



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE UN
MICROPAVIMENTO CON ASFALTO EMULSIONADO
MODIFICADO CON POLÍMEROS Y ASFALTO
EMULSIONADO MODIFICADO CON RESINA DE
POLIURETANO.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORAS: EVELYN NARCISA FREIRE CABRERA
MICHELLE ALEXANDRA QUIZHPI PIZARRO**

DIRECTOR: ING. CÉSAR MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO Y COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE UN
MICROPAVIMENTO CON ASFALTO EMULSIONADO MODIFICADO
CON POLÍMEROS Y ASFALTO EMULSIONADO MODIFICADO CON
RESINA DE POLIURETANO.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**AUTORAS: EVELYN NARCISA FREIRE CABRERA
MICHELLE ALEXANDRA QUIZHPI PIZARRO**

DIRECTOR: ING. CÉSAR MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2022

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Nosotras, **Evelyn Narcisa Freire Cabrera, Michelle Alexandra Quizhpi Pizarro** portadoras de las cédulas de ciudadanía **Nº 0930555966 y 0106568199**. Declaramos ser las autoras de la obra: **“Diseño y comparación de propiedades de un micropavimento con asfalto emulsionado modificado con polímeros y asfalto emulsionado modificado con resina de poliuretano.”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

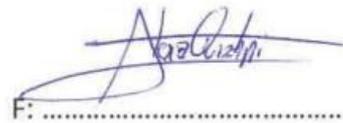
Cuenca, **31 de agosto de 2022**



F:

Evelyn Narcisa Freire Cabrera

C.I. 0930555966



F:

Michelle Alexandra Quizhpi Pizarro

C.I. 0106568199

CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. César Maldonado Noboa certifico la presente investigación DISEÑO Y COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE UN MICROPAVIMENTO CON ASFALTO EMULSIONADO MODIFICADO CON POLÍMEROS Y ASFALTO EMULSIONADO MODIFICADO CON RESINA DE POLIURETANO, realizada por las señoritas Evelyn Narcisa Freire Cabrera y Michelle Alexandra Quizhpi Pizarro, Egresadas de la Facultad de Ingeniería Civil perteneciente a la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita



.....
Ing, César Maldonado Noboa

Tutor

DEDICATORIAS

Evelyn Freire

Quiero dedicar esta tesis a mis padres y hermana, por ayudarme y apoyarme en cada meta, sueño y objetivo planteado, por ser mi fuerza y alentarme a seguir.

Alexandra Quizhpi

Dedico mi proyecto de tesis con mucho cariño a mis padres, ya que gracias a su apoyo he logrado cumplir una meta más.

AGRADECIMIENTOS

Evelyn Freire

Me gustaría ofrecer mi agradecimiento especial a mis Padres que, con su guía, dedicación y esfuerzo, ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me brindaron su apoyo cuando todo parecía complicado e imposible.

A mi hermana, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A mis amigos. Con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos amigos que se convierten en amigos de vida y aquellos que serán mis colegas, gracias por todo su apoyo y diversión.

Agradezco a mi director de Tesis, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

De igual forma, me gustaría agradecer a la empresa Emuldec por los conocimientos brindados durante el tiempo que realizamos los ensayos para el desarrollo de esta investigación.

Alexandra Quizhpi

Quiero agradecer a mi madre que siempre estuvo alentándome en todos estos años de vida universitaria y a mi padre que no dejó de ser un pilar importante en mi crecimiento universitario.

A mis hermanos por el apoyo y consejos brindados.

A mi tutor de tesis por la orientación y ayuda que me brindo para el desarrollo de la tesis.

Agradezco a la empresa Emuldec por brindarnos la ayuda necesaria para el desarrollo de esta tesis, los mismos quienes nos compartieron sabiduría y nuevos conocimientos.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal, comparar las propiedades de un micropavimento con asfalto emulsionado modificado con polímeros y con asfalto emulsionado modificado con resina de poliuretano, la metodología empleada será la norma de rendimiento recomendada para micropavimento ISSA A-143, en la cual se indican los parámetros y ensayos necesarios que deben cumplir los agregados, asfalto, y emulsión.

El diseño de micropavimento se realizó con emulsión catiónica (CQS), este tipo de emulsión es de rotura controlada, se trabajó y ensayo con agregados de las canteras Asfaltar, Rookaazul y Vipesa ubicadas en la provincia del Azuay,

Al comparar los resultados obtenidos con emulsión CQS-1h-P respecto con emulsión CQS-1h-PU se obtuvo que el porcentaje de emulsión necesaria para el diseño de micropavimento con emulsión modificada con resina de poliuretano es mayor respecto del porcentaje de emulsión modificada con polímero, por lo tanto, esta última será la que mejor condiciones presenta para la elaboración de un diseño de un Micropavimento

Palabras clave: Micropavimento, polímero, resina de poliuretano, emulsión, asfalto.

ABSTRACT

The main objective of this research is to compare the properties of micro surfacing with polymer-modified emulsified asphalt and polyurethane resin-modified emulsified asphalt. The recommended performance standard for micro surfacing ISSA A-143 will be the methodology used, which indicates the necessary parameters and tests that the aggregates, asphalt, and emulsion must meet.

The micro surfacing design was carried out with cationic emulsion (CQS); this emulsion is of controlled breakage and was worked and tested with aggregates from the Asfaltar, Rookaazul, and Vipesa quarries located in the province of Azuay.

When comparing the results obtained with CQS-1h-P emulsion concerning CQS-1h-PU emulsion, the percentage of emulsion necessary for the design of micro surfacing with emulsion modified with polyurethane resin resulted in being higher than the percentage of emulsion modified with polymer. Therefore, the latter will have the best conditions for elaborating on a micro surfacing design.

Keywords: Micro surfacing, polymer, polyurethane resin, emulsion, asphalt

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	IV
DEDICATORIAS	V
AGRADECIMIENTOS	VII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
ÍNDICE DE CONTENIDO	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XXI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XXII
CAPITULO I.....	1
1. Generalidades.....	1
1.1. <i>Antecedentes generales.</i>	1
1.2. <i>Introducción a los micropavimentos.</i>	2
1.2.1. Reseña historia e importancia en el país	5
1.2.2. Diferencia entre micropavimento y Slurry Seal.....	6
1.2.3. Tipos de micropavimento	7
1.4. <i>Objetivos.</i>	9
1.4.1. Objetivo General	9
1.4.2. Objetivos Específicos	9
1.5. <i>Justificación del trabajo.</i>	10
1.6. <i>Metodología para desarrollar.</i>	10
1.7. <i>Materiales a utilizar.</i>	11
CAPITULO II.....	14
2. Marco teórico	14
2.1. <i>Micropavimento.</i>	14
2.1.1. Micropavimento	14
2.1.2. Uso	16
2.1.3. Importancia.....	17
2.2. <i>Características de los materiales.</i>	19
2.2.1. Agregados.....	19
2.2.2. Filler	21
2.2.3. Emulsión.....	21

2.2.3.1.	Polímero	22
2.2.3.2.	Resina de Poliuretano	23
2.2.4.	Agua	24
CAPITULO III	25
3.	Ensayo de los materiales	25
3.1.	<i>Agregados</i>	25
3.1.1.	Muestreo de los materiales, Norma ASTM D-75 / AASHTO T-2	26
3.1.1.1.	Descripción.....	26
3.1.1.2.	Equipo y materiales	26
3.1.1.3.	Procedimiento.....	26
3.1.2.	Granulometría de los agregados, Norma AASHTO T27 / AASHTO T11 / ASTM C-117.....	28
3.1.2.1.	Descripción.....	28
3.1.2.2.	Equipo y materiales	28
3.1.2.3.	Procedimiento.....	28
3.1.2.4.	Resultados	29
3.1.3.	Índice de plasticidad, Norma ASTM D 4318-00	32
3.1.3.1.	Descripción.....	32
3.1.3.2.	Equipo y materiales	32
3.1.3.3.	Procedimiento.....	33
3.1.3.4.	Resultados	33
3.1.4.	Ensayos a resistencia de Sulfatos de Sodio o Sulfato de Magnesio, Norma AASHTO T 104 / ASTM C 88	34
3.1.4.1.	Descripción.....	34
3.1.4.2.	Equipo y materiales	34
3.1.4.3.	Procedimiento.....	34
3.1.4.4.	Resultados	37
3.1.5.	Peso Unitario, Norma ASTM C-29 / AASHTO T-29.....	38
3.1.5.1.	Descripción.....	38
3.1.5.2.	Equipo y materiales	39
3.1.5.3.	Procedimiento.....	39
3.1.5.4.	Resultados	40
3.1.6.	Abrasión (Maquina de los ángeles), Norma ASTM C-131 / AASHTO T-9642	42
3.1.6.1.	Descripción.....	42
3.1.6.2.	Equipo y materiales	42
3.1.6.3.	Procedimiento.....	43

3.1.6.4.	Resultados	45
3.1.7.	Gravedad específica, Norma ASTM C-128 / AASHTO T-84.....	46
3.1.7.1.	Descripción.....	46
3.1.7.2.	Equipo y materiales	46
3.1.7.3.	Procedimiento.....	46
3.1.7.4.	Resultados	49
3.1.8.	Valor de Azul de Metileno, Norma ISSA TB 145	50
3.1.8.1.	Descripción.....	50
3.1.8.2.	Equipo y materiales	50
3.1.8.3.	Procedimiento.....	51
3.1.8.4.	Resultados	52
3.1.9.	Equivalente de Arena, Norma AASHTO T-176 / AASHTO D-2419.....	53
3.1.9.1.	Descripción.....	53
3.1.9.2.	Equipo y materiales	53
3.1.9.3.	Procedimiento.....	54
3.1.9.4.	Resultados	56
3.2.	<i>Asfalto</i>	58
3.2.1.	Ductilidad del asfalto ASTM D-113 / AASHTO T51-00.....	59
3.2.1.1.	Descripción.....	59
3.2.1.2.	Equipo y Materiales	59
3.2.1.3.	Procedimiento.....	59
3.2.1.4.	Resultados	61
3.2.2.	Recuperación por Ductilidad del asfalto INV-742-13	62
3.2.2.1.	Descripción.....	62
3.2.2.2.	Equipo y Materiales	62
3.2.2.3.	Procedimiento.....	62
3.2.2.4.	Resultados	63
3.2.3.	Recuperación Torsional del asfalto (M-MMP-4-05-024/02).....	64
3.2.3.1.	Descripción.....	64
3.2.3.2.	Equipo y materiales	64
3.2.3.3.	Procedimiento.....	64
3.2.3.4.	Resultados	66
3.2.4.	Viscosidades con el Viscosímetro Brookfield del asfalto ASTM 4402.....	66
3.2.4.1.	Descripción.....	66
3.2.4.2.	Equipo y materiales	66

3.2.4.3.	Procedimiento.....	66
3.2.4.4.	Resultados	68
3.2.5.	Punto de ablandamiento del asfalto ASTM D36.....	69
3.2.5.1.	Descripción.....	69
3.2.5.2.	Equipo y materiales	70
3.2.5.3.	Procedimiento.....	70
3.2.5.4.	Resultados	71
3.2.6.	Penetración de materiales bituminosos del asfalto ASTM D5.....	71
3.2.6.1.	Descripción.....	71
3.2.6.2.	Equipo y materiales	72
3.2.6.3.	Procedimiento.....	72
3.2.6.4.	Resultados	74
3.3.	<i>Emulsión</i>	76
3.3.1.	Solución Jabonosa	77
3.3.1.1.	Equipo y herramientas.....	77
3.3.1.2.	Procedimiento.....	78
3.3.2.	Viscosidad Saybolt Furol, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244 Y D-88 .82	
3.3.2.1.	Descripción.....	82
3.3.2.2.	Equipos y materiales	82
3.3.2.3.	Procedimiento.....	82
3.3.2.4.	Resultados	84
3.3.3.	Ensayo de estabilidad, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244	84
3.3.3.1.	Descripción.....	84
3.3.3.2.	Equipos y materiales	84
3.3.3.3.	Procedimiento.....	84
3.3.3.4.	Resultados	85
3.3.4.	Ensayo de asentamiento (Resina de Poliuretano), Norma AASHTO T-59 / ASTM-244	86
3.3.4.1.	Descripción.....	86
3.3.4.2.	Equipos y materiales	86
3.3.4.3.	Procedimiento.....	86
3.3.4.4.	Resultados	87
3.3.5.	Retenido de la malla N°20 (Resina de Poliuretano) Norma AASHTO T-59 / ASTM-244	88
3.3.5.1.	Descripción.....	88
3.3.5.2.	Equipos y materiales	88

3.3.5.3.	Procedimiento.....	88
3.3.5.4.	Resultados	90
3.3.6.	Carga de la Partícula (Resina de poliuretano), Norma AASHTO T-58 / ASTM D-244	91
3.3.6.1.	Descripción.....	91
3.3.6.2.	Equipos y materiales	91
3.3.6.3.	Procedimiento.....	91
3.3.6.4.	Resultados	93
3.3.7.	Mezcla con cemento, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244	93
3.3.7.1.	Descripción.....	93
3.3.8.	Ensayo de pH, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244.....	93
3.3.8.1.	Descripción.....	93
3.3.8.2.	Equipos y materiales	94
3.3.8.3.	Procedimiento.....	94
3.3.8.4.	Resultados	95
3.3.9.	Ensayo de residuo Asfáltico por Evaporación, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244	95
3.3.9.1.	Descripción.....	95
3.3.9.2.	Equipos y materiales	96
3.3.9.3.	Procedimiento.....	96
3.3.9.4.	Resultados	97
3.3.10.	Punto de ablandamiento del Residuo, Norma AASHTO T-53 / ASTM D-36	97
3.3.10.1.	Descripción.....	97
3.3.10.2.	Resultados	98
3.3.11.	Penetración del Residuo, Norma AASHTO T-49-97 / ASTM D-588.....	98
3.3.11.1.	Descripción.....	98
3.3.11.2.	Resultados	99
3.3.12.	Ductilidad del Residuo, Norma AASHTO T-51 / ASTM D-113.....	99
3.3.12.1.	Descripción.....	99
3.3.12.2.	Resultados	100
3.3.13.	Recuperación por ductilidad del Residuo INV-742-13	100
3.3.13.1.	Descripción.....	100
3.3.13.2.	Resultados	100
3.3.14.	Recuperación Torsional del Residuo M-MMP-4-05-024/02.....	100
3.3.14.1.	Descripción.....	100

3.3.14.2.	Resultados	101
3.3.15.	Viscosidad con el Viscosímetro Brookfield del residuo ASTM D4402...	101
3.3.15.1.	Descripción.....	101
3.3.15.2.	Resultados	101
CAPITULO IV.....		103
4.	Diseño de un Micropavimento	103
4.1.	<i>Especificaciones según la Norma ASTM</i>	103
4.2.	<i>Ensayos de laboratorio</i>	103
4.2.1.	Determinación del porcentaje teórico de emulsión.	103
4.2.1.1.	Descripción.....	103
Resultados		104
4.2.2.	Contenido de Humedad optima, Norma ISSA TB-106/ASTM D-3910	108
4.2.2.1.	Descripción.....	108
4.2.2.2.	Equipos y Materiales	109
4.2.2.3.	Procedimiento.....	109
4.2.2.4.	Resultados	110
4.2.3.	Tiempo de Mezclado, Norma ISSA TB-113.....	114
4.2.3.1.	Descripción.....	114
4.2.3.2.	Equipos y Materiales	114
4.2.3.3.	Procedimiento.....	114
4.2.3.4.	Resultados	116
4.2.4.	Ensayo de cohesión, Norma ISSA TB-139/ASTM D-3910	118
4.2.4.1.	Descripción.....	118
4.2.4.2.	Equipos y Materiales	118
4.2.4.3.	Procedimiento.....	119
Resultados		120
4.2.5.	Ensayo de Abrasión en húmedo, Norma ISSA tb-100 / ASTM D-3910	126
4.2.5.1.	Descripción.....	126
4.2.5.2.	Equipos y Materiales	126
4.2.5.3.	Procedimiento.....	126
4.2.5.4.	Resultados	129
4.2.6.	Ensayo de rueda cargada, Norma ISSA TB-109.....	137
4.2.6.1.	Descripción.....	137
4.2.6.2.	Equipos y Materiales	137
4.2.6.3.	Procedimiento.....	138

4.2.6.4. Resultados	141
4.3. <i>Comparación de mezclas</i>	153
4.4. <i>Diseño de los micropavimentos</i>	156
Conclusiones V	159
5. Conclusiones y Recomendaciones	159
5.1. <i>Conclusiones</i>	159
5.2. <i>Recomendaciones</i>	161
CAPITULO VI.....	162
6. BIBLIOGRAFÍA	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diferencia entre slurry seal y micropavimento.	7
Tabla 2 Tipo de agregado según su aplicación para mortero asfáltico.	15
Tabla 3 Tipo de agregado según su aplicación para mortero asfáltico modificado con polímeros.	16
Tabla 4 Tipo de agregado según su aplicación para micropavimento.	16
Tabla 5 Gradación del agregado para Micropavimento	20
Tabla 6 Ensayos de calidad del agregado.	20
Tabla 7 Granulometría, Mina Asfaltar	29
Tabla 8 Granulometría, Mina Rookaazul.....	30
Tabla 9 Granulometría, Mina Vipesa.....	31
Tabla 10 Resultados de Resistencia a Sulfatos, Mina Asfaltar	37
Tabla 11 Resultados de Resistencia a Sulfatos, Mina Rookaazul.....	38
Tabla 12 Resultados de Resistencia a Sulfatos, Mina Vipesa.....	38
Tabla 13 Ensayo peso unitario Asfaltar	41
Tabla 14 Ensayo peso unitario Rookaazul	41
Tabla 15 Ensayo peso unitario Vipesa	41
Tabla 16 Granulometría de las muestras de ensayo de abrasión.....	43
Tabla 17 N.º de esferas según granulometría.	43
Tabla 18 Ensayo de abrasión en máquina de los ángeles	45
Tabla 19 Resultados ensayo de Gravedad Especifica	49
Tabla 20 Ensayo gravedad especifica y porcentaje de absorción.	50
Tabla 21 Resultado de ensayo de Azul de Metileno	52
Tabla 22 Ensayo equivalente de arena, Mina Asfaltar.....	56
Tabla 23 Ensayo equivalente de arena, Mina Rookaazul	56
Tabla 24 Ensayo equivalente de arena, Mina Vipesa	57
Tabla 25 Resumen de los ensayos realizados a los agregados.....	58
Tabla 26 Resultados ensayo de Ductilidad con Resina de Poliuretano	61
Tabla 27 Resultados de ensayo de recuperación por ductilidad con resina de poliuretano	63
Tabla 28 Resultados del ensayo de recuperación torsional con resina de poliuretano	66
Tabla 29 Ensayo viscosidad 1% resina de poliuretano	68
Tabla 30 Ensayo viscosidad 1.5% de resina de poliuretano	68
Tabla 33 Ensayo prueba de ablandamiento Resina de Poliuretano	71
Tabla 34 Ensayo penetración 1% Resina de Poliuretano.....	74
Tabla 35 Ensayo penetración 1.5% Resina de Poliuretano.....	74

