
	B14		7.10	1192.60	1199.40	650.50	2.17										4828	0.839	4052.15	9.94
	B15		7.10	1190.50	1198.70	655.10	2.19										5048	0.839	4237.45	10.11
	PROMEDIOS						2.20	2.35	2.293	1.154	78.23	4.17	17.60	21.77	5.93	80.86			4525.84	9.75

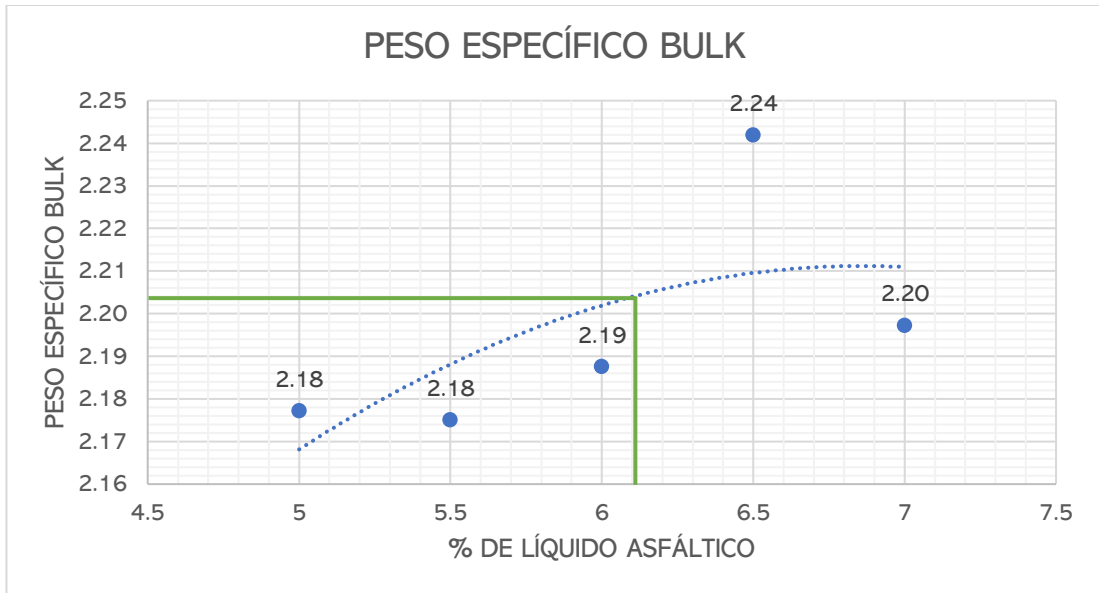
Tabla 29. Resultados de Ensayo Marshall 40% de material asfáltico reciclado

ASFALTO LÍQUIDO (%)	BULK (gr)	VACÍOS (%)			ESTABILIDAD (lbf)	FLUJO (pulg)
		AIRE	Agreg. Mineral	Lleno de Asfalto		
5	2.18	5.46	20.82	73.78	2968.98	10.47
5.5	2.18	7.23	21.31	66.08	3373.42	9.38
6	2.19	8.78	21.28	58.72	3268.14	9.85
6.5	2.24	3.93	19.75	80.09	3515.27	9.73
7	2.20	4.17	21.77	80.86	4525.84	9.75

Fuente: Autor

Una vez que los resultados fueron obtenidos se realizaron gráficos de densidad, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo, con los que se determinó el porcentaje óptimo de líquido asfáltico. A continuación, se muestran las figuras:

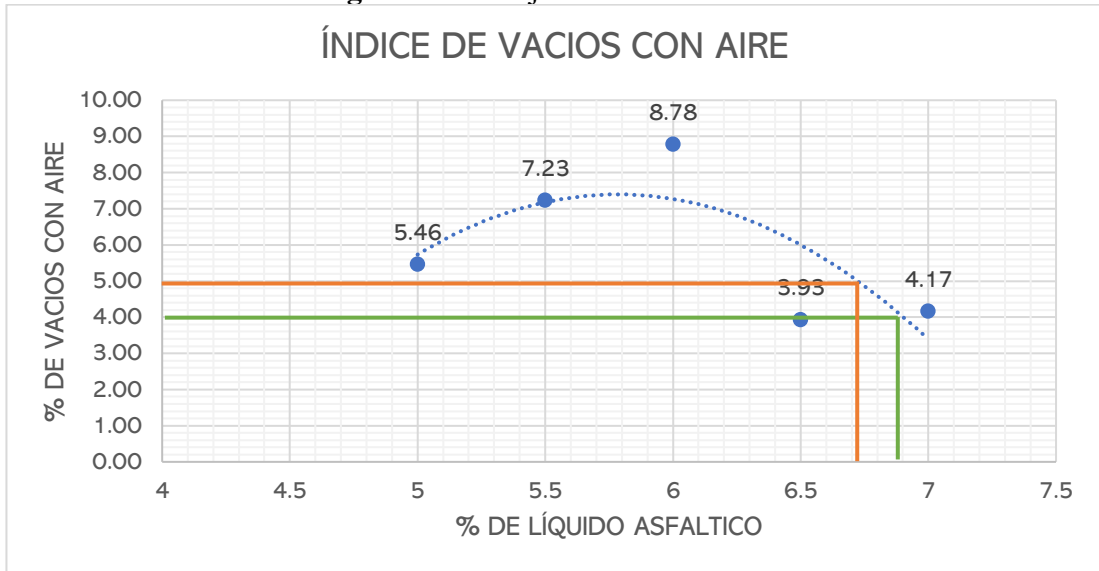
Fig. 36 Densidad Bulk 40% de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En la figura N 36 se puede observar la curva de densidad Bulk Vs contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas tradicionales incorporando 40% de material asfáltico reciclado en donde se aprecia que los valores de densidad Bulk de la mezcla MAC-40% AR tienden a aumentar su valor de densidad mientras aumenta el contenido de asfalto hasta un 6.5% sin embargo la densidad comienza a decrecer cuando se agrega 7% de líquido asfáltico.

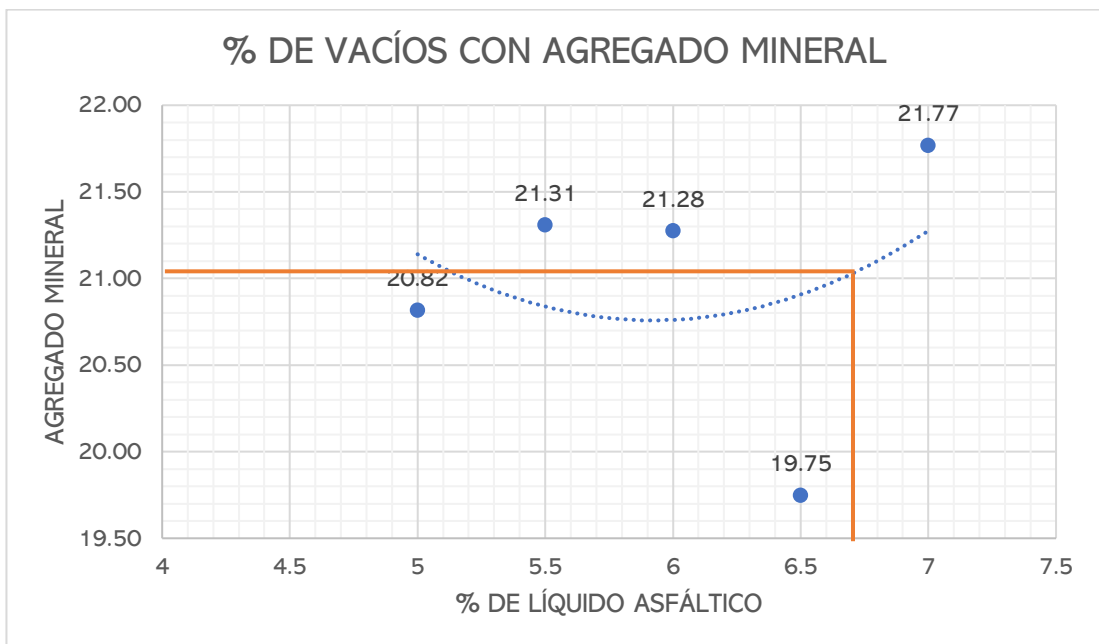
Fig. 37 Porcentaje de vacíos con aire



Fuente: Autor

En la figura N 37 se puede observar la curva generada entre el porcentaje de vacíos con aire y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos van decreciendo su valor a excepción del valor obtenido en los porcentajes 5.5 y 6, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son inversamente proporcionales.

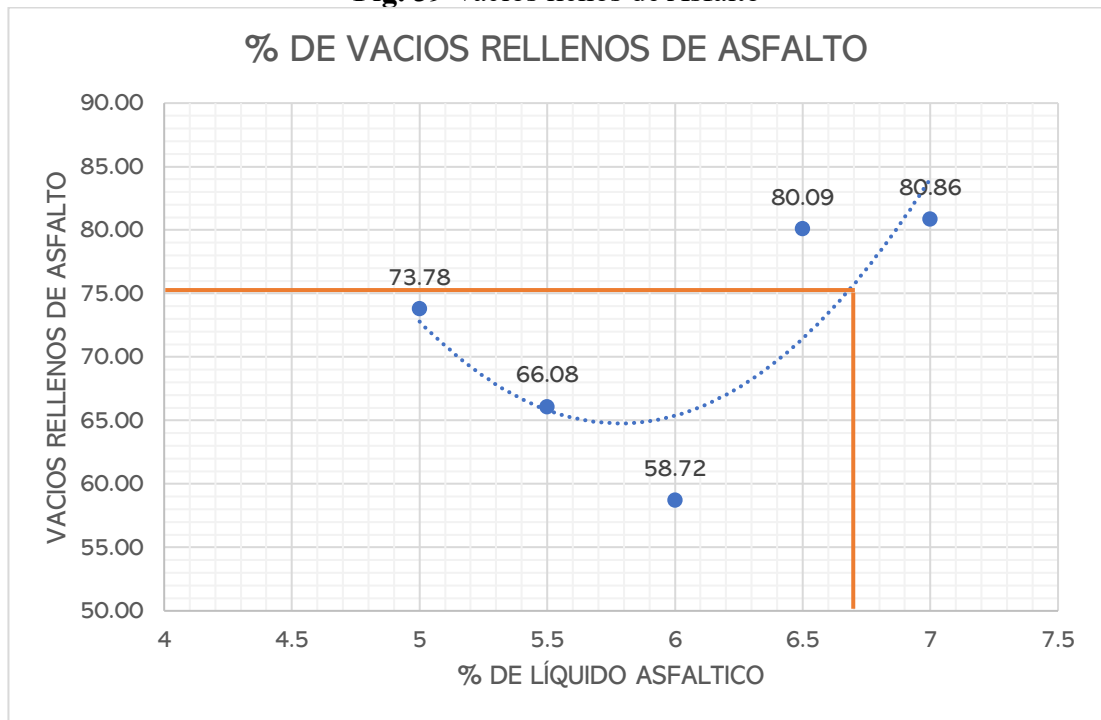
Fig. 38 Vacíos con Agregado Mineral



Fuente: Autor

En la figura N 38 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos con agregado mineral versus el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR en donde se aprecia que los valores obtenidos presentan cierta constancia a excepción del valor existente en el porcentaje 6.5, ya que los resultados se mantienen por encima del 20.5% de vacíos con agregado mineral.

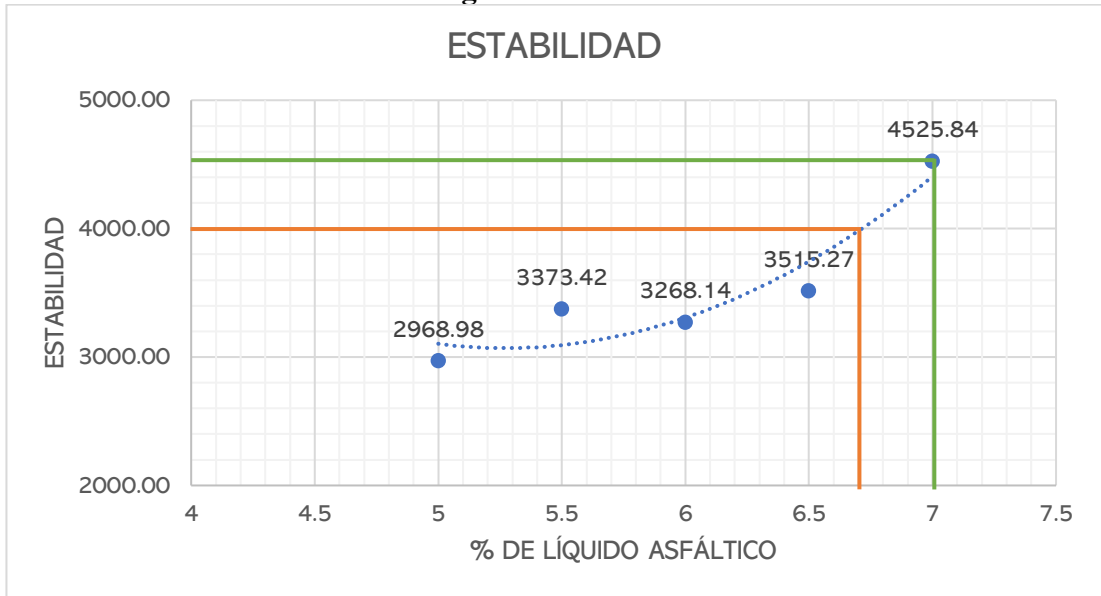
Fig. 39 Vacíos llenos de Asfalto



Fuente: Autor

En la figura N 39 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos llenos de asfalto versus contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos llenos de asfalto van aumentando su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 6, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

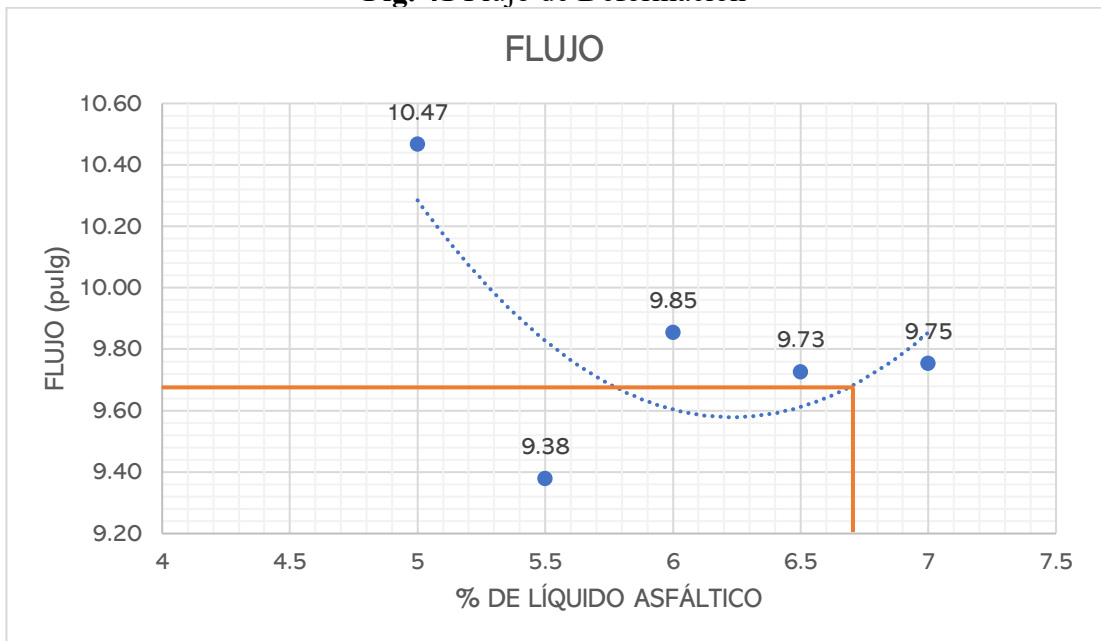
Fig. 40 Estabilidad



Fuente: Autor

En el gráfico N 40 se puede observar la curva generada entre la estabilidad y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR en donde se aprecia que los valores de estabilidad presentan un aumento en los porcentajes 5.5 hasta el 6.5 de líquido asfáltico, mientras que en 5 y 7% la estabilidad decrece su valor.

Fig. 41 Flujo de Deformación



Fuente: Autor

En el gráfico N 41 se puede observar la curva generada entre el flujo de deformación y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR en donde se aprecia que los valores de flujo tienden a decrecer, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son indirectamente proporcionales.

3.1.2.12. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo

Para la obtención del porcentaje de líquido asfáltico óptimo se toman en cuenta tres de las curvas representadas en las figuras 36,37 y 40, el resultado promediado de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto líquido.

Tabla 30. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 40% de material asfáltico reciclado

Peso Específico Bulk	6.10%
Índice de Vacíos con Aire	6.90%
Estabilidad	7.00%
Contenido óptimo de Asfalto	6.70%

Fuente: Autor

La Tabla 30 indica el porcentaje de líquido asfáltico óptimo que se obtuvo mediante el ensayo Marshall para la mezcla de material asfáltico tradicional dando como resultado un porcentaje de 6.70%

3.1.2.13. Criterios de Diseño para mezclas Marshall

Una vez realizadas las figuras con los parámetros Marshall y obtenido el porcentaje de líquido asfáltico óptimo se procede a determinar los criterios de diseño obteniendo los valores proyectados en cada gráfica (ver Fig.36,37,38,39,40,41)

Se procedió a determinar si los valores obtenidos cumplen con las características establecidas en la norma y determinar si la mezcla realizada es aceptable.

Tabla 31. Criterios de Diseño

CRITERIO DE MEZCLA	DISEÑO DE MEZCLA	
Estabilidad (lb)	4000	OK
Flujo (centésimas de pulgada)	9.65	OK
Porcentaje de vacíos (%)	5.00	OK
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	75.00	OK
Relación <i>FILLER/Betun</i>	0.8	OK
Porcentaje de vacíos con agregado mineral (%)	21.10	OK

Fuente: Autor

La tabla N° 31 indica que para los 6 parámetros establecidos por la norma MOP los resultados obtenidos en los ensayos previamente elaborados cumplen con las especificaciones dadas lo cual proporciona un criterio positivo acerca de la mezcla MAC – 40% Asfalto Reciclado

Se puede observar que la mezcla MAC – 40% AR realizada (ver Tabla N 26) presenta una estabilidad de 4000 lb (ver Fig. 40) la cual es mayor al valor mínimo establecido por la norma (ver Tabla N° 4) por otro lado se puede apreciar que el flujo determinado para esta mezcla dio como resultado 9.65 (ver Fig. 41), el porcentaje de vacíos arrojó como resultado un porcentaje de 5 (ver Fig. 37) un valor que se encuentra en el límite del rango establecido pero que aún así cumple con lo solicitado en la norma.

Por otra parte, se puede observar que el porcentaje de vacío llenos de asfalto dio como resultado un valor de 75% (ver Fig. 39), la relación entre filler y betún también arrojó un valor que se encuentra en el límite de los establecido pero que aún así se encuentra en el rango de lo permitido.

3.1.2.14. Diseño de mezcla asfáltica – 60% de material asfáltico reciclado

La Tabla 32 presenta de forma esquemática el porcentaje de sustitución de agregados, filler, material asfáltico reciclado y el contenido de líquido asfáltico de cada uno de los especímenes que se fabricaron en el laboratorio de pavimentos. Cabe señalar que el 60% de material asfáltico reciclado, aporta aproximadamente 3.312% de líquido asfáltico a la mezcla.

Tabla 32. Diseño de Mezcla Asfáltica - 60% material reciclado

TAMIZ (pulg)	% QUE PASA (Especificación) %	GRANULOMETRÍA DE DISEÑO %	% RETENIDO %	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
				Asf. Reciclado 60% (gr)	Asf. Reciclado 60% (gr)	Asf. Reciclado 60% (gr)	Asf. Reciclado 60% (gr)	Asf. Reciclado 60% (gr)
1"	100	100	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	90-100	95	5%	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8
3/8"	56-80	75	20%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº4	35-65	55	10%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº8	23-49	30	35%	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8
Nº50	5-19	10	15%	177.0	176.1	175.2	174.3	173.4
Nº200	2-8	5	10%	118.0	117.4	116.8	116.2	115.6
FILLER			5%	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8
% de Asfalto				1.69%	2.19%	2.69%	3.19%	3.69%
Asfalto Líquido				20	26	32	38	44
Asfalto reciclado				707.85	704.25	700.65	697.05	693.45
Agregados Tradicionales				471.90	469.50	467.10	464.70	462.30
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Autor**3.1.2.15. Ensayo Rice**

El ensayo Rice se determinó para cada porcentaje de líquido asfáltico ensayado un espécimen por cada porcentaje de líquido asfáltico. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 33. Ensayo Rice - 60% de Material Asfáltico Reciclado

Líquido Asfáltico (%)	Ensayo Rice (%)
5%	2.418
5.5%	2.377
6%	2.345
6.5%	2.312
7%	2.314

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la Tabla 33 se encuentran en el rango establecido de aceptación determinados en la figura 42 que como se puede apreciar los resultados van desde 2.418% hasta el 2.314%.

Por lo cual se puede inferir que la mezcla asfáltica realizada cumple con las condiciones establecidas y se encuentra en un rango de Muy Bueno.

Se puede apreciar también que mientras va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico el porcentaje de vacíos va decreciendo esto debido a que los vacíos existentes se llenan de material mineral en este caso Filler y también son llenados con el líquido asfáltico.

Fig. 42 Rangos aceptables del ensayo Rice

RANGO: 2.1 - 2.8 MUY BUENO: 2.3 - 2.5 NO TAN BUENO: MENOR A 2.3 Y MAYOR A 2.5
--

Fuente: Norma ASTM D 2041

3.1.2.16. Ensayo Marshall

Para determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico en la mezcla asfáltica elaboramos mezclas con 5 contenidos de líquido asfáltico diferentes (ver Tabla 32).

Los parámetros Marshall para cada contenido de líquido asfáltico, se promedian los resultados de 3 especímenes, cuyos valores no difieren entre ellas. Se muestra los resultados del diseño Marshall de la MAC – 60% material asfáltico reciclado.