Tabla 36	Ensayo penetración 3% Resina de Poliuretano.....	74
Tabla 37	Ensayo penetración 6% Resina de Poliuretano.....	75
Tabla 38	Resumen de los ensayos para el Asfalto	75
Tabla 39	Dosificación para solución jabonosa Resina de Poliuretano	78
Tabla 40	Ensayo de viscosidad Saybolt Furol con Resina y Polímero	84
Tabla 41	Ensayo de estabilidad.....	86
Tabla 42	Ensayo de asentamiento	88
Tabla 43	Retenido de la malla N°20	90
Tabla 44	Carga de la partícula	93
Tabla 45	Resultados del ensayo pH	95
Tabla 46	Ensayo de contenido de asfalto residual con Resina de Poliuretano	97
Tabla 47	Ensayo de punto de ablandamiento residuo de emulsión Resina de Poliuretano ...	98
Tabla 48	Ensayo de Penetración residuo de emulsión Resina de Poliuretano	99
Tabla 49	Ensayo de Ductilidad del Residuo	100
Tabla 50	Ensayo de Recuperación por Ductilidad del residuo	100
Tabla 51	Recuperación Torsional del residuo.....	101
Tabla 52	Ensayos de Viscosidad del residuo emulsión Resina de Poliuretano	101
Tabla 53	Resultados ensayos de calidad de la emulsión.....	102
Tabla 54	Especificaciones para diseño de micropavimento	103
Tabla 56	Granulometría mina Vipesa CQS-1H-P.....	106
Tabla 57	Granulometría mina Rookaazul CQS-1H-PU.....	107
Tabla 58	Granulometría mina Rookaazul CQS-1H-P.....	108
Tabla 59	Ensayo de contenido de humedad optima CQS-1h-PU.....	112
Tabla 60	Ensayo de contenido de humedad optima CQS-1h-P.....	112
Tabla 61	Ensayo de contenido de humedad optima CQS-1h-PU.....	113
Tabla 62	Ensayo de contenido de humedad optima CQS-1h-P.....	113
Tabla 63	Ensayo tiempo de mezclado CQS-1h-PU (Vipesa)	116
Tabla 64	Ensayo tiempo de mezclado CQS-1h-P.....	117
Tabla 65	Ensayo tiempo de mezclado CQS-1h-PU.....	117
Tabla 66	Ensayo tiempo de mezclado CQS-1h-P.....	117
Tabla 67	Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-PU (Rookaazul).....	123
Tabla 68	Resultados del ensayo de cohesión CQS-1h-PU (Rookaazul).....	123
Tabla 69	Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-P (Rookaazul).....	123
Tabla 71	Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-PU (Vipesa)	124

Tabla 72	Resultados del ensayo de cohesión CQS-1h-PU (Vipesa).....	124
Tabla 73	Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-P (Vipesa)..	124
Tabla 74	Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-P (Vipesa)..	125
Tabla 75	Cuadro de factores de corrección según el tipo de máquina.....	129
Tabla 76	Resultados del ensayo Abrasión en húmedo con emulsión CQS-1h-PU (Rookaazul).....	135
Tabla 77	Resultados del ensayo Abrasión en húmedo con emulsión CQS-1h-P (Rookaazul).....	135
Tabla 78	Resultados del ensayo Abrasión en húmedo con emulsión CQS-1h-PU (Vipesa).....	136
Tabla 79	Resultados del ensayo Abrasión en húmedo con emulsión CQS-1h-P (Vipesa)..	136
Tabla 80	Resultados del ensayo Rueda Cargada con emulsión CQS-1h-PU (Rookaazul)..	146
Tabla 81	Resultados del ensayo Rueda Cargada con emulsión CQS-1h-P (Rookaazul).....	147
Tabla 82	Resultados del ensayo Rueda Cargada con emulsión CQS-1h-PU (Vipesa).....	147
Tabla 83	Resultados del ensayo Rueda Cargada con emulsión CQS-1h-P (Vipesa).....	148
Tabla 84	Datos para obtener porcentaje óptimo de emulsión CQS-1h-P (Rookaazul)	149
Tabla 85	Datos para obtener porcentaje óptimo de emulsión CQS-1h-PU (Rookaazul).....	150
Tabla 86	Datos para obtener porcentaje óptimo de emulsión CQS-1h-P (Vipesa)	151
Tabla 87	Datos para obtener porcentaje óptimo de emulsión CQS-1h-PU (Vipesa).....	152
Tabla 88	Resultados del porcentaje óptimo de emulsión para las canteras.	153
Tabla 89	Resultados de los ensayos de calidad de los agregados	153
Tabla 90	Resultados de los ensayos de calidad de la emulsión	155
Tabla 91	Resultados de pruebas de desempeño	157
Tabla 92	Cantidad de material granular (Rookaazul)	158
Tabla 93	Fórmula de trabajo para Micropavimento TIPO III (Mina Rookaazul)	158
Tabla 94	Cantidad de material granular (Vipesa)	158
Tabla 95	Fórmula de trabajo para Micropavimento TIPO III (Mina Vipesa)	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los componentes de la emulsión.....	22
Figura 2 Faja granulométrica, mina Asfaltar	30
Figura 3 Faja granulométrica, mina Rookaazul	31
Figura 4 Fajas granulométricas, mina Vipesa	32
Figura 5 Grafica para la determinación de contenido optimo en función a la perdida por abrasión e incremento de rueda cargada, con emulsión CQS-1h-P (Rookaazul).	149
Figura 6 Grafica para la determinación de contenido optimo en función a la perdida por abrasión e incremento de rueda cargada, con emulsión CQS-1h-PU (Rookaazul).	150
Figura 7 Figura 6 Grafica para la determinación de contenido optimo en función a la perdida por abrasión e incremento de rueda cargada, con emulsión CQS-1h-P (Vipesa).	151
Figura 8 Grafica para la determinación de contenido optimo en función a la perdida por abrasión e incremento de rueda cargada, con emulsión CQS-1h-PU (Vipesa).	152

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Colocación del micropavimento en la vía Palestina-Chontaduro cantón Rio Verde.....	5
Ilustración 2 Ubicación mina Asfaltar.....	12
Ilustración 3 Ubicación mina Rookaazul	13
Ilustración 4 Ubicación mina Vipesa	13
Ilustración 5 Frontera entre Bridgeport, CT y Fairfield, CT.	18
Ilustración 6. Toma de muestras con equipo mecánico.....	26
Ilustración 7. Toma de muestras manual.....	27
Ilustración 8. Almacenamiento de muestras.....	27
Ilustración 9. Cuarteo y tamizaje de las muestras	28
Ilustración 10. Muestras tamizadas y saturadas	33
Ilustración 11 Elaborando hilo con una porción de muestra	33
Ilustración 12. Resultado de ensayos	33
Ilustración 13. Preparación de solución saturada de Sulfato de Sodio	35
Ilustración 14. Lavado y Tamizado de muestras	35
Ilustración 15. Muestras sumergidas en solución de sulfato de sodio.....	36
Ilustración 16. Secado de muestras	36
Ilustración 17. Lavado de muestras	37
Ilustración 18. Descarga de material en recipiente.....	39
Ilustración 19. Enrazado de muestra	40
Ilustración 20. Cuarteo	44
Ilustración 21. Tamizaje y secado de las muestras.....	44
Ilustración 22. Ensayo con máquina de Los Ángeles.....	45
Ilustración 23. Muestras parcialmente húmedas	47
Ilustración 24. Compactando muestra con pistón	47
Ilustración 25. Ensayo Gravedad específica por medio del Picnómetro	48
Ilustración 26 Peso de muestra	48
Ilustración 27. Eliminando burbujas y baño María de la muestra	49
Ilustración 28 Ensayo de Azul de Metileno	52
Ilustración 29. Azul de metileno, Asfaltar	52
Ilustración 30. Azul de metileno, Rookaazul	52
Ilustración 31. Azul de metileno, Vipesa	53
Ilustración 32. Sifón	54
Ilustración 33. Agregando material para el ensayo	54

Ilustración 34. Sacudir la muestra	55
Ilustración 35. Reposo de la muestra.....	55
Ilustración 36. Lectura de Nivel de arcilla y Arena.....	56
Ilustración 37 Material vertido en el molde	60
Ilustración 38 Quitando exceso de ligante asfaltico	60
Ilustración 39 Anillos enganchados para realizar ensayo de ductilidad	61
Ilustración 40 Resultados con resina de poliuretano a)1% b)1.5% c)3% d)6	61
Ilustración 41 Verter material en el molde	62
Ilustración 42 Toma de medida para ensayo de recuperación por Ductilidad	63
Ilustración 43 Verter material en recipiente	64
Ilustración 44 Muestra para ensayo de recuperación torsional	65
Ilustración 45 Muestra en baño maría	65
Ilustración 46 Giro de 180° para realizar lectura	65
Ilustración 47 Calibración del equipo	67
Ilustración 48 Muestras en tubo de ensayo	67
Ilustración 49 Ejecución del ensayo con sus respectivas agujas	68
Ilustración 50 Lecturas del ensayo	68
Ilustración 51. Muestra para ensayo	70
Ilustración 52 Preparación de muestras para ensayo	70
Ilustración 53 Etapas del ensayo	71
Ilustración 54 Muestra Saturad.....	72
Ilustración 55 Equipo para ensayo de Penetración.....	73
Ilustración 56 Calibrar aguja junto con el betún	73
Ilustración 57 Observar lectura transcurrido los 5 segundos	74
Ilustración 58 Muestra de asfalto aditivado	78
Ilustración 59 Preparación de la muestra	79
Ilustración 60 Emulsificante QS-48	79
Ilustración 61 Colocación de emulsificante Surfax C-60.....	79
Ilustración 62 Solución Jabonosa con pH de 2 y Temperatura de 40°C	80
Ilustración 63 Molino coloidal para el ensayo	80
Ilustración 64 Calentar el asfalto hasta una temperatura de 140°C	80
Ilustración 65 Mezclado solución jabonosa y asfalto aditivado	81
Ilustración 66 Emulsión.....	81
Ilustración 67 Etiquetado de emulsiones según polímero	82
Ilustración 68 Insertando tapón en la cámara del viscosímetro	83

Ilustración 69 Alineación del vaso receptor	83
Ilustración 70 Flujo de emulsión en el equipo de ensayo.....	83
Ilustración 71 Secuencia de extracción de muestra superior e inferior	85
Ilustración 72 Extrayendo muestras superior e inferior	87
Ilustración 73 Tamizando muestra por tamiz N.º 20	89
Ilustración 74 Lavado de residuo en tamiz.....	89
Ilustración 75 Secado de tamiz con residuo en horno	90
Ilustración 76 Residuo en la malla N.º 20	90
Ilustración 77 Montaje de equipo con muestra	92
Ilustración 78 Ensayo de carga de partícula	93
Ilustración 79 Peso de la emulsión 500g.	94
Ilustración 80 pH-metro electrónico en la emulsión	95
Ilustración 81 Diferente pH por emulsión.....	95
Ilustración 82 Peso del tarro y la varilla de acero	96
Ilustración 83 Peso de la emulsión en el tarro	96
<i>Ilustración 84</i> Peso del agregado	109
<i>Ilustración 85</i> Mezcla para ensayo de consistencia	109
<i>Ilustración 86</i> Mezclar durante 30 segundos	110
<i>Ilustración 87</i> Ensayo de consistencia	110
<i>Ilustración 88</i> Resultados ensayo de contenido de humedad optima mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Mezcla con 16% Agua b) Mezcla con 14% Agua, c) Mezcla con 18% Agua	111
Ilustración 89 Resultados ensayo de contenido de humedad optimo mina Rookaazul-CQS-1H-P Mezcla con 13% Agua b) Mezcla con 16% Agua	111
Ilustración 90 Resultados ensayo de contenido de humedad optima mina Vipesa CQS-1H-PU Mezcla con 15% Agua b) Mezcla con 12% Agua	111
Ilustración 91 Resultados ensayo de contenido de humedad optima mina Vipesa CQS-1H-P Mezcla con 13% Agua b) Mezcla con 14% Agua, c) Mezcla con 16% Agua.....	112
Ilustración 92 Pesar agregado para la mezcla.....	115
<i>Ilustración 93</i> Añadir agua a la Mezcla	115
Ilustración 94 Colocar la emulsión.....	115
Ilustración 95 Realizar la mezcla	116
Ilustración 96 Colocar la mezcla en molde	119
Ilustración 97 Prueba transcurrida los 7 segundos	120
Ilustración 98 Resultados del ensayo cohesión mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 30 minutos al sol.....	120
Ilustración 99 Resultados del ensayo cohesión mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 60 minutos al sol.	120

Ilustración 100 Resultados del ensayo cohesión mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 30 minutos al sol.	121
Ilustración 101 Resultados del ensayo cohesión mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 60 minutos al sol.	121
Ilustración 102 Resultados del ensayo cohesión mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 30 minutos al sol.	121
Ilustración 103 Resultados del ensayo cohesión mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 60 minutos al sol.	122
Ilustración 104 Resultados del ensayo cohesión mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 30 minutos al sol.	122
Ilustración 105 Resultados del ensayo cohesión mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo,60 minutos al sol.	122
Ilustración 106 Herramientas para ensayo de abrasión en húmedo disco de ensayo, molde y equipo.....	126
Ilustración 107 Mezcla para ensayo	127
Ilustración 108 Preparando la muestra para ensayo	127
Ilustración 109 Muestras en el horno secas	127
Ilustración 110 Peso de la muestra seca antes del ensayo	128
Ilustración 111 Muestras saturadas en agua durante 1 hora o 6 días	128
Ilustración 112 Muestra para ensayo	128
Ilustración 113 Equipo en movimiento durante 300segundos	129
Ilustración 114 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.....	130
Ilustración 115 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.....	130
Ilustración 116 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.....	130
Ilustración 117 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.....	131
Ilustración 118 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.....	131
Ilustración 119 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.....	131

Ilustración 120 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	132
Ilustración 121 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	132
Ilustración 122 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	132
Ilustración 123 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	133
Ilustración 124 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	133
Ilustración 125 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	133
Ilustración 126 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	134
Ilustración 127 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	134
Ilustración 128 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.	134
Ilustración 129 Mezcla para ensayo	138
Ilustración 130 Muestra en moldes para ensayo de rueda cargada	138
Ilustración 131 Ensayo de rueda cargada (1000 ciclos)	139
Ilustración 132 Arena Ottawa en el horno	139
Ilustración 133 Colocación de arena Ottawa en muestra.	139
Ilustración 134 Muestra en maquina rueda cargada (100 ciclos).	140
Ilustración 135 Retirar exceso de arena Ottawa después del ensayo.	140
Ilustración 136 Peso de la muestra después del ensayo	140
Ilustración 137 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.	141
Ilustración 138 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.	141

CAPITULO I

1.1. Antecedentes generales.

Un camino es un elemento para el paso de vehículos, gente y animales. Desde la antigüedad, la construcción de carreteras ha sido uno de los primeros signos de una civilización avanzada. Cuando las primeras ciudades civilizadas comenzaron a expandirse en tamaño y densidad de población, la comunicación con otras regiones se hizo necesaria para el transporte ágil de suministros de alimentos, movilidad, comercio entre poblaciones y demás. Los vehículos y el entorno vial están en constante evolución, por lo que es necesario actuar para adaptarse a las nuevas demandas de inmediato. Por lo tanto, desde la antigüedad, las carreteras se han cubierto con superficies que permiten un desplazamiento seguro, lo que ayuda a que sean duraderas y capaces de soportar el tráfico y el medio ambiente. (Blanco, 1987)

Existen carreteras tanto de primer y segundo orden, que requieren algún tipo de mantenimiento rutinario, preventivo o correctivo, es por esto que los micropavimentos representan una alternativa ágil y económica para dar mantenimiento a carreteras con desgastes superficiales, sin una intervención mayor que permita alargar la vida útil de un hormigón asfáltico, siendo estos, más fáciles de evaluar y presentando un mejor desempeño en diversas condiciones (Aldana, 2021).

El micropavimento es el procedimiento de pavimentación superficial por capas delgadas compuesta por emulsión asfáltica modificada, agregados 100% triturados, relleno mineral, agua y aditivo según lo especifique el diseño, de tal forma que el uso correcto de emulsiones asfálticas permita sobresalir de los demás métodos de conservación en pavimentos de alto desempeño, en aplicaciones sustentables para el mantenimiento y rehabilitación de las vías, y así poder alargar la vida útil de la capa de rodadura. (Barrionuevo, 2012)

En la antigüedad, el betún se usaba como mortero para la unión de bloques en la construcción, también se usaba para pisos interiores y como agente impermeabilizante en la industria, debido a que tiene ciertas propiedades físicas que permiten su uso como ligante en mezclas asfálticas.(Barrionuevo, 2012)

Dentro del Ecuador las técnicas de mantenimiento de los pavimentos garantizan un mejor servicio a los usuarios y por ende los beneficiarios se sentirán satisfechos, para ello es necesario, determinar el proceso correcto de mantenimiento vial, por ello se debe cumplir con las exigencias de calidad según la normativa ecuatoriana. (Rodriguez, 2019)

Según estudios internacionales se dice que tiene como objetivo principal determinar si la micropavimentación es beneficiosa en temas de costos para el asentamiento humano en la Ciudad de Lima. Para ello, se analizó las diferentes alternativas de pavimentación bajo tránsito pesado en el Perú, comparando el grado de dificultad en la construcción que tiene el pavimento convencional versus el micropavimento y así, ver cuál de los dos es más económico por metro cuadrado. Como resultados, se obtuvo que el micropavimento reduce el costo a un 69.98% en comparación del uso de pavimento en caliente, así mismo se economiza globalmente con 27.84% del tradicional: todo a base de un rendimiento de 5000 m² de micropavimento colocado. De acuerdo con los resultados, se opina que, la caracterización de los agregados seleccionados en canteras es base a todo el procedimiento de diseño de un micropavimento, ya que dichas canteras deben cumplir con las exigencias de calidad que dictan las normas para esta elaboración.

1.2.Introducción a los micropavimentos.

El patrimonio vial del Ecuador, durante décadas, ha sido afectado por la falta de intervenciones oportunas, generando incremento de costos de mantenimiento y de operación de las mismas.

A partir del año 2009, el Ecuador ha implementado una modalidad diferente de mantenimiento vial, denominada mantenimiento vial por niveles de servicio, comprende la ejecución de obras necesarias para la reparación y mejoramiento de una vía, que permitan alcanzar niveles de servicio óptimos y la conservación del sistema vial durante un periodo determinado de tiempo. (Tapia, 2016)

Un pavimento es un elemento estructural vial constituido por un conjunto de capas colocadas de forma horizontal una sobre otra, diseñadas con materiales apropiados y debidamente compactados, que han de resistir adecuadamente los diferentes esfuerzos que transmiten los vehículos. (Toscano, 2014)

El micropavimento es un sistema de pavimentación superficial compuesto por capas delgadas de emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregados 100% triturados, agua, relleno mineral y otros aditivos según sea necesario, pertinentemente como tratamiento superficial que se lo coloca por capas delgadas que van entre **los 3mm e inclusive hasta los 13mm** de espesor, de tal manera que logra mejorar las características de fricción principalmente en pavimentos.(Barrionuevo, 2012)

La emulsión asfáltica es la dispersión de partículas muy pequeñas de un líquido dentro de otro líquido, los cuales son no miscibles entre sí. El uso adecuado de emulsiones asfálticas redundan en pavimentos de alto desempeño, en aplicaciones económicas y versátiles para el mantenimiento y rehabilitación de las vías. (Urgiles & Gustavo, 2011)

Uno de los problemas con el que permanentemente se enfrentan los ingenieros de pavimentos es la calidad y heterogeneidad del asfalto que se obtiene en las refinerías. El uso de asfaltos modificados permite obtener mezclas asfálticas de mayor durabilidad y comportamiento, bajo las cargas de tránsito. La tecnología de asfaltos modificados se emplea desde hace varios años en diferentes países del mundo. (Figuroa et al., 2007)

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, que tiene las propiedades ideales para la construcción de pavimentos, cumpliendo diferentes funciones: (Salazar, 2011)

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una fuerte unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.
- Mejora la capacidad portante de la estructura permitiendo disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

La ISSA (International Slurry Surfacing Association), como ente investigador, define a los micropavimentos como la técnica más avanzada para mantenimiento superficiales en pavimentos, de mayor estabilidad, capaces de ser distribuida en espesores variables de hasta 13 mm. Define las lechadas como una mezcla de agregado (incluyendo el filler), emulsión asfáltica de quiebre lento o controlado, agua y aditivo, la que es distribuida uniformemente sobre la superficie de un pavimento existente, en espesores que van desde los 3 a 10 mm como se muestra en la ilustración 1.



Ilustración 1. Colocación del micropavimento en la vía Palestina-Chontaduro cantón Rio Verde.

Fuente: Prefectura de Esmeraldas

1.2.1. Reseña historia e importancia en el país

El micropavimento fue desarrollado en Europa a mediados de los años 70, fue usado por primera vez en los Estados Unidos en 1980 en Kansas. Desde entonces, ha sido colocado en carreteras con moderado y alto tráfico en varios estados; cuando es diseñado y construido apropiadamente, ha mostrado buenos resultados para mejorar las características de fricción superficial, recuperación de ahuellamientos en algunos casos y pequeñas irregularidades en vías tanto de alto como bajo volumen de tráfico, también es usado como un sello superficial para corregir irregularidades, el micropavimento ha mostrado resultados prometedores de 4-7 años como vida de servicio.(García, 2012)

En el Ecuador no se ha hecho frecuente el uso de esta tecnología de mantenimiento vial, a pesar del potencial que presenta el desarrollo de micropavimento, esto se debe a que no existe una producción correcta de agregados clasificados únicamente para micropavimento, es por ello por lo que hacemos énfasis en el estudio y comportamiento del micropavimento con diferentes agregados de la provincia del Azuay.

En el Ecuador el procedimiento para el diseño de micropavimentos cuenta con una normativa vigente local la cual es tomada con referencia a las normativas internacionales: American Society for Testing and materials (ASTM), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), International Slurry Surfacing Association (ISSA), Instituto Nacional de Vías (INV), Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales (MMP) y las especificaciones nacionales del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).

1.2.2. Diferencia entre micropavimento y Slurry Seal

Antiguamente en el mercado de la construcción se conocía al slurry seal como fuente de mantenimiento en pavimentos, el paso de los años ha permitido la evolución de este llegando hoy en día a conocerle como micropavimento, es por esto por lo que las dos industrias de morteros asfálticos están tomando medidas para mejorar, estandarizar los procedimientos, pruebas del diseño de mezclas y ajustar el diseño estándar para reflejar mejor los efectos de los materiales que cambian ampliamente. Las tecnologías como los micropavimentos proporcionan soluciones rentables y, en primer lugar, mejoran el rendimiento del pavimento.

El Slurry Seal son mezclas diseñadas en laboratorio compuestas de agregado, emulsión asfáltica, agua, relleno mineral y otros aditivos proporcionados con precisión, mezclado y uniformemente esparcidos en una superficie adecuadamente preparada. La mezcla se aplica como capa de rodadura asfáltica y puede ser calificada como técnica de mantenimiento correctiva, es una técnica de mantenimiento muy efectiva para superficies de pavimentos viejos, debido a que la mezcla del mortero llenará las fisuras superficiales y detendrá el desprendimiento de agregados. (Toscano, 2014)

Siendo ambos sistemas de tratamientos superficiales de igual composición básica se diferencian claramente en:

Tabla 1 Diferencia entre slurry seal y micropavimento.

	SLURRY SEAL	MICROPAVIMENTO
Sirve para nivelación y ahuellamiento		x
Aplica de noche		x
Aplica una sola capa	x	
Agregado 100% triturado		x
Emulsión asfáltica siempre modificada con polímeros		x
Disponibilidad inmediata al tráfico		x
Tratamiento superficial económico	x	x

Fuente: Autoría propia

En el Ecuador se están utilizando slurry seal y micropavimento con emulsiones asfálticas que pueden ser simples o modificadas, es por esto que se realizan estudios continuos para controlar la calidad y utilizarlos en el mantenimiento y conservación de pavimentos flexibles, son aplicados como tratamientos superficiales delgados de poco espesor para mejorar las características de fricción en los pavimentos y la impermeabilización.

1.2.3. Tipos de micropavimento

Según la normativa International Slurry Surfacing Association (ISSA A 143) se clasifica en tres tipos de acuerdo al tamaño del agregado y de ahí se definen sus usos. (*Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación A143, 2010*)

Tipo II: Es el tipo de lechada más utilizado, protege la superficie subyacente del envejecimiento y del daño causado por el agua y mejora la fricción de la superficie. También corrige la desintegración superficial. Se utiliza principalmente para soportar cargas de tráfico moderado.

- Gradación inferior a 6mm

- 7-13.5% asfalto residual
- El más común
- Para sellar y corregir
- Mejorar la resistencia al deslizamiento de los neumáticos por efecto del agua
- Para tráfico moderado a pesado

Tipo III: Se utiliza para lograr altas tasas de aplicación y altos valores de fricción superficial. Es adecuado para carreteras con mucho tráfico.

- Gradación inferior a 9mm
- 6.5-12% asfalto residual
- Trata defectos de superficie severos y rellenar depresiones
- Proporciona la máxima resistencia al deslizamiento de los neumáticos por efecto del agua

1.4.Objetivos.

1.4.1. Objetivo General

Comparar las propiedades de un micropavimento con asfalto emulsionado modificado con polímeros y con asfalto emulsionado modificado con resina de poliuretano.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar una investigación documental de información existente relacionada con el tema de investigación.
- Determinar los ensayos requeridos en los materiales que componen un micropavimento
- Realizar ensayos en materiales granulares y emulsión asfáltica.
- Realizar el diseño de un micropavimento con asfalto emulsionado modificado con polímero y asfalto emulsionado modificado con resina de poliuretano.
- Comparar y evaluar las características de los micropavimentos.

1.5. Justificación del trabajo.

La inversión en infraestructura es vital para el desarrollo económico y social de un país porque mejora la competitividad económica al satisfacer las condiciones básicas para promover las actividades productivas.

En la actualidad, el crecimiento de un país se aprecia por las condiciones de sus canales de comunicación, ninguna sociedad concebirá su propio desarrollo fuera de un sistema de tráfico vial eficaz. Las carreteras son un proyecto estratégico de desarrollo y se utilizan los 365 días del año, por lo que deben brindar a los usuarios las mejores condiciones de servicio. Aquí, no se trata solo de la construcción de la carretera, sino también del mantenimiento de la carretera después de su construcción.

Siendo el micropavimento, un tratamiento superficial de alto rendimiento que mejora las condiciones de servicio y seguridad al usuario, extendiendo considerablemente la vida útil de las carreteras a un bajo costo. Esta investigación aportará a la mejora de las características funcionales del micropavimento para el uso de las carreteras del país.

1.6. Metodología para desarrollar.

En el presente trabajo de investigación, donde las autoras tienen como objetivo general comparar las propiedades de un micropavimento con asfalto emulsionado modificado con polímeros y con asfalto emulsionado modificado con resina de poliuretano, se realizará una recopilación bibliográfica de diferentes autores con respecto a las distintas actividades realizadas en el diseño, por lo tanto la investigación estará basada en normas que hagan relación al diseño como son la ISSA (International Slurry Surfacing Association), ASTM (American Society for Testing and Materials), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), y NEVI (Norma Ecuatoriana Vial).

Es importante tener en cuenta la composición del micropavimento de tal manera que permita clasificar los ensayos correctos obteniendo las muestras de los agregados para la caracterización, toda la investigación se va a llevar a cabo de forma práctica con agregados extraídos de tres canteras: Asfaltar, Rookaazul y Vipesa, las mismas que se encuentran ubicadas en la provincia del Azuay.

Los ensayos se van a realizar en el laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Cuenca los mismos que son: Abrasión (máquina de los ángeles) Norma, ASTM C-131, índice plástico de Suelos, Norma, ASTM D-4318 y Sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de magnesio, Norma, ASTM C88-99 y en el Laboratorio Emuldec ubicado en la Ciudad de Quito (Calacalí) se realizará los ensayos que se encuentran detallados en el capítulo IV que son un total de 32 correspondientes a los agregados, emulsión asfáltica y el diseño de la mezcla.

Una vez obtenido los resultados se realizará dos diseños que corresponden a cada mezcla de tal manera que nos permita comparar y evaluar las características de los micropavimentos, los cuales lograremos plasmar en una tabla resumen en donde podremos identificar los resultados obtenidos durante las prácticas de ensayo en los diferentes laboratorios.

1.7.Materiales a utilizar.

La demanda de áridos para la construcción en Cuenca está abastecida hoy en día por las grandes canteras ubicadas al norte y al sur de la ciudad de Cuenca.

Los requisitos de calidad de los agregados están sujetos por las normas INEN o los requisitos básicos de la MTOP. Sin embargo, en el mercado de materiales de construcción, no existe una cadena de producción de agregados para micropavimento que cumpla con los estándares de requerimiento para la elaboración de morteros asfálticos, esto depende por la falta de control de calidad por parte de las canteras.

Para el desarrollo de la tesis se ha tomado en cuenta tres canteras las cuales son: Asfaltar, Rookaazul y Vipesa.

ASFALTAR

Se ubica en Guaymincay en el cantón Paute, en la provincia del Azuay, el material proviene del río Paute el mismo que es tratado y distribuido para diferentes obras.

Minera Rookaazul es una empresa en Ecuador, con sede principal en Cuenca, opera en minería de Arena y Grava para construcción.

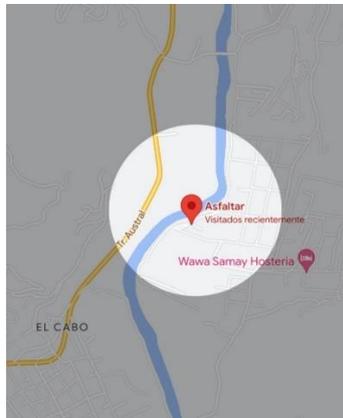


Ilustración 2 Ubicación mina Asfaltar

Fuente: Google Maps

ROOKAAZUL

Se ubica en la Panamericana Norte km 15 1/2, en la provincia del Azuay, el material proviene del río Paute el mismo que es tratado y distribuido para diferentes obras.

Minera Rookaazul es una empresa en Ecuador, con sede principal en Cuenca, opera en minería de Arena y Grava para construcción. (EMIS, 2020)

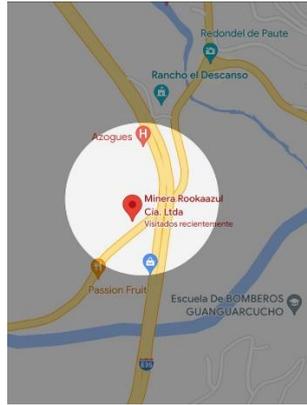


Ilustración 3 Ubicación mina Rookaazul

Fuente: Google Maps

VIPESA

Se ubica en la Panamericana Norte km 15 1/2, en la provincia del Azuay, el material proviene del río Paute el mismo que es tratado y distribuido para diferentes obras.

Minera Vipesa se dedica a extracción de polvo de piedra, grava y arena también se dedica a extracción de otros minerales: asbesto, peolita, magnesio etc.(EMIS, 2020)

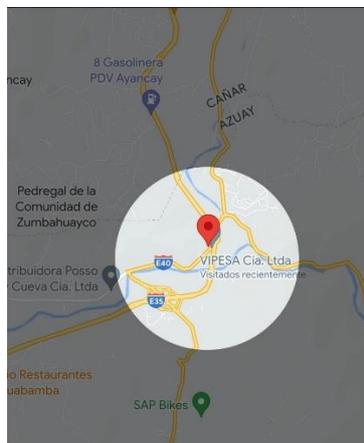


Ilustración 4 Ubicación mina Vipesa

Fuente: Google Maps

CAPITULO II

2.1.Micropavimento.

2.1.1. *Micropavimento*

Según la normativa ISSA A143 dice: La micro pavimentación consiste en una mezcla de asfalto emulsionado modificado con polímeros, cargas minerales como cemento Portland tipo I, cal apagada, polvo de caliza o puzolana, piedra molida, agua y aditivos, proporcionados, mezclados y esparcidos uniformemente sobre una superficie previamente preparada. La micropavimentación debe funcionar en secciones de diferentes espesores, como ahuellamientos, capas niveladoras y superficies fresadas. Después del curado y la consolidación inicial del tránsito, debe resistir una mayor compactación. Esta mezcla se aplica como una capa homogénea que se adhiere a la superficie preparada y tendrá una textura resistente a los deslizamientos durante su vida útil.(*Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación A143*, 2010)

Con el micropavimento se puede reactivar el tránsito al poco tiempo de ser aplicado, esto se logra puesto que utiliza emulsiones de tipo CQS que son emulsiones de rotura controlada. En condiciones específicas, estos sistemas permiten tránsito rodante una hora después de su colocación sobre una capa colocada de hasta 1 ½ veces más del tamaño mayor del agregado que se está utilizando.(*Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, 2013)

Las condiciones específicas para la aplicación de micropavimento serán, cuando la temperatura atmosférica o el pavimento se encuentren por encima de los 7 °C, no se colocará micropavimento cuando exista peligro eminente de lluvia.(*Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación A143*, 2010)

Los criterios normativos para la aplicación de los diferentes tratamientos con morteros asfálticos se basarán de acuerdo con el volumen y tipo de tráfico.

Los morteros asfálticos están definidos como mezclas densas compuestas por, agregados (polvo de piedra 100% triturados), relleno mineral, agua y asfaltos emulsionados que pueden ser modificados generalmente con polímeros u otros agentes que mejoren las características del asfalto emulsionado.

Los morteros asfálticos se subdividen de acuerdo con el uso y los requerimientos de obra:

- **Mortero asfáltico** que utilizan emulsiones de rotura lenta (CSS-1h). (*Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, 2013)

Tabla 2 Tipo de agregado según su aplicación para mortero asfáltico.

TIPO DE AGREGADO	UBICACIÓN	RITMO DE APLICACIÓN SUGERIDO
Tipo I	Áreas de estacionamiento Calles Urbanas y residenciales Pista en aeropuerto	8-12 lb/yd ² (4.3 - 6.5 kg/m ²)
Tipo II	Calles Urbanas y Residenciales Pistas en Aeropuertos	10-18 lb/yd ² (5.4 - 9.8 kg/m ²)
Tipo III	Rutas Principales e interestatales	15-22 lb/yd ² (8.1 - 12 kg/m ²)

Fuente: (Normas de rendimiento recomendadas para slurry seal de asfalto emulsionado A105, 2010)

- **Mortero asfáltico modificado con polímeros** que usa emulsiones de rotura lenta (CSS-1hP). (*Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, 2013)

Tabla 3 Tipo de agregado según su aplicación para mortero asfáltico modificado con polímeros.

TIPO DE AGREGADO	UBICACIÓN	RITMO DE APLICACIÓN SUGERIDO
Tipo I	Áreas de estacionamiento Calles Urbanas y residenciales Pista en aeropuerto	8-12 lb/yd ² (4.3 - 6.5 kg/m ²)
Tipo II	Calles Urbanas y Residenciales Pistas en Aeropuertos	14-18 lb/yd ² (7.6 - 9.8 kg/m ²)
Tipo III	Rutas Principales e interestatales	18-24 lb/yd ² (9.8 - 13 kg/m ²)

Fuente: (Recommended Performance Guideline For Polymer Modified Emulsified Asphalt Slurry Seal, 2020)

- **Micropavimentos** que emplean emulsiones modificadas con polímero de rotura controlada (CQS-1hP). (*Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, 2013)

Tabla 4 Tipo de agregado según su aplicación para micropavimento.

TIPO DE AGREGADO	UBICACIÓN	RITMO DE APLICACIÓN SUGERIDO
Tipo II	Calles Urbanas y Residenciales Pistas en Aeropuertos Capa niveladora	10-20 lb/yd ² (5.4 - 10.8 kg/m ²)
Tipo III	Rutas Principales e interestatales Baches de ruedas Capa niveladora	15-30 lb/yd ² (8.1 - 16.3 kg/m ²)

Fuente: (Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación A143, 2010)

2.1.2. Uso

Los usos más comunes del micropavimento son para mantenimiento preventivo o correctivo con espesores desde 6 - 12,7 mm, usualmente sirven para sellos de grietas superficiales, sellado y recuperación de ahuellamientos, además en ciertos países se los usa para la corrección de pérdida de fricción superficial, Micro capas de nivelación, capas

intermedias y bacheos de poca profundidad (Vargas Gutiérrez, 2016). Con su uso se generan beneficios tales como:

- Apertura del paso vehicular una hora después de su aplicación sin necesidad de compactar.
- Propiedad de impermeabilización es mayor a comparación del Slurry Seal, incrementando la durabilidad del pavimento.
- Mejora la adherencia.

2.1.3. Importancia

Las vías y carreteras en el mundo y de manera particular en nuestro país se han constituido en un pilar fundamental de desarrollo y comunicación, razón por la cual el mantenimiento de las mismas se hace indispensable para cumplir el objetivo por el cual fueron diseñadas y construidas. (Guevara, 2009)

En las carreteras del país es frecuente observar el deterioro de las vías, esto da como resultado la necesidad de costosas reconstrucciones después de amplios períodos de operación, con niveles de servicio muy por debajo de los estándares necesarios para brindar a los usuarios comodidad y seguridad en movimiento. La reparación cuesta aproximadamente tres veces más que el mantenimiento preventivo oportuno, y en una reconstrucción el precio se incrementa aún más.

Aquí es donde se hace el llamado a la preservación vial, lo cual conlleva a una serie de tecnologías que logran que el trabajo se desarrolle rápidamente, evitando problemas de deterioro en un periodo de tiempo corto, proponiendo al Micropavimento como la solución, puesto que su aplicación tiene como objetivo principal alargar la vida útil del pavimento, además busca una mejor transitabilidad en la carretera, confort al usuario, disminuir los costos de operación, mejorar la calidad de vida en los pueblos por donde pasa la carretera, mejorar los

niveles de servicio para el usuario, bajar los costos de mantenimiento, mejorar la reducción de la pobreza a través de un mejor acceso a las oportunidades económicas y servicios públicos para las comunidades rurales.(Rujel Atoche & Solórzano Durand, 2015).