Tabla 34. Ensayo Marshall mezcla 60% de asfalto reciclado

Peso específico de los agregados para diseño (Gagr): 2.612 gr/cm³ Peso específico del asfalto (Gsaf): 1.009 gr/cm³ % de Asfalto Reciclado: 60%

MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO (gr)			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (lb _f)			FLUIJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gsaf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} * 100$			Q * R	
95.00	B1	5.00	7.30	1184.50	1195.80	652.80	2.18									3598	0.810	2914.32	10.19
	B2		7.20	1180.90	1186.00	657.30	2.23									3718	0.823	3061.48	10.15
	B3		7.20	1185.70	1197.50	650.70	2.17									3731	0.823	3072.03	10.40
	PROMEDIOS						2.19	2.42	2.433	0.240	79.81	9.81	10.37	20.19	4.77	51.39			3015.95
94.50	B4	5.50	7.40	1180.90	1186.40	667.30	2.27									3421	0.791	2707.05	9.83
	B5		7.30	1182.40	1189.50	650.20	2.19									3539	0.810	2866.98	9.24
	B6		7.30	1185.40	1190.60	654.30	2.21									3348	0.810	2712.02	8.84
	PROMEDIOS						2.23	2.40	2.301	1.936	80.53	3.26	16.20	19.47	3.67	83.24			2762.01
94.00	B7	6.00	7.60	1172.10	1176.90	666.50	2.30									2242	0.763	1709.30	10.38
	B8		7.60	1170.90	1175.30	660.70	2.28									2444	0.763	1863.91	10.41
	B9		7.50	1178.50	1185.50	655.40	2.22									2596	0.775	2011.72	9.51
	PROMEDIOS						2.26	2.38	2.345	0.758	81.51	3.41	15.08	18.49	5.29	81.57			1861.64
93.50	B10	6.50	7.60	1174.50	1176.90	657.50	2.26									2933	0.763	2236.73	10.02
	B11		7.50	1176.40	1185.60	651.30	2.20									3045	0.775	2360.16	10.41
	B12		7.50	1180.40	1186.40	652.10	2.21									2867	0.775	2222.00	9.27
	PROMEDIOS						2.22	2.37	2.312	1.094	79.61	3.78	16.60	20.39	5.48	81.44			2272.96
93.00	B13	7.00	7.40	1161.30	1163.60	658.50	2.30									2615	0.791	2069.37	10.50
	B14		7.40	1188.50	1194.45	658.40	2.22									2519	0.791	1992.89	10.03
	B15		7.30	1185.40	1194.70	651.40	2.18									2382	0.810	1929.59	9.67
	PROMEDIOS						2.23	2.35	2.314	0.716	79.50	3.53	16.98	20.50	6.33	82.79			1997.28

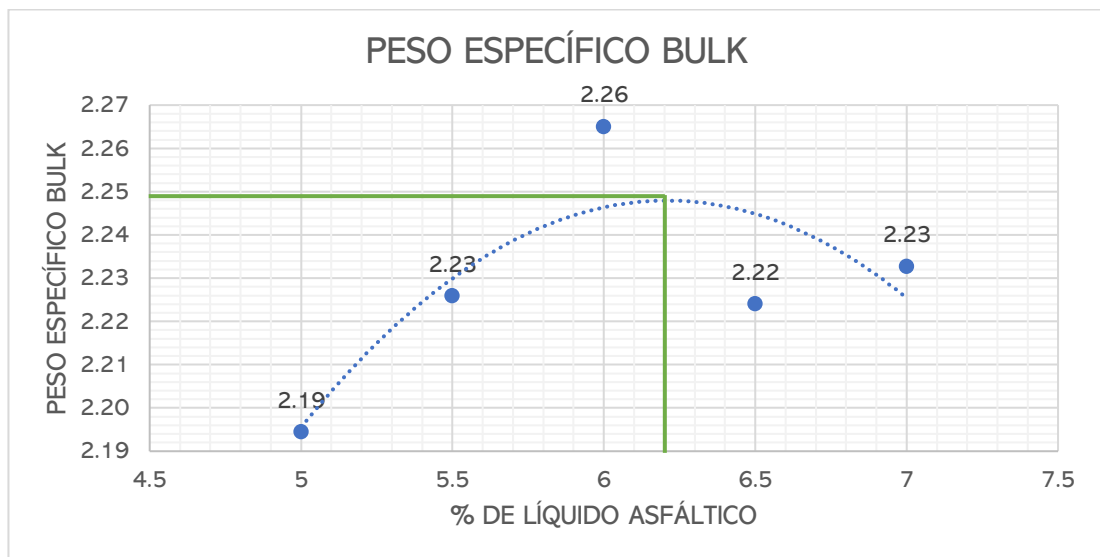
Tabla 35. Resultados de Ensayo Marshall 60% de material asfáltico reciclado

ASFALTO LÍQUIDO (%)	BULK (gr)	VACÍOS (%)			ESTABILIDAD (lbf)	FLUJO (pulg)
		AIRE	Agreg. Mineral	Lleno de Asfalto		
5	2.19	9.81	20.19	51.39	3015.95	10.25
5.5	2.23	3.26	19.47	83.24	2762.01	9.30
6	2.26	3.41	18.49	81.57	1861.64	10.10
6.5	2.22	3.78	20.39	81.44	2272.96	9.90
7	2.23	3.53	20.50	82.79	1997.28	10.07

Fuente: Autor

Una vez que los resultados fueron obtenidos se realizaron gráficos de densidad, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo, con los que se determinó el porcentaje óptimo de líquido asfáltico. A continuación, se muestran las figuras:

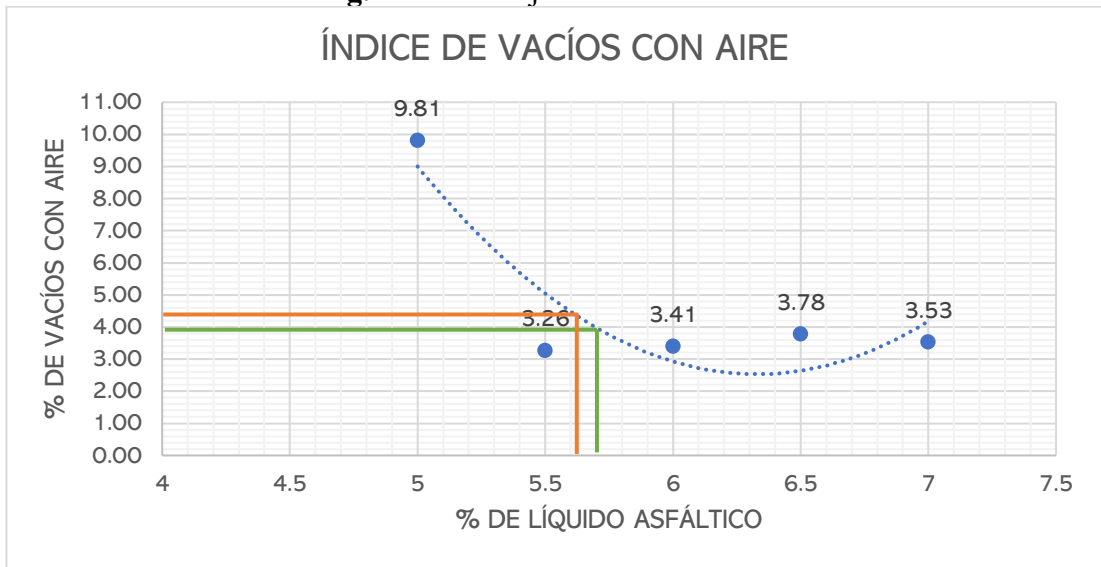
Fig. 43 Densidad Bulk 60% de material asfáltico reciclado



Fuente: Autor

En la figura N 43 se puede observar la curva de densidad Bulk Vs contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas tradicionales incorporando 60% de material asfáltico reciclado en donde se aprecia que los valores de densidad Bulk de la mezcla MAC-60% AR tienden a aumentar su valor de densidad mientras aumenta el contenido de asfalto hasta un 6% sin embargo la densidad comienza a decrecer mientras sigue aumentando el porcentaje de líquido asfáltico.

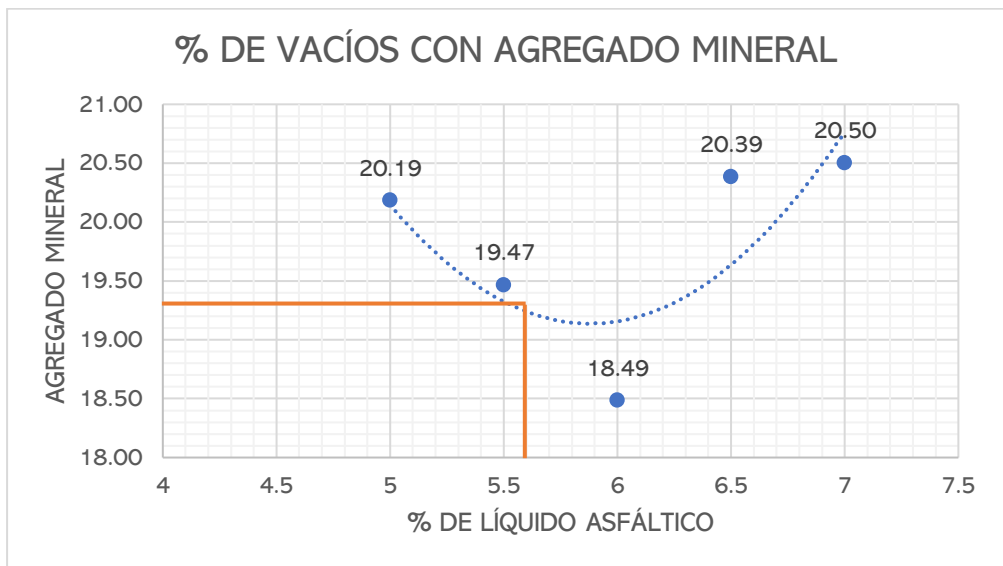
Fig. 44 Porcentaje de vacíos con aire



Fuente: Autor

En la figura N 44 se puede observar la curva generada entre el porcentaje de vacíos con aire y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos van decreciendo su valor, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son inversamente proporcionales.

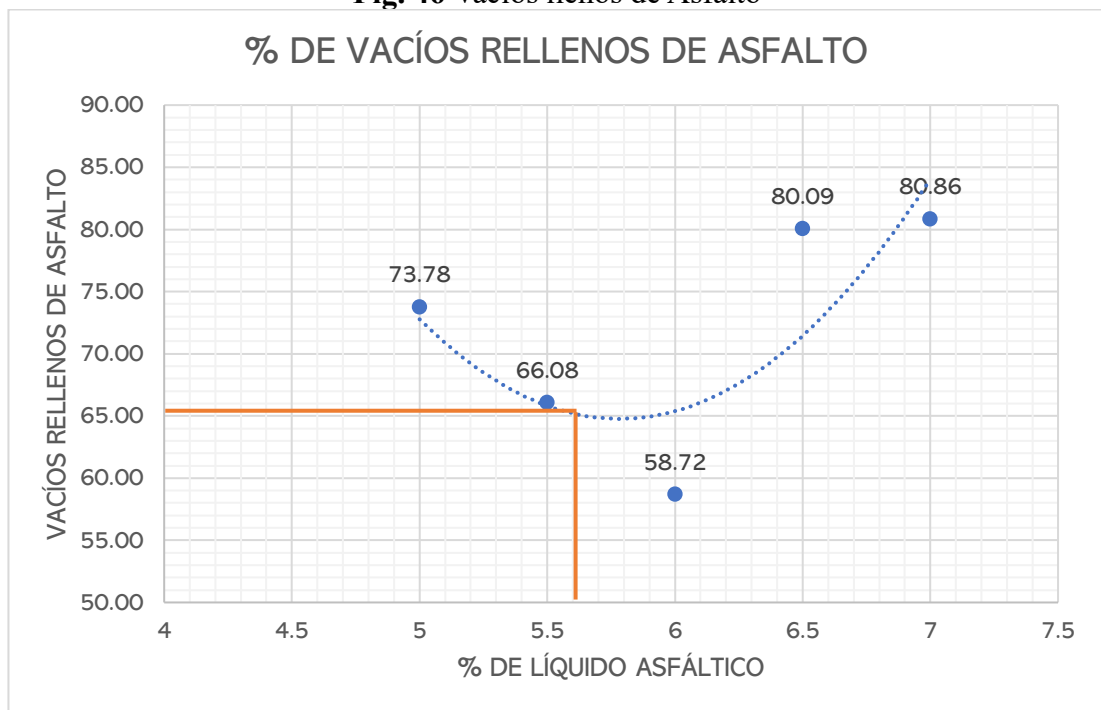
Fig. 45 Vacíos con Agregado Mineral



Fuente: Autor

En la figura N 45 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos con agregado mineral versus el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR en donde se aprecia que los valores obtenidos presentan cierta constancia a excepción del valor existente en el porcentaje 6, ya que los resultados se mantienen por encima del 18.49% de vacíos con agregado mineral.

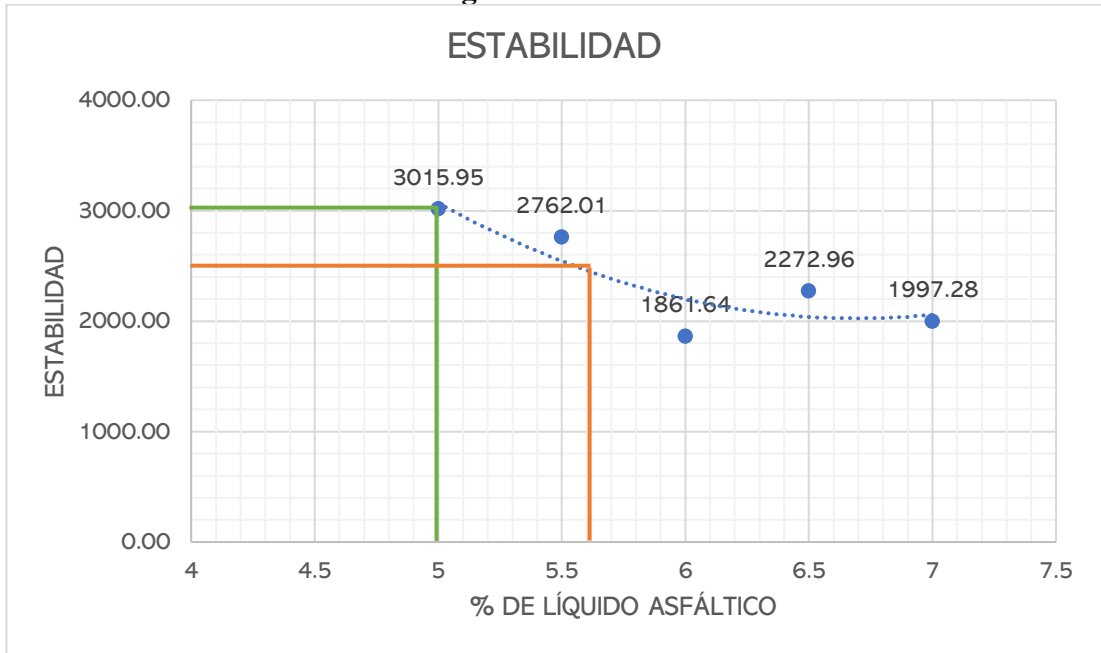
Fig. 46 Vacíos llenos de Asfalto



Fuente: Autor

En la figura N 46 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos llenos de asfalto versus contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos llenos de asfalto van aumentando su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 5.5 y 6, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

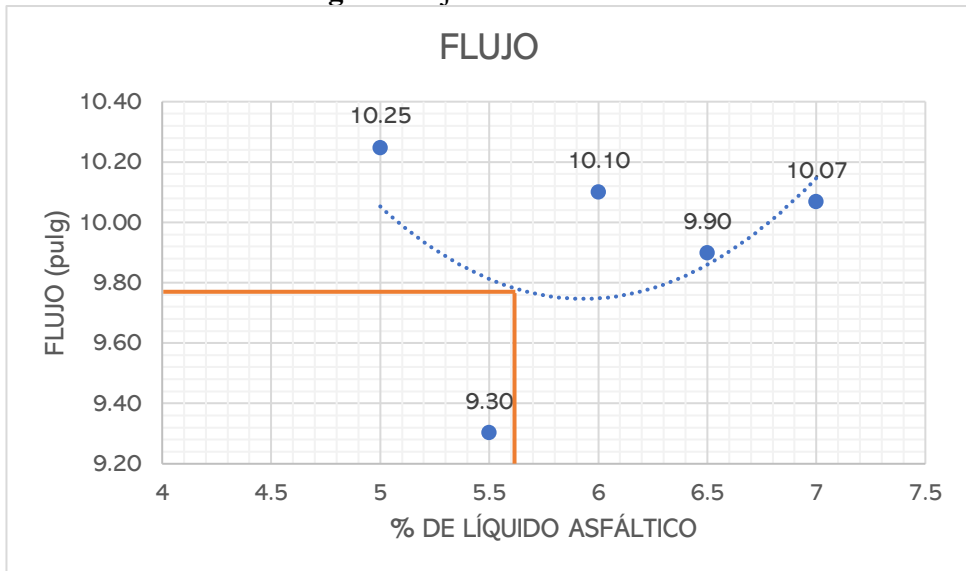
Fig. 47 Estabilidad



Fuente: Autor

En la figura N 47 se puede observar la curva generada entre la estabilidad y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR en donde se aprecia que los valores de estabilidad presentan un decrecimiento conforme va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico, por lo que se puede inferir que es indirectamente proporcional.

Fig. 48 Flujo de Deformación



Fuente: Autor

En la figura N 48 se puede observar la curva generada entre el flujo de deformación y el contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas convencionales en donde se aprecia que los valores de flujo tienden a decrecer su valor a excepción de los valores existente en el porcentaje 5.5 y 6.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son indirectamente proporcionales.

3.1.2.17. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo

Para la obtención del porcentaje de líquido asfáltico óptimo se toman en cuenta tres de las curvas representadas en las figuras 43,44 y 47, el resultado promediado de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto líquido.

Tabla 36. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 60% de material asfáltico reciclado

Peso Específico Bulk	6.20%
Índice de Vacíos con Aire	5.70%
Estabilidad	5.00%
Contenido óptimo de Asfalto	5.60%

Fuente: Autor

La tabla N 36 indica el porcentaje de líquido asfáltico óptimo que se obtuvo mediante el ensayo Marshall para la mezcla de material asfáltico tradicional dando como resultado un porcentaje de 5.60%

3.1.2.18. Criterios de Diseño para mezclas Marshall

Una vez realizadas las figuras con los parámetros Marshall y obtenido el porcentaje de líquido asfáltico óptimo se procede a determinar los criterios de diseño obteniendo los valores proyectados en cada gráfica (ver Fig. 43,44,45,46,47,48)

Se procede a determinar si los valores obtenidos cumplen con las características establecidas en la norma y determinar si la mezcla realizada es aceptable.

Tabla 37. Criterios de Diseño

CRITERIO DE MEZCLA	DISEÑO DE MEZCLA	
Estabilidad (lb)	2020	OK
Flujo (centésimas de pulgada)	9.79	OK
Porcentaje de vacíos (%)	4.50	OK
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	65.00	OK
Relación <i>FILLER/Betun</i>	0.9	OK
Porcentaje de vacíos con agregado mineral (%)	19.20	OK

Fuente: Autor

La tabla N 37 indica que para los 6 parámetros establecidos por la norma MOP los resultados obtenidos en los ensayos previamente elaborados cumplen con las especificaciones dadas lo cual proporciona un criterio positivo acerca de la mezcla de material asfáltico tradicional realizada.

Se puede observar que la mezcla MAC- 60% AR realizada (ver Tabla N 32) presenta una estabilidad de 2020 lb (ver Fig. 47) la cual es mayor al valor mínimo establecido por la norma (ver Tabla N° 4) por otro lado se puede apreciar que el flujo determinado para esta mezcla dio como resultado 9.79 (ver Fig. 48), el porcentaje de vacíos arrojó como resultado un porcentaje de 4.5(ver Fig.44) un valor que se encuentra en el límite del rango establecido pero que aún así cumple con lo solicitado en la norma.

Por otra parte, se puede observar que el porcentaje de vacío llenos de asfalto dio como resultado un valor de 65% (ver Fig. 46) el cual al ser comparado con la norma no cumple con su valor mínimo, la relación entre filler y betún también arrojó un valor que se encuentra en el límite de los establecido pero que aún así se encuentra en el rango de lo permitido.

3.1.3. Material Asfáltico Reciclado con adición de Lana de Acero

3.1.3.1. Diseño de mezcla asfáltica 20% asfalto reciclado – 1% de lana de acero

La Tabla 38 presenta de forma esquemática el porcentaje de sustitución de agregados, filler, material asfáltico reciclado, contenido de líquido asfáltico y porcentaje de lana de acero de cada uno de los especímenes que se fabricaron en el laboratorio de pavimentos.

Como se mencionó anteriormente el 20% de material asfáltico reciclado, aporta aproximadamente 1.104% de líquido asfáltico a la mezcla.

Tabla 38 Diseño de Mezcla Asfáltica - 20% material reciclado – 1% Lana de Acero

TAMIZ (pulg)	% QUE PASA (Especificación) %	GRANULOMETRÍA DE DISEÑO %	% RETENIDO %	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
				Asf. Reciclado 20% (gr)	Asf. Reciclado 20% (gr)	Asf. Reciclado 20% (gr)	Asf. Reciclado 20% (gr)	Asf. Reciclado 20% (gr)
1"	100	100	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	90-100	95	5%	57.7	57.4	57.1	56.8	56.5
3/8"	56-80	75	20%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº4	35-65	55	10%	115.3	114.7	114.1	113.5	112.9
Nº8	23-49	30	35%	403.6	401.5	399.4	397.3	395.2
Nº50	5-19	10	15%	173.0	172.1	171.2	170.3	169.4
Nº200	2-8	5	9%	103.8	103.3	102.7	102.2	101.6
FILLER			5%	57.7	57.4	57.1	56.8	56.5
% de Asfalto				3.90%	4.40%	4.90%	5.40%	5.90%
Asfalto Líquido				47	53	59	65	71
Asfalto reciclado				230.65	229.45	228.25	227.05	225.85
% Lana de Acero				1%	1%	1%	1%	1%
Lana de Acero				11.5	11.5	11.4	11.4	11.3
Agregados Tradicionales				911.07	906.33	901.59	896.85	892.11
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Autor

3.1.3.2. Ensayo Rice

El ensayo Rice se determinó para cada porcentaje de líquido asfáltico ensayado un espécimen por cada porcentaje de líquido asfáltico. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 39 Ensayo Rice - 20% de Material Asfáltico Reciclado – 1% Lana de Acero

Líquido Asfáltico (%)	Ensayo Rice (%)
5%	2.331
5.5%	2.319
6%	2.331
6.5%	2.301
7%	2.303

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la Tabla 39 se encuentran en el rango establecido de aceptación determinados en la figura 49 como se puede apreciar los resultados van desde 2.331% hasta el 2.303%.

Por lo cual se puede inferir que la mezcla asfáltica realizada cumple con las condiciones establecidas y se encuentra en un rango de Muy Bueno.

Se puede apreciar también que mientras va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico el porcentaje de vacíos va decreciendo esto debido a que los vacíos existentes se llenan de material mineral en este caso Filler y también son llenados con el líquido asfáltico.

Fig. 49 Rangos aceptables del ensayo Rice

RANGO: 2.1 - 2.8
MUY BUENO: 2.3 - 2.5
NO TAN BUENO: MENOR A 2.3 Y MAYOR A 2.5

Fuente: ASTM D 2041

3.1.3.3. Ensayo Marshall

Para determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico en la mezcla asfáltica elaboramos mezclas con 5 contenidos de líquido asfáltico diferentes (ver Tabla 38).

Los parámetros Marshall para cada contenido de líquido asfáltico, se promedian los resultados de 3 especímenes, cuyos valores no difieren entre ellas. Se muestra los resultados del diseño Marshall de la MAC – 20% material asfáltico reciclado – 1% Lana de Acero.