Un ejemplo muy claro se encuentra en la frontera de dos ciudades (Ilustración 5), en el 2004 en ambos lados se construyó una carretera con la misma mezcla y al mismo tiempo. La ciudad Bridgeport no realizó mantenimiento, por otro lado, la ciudad de Fairfield en el 2010 sí, después de 6 años hasta el 2016 los resultados son claros, y es aquí donde después del tratamiento superficial se logra observar los beneficios de realizar trabajos de mantenimiento en las vías.



Ilustración 5 Frontera entre Bridgeport, CT y Fairfield, CT.

Fuente: Ing. José Lucena, 2020

Con ello se evidencia que el mantenimiento periódico de las carreteras es de gran importancia, ayudando a alargar la vida útil del pavimento, manteniendo un buen nivel de servicio para los usuarios.

2.2. Características de los materiales.

Se deben conocer las propiedades físicas de los materiales que forman parte del diseño, los cuales deben cumplir con parámetros que están descritos en el capítulo III del presente trabajo de investigación. Estos rangos de selección de los materiales se encuentran señalados por la American Society of Testing Materials (ASTM), la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), la International Slurry Surfacing Association (ISSA) y Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE), Norma Ecuatoriana Vial (NEVI).

2.2.1. Agregados

Los agregados deben cumplir un óptimo control de calidad. Para obtener una aplicación de alto rendimiento con morteros asfálticos, el proceso de trituración y manejo de agregados incluirá un control en la granulometría, fracturación de caras, limpieza del material y el equivalente de arena. Los agregados deben ser 100 % triturados, estos deben encajar en cualquiera de las tres granulometrías estándar que describe la Asociación Internacional de Recubrimiento con Morteros (ISSA), sin embargo en todo el mundo únicamente se utilizan dos fajas granulométricas identificadas como: Tipo II y Tipo III; cada una seleccionada de acuerdo a la estructura existente, tráfico y condiciones climatológicas en el área de aplicación. (*Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, 2013)

Tabla 5 Gradación del agregado para Micropavimento

Tamiz Tamaño	Tipo II Porcentaje que Pasa	Tipo III Porcentaje que Pasa	Reservas Tolerancia
3/8 (9,5mm)	100	100	
# 4 (4.75mm)	90 - 100	70 – 90	±5%
# 8 (2.36mm)	65 – 90	45 – 70	±5%
# 16 (1.18mm)	45 – 70	28-50	±5%
# 30 (0.6mm)	30 - 50	19 - 34	±5%
# 50 (0.3mm)	18 - 30	12 - 25	±4%
# 100 (0.15mm)	10 - 21	7 - 18	±3%
#200 (0.075mm)	5 - 15	5 - 15	±2%

Fuente: (Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación A143, 2010)

Los ensayos de calidad que deben cumplir los materiales pétreos para la elaboración del diseño de micropavimento son los siguientes:

Tabla 6 Ensayos de calidad del agregado.

Ensayo	Método de ensayo		Especificación
	AASHTO	ASTM	
Equivalente de arena, Suelos y agregados finos	T 176	D 2419	65 mínimo
Solidez de agregados por medio de sulfatos de sodio o sulfato de magnesio	T 104	C88	15% máximo c/NA2SO4 25% máximo c/MgSO4
Resistencia a la degradación de agregado grueso y pequeño tamaño por abrasión e impacto en la maquina Los Ángeles	T 96	C131	30% máximo

Fuente:(Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación A143, 2010)

• **Azul de Metileno** ISSA TB 145 < 10

Este ensayo a través de los valores de reactividad de los finos del agregado nos determina las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica y porcentaje de aditivo retardador.

2.2.2. Filler

Según la norma ASTM D 546 – AASHTO T37, como cargas minerales se pueden utilizar indefinidamente: cemento Portland tipo I, cal apagada, polvo de caliza o puzolana hasta un porcentaje máximo del 2%. El propósito de agregar este relleno mineral es aumentar la manejabilidad de la mezcla, así como mejorar el detalle de la curva de tamaño de los agregados, influyendo en el comportamiento a la ruptura y curado del mortero asfáltico. (*Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, 2013)

2.2.3. Emulsión

La emulsión asfáltica se define como una dispersión de partículas asfálticas en una matriz acuosa químicamente, utilizada principalmente estable en la producción de mezclas bituminosas en frío y como ligante emulsionado en riego.

Dependiendo de las características del agregado, mezcla, tipo de aplicación, ambiente y condiciones climáticas, la emulsión asfáltica a utilizar deberá seguir un diseño previo.

Las emulsiones asfálticas recomendadas para morteros asfálticos son normalmente CSS-1, CSS-1h (emulsión catiónica de rotura lenta), CSS-1h-P (emulsión catiónica de rotura lenta con modificada con polímeros) y CQS-1h (emulsión catiónica de rotura controlada), CQS-1h-P (emulsión catiónica de rotura controlada modificada con polímeros); deben ser ensayadas específicamente para verificar la compatibilidad, la reactividad con los agregados, los correspondientes certificados del análisis y la producción deben proporcionarse de acuerdo con el diseño de emulsión requerido. (*Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*, 2013)

Para el diseño de micropavimento según la norma ISSA A143: El asfalto emulsionado debe ser modificado con polímeros, dando como resultado una emulsión asfáltica compuesta de la siguiente manera:

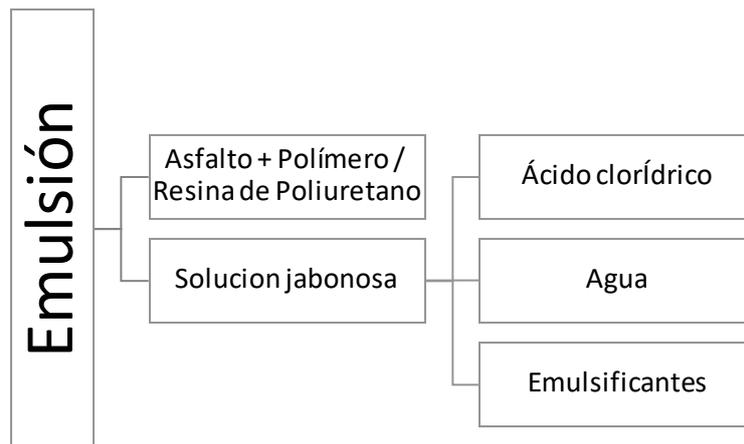


Figura 1. Esquema de los componentes de la emulsión

Fuente: Autoría Propia

2.2.3.1. Polímero

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.(Castro, 2021)

Se ha tenido buenos resultados con algunos modificadores poliméricos como:

- Homopolímeros: Que tienen una sola unidad estructural (monómero).
- Copolímeros: Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS)
- Elastómeros: Sobrepasan la tensión de fluencia al momento de estirarlos, estos al cesar la sollicitación no vuelven a su longitud original

El principal objetivo con la adición de polímeros al asfalto es el de mejorar su reología, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica. Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.

- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia a los agregados.

El trabajo de investigación prevé el uso de polímeros, para este caso por encontrar en el mercado, se utilizará el polímero SBS (Estireno – Butadieno – Estireno) el cual para la modificación de asfaltos es el más utilizado, al añadirlo al asfalto disminuye la susceptibilidad térmica y su plasticidad, dando como resultado asfaltos más duros pero que siguen siendo elásticos. (Camargo & Suárez, 2010)

2.2.3.2. Resina de Poliuretano

El poliuretano (PU) se refiere a una clase de polímeros obtenidos por poliadición y policondensación de compuestos con grupos hidroxilo e isocianatos, y su cadena principal contiene enlaces de uretano. Esta reacción fue descubierta por Otto Bayer en 1937. (Pérez, 2008)

La familia de los poliuretanos ofrece una de las más amplias gamas de propiedades en plásticos, y la oportunidad de incorporar estructuras químicas específicas en la cadena molecular del PU permite lograr cualquier propiedad específica en el polímero. Algunas propiedades específicas son la resistencia al desgaste y la facilidad de procesamiento. (Pérez, 2008)

La resina de poliuretano transparente tiene gran resistencia y compatibilidad con hormigón, piedra natural, sintética y pavimento, se las utiliza en exteriores como en carreteras y suelos exteriores. (Amagua, 2021)

Es un material utilizado para los pavimentos continuos que ofrece resistencia UV, actúa como aislante térmico y es sumamente elástico y protector frente al deterioro ocasionado por ralladuras, entre otras cosas. (*Pavimentos de Poliuretano - Información y Aplicaciones*, 2020)

2.2.4. Agua

El agua debe estar libre de sales nocivas y contaminantes. Si la calidad del agua es cuestionable, debe enviarse al laboratorio con otras materias primas para el diseño de las mezclas.

CAPITULO III

Para tener la seguridad que el material pétreo es apto para micropavimento, se deben analizar ensayos básicos de calidad, ayudando a caracterizar al agregado.

Caracterizar el agregado hace referencia a determinar las propiedades geotécnicas del agregado fino cien por ciento triturado, esto ayudará a determinar la cantidad optima de emulsión que se necesitará para diseñar el micropavimento destinado al proyecto que se ejecutará.(Palomino & Rodríguez, 2017)

En el presente trabajo de investigación se tomó una muestra en tres canteras locales, Mina Asfaltar, Rookaazul y Vipesa. Los ensayos de laboratorio a realizarse para el diseño de micropavimentos son los descritos a continuación:

3.1.Agregados

Los agregados más utilizados en el país provienen de depósitos naturales formados en los ríos y su extracción es relativamente económico, estos usualmente requieren de un proceso de trituración.

Sin embargo, existen también zonas con falta de ríos, en donde se extraen las rocas madres que dan lugar a los agregados directamente de la corteza terrestre, utilizando explosivos o máquinas excavadoras. Este tipo de agregados se denominan de banco o de corte y requieren además de un proceso de tamizado.

Los agregados constituyen entre el 82 y 90% del peso del micropavimento, estos deben estar triturados, limpios, duros y libres de químicos. (Solis & Moreno, 2012)

3.1.1. Muestreo de los materiales, Norma ASTM D-75 / AASHTO T-2

3.1.1.1. Descripción

Desde la toma de muestra de los materiales se deben tener precauciones necesarias para así obtener la condición y naturaleza en la que se encuentra el material. Existe varias maneras en las que se pueden realizar las tomas de muestras, esto dependerá de la maquinaria a disposición en la cantera, en este caso se realizó el muestreo de agregados desde el apilamiento, donde con la ayuda de un equipo mecanizado, se mezcló la pila y se tomaron muestras del tercio superior, de la zona media y el tercio inferior. (ASTM D-75, 2003)

3.1.1.2. Equipo y materiales

- Sacos
- Fundas plásticas
- Palas
- Cargador frontal

3.1.1.3. Procedimiento

Para la toma de agregado $3/4$ y pasante $3/8$, se empleó equipo mecánico, el cual ayudó a obtener una homogenización adecuada, y así tomar algunas porciones para formar la muestra representativa del material pétreo.



Ilustración 6. Toma de muestras con equipo mecánico

Fuente: Autoría Propia

En el caso que no sea posible emplear equipo mecanizado, las muestras del apilamiento serán tomadas del tercio superior, de la zona media y del tercio inferior del volumen de la pila, intentando que más muestras tomadas sean lo más homogéneas posibles.



Ilustración 7. Toma de muestras manual

Fuente: Autoría Propia

Se almacenó las muestras dentro de fundas plásticas para evitar pérdidas o contaminación, así mismo las muestras enfundadas se encontraban dentro de sacos para evitar el daño del contenido durante el transporte de este.



Ilustración 8. Almacenamiento de muestras

Fuente: Autoría Propia

3.1.2. Granulometría de los agregados, Norma AASHTO T27 / AASHTO T11 / ASTM C-117

3.1.2.1.Descripción

El análisis granulométrico se realiza debido a la gran variedad en los tamaños de las partículas de suelos, este ensayo tiene por objetivo determinar el tamaño de las partículas que lo constituye y fijar en porcentaje su peso total.(ASTM C-117, 2001)

La gradación es de gran importancia porque permite determinar el tipo de faja granulométrica en el cual encaja para esta investigación, ya sea TIPO II o III. Una vez tamizado, el porcentaje del tamiz no debe variar más del rango de tolerancia.(ASTM C-117, 2001)

3.1.2.2.Equipo y materiales

- Horno, con temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm$
- Tamices, especificado en tabla 2
- Balanza con 0.1 gr de sensibilidad

3.1.2.3.Procedimiento

Se llevó los sacos con las muestras obtenidas de cada cantera al laboratorio para poder obtener, por método de cuarteo, 2 muestras por mina, previo a esto el agregado ya se encontraba completamente mezclado, seguido la muestra se colocó en el horno a temperatura de 105 a 110°C durante 12 a 24 horas.



Ilustración 9. Cuarteo y tamizaje de las muestras

Fuente: Autoría Propia

Dejar enfriar las muestras a temperatura ambiente y pesar 1500 gr para cada muestra.

Colocar los 1500 gr de material en la maquina tamizadora por 10 minutos, una vez transcurrido el tiempo necesario, pesar el material que se encuentra retenido en cada uno de los tamices.

Con los 2 resultados se obtiene un promedio por tamiz, siendo esto la granulometría representativa de la muestra.

3.1.2.4.Resultados

- **MINA ASFALTAR**

Tabla 7 Granulometría, Mina Asfaltar

Tamiz No.	Abertura (mm)	Retenido parcial Muestra N°1	Retenido parcial Muestra N°2	R. Parcial Corregido Muestra N°1	R. Parcial Corregido Muestra N°2	Peso Parcial Promedio	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que pasa (%)
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
No. 4	4.75	266.33	252.94	264.92	250.57	257.75	17.18	17.18	82.82
Pasa N° 4		1234.12	1247.27	1235.53	1249.64	1242.58			
No. 8	2.36	549.61	569.03	546.71	563.70	555.20	37.01	54.18	45.82
No. 16	1.18	247.87	246.93	246.56	244.62	245.59	16.37	70.55	29.45
No. 30	0.6	144.04	129.32	143.28	128.11	135.69	9.04	79.60	20.40
No. 50	0.3	102.78	109.37	102.24	108.34	105.29	7.02	86.62	13.38
No. 100	0.15	81.02	82.21	80.59	81.44	81.02	5.40	92.02	7.98
No. 200	0.075	44.26	46.66	44.03	46.22	45.12	3.01	95.02	4.98
Pasante No 200						74.67	4.98	100.00	0.00
Total		1500.45	1500.21	1500.45	1500.21	1500.33			

Fuente: Autoría propia

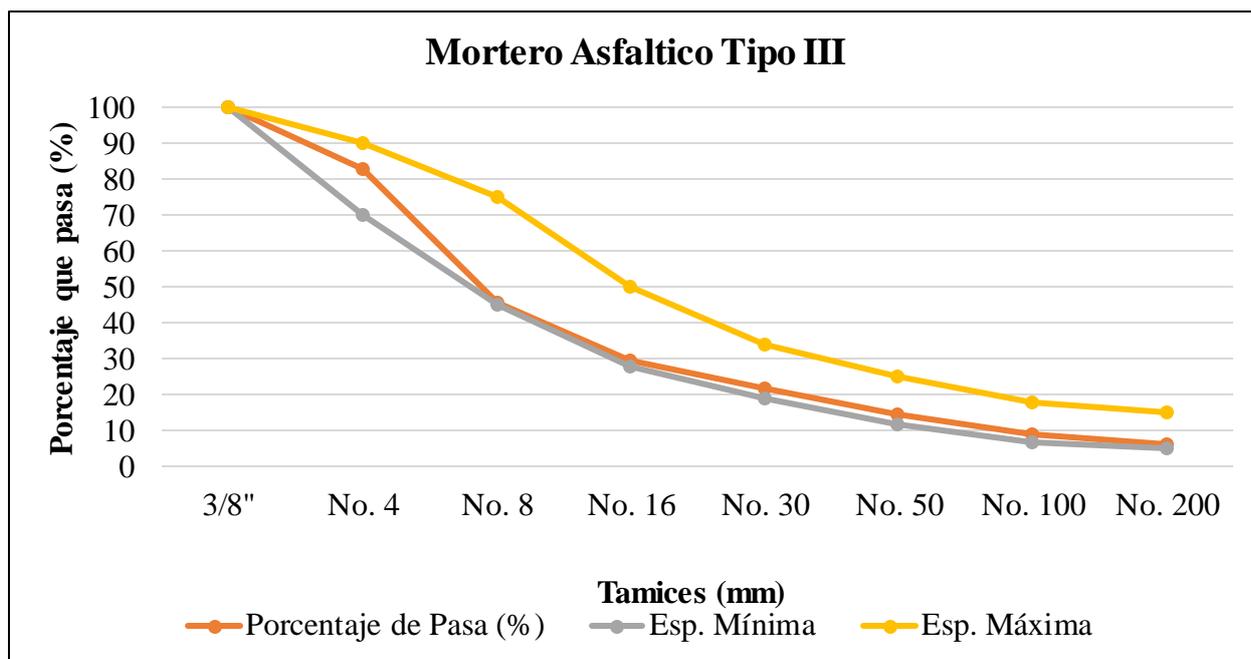


Figura 2 Faja granulométrica, mina Asfaltar

Fuente: Autoría propia

- **MINA ROOKAAZUL**

Tabla 8 Granulometría, Mina Rookaazul

Tamiz No.	Abertura (mm)	Retenido parcial Muestra N°1	Retenido parcial Muestra N°2	R. Parcial Corregido Muestra N°1	R. Parcial Corregido Muestra N°2	Peso Parcial Promedio	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que pasa (%)
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
No. 4	4.75	255.22	278.29	248.70	268.84	258.77	17.25	17.25	82.75
Pasa No. 4		1245.22	1221.92	1251.74	1231.37	1241.56			
No. 8	2.36	541.81	580.28	527.96	560.57	544.27	36.28	53.52	46.48
No. 16	1.18	274.88	183.18	267.85	176.96	222.41	14.82	68.35	31.65
No. 30	0.60	120.19	21.30	117.12	20.58	68.85	4.59	72.94	27.06
No. 50	0.30	120.04	162.17	116.97	156.66	136.82	9.12	82.06	17.94
No. 100	0.15	76.37	161.72	74.42	156.23	115.32	7.69	89.74	10.26
No. 200	0.08	55.52	74.77	54.10	72.23	63.17	4.21	93.95	6.05
Pasante No 200						90.74	6.05	100.00	0.00
Total		1500.44	1500.21	1500.44	1500.21	1500.33			

Fuente: Autoría propia

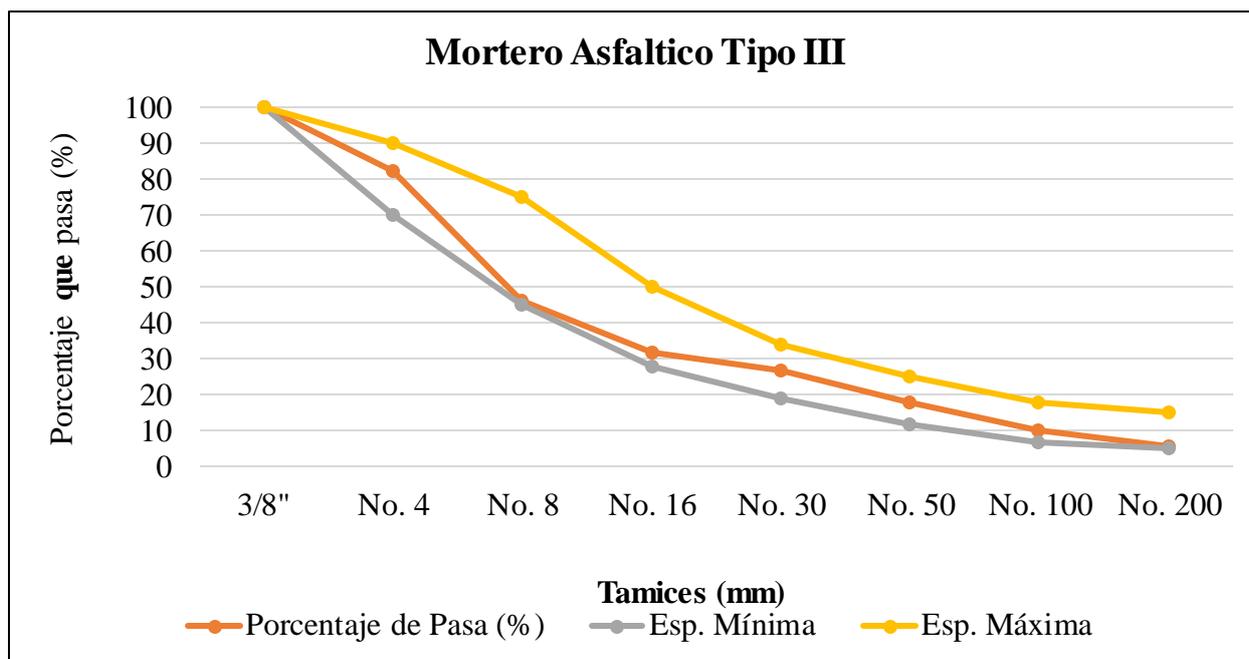


Figura 3 Faja granulométrica, mina Rookaazul

Fuente: Autoría propia

- **MINA VIPESA**

Tabla 9 Granulometría, Mina Vipesa

Tamiz No.	Abertura (mm)	Retenido parcial Muestra N°1	Retenido parcial Muestra N°2	R. Parcial Corregido Muestra N°1	R. Parcial Corregido Muestra N°2	Peso Parcial Promedio	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Que pasa (%)
3/8"	9.5								100
No. 4	4.75	178.55	192.93	177.36	182.68	180.02	12.00	12.00	88.00
Pasa N° 4		1321.79	1307.18	1322.98	1317.43	1320.21			
No. 8	2.36	643.69	644.04	639.40	609.81	624.60	41.63	53.63	46.37
No. 16	1.18	254.63	250.09	252.93	236.80	244.86	16.32	69.96	30.04
No. 30	0.60	132.34	118.67	131.46	112.36	121.91	8.13	78.08	21.92
No. 50	0.30	101.43	104.71	100.75	99.14	99.95	6.66	84.74	15.26
No. 100	0.15	125.89	120.47	125.05	114.07	119.56	7.97	92.71	7.29
No. 200	0.08	60.47	54.46	60.07	51.57	55.82	3.72	96.43	3.57
Pasante No 200		0.00	0.00	0.00	0.00	53.51	3.57	100.00	0.00
Total		1500.34	1500.11	1500.34	1500.11	1500.23			

Fuente: Autoría propia

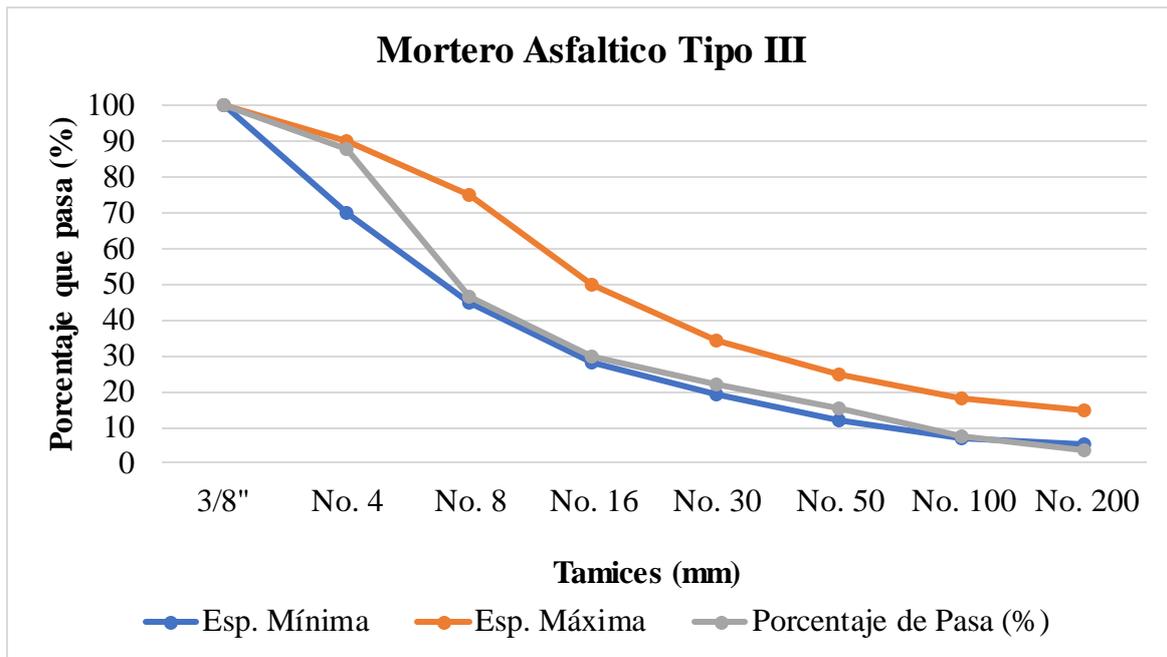


Figura 4 Fajas granulométricas, mina Vipasa

Fuente: Autoría propia

Al realizar una primera granulometría en las Tres canteras provenientes de la provincia del Azuay que se utilizaron para la presente investigación, estas no encajaban en las fajas granulométricas para el diseño de micropavimento, por lo cual se ajustó la granulometría dentro de la faja escogida, Tipo III, siendo el agregado de Rookaazul el material que mejor calza en las especificaciones.

3.1.3. Índice de plasticidad, Norma ASTM D 4318-00

3.1.3.1.Descripción

Este ensayo ayuda a determinar el rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el Limite líquido y el Limite Plástico.(ASTM-4318, 2005)

3.1.3.2.Equipo y materiales

- Agua destilada
- Papel
- Contenedor de almacenamiento y mezclado
- Espátula

3.1.3.3.Procedimiento

Se tamiza una muestra del agregado por el tamiz N.º 40 para iniciar realizando el ensayo de plasticidad donde se debe agregar agua destilada hasta llegar a un punto en que el material sea manejable.



Ilustración 10. Muestras tamizadas y saturadas

Fuente: Autoría propia

Hilar una pequeña porción de suelo hasta que su contenido de agua sea reducido a un punto en el cual el hilo se rompe.



Ilustración 11 Elaborando hilo con una porción de muestra

Fuente: Autoría propia

Si el límite líquido o el límite plástico no pueden ser determinados, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, el suelo se determina como no plástico, NP.

3.1.3.4.Resultados



Ilustración 12. Resultado de ensayos

Fuente: Autoría propia

Realizando los ensayos, utilizando los materiales de las tres canteras se pudo evidenciar que los materiales son No Plásticos (NP), debido a que en el ensayo de Limite plástico el hilo se rompe, siendo imposible hilar el material.

3.1.4. Ensayos a resistencia de Sulfatos de Sodio o Sulfato de Magnesio, Norma AASHTO T 104 / ASTM C 88

3.1.4.1.Descripción

Este método de ensayo cubre la prueba de los agregados para estimar su resistencia cuando son sometidos a la acción del clima en el concreto o en otras aplicaciones.(ASTM C-88, 2009)

3.1.4.2.Equipo y materiales

- Tamices
- Contenedores
- Balanzas
- Horno de secado
- Sulfato de sodio
- Cloruro de Bario
- Agua destilada

3.1.4.3.Procedimiento

Para realizar el ensayo con el agregado fino se necesitará el material pasante 3/8.

Se prepara una solución saturada de sulfato de Sodio, la cual consiste en diluirlo en partes iguales con agua destilada a una temperatura entre 25 a 30° C, la mezcla debe ser agitada constantemente antes de ser usada para minimizar la evaporación y evitar que se contamine, hay que mantener todo el tiempo la solución cubierta cuando no se utilice. La mezcla debe estar en reposo por al menos 48 horas antes de ser utilizada.



Ilustración 13. Preparación de solución saturada de Sulfato de Sodio

Fuente: Autoría propia

Lavar y dejar que se seque en el horno a una temperatura de 110 °C por 24 horas, seguido tamizar el agregado en las siguientes mallas:

- 600 μm (No. 30) 300 μm (No. 50)
- 1.18 mm (No. 16) 600 μm (No. 30)
- 2.36 mm (No. 8) 1.18 mm (No. 16)
- 4.75 mm (No. 4) 2.36 mm (No. 8)
- 9.5 mm (3/8 pulg) 4.75 mm (No. 4)



Ilustración 14. Lavado y Tamizado de muestras

Fuente: Autoría propia

Sumergir las muestras en la solución de sulfato de sodio por lo menos 16 horas y no más de 18 horas, las muestras deben estar cubiertas como mínimo $\frac{1}{2}$ pulgada. Cubrir los contenedores para reducir la evaporación y prevenir contaminantes.



Ilustración 15. Muestras sumergidas en solución de sulfato de sodio

Fuente: Autoría propia

Después del período de inmersión, remover la muestra de agregado de la solución y permitir que drene, posteriormente colocarla en el horno de secado a una temperatura de $70 \pm 5^{\circ}$ C hasta alcanzar muestra constante, se revisa cada 4 horas y se pesa, la pérdida de peso debe ser menor a 0.1% del peso de la muestra en 4 horas de secado. Se realiza durante 4 ciclos.



Ilustración 16. Secado de muestras

Fuente: Autoría propia

Después de completar el ciclo final y la muestra se haya enfriado, lavar la muestra con agua destilada para quitarle el sulfato de sodio o sulfato de magnesio que haya quedado, lo cual se determina agregando pequeñas porciones continuas la solución de cloruro de bario (BaCl_2), en el caso que la muestra aun contenga sulfatos, el cloruro de bario hará que el agua tome un color blanquecino, pero si el agua se mantiene cristalina significa que el sulfato fue removido totalmente.



Ilustración 17. Lavado de muestras

Fuente: Autoría propia

Una vez que la solución de sulfato de sodio fue removida, se seca la muestra a peso constante a 110 ± 5 °C y tamizar el agregado fino sobre las mismas mallas en las cuales fue retenido antes del ensayo.

Pesar el material retenido en cada malla y registrar cada cantidad. La diferencia entre las cantidades y el peso inicial de la fracción de la muestra ensayada es la pérdida en el ensayo y es expresado como un porcentaje del peso inicial.

3.1.4.4. Resultados

Tabla 10 Resultados de Resistencia a Sulfatos, Mina Asfaltar

NUMERO DE TAMIZ		ASFALTAR CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO				
Pasa	Retenido	% Retenido Parcial del agregado g.	Pesos de las fracciones antes del ensayo g.	Peso de las fracciones después del ensayo	% que pasa el tamiz más fino después del ensayo	% de desgaste parcial
3/8	N°4	24.64%	110	108.41	1.45%	0.36%
	N°4	21.13%	110	92.98	15.47%	3.27%
	N°8	24.14%	110	106.2	3.45%	0.83%
	N°16	24.36%	110	107.18	2.56%	0.62%
TOTALES			440			5.08%

Fuente: Autoría propia

Tabla 11 Resultados de Resistencia a Sulfatos, Mina Rookaazul

NUMERO DE TAMIZ		ROOKAAZUL CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO				
Pasa	Retenido	% Retenido Parcial del agregado g.	Pesos de las fracciones antes del ensayo g.	Peso de las fracciones después del ensayo	% que pasa el tamiz más fino después del ensayo	% de desgaste parcial
3/8	Nº4	23.95%	110	105.36	4.22%	1.01%
Nº4	Nº8	20.28%	110	89.22	18.89%	3.83%
Nº8	Nº16	24.40%	110	107.35	2.41%	0.59%
Nº16	Nº30	23.85%	110	104.93	4.61%	1.10%
TOTALES			440			6.53%

Fuente: Autoría propia

Tabla 12 Resultados de Resistencia a Sulfatos, Mina Vipesa

NUMERO DE TAMIZ		VIPESA CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO				
Pasa	Retenido	% Retenido Parcial del agregado g.	Pesos de las fracciones antes del ensayo g.	Peso de las fracciones después del ensayo	% que pasa el tamiz más fino después del ensayo	% de desgaste parcial
3/8	Nº4	24.52%	110	107.9	1.91%	0.47%
Nº4	Nº8	23.95%	110	105.4	4.18%	1.00%
Nº8	Nº16	23.93%	110	105.3	4.27%	1.02%
Nº16	Nº30	23.16%	110	101.9	7.36%	1.71%
TOTALES			440			4.20%

Fuente: Autoría propia

En el presente ensayo se utilizó sulfato de sodio, como se puede evidenciar en las tablas con los resultados, la mina con mayor porcentaje de desgaste es la mina Rookaazul con un 6.53%, seguido por Asfaltar y Vipesa con 5.08% y 4.20% respectivamente. Resultados que se encuentran dentro de norma, siendo aptos para el diseño de micropavimento.

3.1.5. Peso Unitario, Norma ASTM C-29 / AASHTO T-29

3.1.5.1. Descripción.

Este método permite determinar la densidad aparente de un árido tanto en su condición compactada o suelta, de tal manera que logremos determinar los huecos entre las partículas de

los áridos finos. La densidad aparente también puede emplearse para determinar la relación masa/volumen. (ASTM C-29, 2002)

3.1.5.2. Equipo y materiales

- Cuchara metálica
- Balanza
- Varilla compactadora de acero cilíndrico
- Recipiente cilíndrico metálico
- Agregado pasante 3/4

3.1.5.3. Procedimiento

Agregado suelto

Se pesa aproximadamente 5000 g de agregado sin tamizar.

Llenar el recipiente hasta colmar con la cuchara metálica, descargar los áridos sin exceder los 5 cm sobre la parte superior del recipiente.



Ilustración 18. Descarga de material en recipiente

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Nivelar la superficie de los áridos con los dedos, de tal manera que se logre evitar al máximo la segregación.

Cuando el cilindro metálico se encuentre lleno, con una varilla metálica empezamos a enrasar de tal forma que el material no se desprenda y logremos determinar su peso.



Ilustración 19. Enrazado de muestra

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Determinar la masa del recipiente con su material y la masa solo del recipiente cilíndrico metálico.

Agregado Compactado

Se pesa aproximadamente 5000 g de agregado.

Llenar un tercio del recipiente y nivelar la superficie con los dedos.

Con la varilla metálica compactar la capa de los áridos con 25 golpes distribuidos sobre la superficie. Al apisonar la primera capa, no se debe apisonar el fondo con la segunda y tercera capa.

Llenar el segundo tercio del recipiente y nuevamente nivelar y compactar.

Finalmente, llene el recipiente hasta rebalsar y compacte, con la varilla metálica enrasede la superficie de tal manera que permita obtener el peso total.

3.1.5.4. Resultados

M: densidad aparente de los áridos (g/cm^3)

G: masa de los áridos más el recipiente. (g)

T: masa del recipiente (g)

V: volumen del recipiente (m^3)

FORMULA

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Tabla 13 Ensayo peso unitario Asfaltar

ASFALTAR		
	Compactado	Suelto
T (g)	1680	1680
G (g)	5950	5695
V (cm ³)	2704,1	2704,1
M (g/cm ³)	1,57	1,48

Fuente: Autoría propia

Tabla 14 Ensayo peso unitario Rookaazul

ROOKAAZUL		
	Compactado	Suelto
T (g)	1680	1680
G (g)	5933	5322
V (cm ³)	2704,1	2704,1
M (g/cm ³)	1,57	1,34

Fuente: Autoría propia

Tabla 15 Ensayo peso unitario Vipesa

VIPESA		
	Compactado	Suelto
T (g)	1680	1680
G (g)	6470	6098
V (cm ³)	2704,1	2704,1
M (g/cm ³)	1,77	1,63

Fuente: Autoría propia

Se observó que para el ensayo de peso unitario existen dos métodos para ensayar los agregados, por el método de compactación, obtenemos para la cantera de asfaltar el peso de material más el recipiente con un total de 5950 g, Rookaazul un peso de 5933 g y Vipesa un

peso de 6470 g, sin embargo la cantera Vipesa representa una gran diferencia, sabiendo que utilizamos las mismas herramientas para las tres canteras, suponemos que esto se debe a que existe una gran cantidad de material fino que en un inicio estos se encontraban aglutinados en forma de material grueso, al momento de ser compactados, los mismos se integran y esparcen de tal forma que logran llenar los espacios vacíos que queda entre el agregado grueso, por lo tanto tenemos como resultado para la cantera asfaltar 1.57 g/cm³, Rookaazul 1.57g/cm³ y Vipesa 1.77 g/cm³

El método por agregado suelto de igual forma indica que cantidad de volumen existe en peso, es el más utilizado durante la construcción porque es una forma más rápida y práctica, esto se debe a que se lo coloca directamente al área de trabajo, por lo tanto, tenemos como resultado para la cantera asfaltar 1.48g/cm³, Rookaazul 1.34 g/cm³ y Vipesa 1.63 g/cm³.

3.1.6. Abrasión (Maquina de los ángeles), Norma ASTM C-131 / AASHTO T-

96

3.1.6.1.Descripción

Este método describe la degradación de los áridos minerales de granulometría estándar, se realiza con agregados menores a 1 ½ pulgadas.(AASHTO T-96, 2002)

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.(AASHTO T-96, 2002)

3.1.6.2.Equipo y materiales

- Maquina los Ángeles
- Tamices
- Balanzas
- Carga (Esferas de acero)
- Tamiz N°12 para el cálculo de desgaste.

- Recipientes metálicos

Tabla 16 Granulometría de las muestras de ensayo de abrasión

Tamaño del tamiz (Aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños indicados, g			
Pasa	Retenido	Granulometría			
		A	B	C	D
37,5mm (1 1/2")	25,00mm (1")	1.250 ± 25			
25,0mm (1")	19,0mm (3/4")	1.250 ± 25			
19,0mm (3/4")	12,5mm (1/2")	1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12,5mm (1/2")	9,5mm (3/8")	1.250 ± 10	2.500 ± 10		
9,5mm (3/8")	6,3mm (1/4")			2.500 ± 10	
6,3mm (1/4")	4,75mm (N°4)			2.500 ± 10	
4,75mm (N°4)	2,36mm (N°8)				5.000 ± 10
Total		5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10

Fuente: (AASHTO T-96, 2002)

Tabla 17 N.º de esferas según granulometría.