Tabla 40. Ensayo Marshall mezcla 20% de asfalto reciclado - 1% Lana de Acero

Peso específico de los agregados para diseño (Gagr): 2.612 gr/cm ³ Peso específico del asfalto (Gsaf): 1.009 gr/cm ³																					
MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	% LANA DE ACERO	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO (gr)			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (lb)			FLUJO pulg/100	
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A	B	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
							$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gsaf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} * 100$	Q * R				
95.00	B1	5.00	1%	7.50	1187.80	1218.60	658.50	2.12									5408	0.775	4191.38	11.02	
	B2			7.40	1190.80	1205.60	653.20	2.16										5398	0.791	4271.09	10.57
	B3			7.50	1190.40	1218.20	652.10	2.10										5424	0.775	4203.93	11.03
	PROMEDIOS							2.13	2.420	2.331	1.662	77.34	8.77	13.89	22.66	3.42	61.31	4222.13			10.87
94.50	B4	5.50	1%	7.00	1192.70	1215.30	654.70	2.13									5540	0.858	4754.18	11.54	
	B5			7.10	1190.60	1205.90	650.10	2.14									5537	0.839	4647.85	10.33	
	B6			7.20	1194.60	1218.50	653.80	2.12									5527	0.823	4550.67	10.49	
	PROMEDIOS							2.13	2.402	2.319	1.584	77.00	8.21	14.79	23.00	4.00	64.30	4650.90			10.79
94.00	B7	6.00	1%	6.90	1172.10	1194.50	653.80	2.17									4463	0.877	3913.85	11.20	
	B8			7.00	1180.50	1189.70	650.80	2.19									4416	0.858	3789.65	10.54	
	B9			6.90	1179.60	1186.70	650.40	2.20									4154	0.877	3642.41	10.33	
	PROMEDIOS							2.19	2.385	2.286	1.921	78.67	4.39	16.95	21.33	4.19	79.43	3781.97			10.69
93.50	B10	6.50	1%	6.90	1173.20	1183.80	655.50	2.22									3985	0.877	3494.37	11.61	
	B11			6.90	1180.50	1189.50	655.20	2.21									3945	0.877	3458.89	11.28	
	B12			7.00	1180.40	1185.80	650.30	2.20									4164	0.858	3572.82	11.39	
	PROMEDIOS							2.21	2.368	2.301	1.308	79.16	3.89	16.95	20.84	5.28	81.35	3508.70			11.43
93.00	B13	7.00	1%	6.40	1164.50	1173.00	657.50	2.26									5146	0.978	5033.33	12.38	
	B14			6.90	1186.50	1192.40	652.40	2.20									5069	0.877	4444.50	11.87	
	B15			7.00	1185.20	1194.20	653.10	2.19									4853	0.858	4164.66	11.76	
	PROMEDIOS							2.22	2.351	2.303	0.947	78.88	3.80	17.32	21.12	6.12	82.02	4547.50			12.00

Tabla 41. Resultados de Ensayo Marshall 20% de material asfáltico reciclado- 1% Lana de Acero

ASFALTO LÍQUIDO (%)	% LANA DE ACERO	BULK (gr)	VACÍOS (%)			ESTABILIDAD (lbf)	FLUJO (pulg)
			AIRE	Agreg. Mineral	Lleno de Asfalto		
5	1%	2.13	8.77	22.66	61.31	4222.13	10.87
5.5	1%	2.13	8.21	23.00	64.30	4650.90	10.79
6	1%	2.19	4.39	21.33	79.43	3781.97	10.69
6.5	1%	2.21	3.89	20.84	81.35	3508.70	11.43
7	1%	2.22	3.80	21.12	82.02	4547.50	12.00

Fuente: Autor

Una vez que los resultados fueron obtenidos se realizaron gráficos de densidad, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo, con los que se determinó el porcentaje óptimo de líquido asfáltico. A continuación, se muestran las figuras:

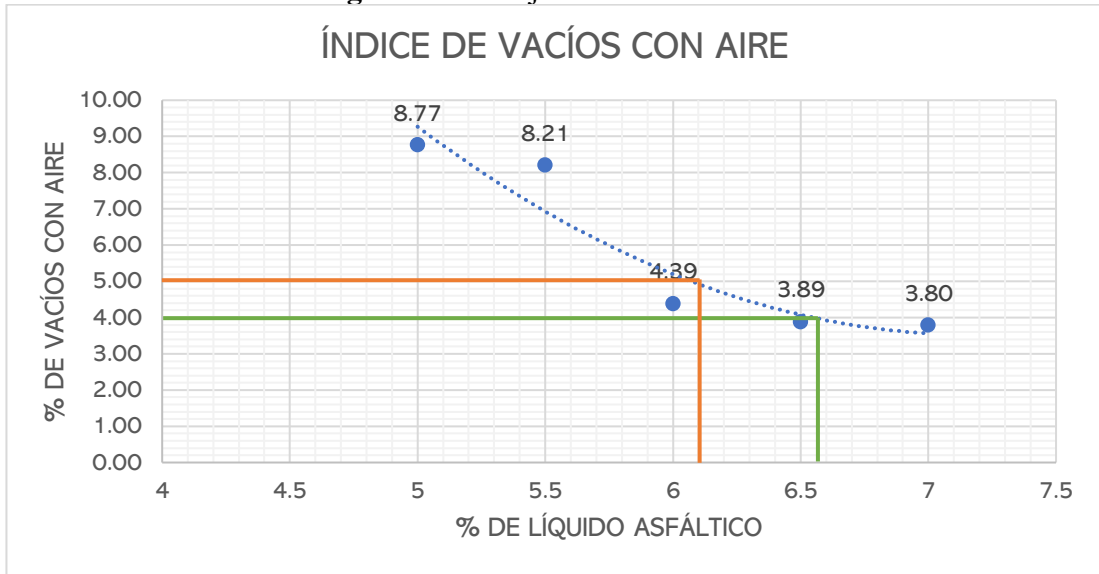
Fig. 50. Densidad Bulk 20% de material asfáltico reciclado -1% Lana de Acero



Fuente: Autor

En la figura N 50 se puede observar la curva de densidad Bulk Vs contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas tradicionales incorporando 20% de material asfáltico reciclado en donde se aprecia que los valores de densidad Bulk de la mezcla MAC-20% AR y 1% de lana de acero tienden a aumentar su valor de densidad mientras aumenta el contenido de asfalto. Se infiere que los valores son directamente proporcionales.

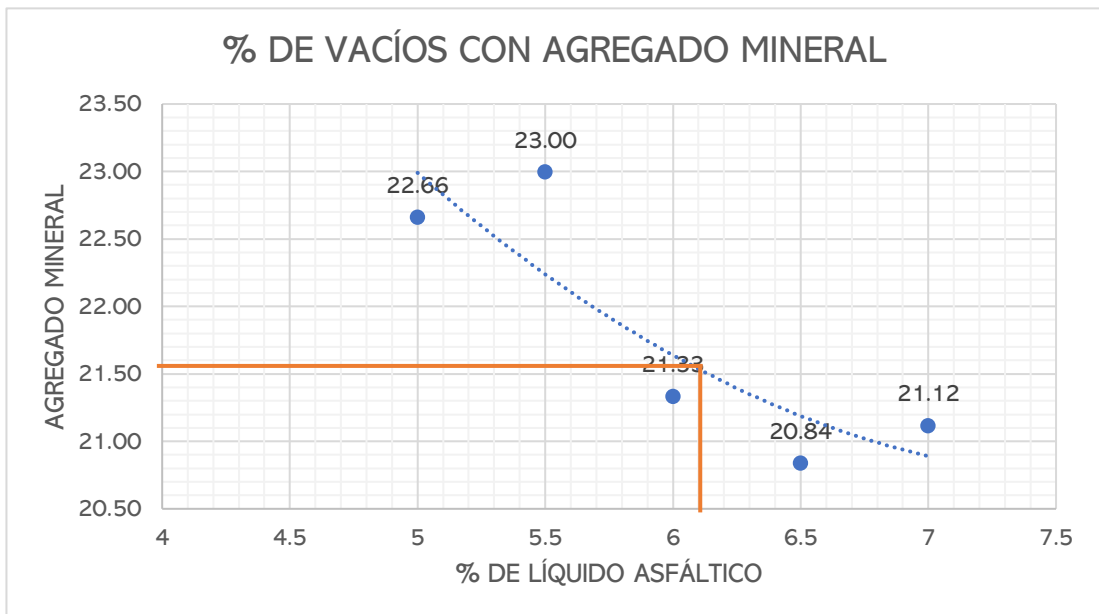
Fig. 51 Porcentaje de vacíos con aire



Fuente: Autor

En la figura N 51 se puede observar la curva generada entre el porcentaje de vacíos con aire y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-20% AR y 1% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos van decreciendo su valor, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son inversamente proporcionales.

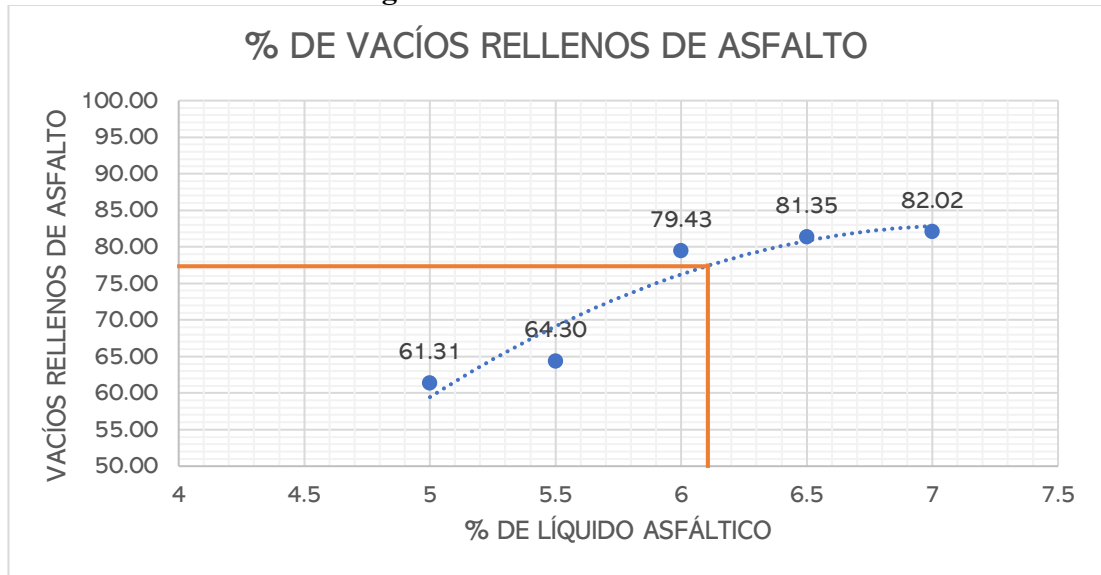
Fig. 52 Vacíos con Agregado Mineral



Fuente: Autor

En la figura N 52 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos con agregado mineral versus el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-20% AR y 1% lana de acero en donde se aprecia que los valores obtenidos presentan un decrecimiento excepción del valor existente en el porcentaje 5.5 y 7%, ya que los resultados se mantienen por encima del 20.84% de vacíos con agregado mineral.

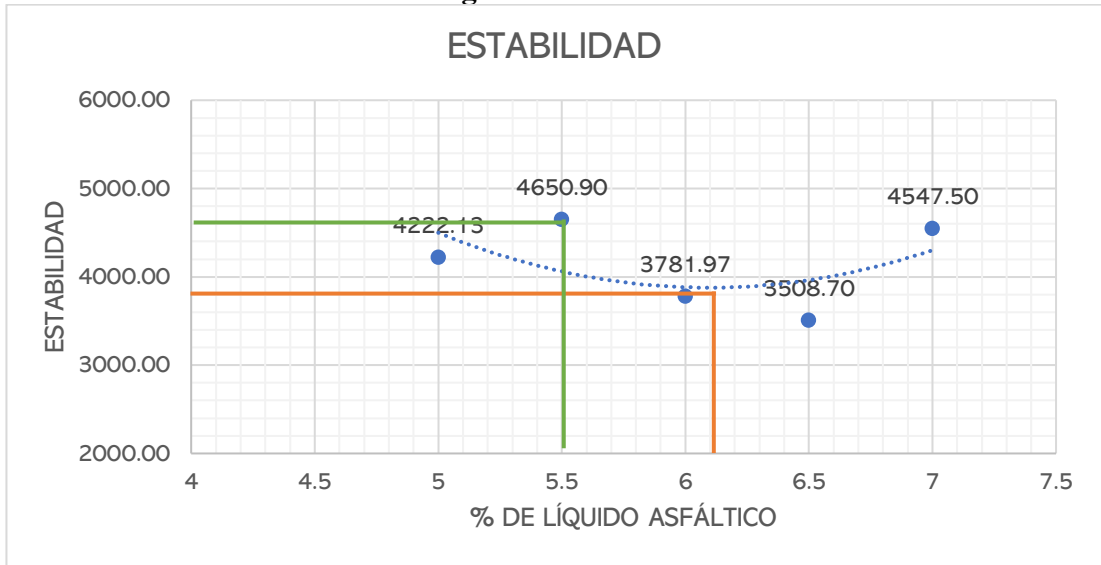
Fig. 53 Vacíos llenos de Asfalto



Fuente: Autor

En la figura N 53 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos llenos de asfalto versus contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-20% AR y 1% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos llenos de asfalto van aumentando su valor, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

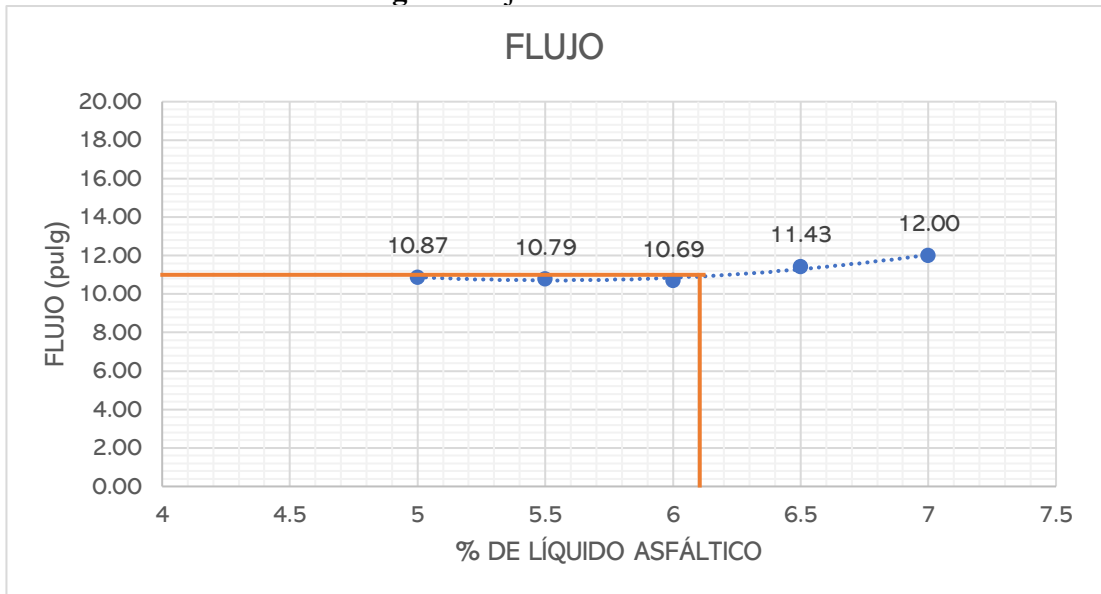
Fig. 54 Estabilidad



Fuente: Autor

En la figura N 54 se puede observar la curva generada entre la estabilidad y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-20% AR y 1% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de estabilidad presentan un valor que se mantiene por encima de las 3500 lb y va aumentando conforme aumenta el porcentaje de líquido asfáltico, por lo que se puede inferir que es directamente proporcional.

Fig. 55 Flujo de Deformación



Fuente: Autor

En la figura N 55 se puede observar la curva generada entre el flujo de deformación de las mezclas MAC-20% AR y 1% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de flujo tienden a aumentar su valor a excepción de los valores existente en el porcentaje 5.5 y 6.0, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

3.1.3.4. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo

Para la obtención del porcentaje de líquido asfáltico óptimo se toman en cuenta tres de las curvas representadas en las figuras 50,51 y 54, el resultado promediado de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto líquido.

Tabla 42. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 20% de material asfáltico reciclado y 1% lana de acero

Peso Específico Bulk	6.30%
Índice de Vacíos con Aire	6.55%
Estabilidad	5.50%
Contenido óptimo de Asfalto	6.10%

Fuente: Autor

La tabla N 42 indica el porcentaje de líquido asfáltico óptimo que se obtuvo mediante el ensayo Marshall para la mezcla de material asfáltico tradicional dando como resultado un porcentaje de 6.10%

3.1.3.5. Criterios de Diseño para mezclas Marshall

Una vez realizadas las figuras con los parámetros Marshall y obtenido el porcentaje de líquido asfáltico óptimo se procede a determinar los criterios de diseño obteniendo los valores proyectados en cada gráfica (ver Fig. 50,51,52,53,54,55)

Se procede a determinar si los valores obtenidos cumplen con las características establecidas en la norma y determinar si la mezcla realizada es aceptable.

Tabla 43. Criterios de Diseño

CRITERIO DE MEZCLA	DISEÑO DE MEZCLA	
Estabilidad (lb)	3880	OK
Flujo (centésimas de pulgada)	10.70	OK
Porcentaje de vacíos (%)	5.00	OK
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	77.00	NO CUMPLE
Relación <i>FILLER/Betun</i>	0.8	OK
Porcentaje de vacios con agregado mineral (%)	21.51	OK

Fuente: Autor

La tabla N 43 indica que para los 6 parámetros establecidos por la norma MOP los resultados obtenidos en los ensayos previamente elaborados cumplen con las especificaciones dadas lo cual proporciona un criterio positivo acerca de la mezcla de material asfáltico tradicional realizada.

Se puede observar que la mezcla MAC- 20% AR y 1% de lana de acero realizada (ver Tabla N 38) presenta una estabilidad de 3880 lb (ver Fig. 54) la cual es mayor al valor mínimo establecido por la norma (ver Tabla N° 4) por otro lado se puede apreciar que el flujo determinado para esta mezcla dio como resultado 10.70 (ver Fig. 55), el porcentaje de vacíos arrojó como resultado un porcentaje de 5.00 (ver Fig.51) un valor que se encuentra en el límite del rango establecido pero que aún así cumple con lo solicitado en la norma.

Por otra parte, se puede observar que el porcentaje de vacío llenos de asfalto dio como resultado un valor de 77% (ver Fig. 53) el cual al ser comparado con la norma no cumple con su valor mínimo, la relación entre filler y betún también arrojó un valor que se encuentra en el límite de los establecido pero que aún así se encuentra en el rango de lo permitido.

Se puede determinar que la mezcla asfáltica MAC -20% Asfalto reciclado no cumple en su totalidad con los requerimientos de la norma por lo cual se recomienda mejorar la gradación de la mezcla.

3.1.3.2. Diseño de mezcla asfáltica 40% asfalto reciclado – 0.5% de lana de acero

La Tabla 44 presenta de forma esquemática el porcentaje de sustitución de agregados, filler, material asfáltico reciclado, contenido de líquido asfáltico y porcentaje de lana de acero de cada uno de los especímenes que se fabricaron en el laboratorio de pavimentos. Como se mencionó anteriormente el 40% de material asfáltico reciclado, aporta aproximadamente 2.208% de líquido asfáltico a la mezcla.

Tabla 44. Diseño de Mezcla Asfáltica - 40% material reciclado – 0.5% Lana de Acero

TAMIZ (pulg)	% QUE PASA (Especificación) %	GRANULOMETRÍA DE DISEÑO %	% RETENIDO %	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
				Asf. Reciclado 40% (gr)	Asf. Reciclado 40% (gr)	Asf. Reciclado 40% (gr)	Asf. Reciclado 40% (gr)	Asf. Reciclado 40% (gr)
1"	100	100	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	90-100	95	5%	58.3	58.0	57.7	57.4	57.1
3/8"	56-80	75	20%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº4	35-65	55	10%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº8	23-49	30	35%	291.6	290.1	288.6	287.1	285.6
Nº50	5-19	10	15%	175.0	174.1	173.2	172.3	171.4
Nº200	2-8	5	9.5%	110.8	110.2	109.7	109.1	108.5
FILLER			5%	58.3	58.0	57.7	57.4	57.1
% de Asfalto				2.79%	3.29%	3.79%	4.29%	4.79%
Asfalto Líquido				34	40	46	52	58
Asfalto reciclado				466.60	464.20	461.80	459.40	457.00
% Lana de Acero				0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Lana de Acero				5.8	5.8	5.8	5.7	5.7
Agregados Tradicionales				694.07	690.50	686.93	683.36	679.79
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Autor

3.1.1.1. Ensayo Rice

El ensayo Rice se determinó para cada porcentaje de líquido asfáltico ensayado un espécimen por cada porcentaje de líquido asfáltico. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 45 Ensayo Rice - 20% de Material Asfáltico Reciclado – 1% Lana de Acero

Líquido Asfáltico (%)	Ensayo Rice (%)
5%	2.358
5.5%	2.495
6%	2.392
6.5%	2.341
7%	2.339

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la Tabla 45 se encuentran en el rango establecido de aceptación determinados en la figura 56 que como se puede apreciar los resultados van desde 2.339% hasta el 2.495%. Por lo cual se puede inferir que la mezcla asfáltica realizada cumple con las condiciones establecidas y se encuentra en un rango de Muy Bueno.

Se puede apreciar también que mientras va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico el porcentaje de vacíos va decreciendo esto debido a que los vacíos existentes se llenan de material mineral en este caso Filler y también son llenados con el líquido asfáltico.

Fig. 56 Rangos aceptables del ensayo Rice

RANGO: 2.1 - 2.8 MUY BUENO: 2.3 - 2.5 NO TAN BUENO: MENOR A 2.3 Y MAYOR A 2.5
--

Fuente: ASTM D 2041

3.1.1.2. Ensayo Marshall

Para determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico en la mezcla asfáltica elaboramos mezclas con 5 contenidos de líquido asfáltico diferentes (ver Tabla 38).

Los parámetros Marshall para cada contenido de líquido asfáltico, se promedian los resultados de 3 especímenes, cuyos valores no difieren entre ellas. Se muestra los resultados del diseño Marshall de la MAC – 40% material asfáltico reciclado – 0.5% Lana de Acero.

Tabla 46. Ensayo Marshall mezcla 40% de asfalto reciclado – 0.5% Lana de Acero

Peso específico de los agregados para diseño (Gagr):

2.612 gr/cm³

Peso específico del asfalto (Gsaf):

1.009 gr/cm³

MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	% LANA DE ACERO	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO (gr)			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (lb)			FLUJO pulg/100	
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A	B	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
							$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gsaf}}$	METODO RICE	$\frac{(I - H) \times 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$			Q * R		
95.00	B1	5.00	0.5%	7.30	1188.50	1194.00	607.60	2.03									4136	0.810	3350.42	11.01	
	B2			7.20	1185.20	1193.50	610.50	2.03										4148	0.823	3415.00	10.57
	B3			7.20	1185.60	1192.60	605.60	2.02										4468	0.823	3678.37	9.76
	PROMEDIOS							2.03	2.42	2.358	1.132	73.70	14.07	12.22	26.30	3.92	46.47			3481.26	10.45
94.50	B4	5.50	0.5%	7.00	1191.90	1196.10	621.20	2.07									4803	0.858	4121.64	12.78	
	B5			7.00	1190.50	1196.40	619.70	2.06										4605	0.858	3951.88	10.57
	B6			7.10	1193.50	1195.60	620.80	2.08										4754	0.839	3990.45	12.25
	PROMEDIOS							2.07	2.40	2.495	1.635	74.94	16.97	8.09	25.06	3.95	32.28			4021.32	11.86
94.00	B7	6.00	0.5%	7.10	1181.90	1190.10	615.50	2.06									4542	0.839	3812.51	10.46	
	B8			7.10	1180.60	1189.50	612.70	2.05										4590	0.839	3852.51	10.83
	B9			7.00	1180.40	1188.90	612.40	2.05										4530	0.858	3887.45	9.50
	PROMEDIOS							2.05	2.38	2.392	0.131	73.79	14.27	11.94	26.21	5.88	45.56			3850.83	10.26
93.50	B10	6.50	0.5%	7.30	1163.70	1168.50	655.40	2.27									3243	0.810	2626.98	11.38	
	B11			7.20	1180.40	1185.40	652.00	2.21										3465	0.823	2852.52	10.15
	B12			7.20	1181.50	1184.90	652.50	2.22										3529	0.823	2905.46	10.11
	PROMEDIOS							2.23	2.37	2.341	0.518	79.95	4.58	15.47	20.05	6.02	77.14			2794.99	10.55
93.00	B13	7.00	0.5%	7.00	1182.60	1190.20	659.30	2.23									5278	0.858	4529.44	10.58	
	B14			7.10	1186.40	1193.40	657.50	2.21										5203	0.839	4367.26	10.23
	B15			7.00	1189.40	1196.40	651.20	2.18										5210	0.858	4471.19	10.41
	PROMEDIOS							2.21	2.35	2.339	0.220	78.60	5.63	15.77	21.40	6.80	73.70			4455.97	10.41

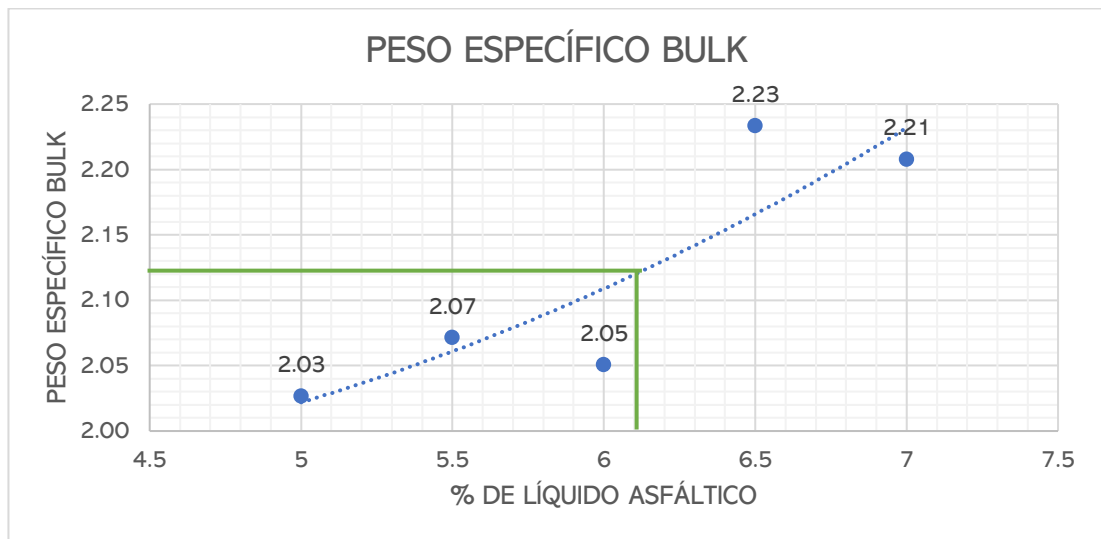
Tabla 47. Resultados de Ensayo Marshall 40% de material asfáltico reciclado- 0.5% Lana de Acero

ASFALTO LÍQUIDO (%)	% LANA DE ACERO	BULK (gr)	VACÍOS (%)			ESTABILIDAD (lbf)	FLUJO (pulg)
			AIRE	Agreg. Mineral	Lleno de Asfalto		
5	0.5%	2.03	14.07	26.30	46.47	3481.26	10.45
5.5	0.5%	2.07	16.97	25.06	32.28	4021.32	11.86
6	0.5%	2.05	14.27	26.21	45.56	3850.83	10.26
6.5	0.5%	2.23	4.58	20.05	77.14	2794.99	10.55
7	0.5%	2.21	5.63	21.40	73.70	4455.97	10.41

Fuente: Autor

Una vez que los resultados fueron obtenidos se realizaron gráficos de densidad, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo, con los que se determinó el porcentaje óptimo de líquido asfáltico. A continuación, se muestran las figuras:

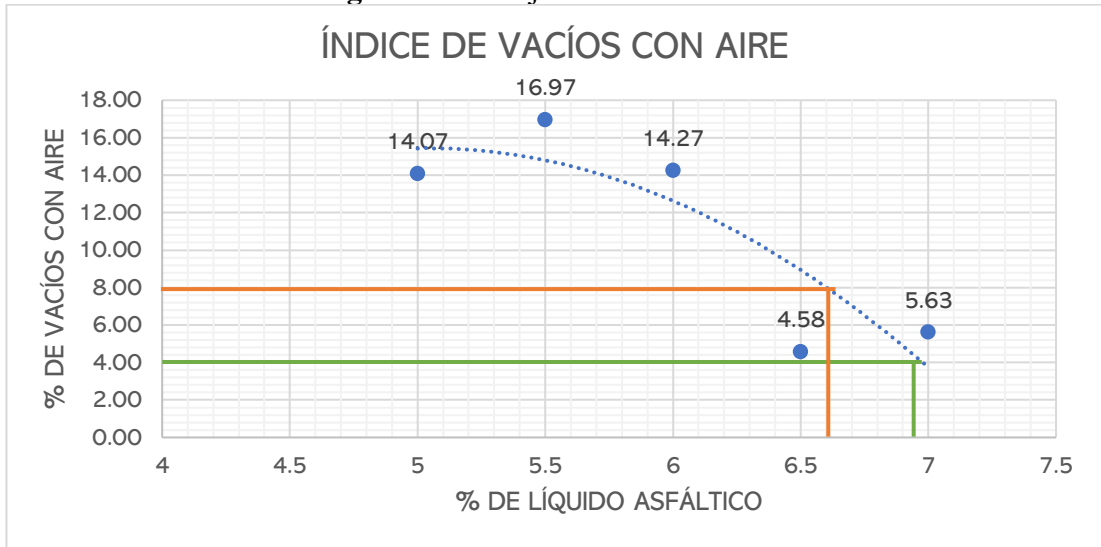
Fig. 57 Densidad Bulk 40% de material asfáltico reciclado- 0.5% Lana de Acero



Fuente: Autor

En la figura N 57 se puede observar la curva de densidad Bulk Vs contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas tradicionales incorporando 40% de material asfáltico reciclado y 0.5% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de densidad Bulk tienden a aumentar su valor de densidad mientras aumenta el contenido de asfalto a excepción del porcentaje 6% por lo cual se puede inferir que son directamente proporcionales.