Granulometría	N.º de esferas	Masa de la carga, g.
A	12	5.000 ± 25
B	11	4.584 ± 25
C	8	3.330 ± 20
D	6	2.500 ± 15

Fuente: (AASHTO T-96, 2002)

3.1.6.3.Procedimiento

Pesar 5000g aproximadamente para el ensayo.

Colocar la muestra en una bandeja de tal manera que podamos cuartear el material y obtener una muestra significativa para realizar el ensayo.



Ilustración 20. Cuarteo

Fuente: Autoría Propia

Lavar y secar la muestra reducida a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta obtener una masa constante y tamizar el material según número de tamices necesarios. (Ver tabla 16)



Ilustración 21. Tamizaje y secado de las muestras

Fuente: Autoría Propia

Según la tabla 14 determinamos el tipo de faja que se encuentra nuestro material y de esta forma según tabla 15 determinamos el número de esferas necesarias para el ensayo por lo tanto tenemos que se ubica en la faja B las tres canteras correspondientes a Vipesa, Rookaazul y Asfaltar.

Se introduce la muestra con la carga abrasiva correspondiente en la Máquina de los Ángeles, girar la máquina a una velocidad de 30 a 33 rev/min hasta completar 500 revoluciones.



Ilustración 22. Ensayo con máquina de Los Ángeles

Fuente: Autoría Propia

Descargue la muestra y haga una separación preliminar de la muestra en un tamiz N°12 de tal manera que se logre separar los finos de los agregados gruesos.

Se pesa el material.

3.1.6.4.Resultados

P1: Masa de la muestra seca antes del ensayo (5000gr)

P2: Masa de la muestra seca después del ensayo, retenido tamiz N°12.

$$\%_{\text{abrasion}} = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

Tabla 18 Ensayo de abrasión en máquina de los ángeles

Cantera	Pasante	Masa de la muestra seca antes del ensayo (P1)	Peso bandeja	Pasante tamiz N°12	Agregado grueso retenido N°12 (P2)	Resultado
Asfaltar	1 1/2"	5000g	594g	866g	4101.5g	17.97%
Rookaazul	1 1/2"	5000g	592.5g	931g	4010g	19.8%
Vipesa	1 1/2"	5000g	580g	525.5g	4452.5	10.95%

Fuente: Autoría Propia

El agregado seleccionado para el ensayo por desgaste da como resultado para la cantera asfaltar un 17.97%, Rookaazul 19.8% y Vipesa 10.96%, son valores aceptables según lo que recomienda la norma ISSA A-143 en donde el límite máximo es 30%, por lo tanto, las tres

canteras quedan dentro del rango aceptable y por lo cual se puede continuar con el diseño de micropavimento.

Existen varios factores que provocan la pérdida de material y que por lo tanto se ve reflejado en los resultados (tabla 18) algunos de los factores pueden ser que el material fino se esparció, un porcentaje de material quedó pegado en la máquina de ensayo, pérdida de material durante el traslado de agregado desde la máquina hasta los recipientes etc.

3.1.7. Gravedad específica, Norma ASTM C-128 / AASHTO T-84

3.1.7.1.Descripción

Este método cubre la determinación de la densidad relativa y la absorción de agregados finos. La gravedad específica, es utilizada para determinar el cálculo del volumen ocupado por el agregado fino en diferentes muestras.(ASTM C-128, 2004)

3.1.7.2.Equipo y materiales

- Balanza
- Picnómetro
- Cono metálico
- Pisón
- Recipientes metálicos
- Agregado fino pasante 3/8"

3.1.7.3.Procedimiento

Pesar aproximadamente 1000g de agregado fino pasante tamiz #4.

Colocar la muestra en un recipiente y dejar secar en el horno a una temperatura de 110 ± 5°C durante 24h y obtener el peso de la muestra seca.

Saturar la muestra durante 24h.

Eliminar el exceso de agua con cuidado de perder los finos, esparcir la muestra en una bandeja de tal forma que todo el material se encuentre sobre una superficie plana.



Ilustración 23. Muestras parcialmente húmedas

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

La muestra debe contener un mínimo de humedad de tal forma que con el cono este logre derramarse hacia los lados.

Colocar el agregado fino en tres capas, suavemente compacte el agregado fino con el pistón durante 8 caídas en las dos capas y la última capa 9 caídas del pistón, de tal forma que completemos las 25 caídas en tres capas.



Ilustración 24. Compactando muestra con pistón

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Al momento de retirar el cono, si el agregado fino adopta la forma del molde se dice que existe humedad superficial presente, por lo que se continuara secando y mezclando el material hasta llegar a una condición de saturada y superficial seca.



Ilustración 25. Ensayo Gravedad específica por medio del Picnómetro

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Llenar el picnómetro con agua hasta la marca a una temperatura de $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y obtener su peso.

Llenar el picnómetro con 500g de muestra en condición saturada superficie seca y colocar agua hasta marca.



Ilustración 26 Peso de muestra

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Eliminar todas las burbujas de aire, agitando durante 20 minutos y pesar la muestra de ensayo. Inmediatamente introducir el picnómetro llenado de agua hasta la marca en baño maría durante 30 minutos a una temperatura de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y pesar.



Ilustración 27. Eliminando burbujas y baño María de la muestra

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.1.7.4.Resultados

Tabla 19 Resultados ensayo de Gravedad Especifica

		Asfaltar	Rookaazul	Vipesa
S	Peso de la muestra (gr)	500	500	500
B	Peso Picnómetro agua (gr)	649,15	649,15	649,15
C	Peso Picnómetro + muestra + agua hasta marca (gr)	955,82	958,91	957,32
A	Peso muestra seca al horno (gr)	488,93	483,64	490,25
P1	Peso Recipiente (gr)	127,6	127,9	234,63
P2	Peso muestra SSS a secar al horno (gr)	500	500	500
P3	Peso muestra seca al horno (gr)	616,53	611,54	724,88
P4	Peso picnómetro (gr)	151,33	151,33	151,33

Fuente: Autoría Propia

$$A = P3 - P1$$

$$Gravedad\ especifica = \frac{A}{B + S - C}$$

$$Gravedad\ especifica\ SSS = \frac{S}{B + S - C}$$

$$Gravedad\ especifica\ aparente = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\%_{absorción} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Tabla 20 *Ensayo gravedad especifica y porcentaje de absorción.*

	ASFALTAR	ROOKAAZUL	VIPESA
Gravedad Especifica (g/cm ³)	2,53	2,54	2,56
Gravedad Especifica (g/cm ³)	2,59	2,63	2,61
Gravedad Aparente (g/cm ³)	2,68	2,78	2,69
%Absorción	2,26	3,38	1,99

Fuente: Autoría Propia

El porcentaje de absorción obtenido en las tres canteras da como resultado para Asfaltar 2.26%, Rookaazul 3.38% y Vipesa 1.99% es decir que el material absorbe una cierta cantidad de agua en el transcurso de 24 horas saturada.

3.1.8. Valor de Azul de Metileno, Norma ISSA TB 145

3.1.8.1.Descripción

Este valor permite conocer la cantidad de materia orgánica y arcilla que se presenta en el agregado fino. A través de los valores de reactividad de los finos del agregado se determina las características del emulsificante químico a utilizar en el diseño de la emulsión asfáltica y porcentaje de aditivo retardador.(ISSA Tb-145, 2013)

3.1.8.2.Equipo y materiales

- Varilla de vidrio
- Tamiz No 200
- Agitador magnético.
- Cronómetro, con apreciación 0.01 segundo.
- Balanza
- Papel filtro N°2

- Vasos de precipitado
- Agua destilada
- Horno
- Azul de metileno
- Pipeta
- Soporte de pipeta

3.1.8.3.Procedimiento

Colocar 1g de azul de metileno en el vaso volumétrico y diluir en 1000 ml con agua destilada y llenar la pipeta con la solución de azul de metileno.

Secar una muestra representativa del agregado fino a peso constante y pasar por el tamiz No. 200. El material que pase por este tamiz es el que se usará para realizar el ensayo.

Coloque 1 g de las partículas finas del agregado preparadas en el vaso de vidrio de 250 ml y añada 30 g de agua destilada, colocar el vaso en el mezclador magnético y agite durante aproximadamente 5 minutos.

Dosificar 0,5 ml de la solución de azul de metileno en un vaso de agregado de partículas finas, continuamente agitada, se agita durante 1 minuto.

Con la varilla de vidrio, se toma una gota de suspensión del agregado y transferir a una sección limpia del filtro de papel.

Se observa si se forma un círculo con una coloración celeste o halo, si es así se continúa agitando durante 5 minutos y repetir el paso 5, en el caso de no formarse el halo volver al paso 4 y 5 hasta que aparezca el halo.



Ilustración 28 Ensayo de Azul de Metileno

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.1.8.4.Resultados

Tabla 21 Resultado de ensayo de Azul de Metileno

AZUL DE METILENO	
Mina	Azul de Metileno
Asfaltar	7 mg-g
Rookaazul	7 mg-g
Vipesa	9 mg-g

Fuente: Autoría Propia

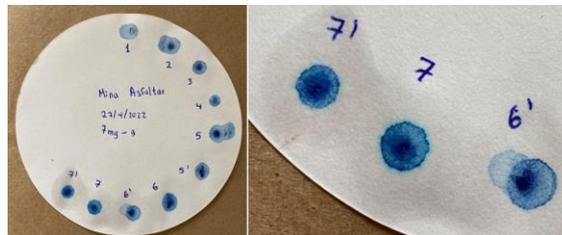


Ilustración 29. Azul de metileno, Asfaltar

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)



Ilustración 30. Azul de metileno, Rookaazul

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

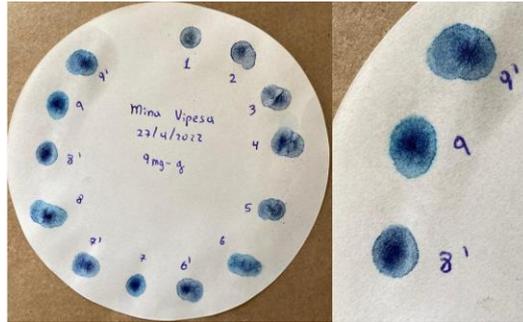


Ilustración 31. Azul de metileno, Vipesa

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

En el ensayo de azul de metileno dos canteras, Asfaltar y Rookaazul, obtuvieron un valor de 7 mg/g y Vipesa de 9 mg/g los cuales son considerados como un agregado marginalmente aceptable, ya que lo recomendable es que sea menor a 8mg/g para aplicación y tendido de un micropavimento.

3.1.9. *Equivalente de Arena, Norma AASHTO T-176 / AASHTO D-2419*

3.1.9.1. *Descripción*

El método describe un procedimiento para determinar proporciones relativas de finos, arcillas y material orgánico que pasan el tamiz #4.(ASTM D-2419, 2002)

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena, después de un periodo de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje.(ASTM D-2419, 2002)

3.1.9.2. *Equipo y materiales*

- Probeta
- Sistema de sifón
- Tapón de caucho
- Embudo
- Cronometro de reloj

- Tamiz #4
- Agua destilada
- Solución stock
- Agregado fino pasante tamiz #4

3.1.9.3.Procedimiento

Se pesa aproximadamente 300 g de material pasante el tamiz #4.

Adaptar el sifón a una botella de galón el mismo que estará con la solución base en 1 galón colocar 85g de solución stock.



Ilustración 32. Sifón

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

En la probeta llenar 4ml de solución base y con la ayuda del embudo colocar el agregado tamizado y humedecer completamente la muestra con la solución base, esperar 10 minutos en reposo.



Ilustración 33. Agregando material para el ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Transcurrido los 10 minutos tapar la probeta con el tapón de caucho y sacudir la probeta con 90 movimientos ligeros, es decir mediante la agitación manual la cual consiste en sujetar la probeta en posición horizontal y sacudirla vigorosamente de izquierda a derecha como se observa en la figura 34.



Ilustración 34. Sacudir la muestra

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Quitar el tapón de caucho y colocar la probeta en modo vertical y con el irrigador limpie el material de las paredes de la probeta mientras el mismo baja hasta el fondo, aplicando suavemente una presión y giro mientras que la solución de trabajo fluye por la boca del irrigador, esto impulsa el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo en suspensión sobre las partículas gruesas de arena.

Se deja en reposo la probeta durante 20 minutos, de esta manera observaremos que la arena se ha sedimentado y los finos permanecen en suspensión.



Ilustración 35. Reposo de la muestra

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Al finalizar el tiempo transcurrido se lee y se registra el nivel de la arcilla e inmediatamente se sumerge suavemente el dispositivo con el pie de contrapeso hasta que el mismo choque con la arena y se lee la lectura que corresponde a la arena.



Ilustración 36. Lectura de Nivel de arcilla y Arena

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.1.9.4.Resultados

L arena: Lectura de arena que marca el dispositivo con el pie de contrapeso.

L arcilla: Lectura que marca la probeta, transcurrido los 20 minutos.

$$EA = \frac{L_{arena}}{L_{arcilla}} * 100$$

Tabla 22 Ensayo equivalente de arena, Mina Asfaltar

ASFALTAR			
Probeta #	1	2	3
L arcilla (")	4.8	4.9	4.9
L arena (")	2.9	3	3
EA (%)	60.41%	61.22%	61.22%
Promedio		60.96 %	

Fuente: Autoría Propia

Tabla 23 Ensayo equivalente de arena, Mina Rookaazul

ROOKAAZUL			
Probeta #	1	2	3
L arcilla (")	3.9	3.9	4.1
L arena (")	2.7	2.85	3.1
EA (%)	69.23%	71.08%	75.61%
Promedio		72.64%	

Fuente: Autoría Propia

Tabla 24 *Ensayo equivalente de arena, Mina Vipesa*

Probeta #	VIPESA		
	1	2	3
L arcilla (")	4.4	4.5	4.4
L arena (")	3.1	3.15	3.2
EA (%)	70.45%	70%	72.73%
Promedio		71.06%	

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de equivalente de arena ayuda a determinar el porcentaje de arcilla o material fino que contienen cada una de las muestras seleccionadas, es por eso que recalcamos que las tres canteras no lograron llegar al límite mínimo que es de 65% según la norma ISSA A-143 que corresponde a los ensayos de calidad de los agregados para el diseño de micropavimento, obtenemos como resultados para asfaltar 41.86%, Rookaazul 47.02% y Vipesa 55.34%, sin embargo nuestro objetivo es determinar un diseño de micropavimento, por ello se manipulo los agregados para obtener el límite requerido con la intención de lograr mejores resultados y de esta forma realizar un diseño de mezcla con las dos canteras que se aproximan al límite mínimo, con los siguientes resultados: asfaltar 60.96%, Rookaazul 72.64% y Vipesa 71.06%.

Al obtenerse resultados negativos en el ensayo de equivalente de arena de todas las minas, se decidió modificar las características físicas de los agregados ensayados, ya que estos materiales no fueron maquilados con las exigencias requeridas previamente para agregados de micropavimentos, la solución entonces a este problema será realizar ajustes y correcciones durante el proceso de trituración y de ser el caso con un lavado de los materiales.

Finalmente, en la tabla 25 se presenta un resumen con resultados de los ensayos realizados para los agregados:

Tabla 25 Resumen de los ensayos realizados a los agregados

NORMA													
ASTM	AASHTO	ISSA	ENSAYOS DE AGREGADOS		Unidad	Mínimo	Máximo	Asfaltar	Cumple	Rookaazul	Cumple	Vipesa	Cumple
C-117	T 27-T 11		Faja Granulométrica			-	-	Tipo III	si	Tipo III	si	Tipo III	si
D 43 18			ÍNDICE DE PLASTICIDAD			N		No	si	No	si	No	si
C 88	T 104		Estándar para sanidad de los agregados mediante el uso de sulfatos de Sodio o Sulfatos de Magnesio		%	-	2	5.08	si	6.53	si	4.20	si
C-29	T-29		Peso Unitario	Compactado	g/c m3	-	-	1.58	-	1.57	-	1.77	-
				Suelto	g/c m3	-	-	1.48	-	1.35	-	1.63	-
C-131	T-96		Abrasión (Maquina de los Ángeles)		%	-	3	17.97	si	19.80	si	10.95	si
C-128	T-84		Gravedad Especifica	Gravedad especifica	g/c m3	-	-	2.53	-	2.54	-	2.56	-
				Gravedad especifica SSS	g/c m3	-	-	2.59	-	2.63	-	2.61	-
				Gravedad especifica aparente	g/c m3	-	-	2.68	-	2.78	-	2.69	-
				% Absorción	%	-	-	2.26	-	3.38	-	2.00	-
		TB 145	Valor de Azul de Metileno		mg-g	-	9	7	si	7	si	9	si
	T-176		Equivalente de Arena		%	6	-	60.96	n	72.64	si	71.06	si
	D-2419					5			o				

Fuente: Autoría Propia

3.2. Asfalto

El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, su consistencia es variable, está constituido mayoritariamente por una mezcla de hidrocarburos, se obtiene por refinación del petróleo y es usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras. (Bobadilla & Tigre, 2022)

El asfalto emulsionado debe ser modificado con polímero. El material del polímero debe estar fusionado con el asfalto o la solución jabonosa antes del proceso de emulsificación. Se considera mínimo un 3% de sólidos de polímero, basado en el peso del asfalto. Se debe verificar la mezcla asfáltica en planta con el objetivo de controlar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados, de acuerdo con el diseño de la mezcla. (Bobadilla & Tigre, 2022)

El asfalto modificado proporcionado por la empresa Emuldec, utiliza un 0.35% de polímero SBS y para la comparación, se utilizará asfalto modificado con resina de poliuretano al 1.5%.(Bobadilla & Tigre, 2022)

Para el diseño de micropavimento los ensayos de calidad del asfalto debe cumplir con la norma ISSA A-143.(Bobadilla & Tigre, 2022)

3.2.1. Ductilidad del asfalto ASTM D-113 / AASHTO T51-00

3.2.1.1.Descripción

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta confeccionada con una muestra se traccionan a una velocidad y temperatura especificadas.(ISSA Tb-113, 2017)

3.2.1.2.Equipo y Materiales

- Moldes
- Baño de agua
- Ductilómetro

3.2.1.3.Procedimiento

Armar el molde sobre una placa base, cubrir con una capa delgada la superficie de la placa la parte interior de los lados, esto para prevenir que el material de adhiera a la placa.

Calentar el material entre 80 y 110 °C, luego verter dentro del molde con un chorro delgado con movimientos hacia atrás y hacia adelante hasta que la muestra quede más arriba del molde. Dejar enfriar por 30 a 40 minutos a temperatura ambiente y colocar a baño maría a una temperatura de 25 °C por otros 30 min.



Ilustración 37 Material vertido en el molde

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Recortar el exceso de ligante asfáltico con una espátula caliente de manera que se ajuste el material al molde.



Ilustración 38 Quitando exceso de ligante asfáltico

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Colocar la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min. Luego quitar la briqueta de la placa, separe las partes e inmediatamente ensayar la briqueta.

Enganchar los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del Ductilómetro y sepárelos a la velocidad uniforme de $5\text{cm/min} \pm 0.5^\circ\text{C}$ hasta la ruptura de la briqueta. Se mide la distancia entre los clips en el momento de producirse la ruptura, durante el ensayo, el agua del estanque del ductilómetro tiene que cubrir la briqueta a lo menos 2.5 cm.