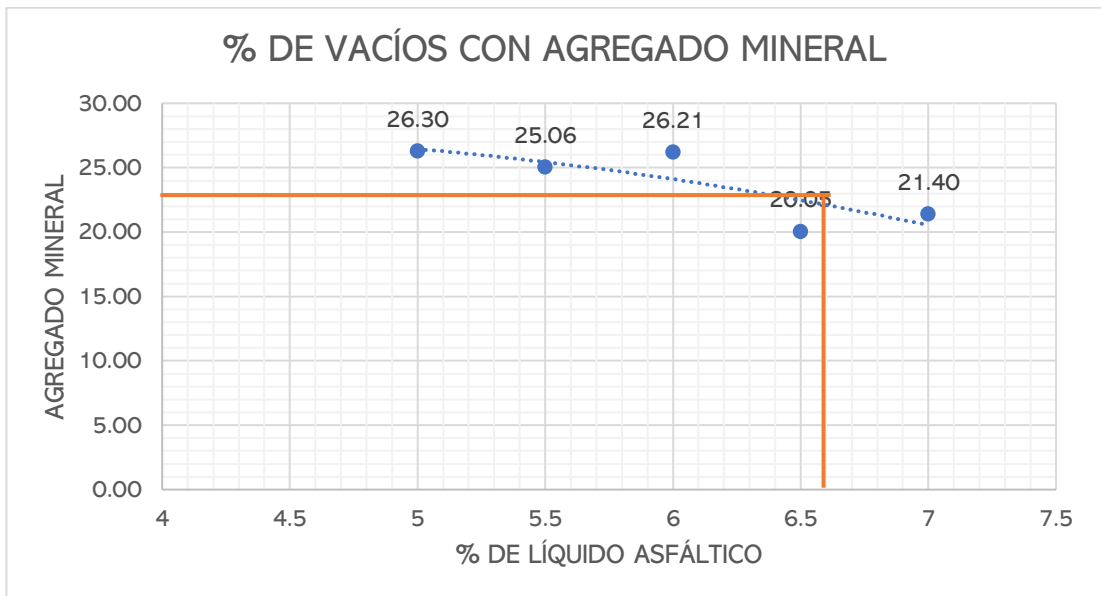
Fig. 58 Porcentaje de vacíos con aire



Fuente: Autor

En la figura N 58 se puede observar la curva generada entre el porcentaje de vacíos con aire y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR y 0.5 de lana de acero en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos van decreciendo su valor, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son inversamente proporcionales.

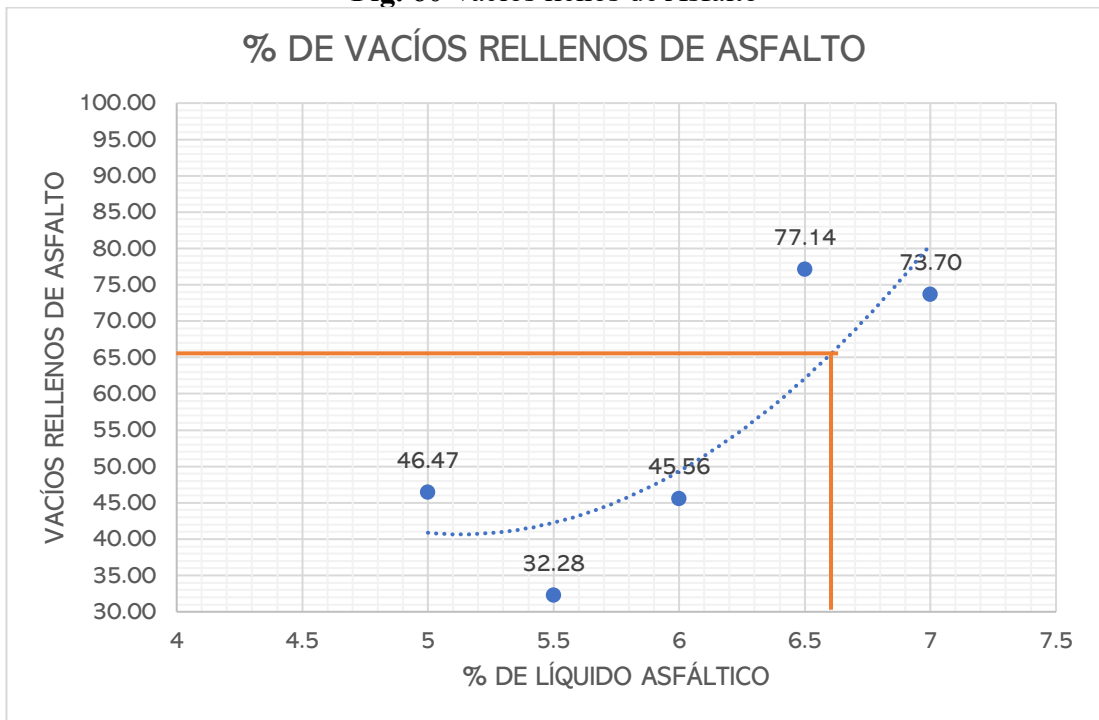
Fig. 59 Vacíos con Agregado Mineral



Fuente: Autor

En la figura N 59 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos con agregado mineral versus el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR y 0.5% de lana de acero en donde se aprecia que los valores obtenidos presentan un decrecimiento a excepción del valor existente en el porcentaje 6 y 7, ya que los resultados se mantienen por encima del 20.0% de vacíos con agregado mineral.

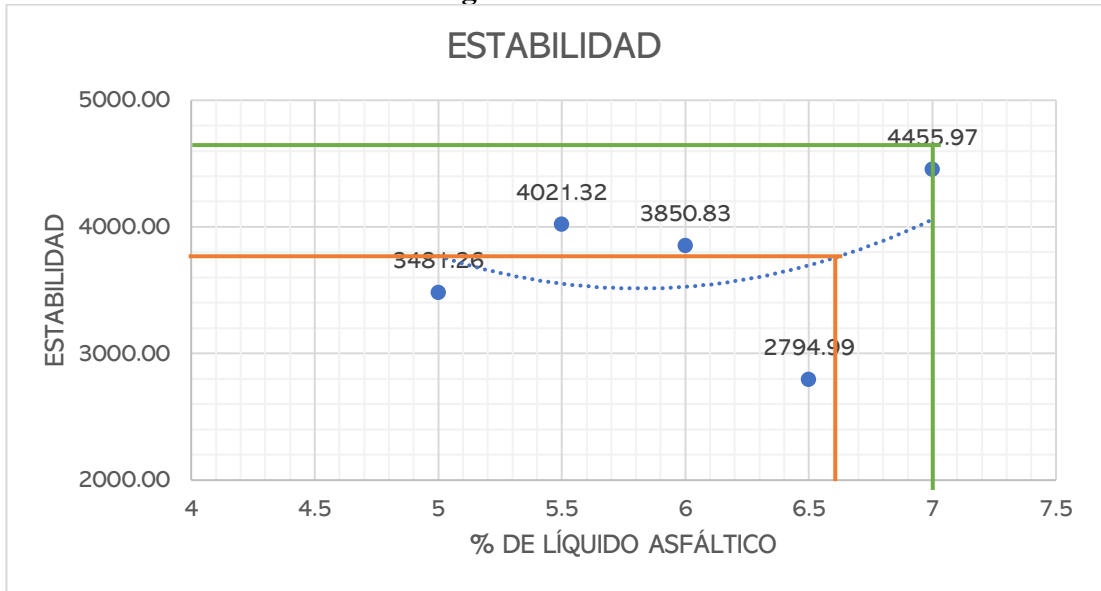
Fig. 60 Vacíos llenos de Asfalto



Fuente: Autor

En la figura N 60 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos llenos de asfalto versus contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR y 0.5 de lana de acero en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos llenos de asfalto van aumentando su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 5.5 y 6.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

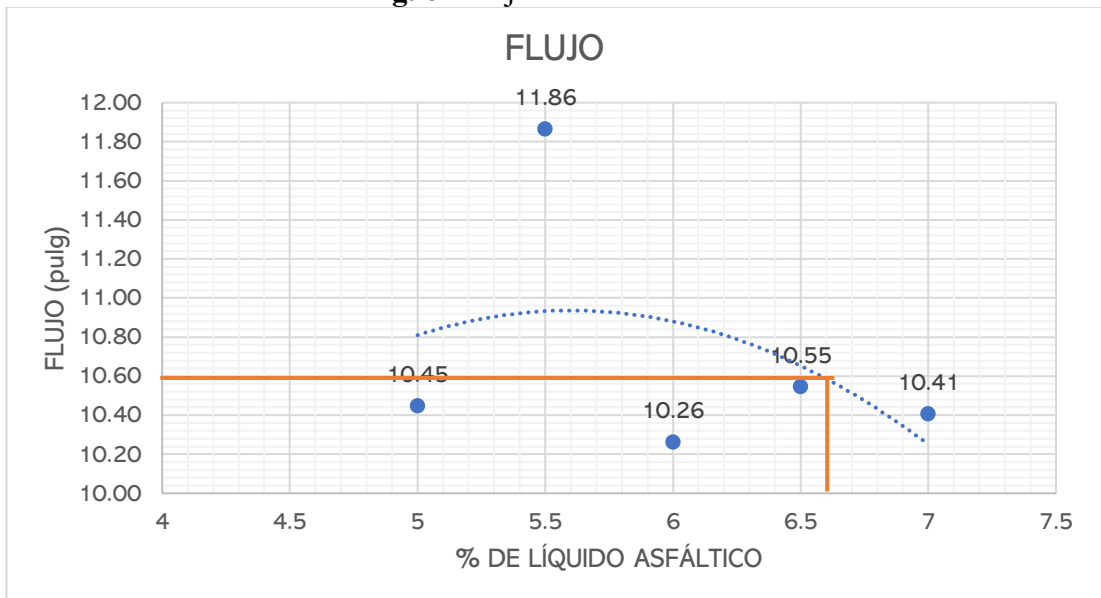
Fig. 61 Estabilidad



Fuente: Autor

En la figura N 61 se puede observar la curva generada entre la estabilidad y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR y 0.5% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de estabilidad presentan un aumento conforme va creciendo el porcentaje de líquido asfáltico, a excepción del porcentaje 6.5, por lo que se puede inferir que es directamente proporcional.

Fig. 62 Flujo de Deformación



Fuente: Autor

En la figura N 62 se puede observar la curva generada entre el flujo de deformación y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-40% AR y 0.5 de lana de acero se aprecia que los valores de flujo tienden a decrecer su valor a excepción de los valores existente en el porcentaje 5.5 y 6.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son indirectamente proporcionales.

3.1.1.3. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo

Para la obtención del porcentaje de líquido asfáltico óptimo se toman en cuenta tres de las curvas representadas en las figuras 57,58 y 61, el resultado promediado de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto líquido.

Tabla 48. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 40% AR+0.5%LA

Peso Específico Bulk	6.10%
Índice de Vacíos con Aire	6.69%
Estabilidad	7.00%
Contenido óptimo de Asfalto	6.60%

Fuente: Autor

La tabla N 48 indica el porcentaje de líquido asfáltico óptimo que se obtuvo mediante el ensayo Marshall para la mezcla de material asfáltico tradicional dando como resultado un porcentaje de 6.60 %

3.1.1.4. Criterios de Diseño para mezclas Marshall

Una vez realizadas las figuras con los parámetros Marshall y obtenido el porcentaje de líquido asfáltico óptimo se procede a determinar los criterios de diseño obteniendo los valores proyectados en cada gráfica (ver Fig. 57,58,59,60,61,62)

Se procede a determinar si los valores obtenidos cumplen con las características establecidas en la norma y determinar si la mezcla realizada es aceptable.

Tabla 49. Criterios de Diseño

CRITERIO DE MEZCLA	DISEÑO DE MEZCLA	
Estabilidad (lb)	3800	OK
Flujo (centésimas de pulgada)	10.60	OK
Porcentaje de vacíos (%)	8.00	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	65.00	OK
Relación <i>FILLER/Betun</i>	0.8	OK
Porcentaje de vacios con agregado mineral (%)	22.00	OK

Fuente: Autor

La tabla N 49 indica que para los 6 parámetros establecidos por la norma MOP los resultados obtenidos en los ensayos previamente elaborados cumplen con las especificaciones dadas lo cual proporciona un criterio positivo acerca de la mezcla de material asfáltico tradicional realizada.

Se puede observar que la mezcla MAC- 40% AR y 0.5% de lana de acero realizada (ver Tabla N 44) presenta una estabilidad de 3800 lb (ver Fig. 61) la cual es mayor al valor mínimo establecido por la norma (ver Tabla N° 4) por otro lado se puede apreciar que el flujo determinado para esta mezcla dio como resultado 10.60 (ver Fig. 62), el porcentaje de vacíos arrojó como resultado un porcentaje de 8.00 (ver Fig. 58) un valor que supera el límite del rango establecido por lo que no cumple con lo expuesto en la norma.

Por otra parte, se puede observar que el porcentaje de vacío llenos de asfalto dio como resultado un valor de 65% (ver Fig. 60) el cual al ser comparado con la norma se encuentra en el límite del valor mínimo permitido, la relación entre filler y betún también arrojó un valor que se encuentra en el límite de los establecido pero que aún así se encuentra en el rango de lo permitido.

3.1.3.3. Diseño de mezcla asfáltica 60% asfalto reciclado – 1.5% de lana de acero

La Tabla 38 presenta de forma esquemática el porcentaje de sustitución de agregados, filler, material asfáltico reciclado, contenido de líquido asfáltico y porcentaje de lana de acero de cada uno de los especímenes que se fabricaron en el laboratorio de pavimentos.

Como se mencionó anteriormente el 60% de material asfáltico reciclado, aporta aproximadamente 3.312% de líquido asfáltico a la mezcla.

Tabla 50 Diseño de Mezcla Asfáltica - 60% material reciclado – 1.5% Lana de Acero

TAMIZ (plg)	% QUE PASA (Especificación) %	GRANULOMETRÍA DE DISEÑO %	% RETENIDO %	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
				Asf. Reciclado 60% (gr)	Asf. Reciclado 60% (gr)	Asf. Reciclado 60% (gr)	Asf. Reciclado 60% (gr)	Asf. Reciclado 60% (gr)
1"	100	100	0%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	90-100	95	5%	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8
3/8"	56-80	75	20%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº4	35-65	55	10%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº8	23-49	30	35%	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8
Nº50	5-19	10	15%	177.0	176.1	175.2	174.3	173.4
Nº200	2-8	5	8.5%	100.3	99.8	99.3	98.7	98.2
FILLER			5%	59.0	58.7	58.4	58.1	57.8
% de Asfalto				1.69%	2.19%	2.69%	3.19%	3.69%
Asfalto Líquido				20	26	32	38	44
% Lana de Acero				1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
Lana de Acero				17.7	17.6	17.5	17.4	17.3
Asfalto reciclado				707.85	704.25	700.65	697.05	693.45
Agregados Tradicionales				454.20	451.89	449.58	447.27	444.96
TOTAL				1200	1200	1200	1200	1200

Fuente: Autor

3.1.1.5. Ensayo Rice

El ensayo Rice se determinó para cada porcentaje de líquido asfáltico ensayado un espécimen por cada porcentaje de líquido asfáltico. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 51 Ensayo Rice - 60% de Material Asfáltico Reciclado – 1.5% Lana de Acero

Líquido Asfáltico (%)	Ensayo Rice (%)
5%	2.481
5.5%	2.454
6%	2.371
6.5%	2.314
7%	2.291

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos en la Tabla 51 se encuentran en el rango establecido de aceptación determinados en la figura 63 que como se puede apreciar los resultados van desde 2.291% hasta el 2.481%. Por lo cual se puede inferir que la mezcla asfáltica realizada cumple con las condiciones establecidas y se encuentra en un rango de Muy Bueno.

Se puede apreciar también que mientras va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico el porcentaje de vacíos va decreciendo esto debido a que los vacíos existentes se llenan de material mineral en este caso Filler y también son llenados con el líquido asfáltico.

Fig. 63 Rangos aceptables del ensayo Rice

RANGO: 2.1 - 2.8
MUY BUENO: 2.3 - 2.5
NO TAN BUENO: MENOR A 2.3 Y MAYOR A 2.5

Fuente: ASTM D 2041

3.1.1.6. Ensayo Marshall

Para determinar el contenido óptimo de líquido asfáltico en la mezcla asfáltica elaboramos mezclas con 5 contenidos de líquido asfáltico diferentes (ver Tabla 38).

Los parámetros Marshall para cada contenido de líquido asfáltico, se promedian los resultados de 3 especímenes, cuyos valores no difieren entre ellas. Se muestra los resultados del diseño Marshall de la MAC – 60% material asfáltico reciclado – 1.5% Lana de Acero.

Tabla 52. Ensayo Marshall mezcla 60% de asfalto reciclado – 1.5% Lana de Acero

Peso específico de los agregados para diseño (Gagr):

2.612 gr/cm³

Peso específico del asfalto (Gsaf):

1.009 gr/cm³

% de Asfalto Reciclado:

60%

MUESTRA No.	CEMENTO ASFÁLTICO %	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO (gr)			PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD (lb)			FLUJO pulg/100	
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	Bulk (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A	B	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
%Agreg							$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gsaf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) \times 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	100-K-L	100-K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} * 100$			Q * R		
95.00	B1	5.00	1.5%	7.40	1181.30	1197.70	607.70	2.00									3189	0.791	2522.95	11.37	
	B2			7.30	1180.40	1189.50	604.50	2.02										3175	0.810	2571.81	10.84
	B3			7.40	1182.40	1196.60	610.50	2.02										3182	0.791	2517.61	8.87
	PROMEDIOS						2.01	2.42	2.481	1.080	73.19	18.90	7.91	26.81	3.97	29.50			2537.46	10.36	
94.50	B4	5.50	1.5%	7.10	1180.50	1189.40	641.50	2.15									3479	0.839	2920.00	10.00	
	B5			7.10	1180.90	1188.10	639.60	2.15										3562	0.839	2989.82	9.56
	B6			7.10	1181.50	1186.50	640.50	2.16										3499	0.839	2937.36	10.11
	PROMEDIOS						2.16	2.40	2.454	0.928	78.04	12.09	9.87	21.96	4.62	44.94			2949.06	9.89	
94.00	B7	6.00	1.5%	7.00	1182.90	1204.30	631.20	2.06									3829	0.858	3285.39	11.81	
	B8			7.00	1185.30	1198.50	635.90	2.11										3698	0.858	3173.70	11.26
	B9			7.10	1185.60	1199.40	651.50	2.16										3705	0.839	3109.64	11.75
	PROMEDIOS						2.11	2.38	2.371	0.260	75.99	10.94	13.07	24.01	5.76	54.45			3189.57	11.61	
93.50	B10	6.50	1.5%	7.10	1186.50	1190.50	655.00	2.22									2141	0.839	1797.48	14.76	
	B11			7.10	1186.20	1191.50	654.90	2.21										2379	0.839	1997.11	14.50
	B12			7.00	1183.40	1189.50	650.60	2.20										2127	0.858	1825.47	11.75
	PROMEDIOS						2.21	2.37	2.314	1.048	79.02	4.60	16.38	20.98	5.52	78.08			1873.35	13.67	
93.00	B13	7.00	1.5%	7.30	1189.50	1195.40	651.40	2.19									1734	0.810	1404.81	21.61	
	B14			7.20	1186.20	1192.50	655.60	2.21										1692	0.823	1392.95	18.31
	B15			7.30	1188.90	1195.70	650.80	2.18										1926	0.810	1560.31	11.86
	PROMEDIOS						2.19	2.35	2.291	1.180	78.07	4.31	17.62	21.93	5.90	80.33			1452.69	17.26	

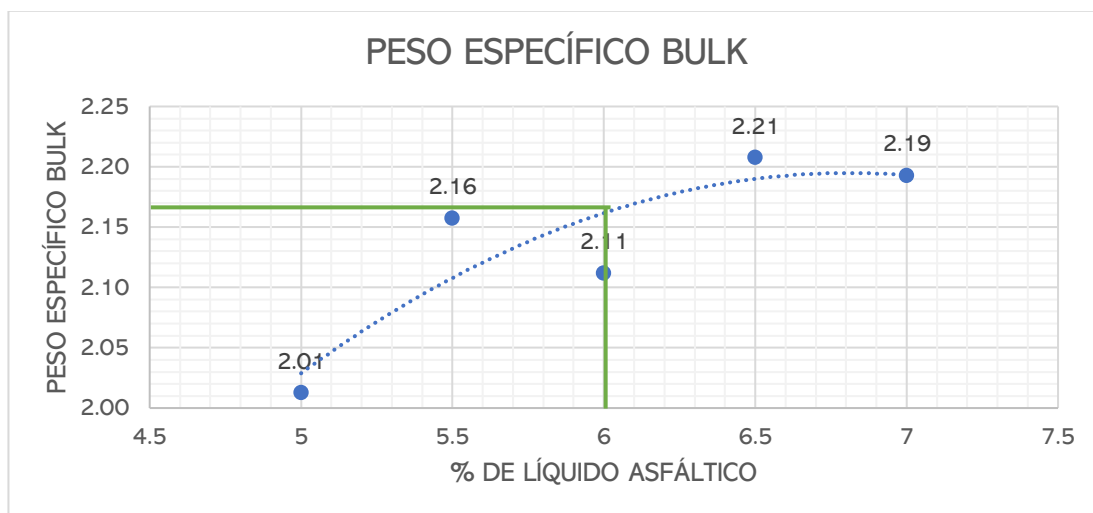
Tabla 53.Resultados de Ensayo Marshall 60% de material asfáltico reciclado- 1.5% Lana de Acero

ASFALTO LÍQUIDO (%)	% LANA DE ACERO	BULK (gr)	VACÍOS (%)			ESTABILIDAD (lbf)	FLUJO (pulg)
			AIRE	Agreg. Mineral	Lleno de Asfalto		
5	1.5%	2.01	18.90	26.81	29.50	2537.46	10.36
5.5	1.5%	2.16	12.09	21.96	44.94	2949.06	9.89
6	1.5%	2.11	10.94	24.01	54.45	3189.57	11.61
6.5	1.5%	2.21	4.60	20.98	78.08	1873.35	13.67
7	1.5%	2.19	4.31	21.93	80.33	1452.69	17.26

Fuente: Autor

Una vez que los resultados fueron obtenidos se realizaron gráficos de densidad, porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo, con los que se determinó el porcentaje óptimo de líquido asfáltico. A continuación, se muestran las figuras:

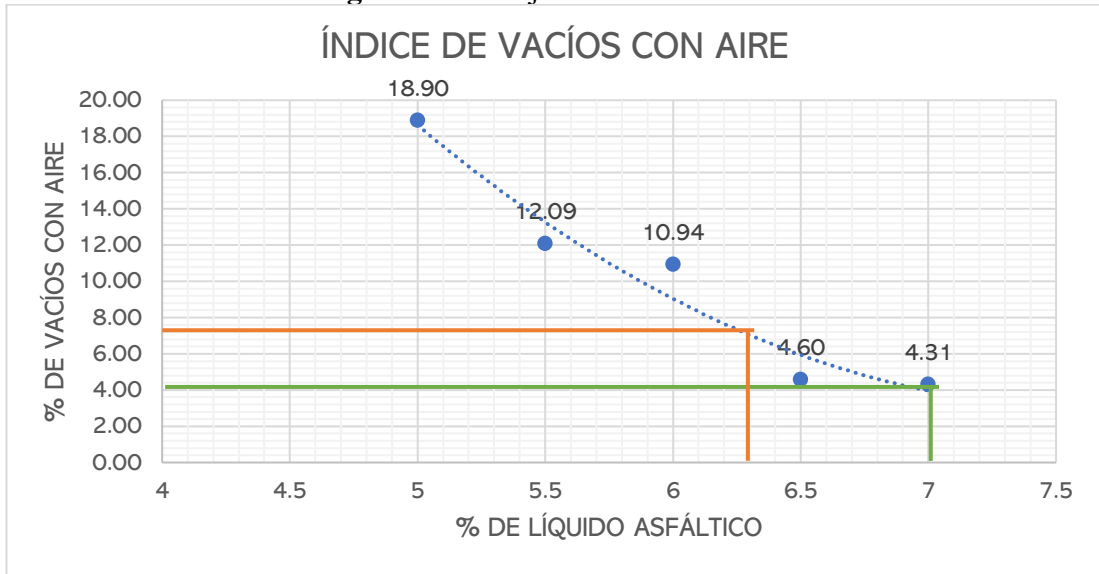
Fig. 64 Densidad Bulk 60% de material asfáltico reciclado -1.5% Lana de Acero



Fuente: Autor

En la figura N 64 se puede observar la curva de densidad Bulk Vs contenido de asfalto líquido de las mezclas asfálticas tradicionales incorporando 60% de material asfáltico reciclado en donde se aprecia que los valores de densidad Bulk de la mezcla MAC-60% AR y 1.5% de lana de acero tienden a aumentar su valor de densidad mientras aumenta el contenido de asfalto a excepción del valor que se encuentra en 6% por lo cual se puede inferir que son directamente proporcionales.

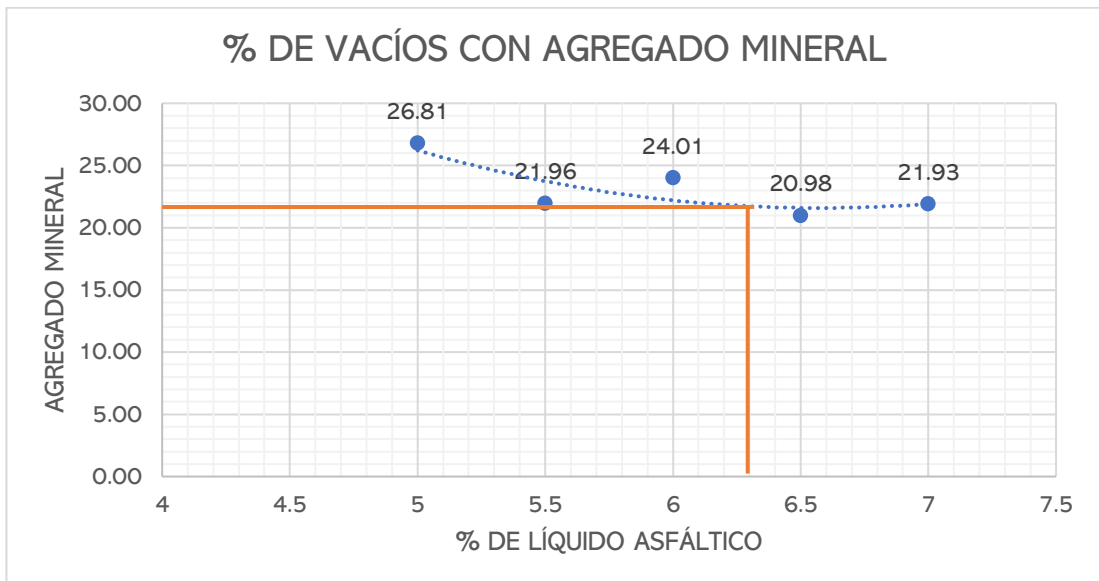
Fig. 65 Porcentaje de vacíos con aire



Fuente: Autor

En la figura N 65 se puede observar la curva generada entre el porcentaje de vacíos con aire y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR y 1.5% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos van decreciendo su valor, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son inversamente proporcionales.

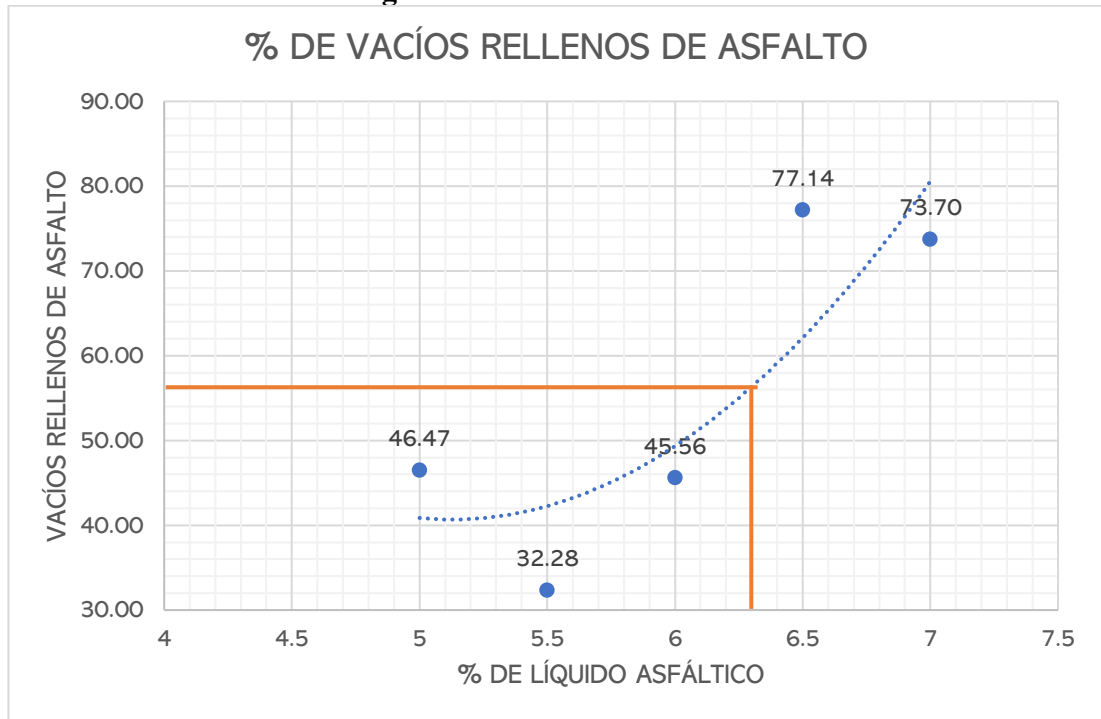
Fig. 66 Vacíos con Agregado Mineral



Fuente: Autor

En la figura N 66 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos con agregado mineral versus el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR y 1.5% de lana de acero en donde se aprecia que los valores obtenidos van decreciendo conforme aumenta el porcentaje de líquido asfáltico, también se puede apreciar que los valores se encuentran por encima del 20%.

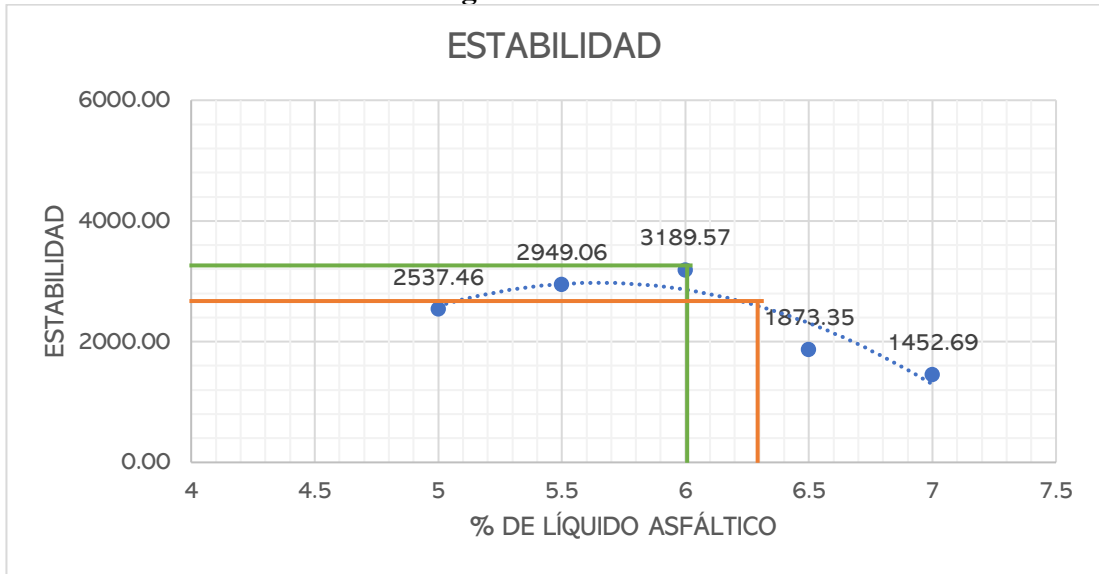
Fig. 67 Vacíos llenos de Asfalto



Fuente: Autor

En la figura N 67 se puede observar la curva realizada entre el porcentaje de vacíos llenos de asfalto versus contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR y 1.5% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de porcentaje de vacíos llenos de asfalto van aumentando su valor a excepción del valor existente en el porcentaje 5.5 y 6.5, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son directamente proporcionales.

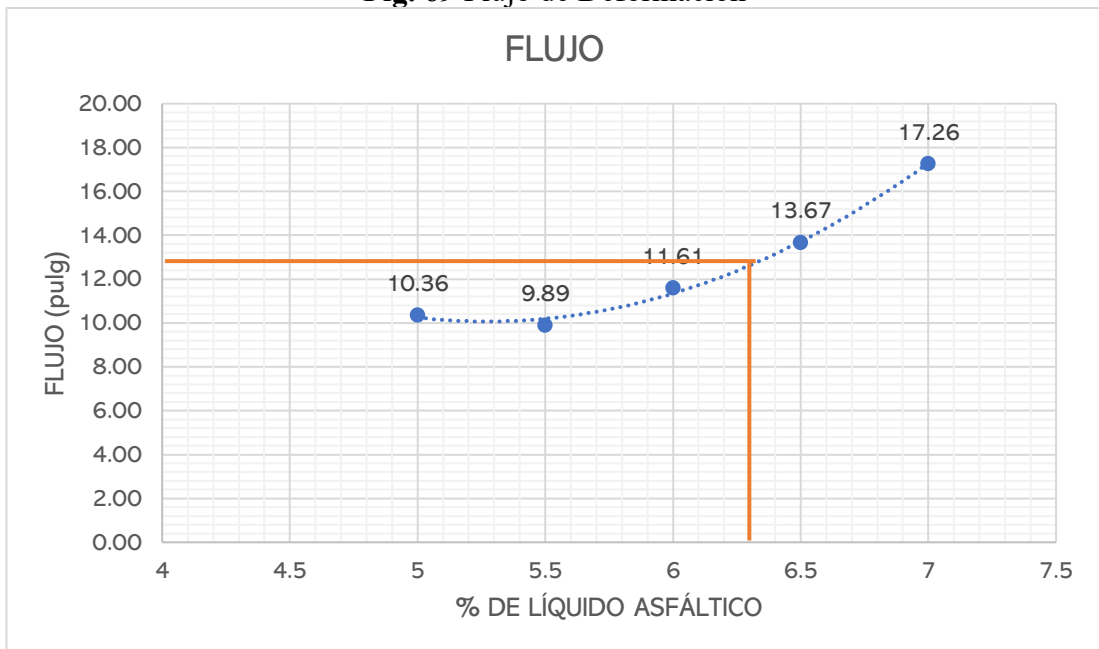
Fig. 68 Estabilidad



Fuente: Autor

En la figura N 68 se puede observar la curva generada entre la estabilidad y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR y 1.5% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de estabilidad presentan un decrecimiento conforme va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico, por lo que se puede inferir que es indirectamente proporcional.

Fig. 69 Flujo de Deformación



Fuente: Autor

En la figura N 69 se puede observar la curva generada entre el flujo de deformación y el contenido de asfalto líquido de las mezclas MAC-60% AR y 1.5% de lana de acero en donde se aprecia que los valores de flujo tienden a aumentar su valor, mientras el porcentaje de asfalto líquido va aumentando, por lo que se puede determinar que son indirectamente proporcionales.

3.1.1.7. Contenido de Líquido Asfáltico óptimo

Para la obtención del porcentaje de líquido asfáltico óptimo se toman en cuenta tres de las curvas representadas en las figuras 64,65 y 68, el resultado promediado de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto líquido.

Tabla 54. Porcentaje óptimo de líquido asfáltico 60% de material asfáltico reciclado

Peso Específico Bulk	6.00%
Índice de Vacíos con Aire	7.00%
Estabilidad	6.00%
Contenido óptimo de Asfalto	6.30%

Fuente: Autor

La tabla N 36 indica el porcentaje de líquido asfáltico óptimo que se obtuvo mediante el ensayo Marshall para la mezcla de material asfáltico tradicional dando como resultado un porcentaje de 6.30%

3.1.1.8. Criterios de Diseño para mezclas Marshall

Una vez realizadas las figuras con los parámetros Marshall y obtenido el porcentaje de líquido asfáltico óptimo se procede a determinar los criterios de diseño obteniendo los valores proyectados en cada gráfica (ver Fig. 64,65,66,67,68,69)

Se procede a determinar si los valores obtenidos cumplen con las características establecidas en la norma y determinar si la mezcla realizada es aceptable.

Tabla 55. Criterios de Diseño

CRITERIO DE MEZCLA	DISEÑO DE MEZCLA	
Estabilidad (lb)	2540	OK
Flujo (centésimas de pulgada)	11.70	OK
Porcentaje de vacíos (%)	7.00	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%)	56.00	NO CUMPLE
Relación <i>FILLER/Betun</i>	0.8	OK
Porcentaje de vacios con agregado mineral (%)	21.00	OK

Fuente: Autor

La tabla N 55 indica que para los 6 parámetros establecidos por la norma MOP los resultados obtenidos en los ensayos previamente elaborados cumplen con las especificaciones dadas lo cual proporciona un criterio positivo acerca de la mezcla de material asfáltico tradicional realizada.

Se puede observar que la mezcla MAC- 60% AR realizada y 1.5% de lana de acero (ver Tabla N 50) presenta una estabilidad de 2540 lb (ver Fig. 68) la cual es mayor al valor mínimo establecido por la norma (ver Tabla N° 4) por otro lado se puede apreciar que el flujo determinado para esta mezcla dio como resultado 11.70 (ver Fig. 69), el porcentaje de vacíos arrojó como resultado un porcentaje de 7.00 (ver Fig. 65) un valor que supera el rango establecido por lo que no cumple con lo solicitado en la norma.

Por otra parte, se puede observar que el porcentaje de vacío llenos de asfalto dio como resultado un valor de 56% (ver Fig. 67) el cual al ser comparado con la norma no cumple con su valor mínimo, la relación entre filler y betún también arrojó un valor que se encuentra en el límite de los establecido pero que aún así se encuentra en el rango de lo permitido.

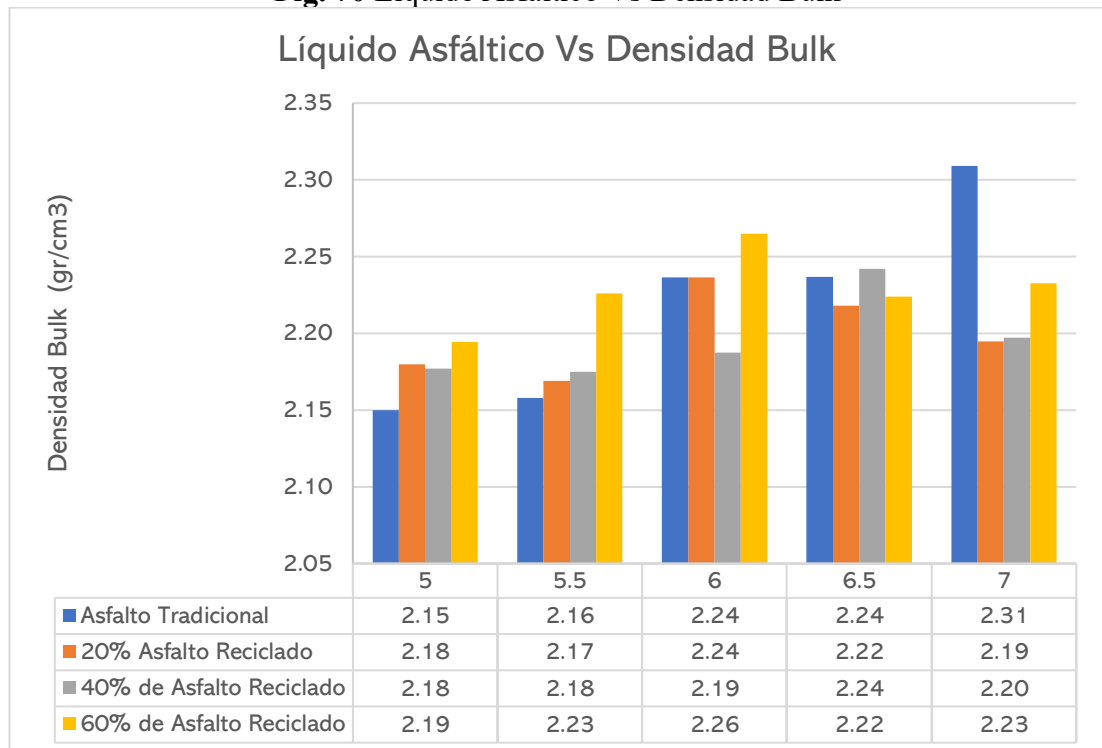
3.1.3.4. Análisis Comparativo.

Se realizó un análisis comparativo entre las mezclas diseñadas durante la investigación utilizando los valores obtenidos en cada fase.

3.1.3.4.1. Mezcla Asfáltica Tradicional Vs Mezcla Asfáltica con Porcentajes de Material Reciclado

- *Peso Específico Bulk*

Fig. 70 Líquido Asfáltico Vs Densidad Bulk



Fuente: Autor

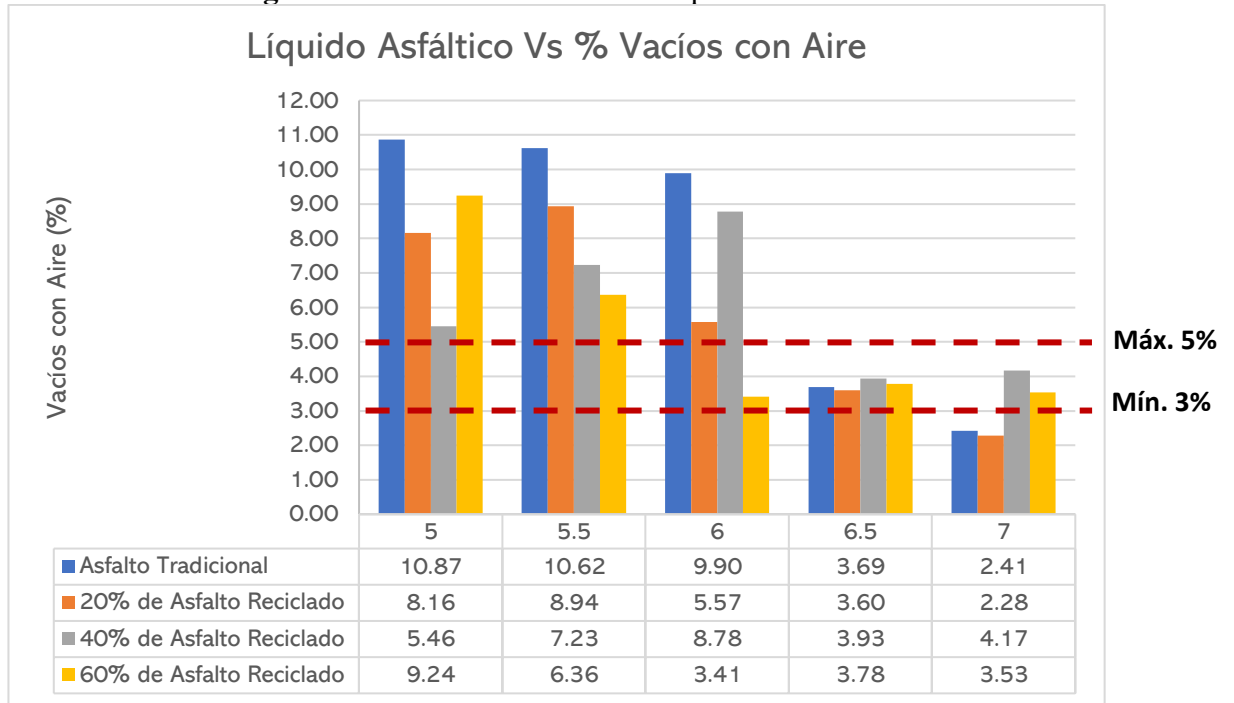
En la figura N 70 se advierte los valores de Densidad Bulk en relación con el porcentaje de asfalto líquido en donde se puede apreciar que en la mezcla asfáltica tradicional a mayor porcentaje de asfalto líquido la densidad específica va aumentando su valor lo cual determina que son directamente proporcionales sin embargo en las mezclas asfálticas con porcentajes de material reciclado se puede observar que la densidad específica aumenta conforme va aumentando el porcentaje de asfalto líquido hasta cierto punto, en este caso hasta 6% y 6.5% y después presenta un descenso en la densidad determinando así que en mezclas asfálticas con material reciclado la densidad en relación al líquido asfáltico es indirectamente proporcional.

Por otro lado, se puede observar que las mezclas asfálticas realizadas con mayor porcentaje de asfalto reciclado en contraste con las mezclas tradicionales se vuelven

más densas, esto debido a que a mayor porcentaje de material reciclado las alturas de los especímenes van aumentando (ver Tabla 34) con respecto a la mezcla asfáltica tradicional.

- **Porcentaje de Vacíos con aire**

Fig. 71 % de Vacíos con aire Vs Líquido Asfáltico



Fuente: Autor

La figura N 71 presenta el comportamiento de las mezclas asfálticas en relación con el porcentaje de vacíos con aire en donde se puede valorar que a mayor porcentaje de líquido asfáltico y material reciclado el porcentaje de vacíos va disminuyendo, una de las razones de este comportamiento se debe a que el material reciclado presenta agregado fino adherido que al ser calentado éste se desprende del agregado grueso y tiene a rellenar los vacíos del espécimen.