Ilustración 39 Anillos enganchados para realizar ensayo de ductilidad

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.2.1.4.Resultados



Ilustración 40 Resultados con resina de poliuretano a)1% b)1.5% c)3% d)6

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Tabla 26 Resultados ensayo de Ductilidad con Resina de Poliuretano

Resina de Poliuretano	Ductilidad (cm)
1%	105
1.5%	58.5
3%	18
6%	21.5

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de ductilidad refleja que, conforme se aumenta el porcentaje de resina de poliuretano el asfalto emulsionado se vuelve menos dúctil, lo que lleva a inclinarse por la resina de poliuretano al 1.5% el cual se deformó 58.9 cm.

3.2.2. Recuperación por Ductilidad del asfalto INV-742-13

3.2.2.1.Descripción

Este método se utiliza en los asfaltos modificados, que comprenden los cementos y emulsiones

asfálticas modificadas.(INV-742-13.pdf, s. f.)

3.2.2.2.Equipo y Materiales

- Moldes
- Baño de agua
- Ductilómetro

3.2.2.3.Procedimiento

Armar el molde sobre una placa base, cubrir con una capa delgada la superficie de la placa la parte interior de los lados, esto para prevenir que el material de adhiera a la placa.

Calentar el material entre 80 y 110 °C, luego verter dentro del molde con un chorro delgado con movimientos hacia atrás y hacia adelante hasta que la muestra quede más arriba del molde. Dejar enfriar por 30 a 40 minutos a temperatura ambiente y colocar a baño maría a una temperatura de 25 °C por otros 30 min.



Ilustración 41 Verter material en el molde

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Recortar el exceso de ligante asfáltico con una espátula caliente de manera que se ajuste el material al molde.

Colocar la placa y el molde con la briqueta en el baño de agua y manténgala por un período de 85 a 95 min. Luego quitar la briqueta de la placa, separe las partes e inmediatamente ensayar la briqueta.

Enganchar los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del Ductilómetro y sepárelos a la velocidad uniforme de 5cm/min ± 0.5 °C hasta una longitud de 20 cm. Cortar la muestra en la mitad y esperar una hora para medir la distancia entre las dos puntas de la muestra.



Ilustración 42 Toma de medida para ensayo de recuperación por Ductilidad

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.2.2.4.Resultados

Tabla 27 Resultados de ensayo de recuperación por ductilidad con resina de poliuretano

Resina de Poliuretano	Recuperación por Ductilidad (%)
1%	3.3%
1.5%	17.5%
3%	13.5%
6%	5%

Fuente: Autoría Propia

Los ensayos descritos reflejan que el asfalto con 1.5% de resina de poliuretano tiene una mejor respuesta su recuperación por ductilidad siendo de 17.5%.

3.2.3. *Recuperación Torsional del asfalto (M-MMP-4-05-024/02)*

3.2.3.1. *Descripción*

Esta prueba permite la recuperación elástica torsional del asfalto mediante un dispositivo de torsión, que hace girar la muestra analizada en un ángulo de 100°, para después medir el ángulo recuperado. (M-MMP-4-05-024-02.pdf, s. f.)

3.2.3.2. *Equipo y materiales*

- Aparato de torsión
- Baño de agua
- Molde de penetración
- Termómetro
- Cronometro

3.2.3.3. *Procedimiento*

Se debe ajustar el vástago hasta que la base inferior quede a una distancia de 20mm del fondo del recipiente de prueba, este vástago debe estar centrado y ajustado.

Llenar el recipiente con el material asfáltico preparado hasta 10 mm desde la base inferior del cilindro.



Ilustración 43 Verter material en recipiente

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Dejar enfriar a temperatura ambiente durante una hora y media.



Ilustración 44 Muestra para ensayo de recuperación torsional

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Introducir el aparato en el baño maría a 25 °C durante una hora. El nivel del agua tiene que estar por encima del recipiente con la muestra.



Ilustración 45 Muestra en baño maría

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Una vez terminado el tiempo, se gira 180° en sentido de las manecillas del reloj con la ayuda del pasador y después de 30 minutos se procede a realizar la lectura indicada en la varilla.



Ilustración 46 Giro de 180° para realizar lectura

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.2.3.4.Resultados

Tabla 28 Resultados del ensayo de recuperación torsional con resina de poliuretano

Resina de Poliuretano	Recuperación Torsional (%)
1%	4.5%
1.5%	7.0%
3%	6.0%
6%	4%

Fuente: Autoría Propia

De los resultados obtenidos se evidencia que a medida que se incrementó el porcentaje de resina de poliuretano, el Asfalto ensayado va aumentando su recuperación torsional, pero llega en un punto donde esta recuperación torsional fue disminuyendo,

3.2.4. Viscosidades con el Viscosímetro Brookfield del asfalto ASTM 4402

3.2.4.1.Descripción

Este método sirve para determinar la viscosidad aparente de los asfaltos a partir de diferentes temperaturas que varían desde los 38 a 260°C

3.2.4.2.Equipo y materiales

- Viscosímetro Brookfield
- Aguja S21 Y S29
- Control de temperatura
- Dispositivo de calibración
- Cronometro

3.2.4.3.Procedimiento

Dejar que el equipo se caliente durante unos cinco minutos antes de realizar la calibración.



Ilustración 47 Calibración del equipo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Pesar dos muestras para el ensayo una de 7g que trabaja con aguja S21 y un tubo de 12g que trabaja con aguja S29.



Ilustración 48 Muestras en tubo de ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Ajustar el controlador de temperatura a la prueba deseada a una velocidad seleccionada en este caso realizamos para 5RPM y 20RPM.

Seleccionamos el número de aguja a ensañar y la temperatura elegida 60°C, 150°C, 145°C, 140°C y 135°C.

Una vez realizado el ajuste de la temperatura, velocidad y aguja, empezar con el ensayo durante 15 minutos.



Ilustración 49 Ejecución del ensayo con sus respectivas agujas

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Leer la viscosidad y torque en las diferentes velocidades de ensayo.



Ilustración 50 Lecturas del ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Repetir los pasos de ensayo para cada temperatura requerida.

3.2.4.4. Resultados

Tabla 29 Ensayo viscosidad 1% resina de poliuretano

Asfalto 1% Resina de poliuretano					
Peso (g)	Aguja	Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)	Torque (%)	Velocidad (RPM)
7	S21	145	187	7,5	20
		140	215	8,6	20
		135	277,5	11,1	20
12	S29	60	1,71E+03	85,7	5

Fuente: Autoría Propia

Tabla 30 Ensayo viscosidad 1.5% de resina de poliuretano

Asfalto 1.5% Resina de poliuretano					
Peso (g)	Aguja	Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)	Torque (%)	Velocidad (RPM)
7	S21	145	185.4	7.4	20
		140	222.5	8.5	20
		135	275	11	20
12	S29	60	1,81E+03	90.1	5

Fuente: Autoría Propia

Tabla 31 Ensayo viscosidad 3% de resina de poliuretano

Peso (g)	Aguja	Asfalto 3% Resina de poliuretano			
		Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)	Torque (%)	Velocidad (RPM)
7	S21	145	175	6,7	20
		140	207	8,7	20
		135	260	10,4	20
12	S29	60	1,18E+03	59,4	5

Fuente: Autoría Propia

Tabla 32 Ensayo viscosidad 6% de resina de poliuretano

Peso (g)	Aguja	Asfalto 6% Resina de poliuretano			
		Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)	Torque (%)	Velocidad (RPM)
7	S21	145	182,5	7,3	20
		140	217,5	8,7	20
		135	262,5	10,3	20
12	S29	60	1,21E+03	60,4	5

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de viscosidad permite determinar qué tan viscoso es el asfalto, realizamos cuatros muestras de asfalto con diferente porcentaje de resina de poliuretano con el objetivo de lograr determinar un resultado significativo y en un cierto grado de proximidad según un asfalto con polímero por lo tanto seleccionamos el asfalto que tiene 1.5% de resina de poliuretano para el diseño de micropavimento.

3.2.5. Punto de ablandamiento del asfalto ASTM D36

3.2.5.1. Descripción

El método consiste en la medida de temperatura a la que los anillos de betún se reblandecen y se caen hacia abajo a una distancia de 25 mm bajo el peso de las esferas de acero. A medida que aumenta la temperatura, estos materiales cambian de manera gradual e imperceptible de materiales quebradizos o que fluyen muy lentamente a líquidos más blandos y menos viscosos, por lo tanto, se determina la temperatura a la que se produce un cambio de fase en el asfalto. (ASTM D-36, 2000)

3.2.5.2. Equipo y materiales

- Esferas de acero, peso aproximado de 3.50 y 0.05g
- Anillo metálico
- Guía de centrado de anillos y esferas
- Termómetro
- Recipiente

3.2.5.3. Procedimiento

Verter el asfalto caliente a una Temperatura de 120-130°C en los anillos metálicos.



Ilustración 51. Muestra para ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Dejar enfriar a temperatura ambiente durante 1 hora.

Enrasar los anillos metálicos y colocar en la cocineta para determinar el punto de ablandamiento y su temperatura.



Ilustración 52 Preparación de muestras para ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Registre la temperatura de cada anillo y la esfera que muestra la temperatura cuando el espécimen que rodea la esfera toca la placa inferior.

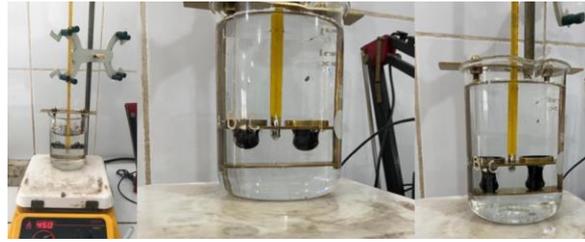


Ilustración 53 Etapas del ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.2.5.4. Resultados

S1: Temperatura 1

S2: Temperatura 2

$$P_{ablandamiento} = \frac{S1 + S2}{2}$$

Tabla 33 Ensayo prueba de ablandamiento Resina de Poliuretano

Resina de poliuretano	SP (°C)
1%	51
1.50%	52
3%	47
6%	47

Fuente: Autoría Propia

Observamos que los resultados obtenidos con los diferentes porcentajes de resina de poliuretano dan entre 47 y 51°C, es decir no cumple con los requisitos de calidad del asfalto. La norma indica una temperatura mayor a 57°C, pero con 1.5% de resina de poliuretano obtenemos un resultado de 52°C que es el más próximo al límite mínimo, por lo tanto, continuamos con el 1.5% para la preparación de la emulsión.

3.2.6. Penetración de materiales bituminosos del asfalto ASTM D5

3.2.6.1. Descripción

Este método cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semisólidos, sólidos y se utiliza como una medida de la consistencia. Los valores más altos de penetración indican una menor consistencia. (ASTM D-5, 2005)

La muestra se funde y se enfría bajo condiciones controladas. La penetración se mide con un penetrómetro, por medio del cual una aguja estándar se introduce a la muestra bajo condiciones específicas.(ASTM D-5, 2005, p. 5)

3.2.6.2.Equipo y materiales

- Equipo de penetración.
- Aguja de penetración
- Baño de Agua
- Temporizador
- Plato de transferencia
- Termómetros

3.2.6.3.Procedimiento

Colocar en el recipiente de ensayo el asfalto a una temperatura no mayor de 130°C y dejar reposar al ambiente durante una hora.

Revisar la aguja para constatar la ausencia de agua y de otros materiales contaminantes. Transcurrido la hora colocar la muestra en baño maría durante una hora y media más.

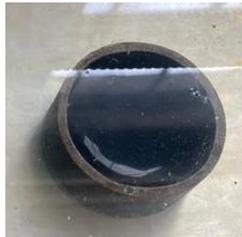


Ilustración 54 Muestra Saturad

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mantener el recipiente de la muestra dentro de baño, colocar el recipiente en el plato de transferencia, cubrirlo completamente con agua del baño que se mantiene a temperatura constante y posteriormente, poner el plato de transferencia sobre la base del penetrómetro.



Ilustración 55 Equipo para ensayo de Penetración

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Hay que asegurar que el equipo este nivelado por medio del indicador de nivel.

Proceder a realizar el ensayo durante 5 segundos, anotar cualquier lectura inicial del penetrómetro o colocar en posición cero.

Posicionar la aguja bajándola lentamente hasta que la punta este ligeramente en contacto con la superficie de la muestra.



Ilustración 56 Calibrar aguja junto con el betún

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Soltar rápidamente la aguja por el tiempo específico y ajustar el instrumento para medir la distancia penetrada en decimas de milímetro.

Se debe realizar tres mediciones sobre la superficie en puntos ubicados a no menos de 10mm de la pared del recipiente de igual forma entre los puntos ya colocados por la aguja.



Ilustración 57 Observar lectura transcurrido los 5 segundos

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.2.6.4.Resultados

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

Tabla 34 *Ensayo penetración 1% Resina de Poliuretano*

Tiempo (s)	Asfalto 1% Resina de poliuretano	
	Penetración (mm)	Resultado (mm)
5	102	111.33
	112	
	120	

Fuente: Autoría Propia

Tabla 35 *Ensayo penetración 1.5% Resina de Poliuretano*

Tiempo (s)	Asfalto 1.5% Resina de poliuretano	
	Penetración (mm)	Resultado(mm)
5	69	76
	81	
	78	

Fuente: Autoría Propia

Tabla 36 *Ensayo penetración 3% Resina de Poliuretano*

Tiempo (s)	Asfalto 3% Resina de poliuretano	
	Penetración (mm)	Resultado (mm)
5	104	104
	105	
	103	

Fuente: Autoría Propia

Tabla 37 *Ensayo penetración 6% Resina de Poliuretano*

Asfalto 6% Resina de poliuretano		
Tiempo (s)	Penetración (mm)	Resultado (mm)
5	119	121
	123	
	121	

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de penetración ayuda a determinar la resistencia que tiene el asfalto ante la deformación, es decir mientras mayor sea los valores de penetración menor será el grado de trabajabilidad del asfalto, en las cuatro pruebas de asfalto con los diferentes porcentajes de resina de poliuretano observamos que con el 1%, 3% y 6% dan mayor a 100 mm, mientras que con el 1.5% da 76 mm, es decir que tiene un bajo grado de deformación inmediata, la norma indica que el límite mínimo es 90 mm por lo tanto seleccionamos el asfalto que tiene 1.5% de resina de poliuretano.

Finalmente, en la tabla 38 se presenta un resumen con resultados de los ensayos realizados para el asfalto con resina de Poliuretano.

Tabla 38 *Resumen de los ensayos para el Asfalto*

NORMA			ENSAYOS DE ASFALTO (CQS-1h-PU)							
ASTM	AASHTO	ISSA			Unidad	Mínimo	Máximo	Cumple		
D-113	T-51		Ductilidad	1%	105	cm	-	118	si	
				1.5%	58.5	cm		cm	si	
				3%	18	cm			si	
				6%	21.5	cm			si	
			Recuperación por Ductilidad	1%	0.033		0.3	-	no	
				1.5%	0.175				no	
				3%	0.135				no	
				6%	0.05				no	
				Recuperación Torsional	1%	0.045		0.12	-	no
					1.5%	0.07				no
					3%	0.06				no

				6%	0.04				no	
4402	Viscosidad con el Viscosímetro Brookfield	1%	S2 1	145	187	cP	290 cP	300 cP	no	
140				215	cP	no				
135				277.5	cP	no				
				S2 9	60	1.71E+0 3	cP			
			1.5 %	S2 1	145	185.4	cP	290 cP	300 cP	no
		140			222.5	cP	no			
		135			275	cP	no			
				S2 9	60	1.80E+0 3	cP			
			3%	S2 1	145	175	cP	290 cP	300 cP	no
		140			207	cP	no			
		135			260	cP	no			
				S2 9	60	1.80E+0 3	cP			
			6%	S2 1	145	182.5	cP	290 cP	300 cP	no
		140			217.5	cP	no			
		135			262.5	cP	no			
			S2 9	60	1.21E+0 3	cP				
D-36	Punto de ablandamiento del asfalto			1%	51	°C	57 °C	-	no	
				1.5 %	52	°C			no	
				3%	47	°C			no	
				6%	47	°C			no	
D-5	Penetración de materiales bituminosos			1%	111.33	m	90 mm	95 mm	no	
				1.5 %	76	m			no	
				3%	104	m			no	
						m				
				6%	121	m			no	

Fuente: Autoría Propia

3.3. Emulsión

Las emulsiones asfálticas han llegado a simplificar significativamente el procedimiento de asfaltado de carreteras, ya que se aplican en frío, lo cual presenta un ahorro considerable, no nada más en la energía requerida para fundir el asfalto, sino en la maquinaria que se requiere para hacer el fundido in situ. Los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto. Adicionalmente se tiene el emulsificante el cual se deposita en la unión entre el agua y el asfalto y de esta manera logra estabilizar la emulsión. Para el diseño de la emulsión se utiliza asfalto emulsionado modificado con Polímero de rotura controlada (CQS-1H-P) y asfalto emulsionado

modificado con Resina de Poliuretano (CQS-1H-PU), los ensayos de calidad de la emulsión deben cumplir con la norma ISSA A-143.

3.3.1. Solución Jabonosa

Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles (no se mezclan) como son el asfalto y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador o emulsificante de base jabonosa, el mismo que mantiene dispersión al sistema.(Rojas et al., 2014)

El molino coloidal debe prepararse, es necesario elaborar una cantidad mayor de solución jabonosa, se producen de 1000 ml a 1500 ml de fase jabonosa, de los cuales aproximadamente un 50% es utilizado para la limpieza y habilitación del molino coloidal.(Rojas et al., 2014)

La dosificación se lleva a cabo mediante peso de cada sustancia por lo que es necesario determinar inicialmente los porcentajes y con ellos los pesos de dosificación a partir de la formulación propuesta para el peso de asfalto aditivado.

3.3.1.1. Equipo y herramientas

- Envase
- Emulsificantes Surfax C-60 y Surfax QS-48
- Agua
- Ácido Clorhídrico
- Termómetro
- Agitador digital con calefacción (Cimarec)

DOSIFICACIÓN

Tabla 39 *Dosificación para solución jabonosa Resina de Poliuretano*

Solución Jabonosa 1.5% Resina de poliuretano		
AAE + Resina	62%	1200
Surfax C-60	1%	19,35
Surfax QS-48	0,10%	1,94
Acido HCL	0,20%	3,87
Agua	36,70%	710,32
TOTAL	100%	

Fuente: Autoría Propia

3.3.1.2.Procedimiento

Pesar 1200 g de asfalto aditivado con resina de poliuretano/polímero SBS



Ilustración 58 Muestra de asfalto aditivado

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

En otro envase colocar la mitad del agua total según la cantidad de asfalto (600gr).

Colocar la mitad del ácido clorhídrico según la tabla 39



Ilustración 59 Preparación de la muestra

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Colocar todo el emulsificante Surfax QS-48

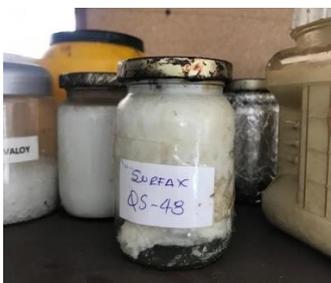


Ilustración 60 Emulsificante QS-48

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Calentar la muestra de ensayo hasta que el emulsificante se desintegre totalmente, la temperatura no puede superar los 80°C.