En contraste se puede apreciar que la mezcla tradicional también presenta un decrecimiento de porcentaje de vacíos mientras va aumentando el contenido de líquido asfáltico esto debido a que la densidad específica también va aumentando mientras mayor es el porcentaje de asfalto líquido.

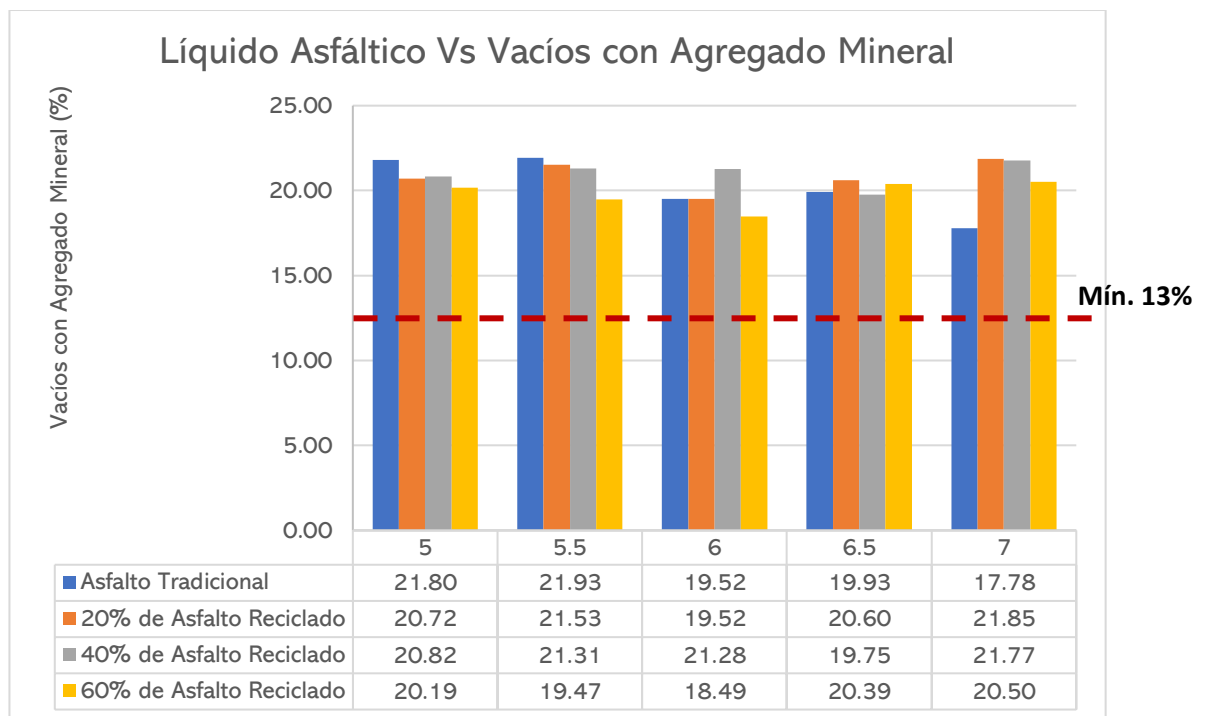
Cabe mencionar que para que la carpeta asfáltica presente buenas características de durabilidad la mezcla asfáltica no debe presentar porcentaje de vacíos muy bajo ya que a menor porcentaje de vacíos la mezcla se vuelve permeable. Por otro lado, si el

porcentaje de vacíos es demasiado alto la mezcla asfáltica se vuelve porosa permitiendo la infiltración de agua y aire lo cual a futuro significa desgaste acelerado del material.

Por otro lado, el manual de Especificaciones Técnicas MOP 001-F-2002, capítulo VII, sección 811, establece que las mezclas asfálticas en caliente deben presentar un porcentaje de vacíos con aire en un rango de 3% a 5%, lo cual en la figura 70 se observa que solo algunos valores de vacíos están parcialmente dentro del rango de los criterios de la norma.

- **Porcentaje de Vacíos con Agregado Mineral**

Fig. 72 % Vacíos con agregado mineral Vs Líquido asfáltico

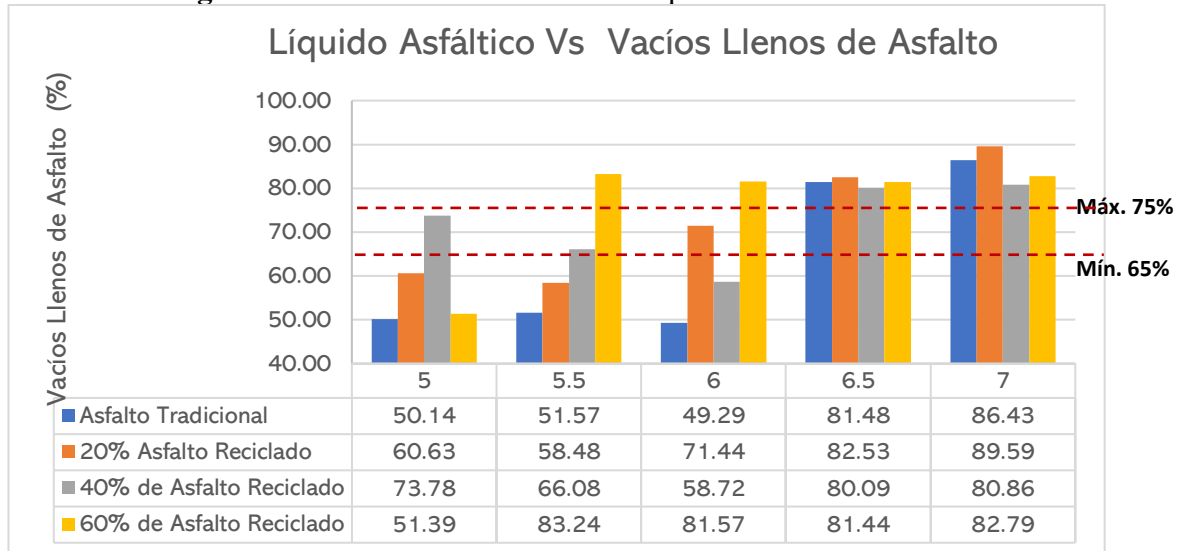


Fuente: Autor

En la figura N 72 se aprecia el porcentaje de vacíos llenos de agregado mineral existente en los especímenes en donde se puede ver que en las mezclas tanto tradicional como con material reciclado el porcentaje de vacíos se mantiene por encima del valor permitido por la norma. Se puede observar que para las mezclas tradicionales los valores de vacíos van decreciendo conforme va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico esto quiere decir que mientras más bajo sea el porcentaje de vacíos los agregados no están siendo cubiertas de asfalto en su totalidad.

- **Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto**

Fig. 73 Vacíos Llenos de asfalto Vs Líquido asfáltico

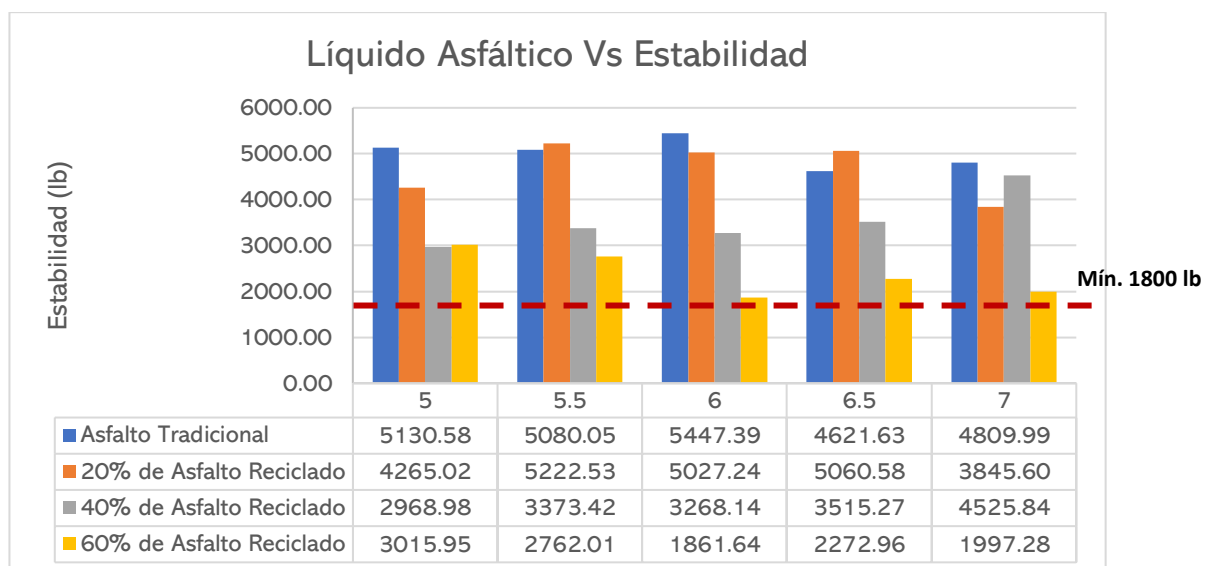


Fuente: Autor

De acuerdo con la figura N 73 se contempla el comportamiento de porcentajes de vacíos llenos de asfalto en donde se puede apreciar que los vacíos van aumentando su valor conforme va aumentando el contenido de asfalto líquido por otro lado se puede apreciar que mientras mayor sea el porcentaje de material reciclado el porcentaje de vacíos aumenta sin embargo cuando existe mayor porcentaje de vacíos llenos de asfalto esto puede provocar problemas de estabilidad.

- **Estabilidad**

Fig. 74 Estabilidad Vs Líquido Asfáltico



Fuente: Autor

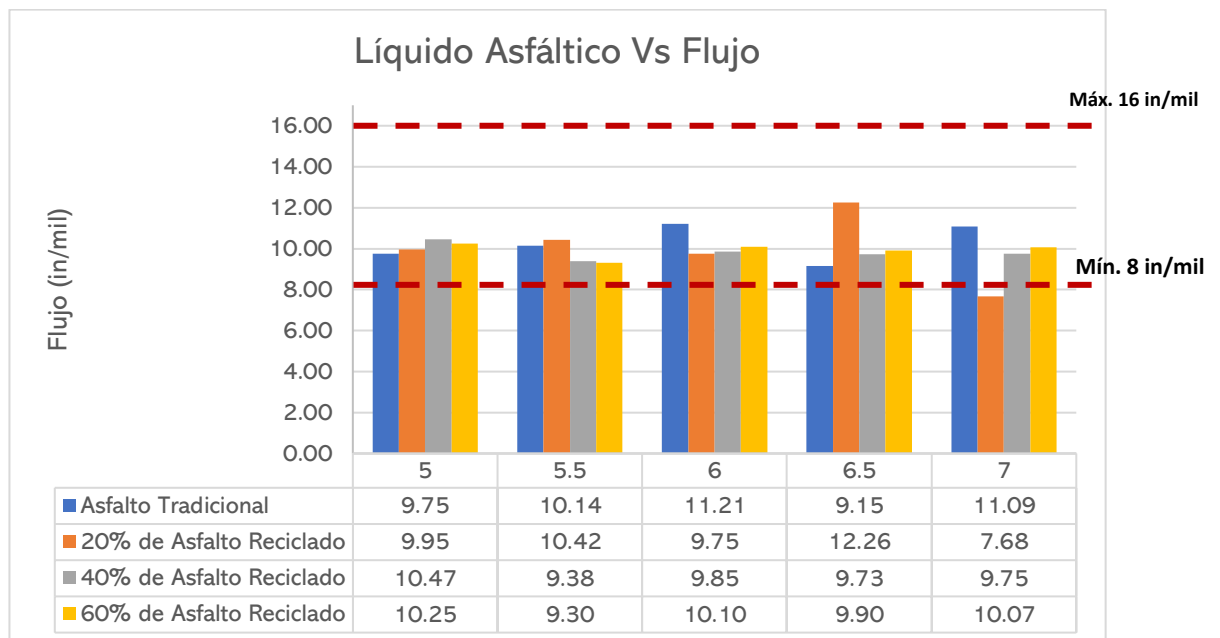
De acuerdo con la figura N 74 se puede notar el comportamiento de la estabilidad tanto en mezclas asfálticas tradicionales y con material reciclado y se puede inferir que a mayor porcentaje de material asfáltico reciclado la estabilidad va decreciendo en relación con las mezclas tradicionales, esto debido a que se ha reemplazado agregados los cuales han estado expuestos a la intemperie y que ya han resistido esfuerzos de tráfico.

Por otro lado, se puede apreciar que las estabilidades de las mezclas tradicionales tienen un valor alto lo cual permite que la mezcla sea más resistente a las deformaciones permanentes bajo cargas repetidas.

También se observa que tanto para mezclas asfálticas tradicionales y con material reciclado la estabilidad está por encima del valor permitido por la norma lo cual indica un buen rendimiento de las mezclas realizadas.

- **Flujo**

Fig. 75 Flujo Vs Líquido Asfáltico



Fuente: Autor

De acuerdo con figura N 75 se puede percibir que a mayor porcentaje de asfalto reciclado el valor de flujo va aumentando en relación con los otros porcentajes de material reciclado. También se puede apreciar que la mezcla asfáltica tradicional

presenta valores altos de flujo de deformación mientras mayor es el porcentaje de líquido asfáltico.

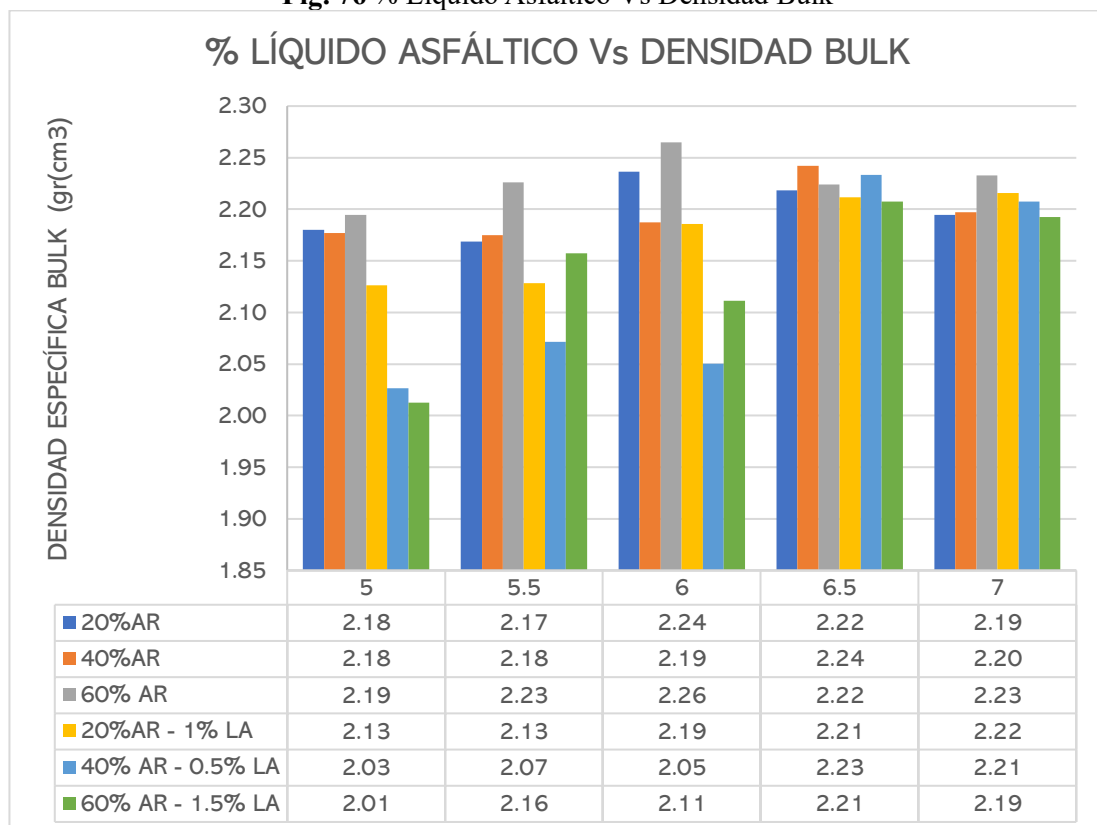
Por lo tanto, las mezclas que presentan un valor alto de flujo tienden a ser demasiado plásticas y presentar deformaciones bajo cargas de tránsito, sin embargo, una presencia de flujo baja es significado de una mezcla demasiado rígida.

Con respecto al manual de Especificaciones Técnicas MOP 001-F-2002, capítulo VII, sección 811, establece que las mezclas asfálticas en caliente deben presentar valores de fluencia en un rango de 8 a 16 centésimas de pulgada, lo cual se puede ver que todos los valores de las mezclas se encuentran en el rango establecido de la norma.

3.1.3.4.2. Mezcla Asfáltica con Porcentajes de Material Reciclado Vs Mezclas Asfálticas con porcentaje de reciclado y lana de acero

- *Peso Específico Bulk*

Fig. 76 % Líquido Asfáltico Vs Densidad Bulk



Fuente: Autor

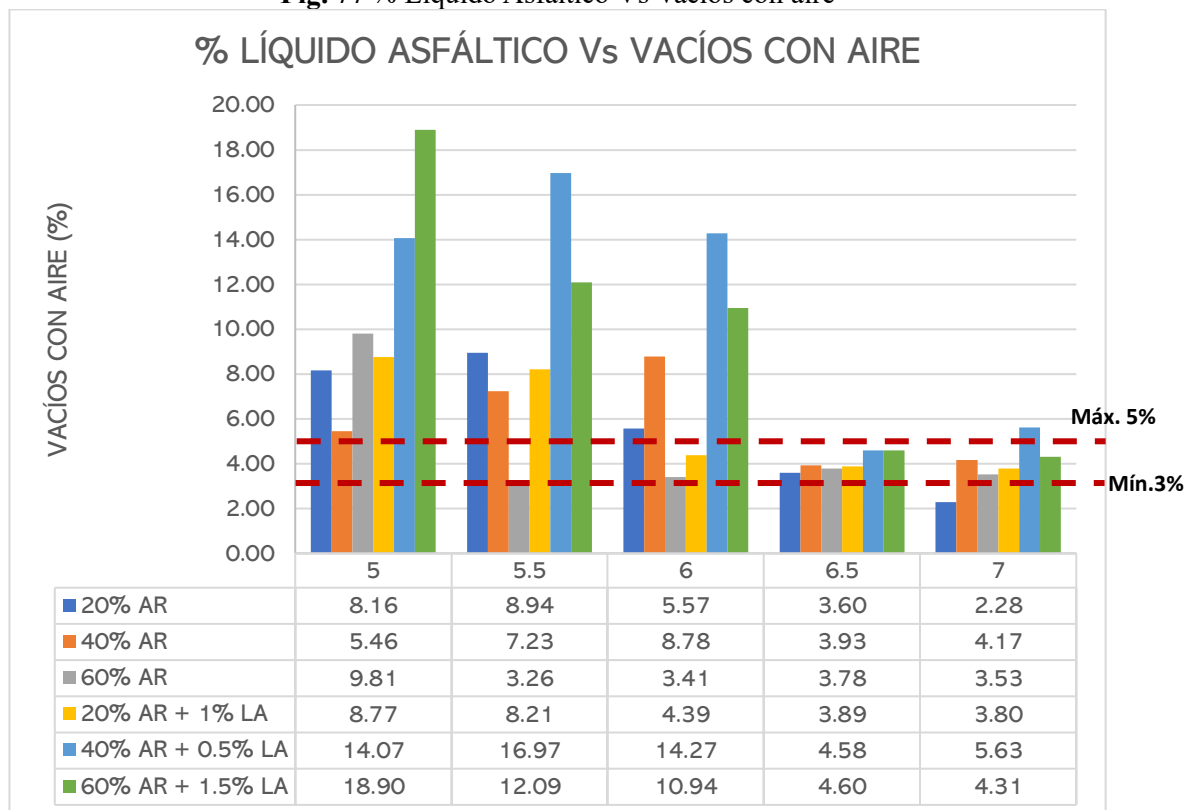
En la figura 76 se puede percibir que, en mezclas asfálticas con porcentajes de asfalto reciclado solamente, la densidad Bulk va aumentando en relación con el aumento de

líquido asfáltico manteniendo una relación directamente proporcional y llegando hasta un valor de 2.26 gr/cm³ en mezclas con 60%AR el cual es relativamente alto. En contraste en las mezclas realizadas con porcentajes de material reciclado y lana de acero presentan densidades específicas menores que van desde 2.01 gr/cm³ con 60%AR+1.5 LA las cuales van aumentando conforme aumenta el porcentaje de líquido asfáltico hasta llegar a su valor más alto de 2.23 gr/cm³ con 40% AR+0.5% LA.

Con respecto a los resultados obtenidos se puede apreciar que un valor alto en las densidades específicas está relacionado con términos de rendimiento y durabilidad ya que tienden a ser más perdurables frente al desgaste producido por carga vehicular. Por otro lado, la presencia de valores menores en la densidad específica se refiere a una menor durabilidad ya que la mezcla no se encuentra lo suficientemente compactadas generando así un mayor porcentaje de porosidad en la mezcla lo cual a su vez permite el ingreso de partículas extrañas a la mezcla y una mayor probabilidad de infiltración de agua.

- **Porcentaje de Vacíos con Aire**

Fig. 77 % Líquido Asfáltico Vs Vacíos con aire



Fuente: Autor

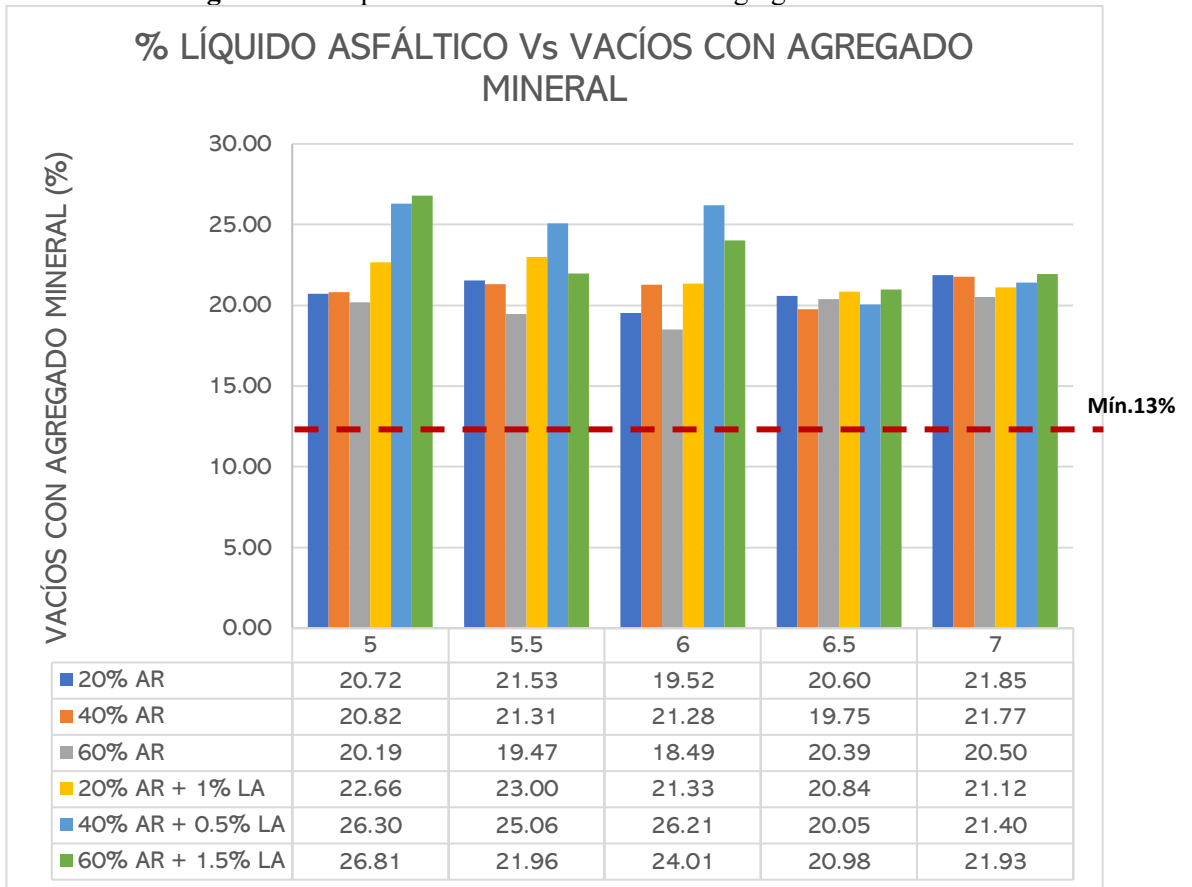
En la figura 77 se observa que en las mezclas asfálticas con presencia de porcentajes de material reciclado los valores de vacíos con aire presentan un comportamiento irregular conforme va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico esto tiene relación con el porcentaje de material reciclado que se encuentra presente en la mezcla, siendo así que en la mezcla con 60% AR los valores de vacíos se encuentran dentro del rango permitido por la norma MOP-F-001-2002 esto debido a la presencia de partículas de polvo finas presente en el material reciclado lo cual le brinda una mayor cobertura a los espacios producidos al momento de la compactación.

Por otro lado, en las mezclas con presencia de material reciclado y lana de acero se puede observar que a mayor porcentaje de adición de la lana de acero los vacíos van creciendo esto debido a los espacios que se generan al momento de realizar la compactación una de las razones se puede deber a la manera de mezclar ya que al no ser una mezcla homogénea las fibras tienden a enredarse con los agregados y generar porosidades en el espécimen, se puede observar también que a mayor porcentaje de líquido asfáltico los vacíos van decreciendo debido a que los espacios generados se van llenado con el líquido asfáltico.

La mezcla con 20% AR + 1% LA se encuentra en el rango de aceptación de vacíos 3% -5% ya que presenta una mejor relación de homogeneidad entre el agregado y la adición de lana de acero en relación con los otros porcentajes.

- **Porcentaje de Vacíos con Agregado Mineral**

Fig. 78 %Líquido Asfáltico Vs Vacíos con Agregado Mineral



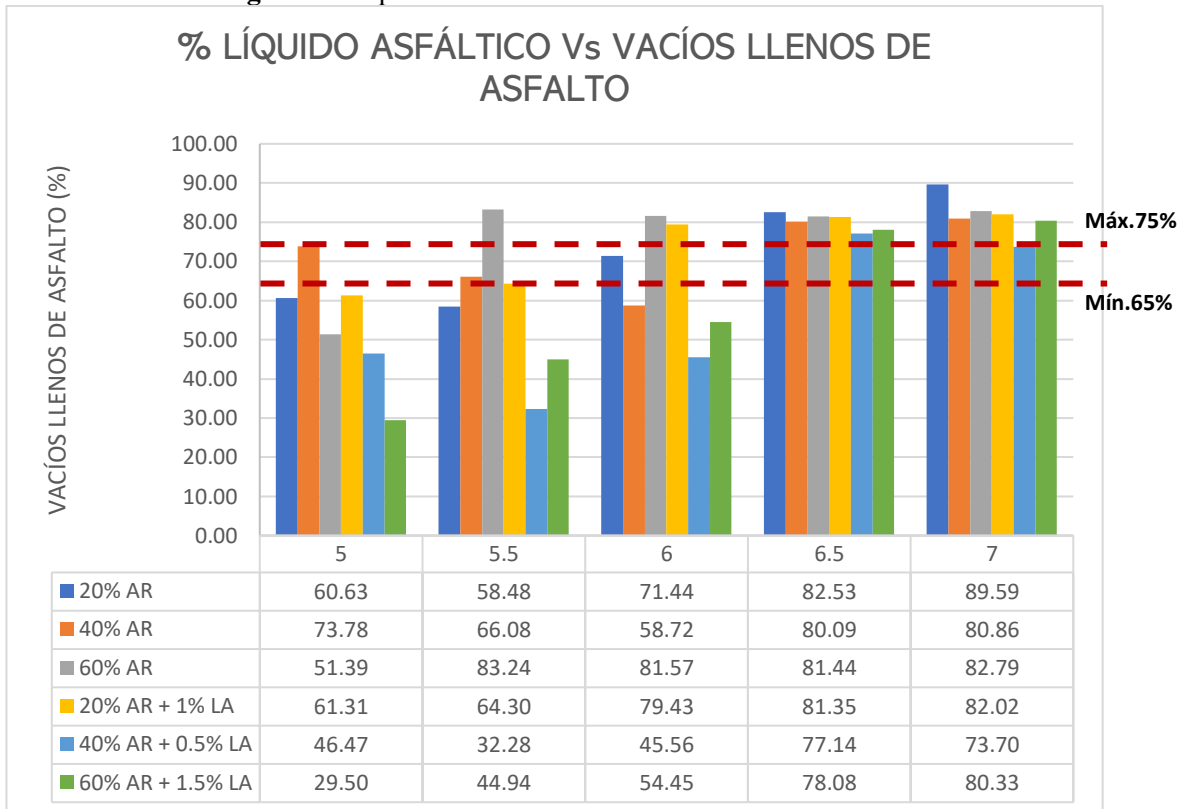
Fuente: Autor

En la figura 78 se puede escrutar que en las mezclas con porcentajes de material reciclado los vacíos con agregado mineral superan el valor mínimo establecido por la norma MOP-F-001-2002 de 13% sin embargo la relación de vacíos presenta un comportamiento irregular conforme va aumentando el porcentaje de líquido asfáltico por lo que se podría inferir que a excepción de ciertos porcentajes de líquido asfáltico los vacíos van aumentando conforme aumenta el aglutinante.

En contraste se puede apreciar que en mezclas con material reciclado y adición de lana de acero el porcentaje de vacíos aumenta su valor cuando existe menos porcentaje de líquido asfáltico esto debido a la baja presencia de aglutinante que no puede llenar los vacíos dejados por los agregados. Se puede observar que todas las mezclas se encuentran por encima del valor permitido sin embargo un valor alto de VAM puede generar mayor susceptibilidad al desprendimiento de capas lo que puede debilitar la estructura del pavimento.

- **Porcentaje de Vacíos llenos de Asfalto**

Fig. 79 % Líquido Asfáltico Vs Vacíos Llenos de Asfalto



Fuente: Autor

La figura 79 representa los valores de porcentaje de vacíos llenos de asfalto de las mezclas recicladas y mezclas con lana de acero en donde se observa que en las mezclas recicladas los valores tienden a aumentar conforme aumenta el porcentaje de aglutinante en la mayoría de los casos sin embargo se puede apreciar que el 20% AR y 40% AR se encuentran en el rango establecido por la norma cuando el porcentaje de líquido asfáltico es menor esto debido a que los poros son menores y se pueden rellenar con el aglutinante hasta un 6% puesto que al sobrepasar este porcentaje los vacíos comienzan a elevarse lo cual genera una reducción en la estabilidad.

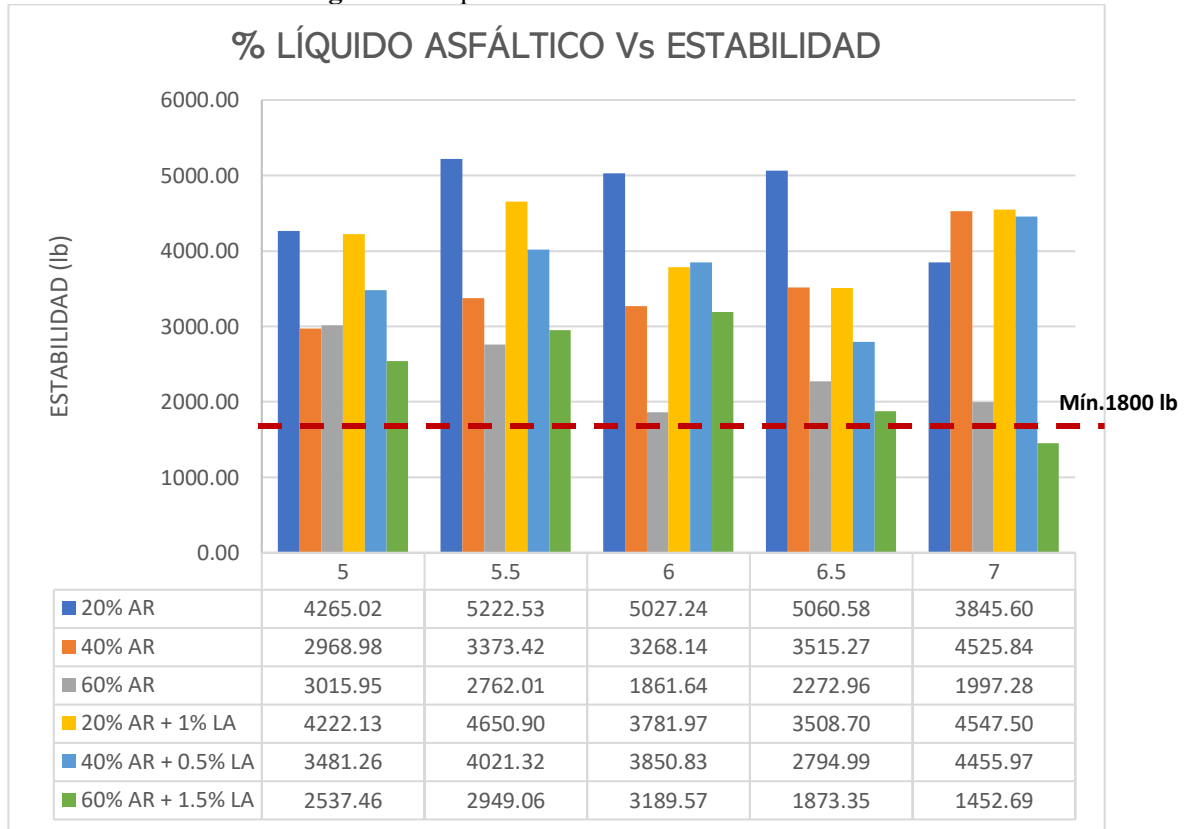
Por otro lado, en las mezclas realizadas con lana de acero se puede observar que el porcentaje de vacíos disminuye conforme va aumentando el porcentaje de lana de acero y material reciclado esto debido a que las fibras tienden a rellenar estos espacios además de observar que a menor porcentaje de material aglutinante los vacíos mejoran considerablemente lo cual puede desfavorecer a la mezcla debido a que aumenta la

susceptibilidad al agrietamiento debido a una menor flexibilidad y capacidad de expansión.

Por lo cual la mezcla de 20% Ar+ 1% LA es la más favorable debido a que sus valores están más cercanos a los establecido por la norma MOP-F-011-2002.

- **Estabilidad**

Fig. 80 % Líquido Asfáltico Vs Estabilidad



Fuente: Autor

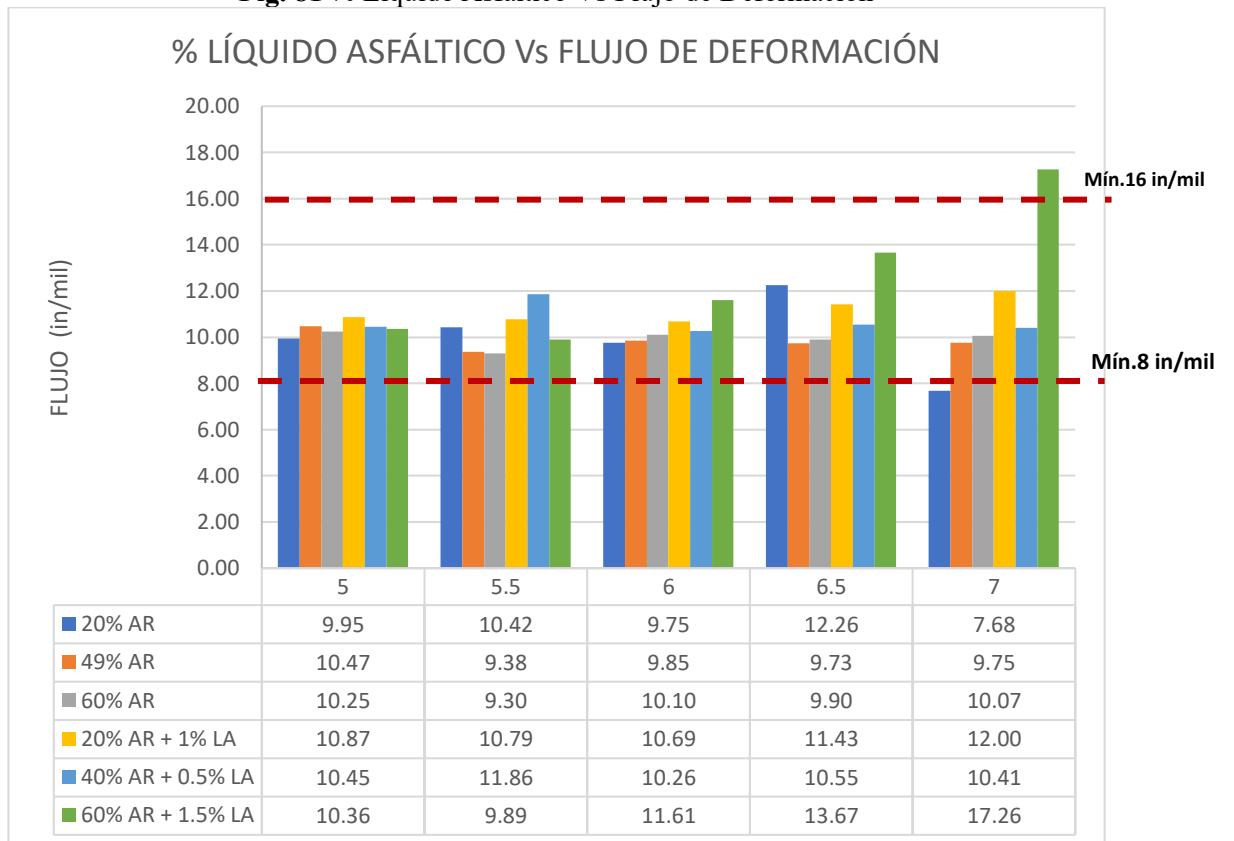
En la figura 80 se puede examinar los valores de estabilidad tanto de mezclas asfálticas con material reciclado solamente y mezclas con material reciclado y lana de acero en donde se puede observar un decrecimiento de la estabilidad conforme va aumentando el porcentaje de material reciclado hasta llegar a presentar estabilidades de 1861.64 lb con 60% AR, valor que se encuentra en el límite de lo establecido por la norma MOP-F-001-2002 lo cual sugiere que la mezcla es más propensa a experimentar deformaciones permanente, como hundimientos.

Por otro lado en mezclas asfálticas con material reciclado y adición de lana de acero la estabilidad va decreciendo conforme va aumentando el porcentaje de lana de acero

y asfalto líquido esto debido a que las fibras al no ser un material totalmente absorbente retienen aglutinante lo cual dificulta la compactación de la mezcla además de que en la mezcla 60% AR + 1.5% LA se encuentra un mayor porcentaje de material envejecido el cual con el pasar del tiempo presenta pérdida de flexibilidad lo que a su vez afecta en la capacidad para resistir deformaciones permanentes. Debido a estas razones se puede inferir que las mezclas con 20% AR + 1% LA y 40% AR + 0.5% LA son las más adecuadas a ser utilizadas.

- **Flujo**

Fig. 81 % Líquido Asfáltico Vs Flujo de Deformación



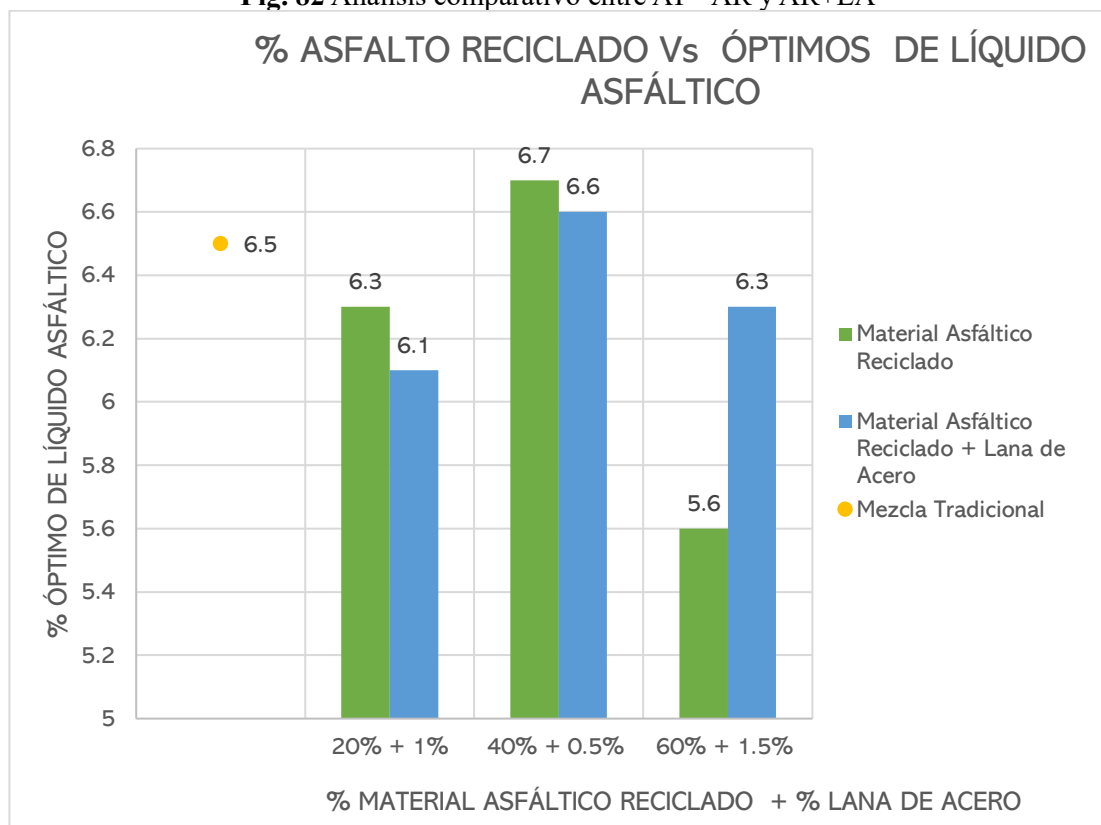
Fuente: Autor

La figura 81 proporciona los resultados de flujo de deformación de las mezclas con material reciclado y material reciclado con adición de lana de acero en las cuales se puede observar que en mezclas con material reciclado solamente el flujo se encuentra en el rango establecido por la norma MOP -F-001-2002, además de presentar un aumento en el flujo conforme aumenta el porcentaje de material reciclado.

Por otro lado, cuando se agregan porcentajes de lana de acero el flujo tiende a aumentar mucho conforme aumenta el valor de lana de acero esto debido a que le brinda un reforzamiento mejorando la cohesión y resistencia de la mezcla por lo cual se puede inferir que un valor excesivo de flujo no es beneficioso para las características de la mezcla siendo así que al agregar 1% y 0.5% de lana de acero brindará un mejoramiento en el flujo.

3.1.3.4.3. Análisis comparativo entre porcentajes óptimos de líquido asfáltico de mezclas tradicional, reciclado y reciclado conformado con lana de acero

Fig. 82 Análisis comparativo entre AT - AR y AR+LA



Fuente: Autor

La figura 82 registra que para el diseño de la mezcla asfáltica tradicional (ver tabla 10) se obtuvo un porcentaje óptimo de líquido asfáltico de 6.5% el cual presenta buenas características en los parámetros establecidos en contraste al realizar el diseño añadiendo porcentajes de material asfáltico reciclado se puede observar que el valor óptimo tiende a presentar un crecimiento cuando se agrega 40% de material reciclado

sin embargo al seguir aumentar este porcentaje en un 60% el valor óptimo de líquido asfáltico decae en 1% lo cual representa que los parámetros establecidos se encuentren en el límite de lo permitido (ver Tabla 37) por la norma MOP-F-001-2002

Por otro lado al comparar estos valores con las mezclas asfálticas con material reciclado y lana de acero se puede apreciar que el comportamiento es casi similar sin embargo al aumentar 1.5% y 60% de material reciclado el porcentaje óptimo de aglutinante presenta un valor de 6.3 por ciento el cual presenta un decrecimiento de 0.3% con respecto a cuando se agrega 0.5% de lana de acero y 40% de material reciclado, sin embargo en el diseño de estas mezclas se presentan parámetros que no cumplen con lo solicitado en la norma (ver Tabla 55) .

Por lo que con respecto a la figura 81 se puede inferir que el porcentaje óptimo de material reciclado se encuentra entre un 20 y 40 por ciento debido a que las características que presentan se encuentran en el rango estable permitido por la norma además de que también se puede observar que el porcentaje óptimo de lana de acero se encuentra en 0.5 y 1 por ciento por las características de refuerzo que presenta sin sobre pasarse de los límites establecidos.

3.2. Discusión

En la presente investigación se planteó como objetivo específico determinar una mezcla asfáltica tradicional mediante los parámetros Marshall y obtener el contenido de líquido asfáltico óptimo de la misma. Según Phan et al. [21] en su investigación, rendimiento de curación de grietas de asfalto de mezcla caliente que contiene escoria de acero mediante calentamiento el cemento asfáltico dio como resultado 5.4 % de ligante asfáltico, en la presente investigación se determinó el porcentaje de contenido asfáltico dando como resultado 6.5 % teniendo una variación de 1.1 % esto debido al tipo de agregados además de su granulometría y la capacidad de absorción por otro lado se debe tener en cuenta que la mezcla realizada contiene más agregados fino y menor cantidad de agregado grueso, mientras que Iberico [22] en su tesis, diseño de mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo Marshall adicionando fibra de acero en la ciudad de Yurimaguas – 2019; su contenido óptimo de asfalto fue el 5.8 % y en esta investigación la mezcla de 20% AR y 1% LA dio como resultado un porcentaje óptimo de 6.1% teniendo una variación menor de 0.3%.

Por otro lado, en el diseño de las mezclas asfálticas incorporando lana de acero se pudo determinar en esta investigación que los parámetros de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos iban decreciendo conforme aumenta el porcentaje de lana de acero en la mezcla, sin embargo, el contenido óptimo de líquido asfáltico dio como resultado 6.1% para la mezcla más apropiada de 20% AR y 1% LA. Por su parte Norambuena *et al.* [23] en su estudio al incorporar 2%, 4%, 6% y 8% de fibras de acero con la gradación de agregados y el contenido de betún constantes en las mezclas; sólo cambiando el contenido de fibras, sus resultados mejoraron en su estabilidad y flujo, en la presente investigación se encontró que existe una relación de decrecimiento en la estabilidad de 3880 lb a 2540 lb con respecto a la incorporación del 1%, 0.5% ,1.5% de fibras de acero más la proporción de 20%,40% y 60% de material reciclado.

En contraste en el estudio realizado por Fiallos y Unda [24] en su tesis análisis comparativo de propiedades y características mecánicas entre mezcla asfáltica en caliente "autorreparable" (con lana de acero) y mezcla asfáltica en caliente convencional, al incorporar 1%,3%,5%, 7% de fibras de acero por volumen de contenido de asfalto aumentando su estabilidad fue de 3650 lb a hasta 4121 lb respectivamente y su flujo aumentando de 13 hasta 17 centésimas de pulgadas su mezcla modificada siendo el porcentaje óptimo el 4 % de fibra de acero y manteniendo el 6.3 % de contenido de cemento asfáltico de su muestra patrón en comparación con la presente investigación se puede acotar que el porcentaje de líquido asfáltico óptimo coincide con la investigación realizada por Fiallos sin embargo mientras más aumenta el porcentaje de material reciclado y lana de acero la estabilidad de la mezcla va decreciendo y el valor de flujo va aumentando.

3.3. Verificación de hipótesis

La adición de asfalto reciclado y lana de acero, en remplazo parcial del agregado grueso a las mezclas asfálticas convencionales mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 0+000 a km 4+290 de la vía Guadalupe – Patate en la Provincia de Tungurahua.

Una vez realizados los ensayos tanto a los agregados pétreos como a las probetas de las mezclas asfálticas y analizado los resultados de dichos ensayos se comprueba que

la estabilidad de las mezclas asfálticas con adición de lana de acero no supera la estabilidad de las mezclas convencionales y las mezclas con material reciclado además de presentar inconvenientes relacionados con el porcentaje de vacíos con aire y porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

Por otro lado, al incrementar el porcentaje de lana de acero y material reciclado en la mezcla asfáltica el valor de estabilidad comenzó a decrecer y los valores de flujo comenzaron a aumentar.

Entonces, se determinó que la hipótesis planteada no es acertada debido a que la adición de lana de acero y material reciclado en los porcentajes planteados para esta investigación no cumplen en su totalidad con los requerimientos proporcionados en la norma MOP-F-001-2002 haciendo que las mezclas se vuelvan inestables y no cumplan con el propósito del diseño.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Al tratarse de una mezcla asfáltica tradicional densa y de alta resistencia se utilizó un diseño de granulometría que consistió en un 33% de agregado grueso, 57% de agregado fino y 5% de filler, por tanto ha brindado como resultado un porcentaje óptimo de 6.5% proporcionando valores de estabilidad altos mejorando su resistencia a la deformación plástica y aumentando su capacidad para soportar cargas además de arrojar valores de flujo de deformación altos lo cual indica una mayor resistencia a la deformación plástica, lo que es importante para prevenir la formación de deformaciones permanentes en el pavimento.
- Al estar presente un mayor porcentaje de agregado fino en la mezcla asfáltica tradicional el porcentaje de vacíos con aire presente valores medianamente bajos ya que al existir mayor presencia de material fino estos poros tienden a llenarse al momento de realizar la mezcla homogéneamente favoreciendo así la trabajabilidad de la mezcla al momento de realizar la compactación, por otro lado puede contribuir a una mejor resistencia a la fatiga de la mezcla, lo que es importante para prevenir la formación de grietas por fatiga en el pavimento.
- Al analizar los resultados de los ensayos realizados a las mezclas asfálticas con material reciclado se determinó que la estabilidad de las mezclas va decreciendo conforme aumenta el porcentaje de material reciclado por otro lado el porcentaje de vacíos va disminuyendo conforme aumenta la cantidad de material reciclado esto debido a las partículas de polvo que se incrustan en los agregados reciclados más grandes, por estas razones se determinó que el porcentaje óptimo de material reciclado se encuentra entre el 20% y 40% de material reciclado ya que con estas proporciones las mezclas cumplen con los requerimientos de la norma.

- Analizados los resultados de las mezclas asfálticas con material reciclado y lana de acero se determinó que la estabilidad de las mezclas va decreciendo conforme aumenta el porcentaje de material reciclado y lana de acero por otro lado el porcentaje de vacíos se ve afectado debido factores de homogeneidad en la mezcla ya que su valor va aumentando conforme aumenta la presencia de lana de acero lo cual a su vez presenta mayor porosidad, sin embargo se determinó el porcentaje óptimo de lana de acero en 1% ya que con estas proporciones las mezclas cumplen en su mayoría con los requerimientos de la norma sin alejarse de los límites establecidos.
- Se determinó que no es favorable utilizar porcentajes mayores al 1.5% de lana de acero en mezclas asfálticas con material reciclado debido a que esto aumenta el porcentaje de vacíos existentes en las mezclas asfálticas lo cual a futuro genera un inconveniente respecto a la susceptibilidad al agrietamiento del pavimento además de reducir la estabilidad de las mezclas y generar una menor durabilidad del material además de afectar las propiedades volumétricas de las mezclas las cuales aumentan considerablemente a mayor cantidad de lana de acero.
- Dentro de los resultados óptimos obtenidos de las mezclas tradicional, 20% de asfalto reciclado y 20% AR + 1% LA se puede observar que el porcentaje de líquido asfáltico va disminuyendo respectivamente sin embargo, las propiedades de estabilidad, porcentaje de vacíos y flujo de las mezclas con material reciclado presentan un mayor o igual equilibrio en relación a las mezclas tradicionales, por otro lado en mezclas con 20% AR y 1% LA las propiedades tienden a decrecer tal es el caso de las estabilidad en relación a las mezclas tradicionales y las mezclas con material reciclado solamente sin embargo el flujo por deformación aumenta su valor y el porcentaje de vacíos se mantiene.
- Se determinó gracias a los ensayos realizados a los agregados gruesos y finos obtenidos de la empresa JEAL Construcciones que estos son de buena calidad ya que cumplen con los parámetros de calidad correspondientes establecidos por la norma MOP-F001-2002 y por lo tanto son aptos para la realización de mezclas asfálticas.

4.2. Recomendaciones

- Realizar los ensayos a los agregados pétreos a ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas para conocer su calidad y propiedades y comprobar si cumplen con los requerimientos necesarios para su empleo.
- En la elaboración de las briquetas controlar las temperaturas especificadas en la norma tanto en el calentamiento de los agregados como en la mezcla de éstos y en la temperatura de compactación.
- Compactar las briquetas con el número de golpes requerido según las especificaciones del tipo de tráfico, con los equipos y según el procedimiento descrito del Ensayo Marshall.
- Es recomendable realizar más ensayos con diferentes contenidos de lana de acero que los utilizados en esta investigación para evaluar si se consiguen mejores resultados que con los porcentajes ensayados.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. B. M. R. F. Zaumanis Martín, «Evaluación de diferentes agentes de reciclaje para la restauración del ligante asfáltico envejecido y comportamiento del asfalto 100 % reciclado,» *Springer Link*, vol. Mater Estructura 48, 2015.
- [2] E. Saenz, «Carreteras Pan- Americanas,» Route One Americas, Inc., 6 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://www.carreteras-pa.com/reportajes/la-napa-estadounidense-senala-que-el-99-de-los-materiales-retirados-se-usaron-en-asfalto-reciclado/>.
- [3] J. R. W. P. J. S. Brett A. Williams, «Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt,» National Asphalt Pavement Association, 2019.
- [4] A. J. P. M. Anne Ventura, «Polycyclic aromatic hydrocarbons emitted from a hot-mix drum, asphalt plant: study of the influence from use of recycled bitumen,» *ICE Virtual Library*, pp. 727-734, 2015.
- [5] N. Palou, «El País,» 22 Mayo 2017. [En línea]. Available: https://elpais.com/tecnologia/2017/05/12/actualidad/1494582412_059275.html?autoplay=1.
- [6] M. K. E. A. D. H. J. Zahra Kamali, «Using electromagnetic radiation for producing reclaimed asphalt pavement (RAP) Mixtures: Mechanical, induced heating, and sustainability assessments,» *Elsevier*, 12 Enero 2022.
- [7] S. L. A. N. S. R. K. Ramya Sri Mullapudi, «Effect of initial damage on healing characteristics of bituminous mixtures containing reclaimed asphalt material (RAP),» *Elsevier*, 23 Septiembre 2020.
- [8] H. A. P. L.-G. A. G. Breixo Gómez-Meijide, «Effect of ageing and RAP content on the induction healing properties of asphalt mixtures,» *Elsevier*, 1 Junio 2018.
- [9] S. W. Y. X. R. H. T. Y. Peide Cui, «Environmental performance and functional analysis of chip seals with recycled basic oxygen furnace slag as aggregate,» *Elsevier*, 29 Octubre 2020.
- [10] S. W. y. x. ., C. D. Z. Jiuming Wan, «Study on the effective composition of steel slag for asphalt mixture induction heating purpose,» *Elsevier*, 28 Mayo 2018.
- [11] Z. L. A. S. M. J. Y. L. Baowen Lou, «Microwave Absorption Ability of Steel Slag and Road Performance of Asphalt Mixtures Incorporating Steel Slag,» *National Library of Medicine*, 2 Febrero 2020.
- [12] N. C. J. P. L. S. E. González A, «Propiedades de autorrecuperación de mezclas asfálticas recicladas que contienen metal.,» *Elsevier*, 1 Marzo 2018.
- [13] N. I. 696, Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso, Quito - Ecuador: Primera Edición, 2011.

- [14] N. I. E-748-07, Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall..
- [15] F. Moreira, Diseño de Mezclas Asfálticas, Ambato, Ecuador: Pavimentos, 2023.
- [16] MOP-F-001, «Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes,» Quito, 2002.
- [17] A. D. 2172, «Contenido de Ligante Asfáltico en mezclas de pavimentos (por medio de la centrífuga) y la granulometria de los agregados despues de eliminar el ligante asfáltico,» LANAVIAL, 2003.
- [18] A. D. 5821, «Método Estándar para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas o Trituradas en Agregados Gruesos,» 2020.
- [19] I. 860, «Determinación del valor de la defradación del árido grueso de partículas a 37,5mm mediante el uso de la máquinade Los Ángeles».
- [20] G. E, Asfaltos Modificados Ingeniería de Pavimentos para Carretera, Bogotá - Colombia: Ágora Editores, 2002.
- [21] T. P. D. y. L. T. PHAN, Crack healing performance of hot mix asphalt, Construction and Building, 2018.
- [22] P. IBERICO, Diseño de mezcla asfáltica en caliente mediante el ensayo, (Título de ingeniero civil) Tarapoto: Universidad César Vallejo, 2019, 2019.
- [23] J. NORAMBUENA-CONTRERAS, Effect of fibres addition on the, vol. 127, Construction and Building Materials, 2016.
- [24] J. y. U. C. FIALLOS, Análisis comparativo de propiedades y características mecánicas entre mezcla asfáltica en caliente "autorreparable"(con lana de acero) y mezcla asfáltica en caliente convencional., Tesis (Título de ingeniero civil). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador., 2018.



2. ANEXOS

2.1. ANEXOS TABLAS

2.1.1. Tablas de los ensayos Rice realizados.



- Mezcla Tradicional.

Tabla 56 Ensayo Rice

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.					
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE					
ORIGEN:	JEAL - Construcciones - Ambato				
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén				
FECHA:	Viernes 08 de diciembre, 2023				
NORMA:	ASTM D 2041				
PESO DE LA MUESTRA:	1500				5.00%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M1		
Peso molde + tapa		gr	5235		
Peso tapa		gr	2617.5		
Peso molde + tapa + muestra		gr	6712.5		
Peso molde + tapa + muestra + agua a 25 °C	E	gr	19410		
Peso molde + tapa + agua a 25 °c	D	gr	18545		
Peso muestra	A	gr	1477.5		
Gravedad específica máxima de la mezcla	$A/(A+D-E)$	GMM	%	2.412	



Fuente: Autor

Fig. 83 Ensayo Rice

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.					
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE					
ORIGEN:	JEAL - Construcciones - Ambato				
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén				
FECHA:	Viernes 08 de diciembre, 2023				
NORMA:	ASTM D 2041				
PESO DE LA MUESTRA:	1500				5.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2		
Peso molde + tapa		gr	5235		
Peso tapa		gr	2617.5		
Peso molde + tapa + muestra		gr	6651		
Peso molde + tapa + muestra + agua a 25 °C	E	gr	19374.5		
Peso molde + tapa + agua a 25 °C	D	gr	18545		
Peso muestra	A	gr	1416		
Gravedad específica máxima de la mezcla	$A/(A+D-E)$	GMM	%	2.414	



Fuente: Autor

Fig. 84 Ensayo Rice

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.					
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE					
ORIGEN:	JEAL - Construcciones - Ambato				
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén				
FECHA:	Viernes 08 de diciembre, 2023				
NORMA:	ASTM D 2041				
PESO DE LA MUESTRA:	1500				6.00%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3		
Peso molde + tapa		gr	5235		
Peso tapa		gr	2617.5		
Peso molde + tapa + muestra		gr	6723		
Peso molde + tapa + muestra + agua a 25 °C	E	gr	19433.5		
Peso molde + tapa + agua a 25 °C	D	gr	18545		
Peso muestra	A	gr	1488		
Gravedad específica máxima de la mezcla	$A/(A+D-E)$	GMM	%	2.482	



Fuente: Autor

Fig. 85 Ensayo Rice

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.					
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE					
ORIGEN:	JEAL - Construcciones - Ambato				
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén				
FECHA:	Viernes 08 de diciembre, 2023				
NORMA:	ASTM D 2041				
PESO DE LA MUESTRA:	1500				6.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M4		
Peso molde + tapa		gr	5235		
Peso tapa		gr	2617.5		
Peso molde + tapa + muestra		gr	6704		
Peso molde + tapa + muestra + agua a 25 °C	E	gr	19381.5		
Peso molde + tapa + agua a 25 °C	D	gr	18545		
Peso muestra	A	gr	1469		
Gravedad específica máxima de la mezcla	$A/(A+D-E)$	GMM	%	2.323	

Fuente: Autor



Fig. 86 Ensayo Rice

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.					
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE					
ORIGEN:	JEAL - Construcciones - Ambato				
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén				
FECHA:	Viernes 08 de diciembre, 2023				
NORMA:	ASTM D 2041				
PESO DE LA MUESTRA:	1500				7.00%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M5		
Peso molde + tapa		gr	5235		
Peso tapa		gr	2617.5		
Peso molde + tapa + muestra		gr	6740		
Peso molde + tapa + muestra + agua a 25 °C	E	gr	19414		
Peso molde + tapa + agua a 25 °C	D	gr	18545		
Peso muestra	A	gr	1505		
Gravedad específica máxima de la mezcla	$A/(A+D-E)$	GMM	%	2.366	

Fuente: Autor



- Mezcla 20% de Asfalto Reciclado

Fig. 87 Ensayo Rice 20% AR

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.00%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M1 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6398
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19218
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1163
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.373



Fuente: Autor

Fig. 88 Ensayo Rice 20% AR

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6404.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19223.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1169.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.382



Fuente: Autor

Fig. 89 Ensayo Rice 20% AR

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:		Vía Guadalupe - Patate	
ENSAYADO POR:		Cepeda Granda Ana Belén	
FECHA:		Martes 02 de enero, 2024	
NORMA:		ASTM D 2041	
PESO DE LA MUESTRA:		1200 gr	6%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6395.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19215.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1160.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.368



Fuente: Autor

Fig. 90 Ensayo Rice 20% AR

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:		Vía Guadalupe - Patate	
ENSAYADO POR:		Cepeda Granda Ana Belén	
FECHA:		Martes 02 de enero, 2024	
NORMA:		ASTM D 2041	
PESO DE LA MUESTRA:		1200 gr	6.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6385.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19195.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1150.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.301

Fuente: Autor

Fig. 91 Ensayo Rice 20% AR

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		7%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6395
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19188.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1160
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.246

Fuente: Autor


- Mezcla 40% de Asfalto Reciclado

Fig. 92 Ensayo Rice 40% AR

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.00%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6429
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19220.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1194
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.303

Fuente: Autor

Fig. 93 Ensayo Rice 40% AR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6426
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19228
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1191
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.344

Fuente: Autor

Fig. 94 Ensayo Rice 40% AR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6406.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19228
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1171.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.398

Fuente: Autor

Fig. 95 Ensayo Rice 40% AR



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6413.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19218.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1178.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.334



Fig. 96 Ensayo Rice 40% AR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		7%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	.	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6355
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19176.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1120
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.293

Fuente: Autor



- Mezcla 60% de Asfalto Reciclado

Fig. 97 Ensayo Rice 60% AR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.00%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6392
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19226.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1157
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.433



Fuente: Autor

Fig. 98 Ensayo Rice 60% AR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Martes 02 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6385.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19195.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1150.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.301



Fuente: Autor

Fig. 99 Ensayo Rice 60% AR

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Miércoles 03 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6353.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19186.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1118.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.345



Fuente: Autor

Fig. 100 Ensayo Rice 60% AR

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Miércoles 03 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6277.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19136.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1042.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.312

Fuente: Autor



Fig. 101 Ensayo Rice 60% AR

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Miércoles 03 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		7%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6192
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19088.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	957
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.314

Fuente: Autor



- Mezcla 20% Asfalto Reciclado +1% Lana de Acero

Fig. 102 Ensayo Rice 20% AR +1%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE- PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:			
NORMA:			
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.00%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M1 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6433
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19229
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1198
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.331

Fuente: Autor

Fig. 103 Ensayo Rice 20% AR +1%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6399
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19207
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1164
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.319



Fuente: Autor

Fig. 104 Ensayo Rice 20% AR +1%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6433
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19219
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1198
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.286


Fuente: Autor

Fig. 105 Ensayo Rice 20% AR +1%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6405
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19206.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1170
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.301

Fuente: Autor

Fig. 106 Ensayo Rice 20% AR +1%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		7%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M2 20% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6409.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19209.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1174.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.303

Fuente: Autor



- Mezcla 40% Asfalto Reciclado +0.5% Lana de Acero

Fig. 107 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.00%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6409.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19221.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1174.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.358


Fuente: Autor

Fig. 108 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6410
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19249
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1175
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.495

Fuente: Autor

Fig. 109 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6416.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19232.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1181.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.392



Fuente: Autor

Fig. 110 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6406.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19216
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1171.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.341

Fuente: Autor


Fig. 111 Ensayo Rice 40% AR +0.5%LA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.					
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE					
ORIGEN:		Vía Guadalupe - Patate			
ENSAYADO POR:		Cepeda Granda Ana Belén			
FECHA:		Lunes 08 de enero,2024			
NORMA:		ASTM D 2041			
PESO DE LA MUESTRA:		1200 gr		7%	
DESCRIPCIÓN		NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 40% Asf. Reciclado	
Peso molde + tapa			gr	5235	
Peso molde			gr	2617.5	
Peso molde + muestra			gr	6407	
Peso molde + muestra + agua		E	gr	19216	
Peso molde + agua		D	gr	18545	
Peso muestra		A	gr	1172	
GMM $A/(A+D-E)$			%	2.339	

Fuente: Autor

- Mezcla 60% Asfalto Reciclado +1.5% Lana de Acero

Fig. 112 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE- PATATE.					
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE					
ORIGEN:		Vía Guadalupe - Patate			
ENSAYADO POR:		Cepeda Granda Ana Belén			
FECHA:		Lunes 08 de enero,2024			
NORMA:		ASTM D 2041			
PESO DE LA MUESTRA:		1200 gr		5.00%	
DESCRIPCIÓN		NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado	
Peso molde + tapa			gr	5235	
Peso molde			gr	2617.5	
Peso molde + muestra			gr	6433.5	
Peso molde + muestra + agua		E	gr	19260.5	
Peso molde + agua		D	gr	18545	
Peso muestra		A	gr	1198.5	
GMM $A/(A+D-E)$			%	2.481	

Fuente: Autor

Fig. 113 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		5.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6403
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19237
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1168
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.454



Fuente: Autor

Fig. 114 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6414.5
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19227
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1179.5
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.371


Fuente: Autor

Fig. 115 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p style="text-align: center;">CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		6.50%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6304
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19152
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1069
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.314

Fuente: Autor

Fig. 116 Ensayo Rice 60% AR + 1.5% LA

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p style="text-align: center;">CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>			
ANÁLISIS DE ASFALTOS RECICLADOS VS ASFALTOS CONFORMADOS CON LANA DE ACERO UTILIZANDO MATERIAL ASFÁLTICO RECICLADO DE LA VÍA GUADALUPE-PATATE.			
CÁLCULO PESO ESPECÍFICO MÁXIMO MEDIDO - MÉTODO RICE			
ORIGEN:	Vía Guadalupe - Patate		
ENSAYADO POR:	Cepeda Granda Ana Belén		
FECHA:	Lunes 08 de enero, 2024		
NORMA:	ASTM D 2041		
PESO DE LA MUESTRA:	1200 gr		7%
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	UNIDAD	M3 60% Asf. Reciclado
Peso molde + tapa		gr	5235
Peso molde		gr	2617.5
Peso molde + muestra		gr	6430
Peso molde + muestra + agua	E	gr	19218.5
Peso molde + agua	D	gr	18545
Peso muestra	A	gr	1195
GMM $A/(A+D-E)$		%	2.291

Fuente: Autor

Factor de corrección para la Estabilidad

VOLUMEN DE LA MUESTRA	ESPESOR APROX. DE LA MUESTRA	FACTOR DE CORRECCIÓN
cm³	mm	-
200-213	25.4	5.56
214-225	26.9	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	36.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-238	39.7	2.50
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.5	1.92
368-379	46.0	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54.0	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.93
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89

560-573	69.9	0.86
574-585	71.5	0.83
586-598	73.0	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

Factor de corrección para la Estabilidad Interpolados

57.0	1.1975
59.0	1.13063
6.0	1.09938
63.0	1.0125
63.6	0.99562
64.0	0.97812
64.3	0.96500
64.6	0.95188
65.0	0.93437
65.6	0.93
66.0	0.93
66.3	0.93
66.6	0.93
67.0	0.92250
67.3	0.90750
67.6	0.90750
68.0	0.89750
69.0	0.87688
70.0	0.85813
71.0	0.839375
72.0	0.82333
74.0	0.79125
75.0	0.77500
76.0	0.76250

3. ANEXOS FOTOGRÁFICOS

Recolección de Material virgen

Empresa Construcciones JEAL- Mina Las Viñas



Recolección de Material Asfáltico Reciclado

Máquina Fresadora de Asfalto

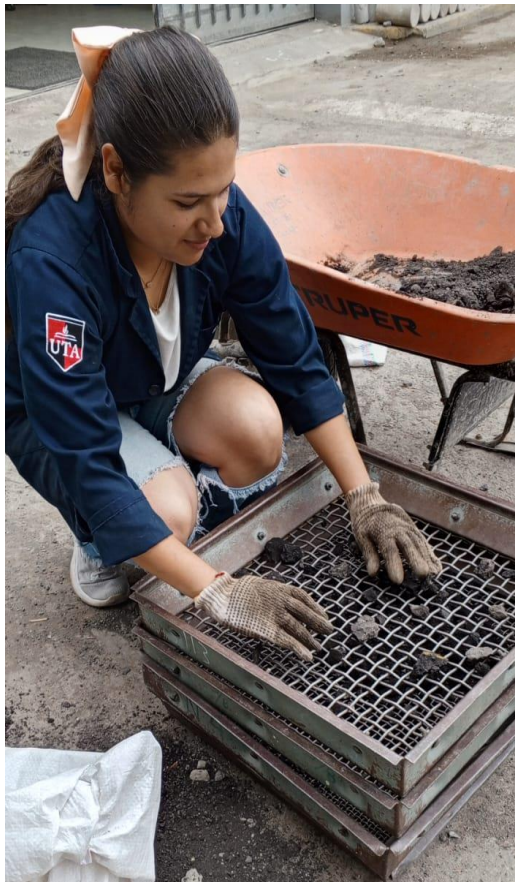


Material Fresado Vía Guadalupe-Patate



Ensayos para determinar la calidad del agregado Grueso y Fino

Granulometría Agregado Grueso



Granulometría Agregado Fino



Ensayo de Abrasión



Inicio del ensayo en la máquina de Abrasión de los Ángeles



Residuos después del ensayo



Tamizado del material residual



Pesado del material Tamizado por la malla N°12



Densidad Específica del Agregado Grueso y Fino

Muestra sumergida por 24h00	Decantamiento del agua después de 24h00
	

Picnómetro + agua y toma de temperatura



Diseño de mezclas Asfálticas Tradicionales

Dosificación de mezclas asfálticas	Mezcla de agregados + líquido asfáltico
	
Muestra de asfalto a 160 °C	Aplicación de 25 pinchazos
	

Compactación de mezclas asfálticas



Peso específico Bulk



Peso Saturado Sumergido



Peso seco de briquetas



Ensayo Marshall



Ensayo Rice

Disgregación de la muestra



Muestras antes del ensayo Rice



Peso del recipiente vacío



Peso de recipiente + muestra



Llenado de agua hasta cubrir la muestra



Colocación del recipiente en la máquina



Extracción de vacíos en la máquina



Finalización del ensayo



Llenado del recipiente con agua hasta el raz y pesado de la misma

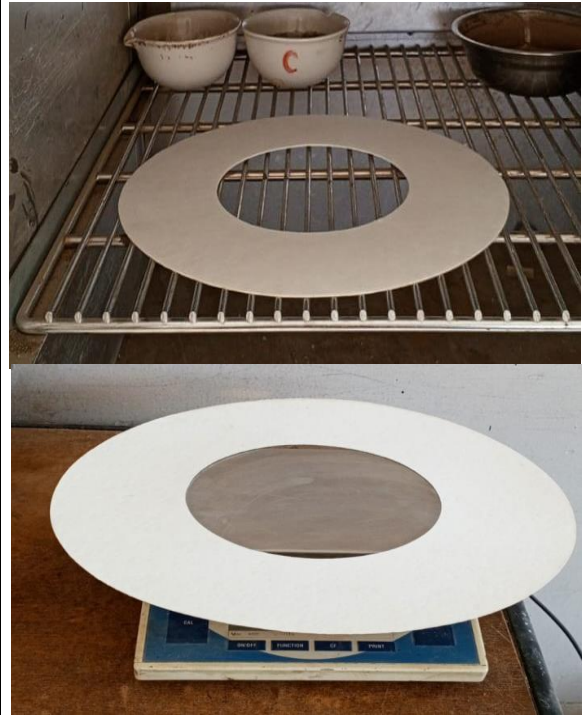


Ensayo de Lavado Asfáltico por medio de la centrifuga

Preparación de muestra de asfalto reciclado



Calentamiento y peso de papel filtro



Lavado asfáltico con gasolina



Extracción del material lavado



Preparación de tazones para residuo



Peso de tazón



Alícuota 50 ml



Evaporación de alícuota 160 °C



Peso de alícuota



Secado de alícuota en la mufla 550 °C



Residuo obtenido del secado de muestra en la mufla



Peso de residuo después del secado en la mufla



Peso de filtro después de 8 ciclos de lavado asfáltico