Colocar la otra mitad de agua y todo el emulsificante Surfax C-60 y mezclar, el ácido clorhídrico ayuda a disminuir el pH.



Ilustración 61 Colocación de emulsificante Surfax C-60

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Colocar la mezcla final en el agitador digital con calefacción Cimarec hasta llegar a una Temperatura de 40°C y con un pH de 2.



Ilustración 62 Solución Jabonosa con pH de 2 y Temperatura de 40°C

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

MEZCLADO EN EL EQUIPO

Se debe tener en cuenta que la temperatura de mezclado en el molino coloidal no debe pasar los 120°C para evitar la evaporación del agua.



Ilustración 63 Molino coloidal para el ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

El asfalto aditivado debe llegar a una temperatura de 140°C y la solución jabonosa a una temperatura de 40°C



Ilustración 64 Calentar el asfalto hasta una temperatura de 140°C

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Se coloca de 500 ml a 600 ml de la solución jabonosa al molino para que limpie y elimine material orgánico.

Posterior a esto, se cierra la válvula de salida y se vierte la solución jabonosa, y el asfalto aditivado al mismo tiempo, se activa el motor y se hace circular por unos segundos la mezcla.



Ilustración 65 Mezclado solución jabonosa y asfalto aditivado

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

No debe superar los 60 segundos, pues podría reducir en exceso el tamaño de las partículas del asfalto, al igual que sobrecalentar tanto el equipo como la combinación misma.

Se busca que la temperatura de salida no supere los 90 °C al concluir el mezclado.



Ilustración 66 Emulsión

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

ALMACENAMIENTO

La emulsión asfáltica debe almacenarse en recipientes delgados, cilíndricos, de cuello angosto y con sellos herméticos para evitar que el agua se evapore rápidamente y se desestabilice antes de lo esperado.



Ilustración 67 Etiquetado de emulsiones según polímero

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.3.2. Viscosidad Saybolt Furol, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244 Y D-88

3.3.2.1. Descripción

Este método de ensayo cubre los procedimientos empíricos para la determinación de la viscosidad Saybolt Furol de productos derivados del petróleo a temperaturas especificadas entre 21°C y 99°C.

3.3.2.2. Equipos y materiales

- Viscosímetro Saybolt Furol
- Termómetro
- Cronometro
- Embudo de filtro
- Envase para muestra

3.3.2.3. Procedimiento

Calibrar el viscosímetro para el ensayo

Establecer y controlar la temperatura de 25°C, la muestra de ensayo de 60ml aproximadamente en el baño maría

Insertar un tapón de corcho en la cámara de aire en la parte inferior del viscosímetro, el corcho debe quedar apretado lo suficiente como para impedir el escape de aire.



Ilustración 68 Insertando tapón en la cámara del viscosímetro

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mezclar la muestra, y a continuación filtre por el tamiz N200 el mismo que es colocado directamente sobre el filtro de embudo hasta que alcance el nivel de marca.

Asegurarse que el vaso receptor este en posición correcta.



Ilustración 69 Alineación del vaso receptor

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Retirar el corcho del viscosímetro y en el mismo instante poner el cronometro a correr.



Ilustración 70 Flujo de emulsión en el equipo de ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Parar el cronometro en el instante en que la emulsión llegue a la marca de graduación en el vaso receptor.

Registrar el tiempo de flujo en segundos que toma en llenar hasta la marca.

3.3.2.4.Resultados

Tabla 40 *Ensayo de viscosidad Saybolt Furol con Resina y Polímero*

Resina Poliuretano	
Temperatura	25°C
Tiempo (s)	23

Fuente: Autoría Propia

El ensayo describe el tiempo en segundos que tarda en caer una muestra de emulsión, por lo tanto, la emulsión cumple con el rango establecido que es de 20 a 100 segundos según la norma ISSA A-143.

3.3.3. *Ensayo de estabilidad, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244*

3.3.3.1.Descripción

Este ensayo ayuda a determinar la estabilidad al almacenamiento que presentan los asfaltos modificados.(ASTM D-244, 2004)

3.3.3.2.Equipos y materiales

- Probeta de 500 ml, con base en el inferior
- Vaso de precipitación de 1000 ml
- Tapones, para las probetas
- Horno
- Balanza de 2000 gr de capacidad y de 0.1 de sensibilidad

3.3.3.3.Procedimiento

Verter la emulsión sobre la probeta hasta los 500ml.

Cubrir la provea, y dejar en reposo por 24 horas, a temperatura ambiente.

Se obtiene la muestra de la parte superior de la probeta y se pone en un recipiente previamente pesado, desechar el material restante y verter el material restante de la parte inferior en otro recipiente.



Ilustración 71 Secuencia de extracción de muestra superior e inferior

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Pesar las muestra inferior y superior más el tarro y el agitador.

Colocar en el horno los vasos de precipitación con la muestra pesada y el agitador, manteniéndolas en el horno durante dos horas a una temperatura a $163^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$, al final de este periodo sacar los vasos y mezclar uniformemente con el agitador el residuo.

Colocar nuevamente los vasos de precipitación y dejarlos por una hora, sacar los vasos del horno y dejarlos enfriar a temperatura ambiente, luego pesarlos juntamente con el agitador.

Finalmente se determina la estabilidad como la diferencia numérica entre el porcentaje promedio de residuo asfáltico encontrado en las dos muestras de superficie y el encontrado en las dos muestras de fondo.

3.3.3.4.Resultados

E%= Estabilidad a 24 horas

T= Tarro

TE=Tarro + Emulsión

TEh= Tarro + Emulsión después del horno

$$E\% = \frac{(TE - T)}{(TEh - T)} * 100$$

Tabla 41 *Ensayo de estabilidad*

Muestra	Peso			Porcentaje de Residuo (24 horas)
	Tarro	Tarro + Emulsión	Tarro + Emulsión después del horno	
Inferior	97.32	156.63	131.33	57.34%
Superior	90.28	145.4	122.08	57.69%
Inferior - Superior =				0.35%

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de estabilidad da un porcentaje de 0.35%, el cual cumple para el diseño de micropavimento.

3.3.4. Ensayo de asentamiento (Resina de Poliuretano), Norma AASHTO T-59 / ASTM-244

3.3.4.1. Descripción

Durante el almacenamiento a temperaturas elevadas se pueden producir, en los ligantes modificados, fenómenos de cremado o de sedimentación, enriqueciendo el ligante en polímeros en la parte inferior o superior del tanque en función de sus densidades respectivas. Este fenómeno puede ser propiciado por dispersión incorrecta del polímero en el ligante o por incompatibilidad entre ambos. (ASTM D-244, 2004)

3.3.4.2. Equipos y materiales

- Probeta de 500 ml, con base en el inferior
- Vaso de precipitación de 1000 ml
- Tapones, para las probetas
- Horno
- Balanza de 2000 gr de capacidad y de 0.1 de sensibilidad

3.3.4.3. Procedimiento

Verter la emulsión sobre la probeta hasta los 500ml.

Cubrir la provea, y dejar en reposo por 5 días, a temperatura ambiente.

Se obtiene la muestra de la parte superior de la probeta y se pone en un recipiente previamente pesado, desechar el material restante y verter el material restante de la parte inferior en otro recipiente.



Ilustración 72 Extrayendo muestras superior e inferior

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Pesar las muestra inferior y superior más el tarro y el agitador.

Colocar en el horno los vasos de precipitación con la muestra pesada y el agitador, manteniéndolas en el horno durante dos horas a una temperatura a $163^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$, al final de este periodo sacar los vasos y mezclar uniformemente con el agitador el residuo.

Colocar nuevamente los vasos de precipitación y dejarlos por una hora, sacar los vasos del horno y dejarlos enfriar a temperatura ambiente, luego pesarlos juntamente con el agitador.

Finalmente se determina la estabilidad como la diferencia numérica entre el porcentaje promedio de residuo asfáltico encontrado en las dos muestras de superficie y el encontrado en las dos muestras de fondo.

3.3.4.4. Resultados

A%= Asentamiento a los 5 Días

T= Tarro

TE=Tarro + Emulsión

TEh= Tarro + Emulsión después del horno

$$A\% = \frac{(TE - T)}{(TEh - T)} * 100$$

Tabla 42 *Ensayo de asentamiento*

Muestra	Peso			Porcentaje de Residuo (5 días)
	Tarro	Tarro + Emulsión	Tarro + Emulsión después del horno	
Inferior	90.9	138	116.12	53.55%
Superior	90.1	147.1	125.74	62.53%
			Inferior - Superior =	8.98%

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de asentamiento da un porcentaje de 8.98%, el cual no cumple para el diseño de micropavimento.

3.3.5. Retenido de la malla N°20 (Resina de Poliuretano) Norma AASHTO T-59 / ASTM-244

3.3.5.1.Descripción

Este método de ensayo sirve para determinar el grado en el que la emulsión asfáltica puede contener partículas de asfalto y otros sólidos discretos en el tamiz N°20.(ASTM D-244, 2004)

3.3.5.2.Equipos y materiales

- Tamiz, No. 20
- Recipiente, de tamaño apropiado para que pueda colocarse el tamiz.
- Horno, con temperatura constante de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Agua potable.
- Balanza, de 2000 gr de capacidad y de 0.1g de sensibilidad.

3.3.5.3.Procedimiento

La temperatura a la cual se realiza el ensayo está en función de la viscosidad (Saybolt Furol) de la emulsión asfáltica.

- Viscosidad < 100 segundos a menos de 25°C: ensayo a temperatura ambiente.

- Viscosidad > 100 segundos a 25°C, y aquellos cuya viscosidad se especifica a 50°C: ensayo a temperatura de $50 \pm 3^\circ\text{C}$.

El ensayo de viscosidad resultó una emulsión menor a los 100 segundos, por lo tanto, el ensayo lo realizaremos a temperatura ambiente.

Pesar el tamiz con el recipiente y registrar el valor. Seguido de esto pesar 1000gr de la emulsión asfáltica en un recipiente adecuado y vierta a través del tamiz.



Ilustración 73 Tamizando muestra por tamiz N.º 20

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Lave el recipiente y el tamiz con agua, hasta que el agua usada salga clara o limpia.



Ilustración 74 Lavado de residuo en tamiz

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Coloque el recipiente debajo del tamiz y se caliente durante 2 horas en el horno a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$.



Ilustración 75 Secado de tamiz con residuo en horno

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Finalmente dejar enfriar y pesar posteriormente el recipiente, el tamiz y el residuo.



Ilustración 76 Residuo en la malla N.º 20

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.3.5.4. Resultados

T= Tarro

M= Muestra

TR= Tamiz + Residuo

R= Residuo

Rt%= Retenido

$$R = TR - T$$

$$Rt\% = \frac{(R \times 100)}{M}$$

Tabla 43 Retenido de la malla N°20

Tarro	Muestra	Pesos (gr)		
		Tamiz + residuo (después del horno)	Residuo	Retenido
200	1000	200.2	0.2	0.02%

Fuente: Autoría Propia

En este ensayo se retuvo un 0.02% de partículas de asfalto u otro sólido, el cual se encuentra dentro de los parámetros máximo del ensayo.

3.3.6. Carga de la Partícula (Resina de poliuretano), Norma AASHTO T-58 / ASTM D-244

3.3.6.1.Descripción

Este ensayo ayuda a identificar las emulsiones asfálticas, aniónicas y catiónicas. Partículas bituminosas cargadas positivamente son clasificadas como catiónicas y partículas bituminosas cargadas negativamente son clasificadas como aniónicas.(ASTM D-244, 2004)

3.3.6.2.Equipos y materiales

- Fuente de corriente continua dispositivo de alimentación eléctrica de corriente continúa de 12 V, provisto de un miliamperímetro y una resistencia variable.
- Electrodo dos placas de acero inoxidable, de 25.4 mm de ancho y 101.6 mm de largo, aisladas entre sí y montadas en un dispositivo que las mantenga rígidamente paralelas, a una distancia de 12.7mm.
- Vasos de vidrio de 250 ml de capacidad.
- Varillas de vidrio con una longitud de 101.6 mm y 63.5 mm de diámetro, u otro dispositivo apropiado, capaz de aislar y mantener suspendidos los electrodos dentro de la emulsión.
- Baño de agua capaz de mantener la temperatura requerida de ensayo dentro de los límites especificados en esta práctica.
- Termómetros.

3.3.6.3.Procedimiento

Se calienta la emulsión para el ensayo a una temperatura de $50^{\circ} \pm 3^{\circ}$ C, en un baño de agua previamente calentado a $71^{\circ} \pm 3^{\circ}$ C. Se mezcla la emulsión a fin de homogeneizar la

temperatura. La muestra de emulsión se vierte en un vaso de vidrio en cantidad tal que permita sumergir 25.4 mm los electrodos dentro de ella.

Se montan los electrodos, previamente limpios y secos, y se introducen en la emulsión hasta la señal de enrase de 25.4mm. Para su montaje se requiere el uso de varillas de vidrio u otro dispositivo para suspender los electrodos en la emulsión, tomando como soporte los bordes del vaso de vidrio que se está utilizando.

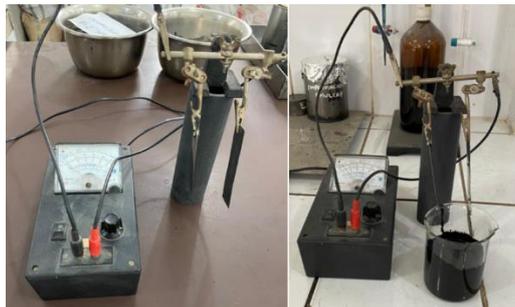


Ilustración 77 Montaje de equipo con muestra

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Se conectan los electrodos a la fuente de alimentación y se ajusta la intensidad de la corriente, mediante la resistencia variable, hasta unos 8mA, poniendo en marcha al mismo tiempo un reloj.

Cuando la intensidad de la corriente baje a 2mA o hayan transcurrido 30 minutos, lo primero que suceda, se desconecta la corriente, se desmontan los electrodos y se lavan suavemente debajo de un delgado chorro de agua destilada.

Finalmente, se observa el depósito que queda en los electrodos; una emulsión catiónica producirá un depósito apreciable de ligante en el cátodo (electrodo negativo), mientras que el ánodo (electrodo positivo), permanecerá limpio. Por el contrario, en una emulsión aniónica el depósito aparecerá en el ánodo, permaneciendo el cátodo limpio.

3.3.6.4.Resultados



Ilustración 78 Ensayo de carga de partícula

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Tabla 44 Carga de la partícula

Carga de la Partícula	
Catiónica	X
Aniónica	

Fuente: Autoría Propia

El ensayo arrojó como resultado que la emulsión tiene una polaridad catiónica, puesto que la emulsión tuvo un depósito apreciable en el electrodo negativo, mientras que el ánodo no.

3.3.7. Mezcla con cemento, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244

3.3.7.1.Descripción

El método sirve para determinar la mezcla de emulsión asfáltica con cemento, por medio del ensayo se determina el porcentaje de emulsión que rompe cuando se mezcla con cemento, bajo condiciones establecidas.(ASTM D-244, 2004)

El método se aplica a emulsión asfáltica que tengan como condición rotura lenta por lo tanto en este estudio trabajamos con rotura controlada es por eso por lo que no se realiza dicho ensayo.

3.3.8. Ensayo de pH, Norma AASHTO T-59 / ASTM D-244

3.3.8.1.Descripción

El método establece el grado de acidez o alcalinidad, en el cual se puede decir que las emulsiones catiónicas son acidas $pH < 7$ y las aniónicas son alcalinas o básicas $pH > 7$, las

variaciones de pH influyen directamente sobre la estabilidad y la adhesividad de las emulsiones con el agregado.(ASTM D-244, 2004)

3.3.8.2.Equipos y materiales

- pH metro electrónico
- Vaso de precipitación
- Balanza
- Agua destilada

3.3.8.3.Procedimiento

Pesar 500g de emulsión para el ensayo.

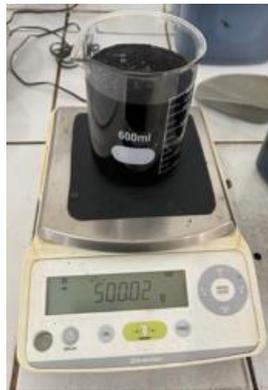


Ilustración 79 Peso de la emulsión 500g.

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Humedecer el pH en agua destilada antes de introducirlo en la emulsión, este proceso se realiza con el fin de establecer un rango estable de lectura y ver si el equipo esta con una calibración correcta.

Introducir el PH-metro electrónico en la emulsión por unos segundos hasta que el equipo pueda estabilizarse.



Ilustración 80 pH-metro electrónico en la emulsión

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

El ensayo se realiza a temperaturas entre 20°C y 30°C.

Observar los resultados marcados en el pH-metro electrónico.



Ilustración 81 Diferente pH por emulsión

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

3.3.8.4. Resultados

Tabla 45 Resultados del ensayo pH

Emulsión	Temperatura	PH
CQS-1H-P	25°C	4.35
CQS-1H-PU	25°C	3.10

Fuente: Autoría Propia

Observamos que los resultados del ensayo de pH cumplen con los requisitos de calidad de la emulsión según la norma ISSA A-143 que debe ser menor a 7, emulsión con 1.5% de resina de poliuretano (CQS-1H-PU) es 3.10 y emulsión con polímero (CQS-1H-P) es 4.35.

3.3.9. Ensayo de residuo Asfáltico por Evaporación, Norma AASHTO T-59 /

ASTM D-244

3.3.9.1. Descripción

Este método cubre la determinación cuantitativa de residuos en asfaltos emulsionados compuestos principalmente de una base asfáltica semisólida o líquida, agua y un agente emulsionante. (ASTM D-244, 2004)

La prueba se puede utilizar para indicar las características de composición de asfalto emulsionado. Los residuos de evaporación también pueden someterse a otras pruebas de caracterización (ASTM D-244, 2004)

3.3.9.2. Equipos y materiales

- Varillas de acero
- Tarros para ensayo
- Cocineta
- Balanza

3.3.9.3. Procedimiento

Determinar el peso de los tarros junto con la varilla



Ilustración 82 Peso del tarro y la varilla de acero

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Colocar aproximadamente 50 ± 1 gramos de la emulsión asfáltica en cada tarro para ensayo.



Ilustración 83 Peso de la emulsión en el tarro

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Colocar los tarros con sus varillas en el horno a $163^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas.

Retirar del horno y cuidadosamente mezcle el residuo de los tarros y coloque nuevamente en el horno durante 1 hora más.

Finalmente dejar enfriar y pesar cada tarro.

3.3.9.4. Resultados

Tabla 46 Ensayo de contenido de asfalto residual con Resina de Poliuretano

	Resina de Poliuretano			
	Peso tarro (g)	Peso emulsión (g)	PT + emulsión después del horno	Resultado (%)
Tarro 1	90,62	100,14	151,5	60,79
Tarro 2	85,17	100,44	145,4	59,97
Tarro 3	92,81	101,99	158,61	64,52
Tarro 4	91,23	100,7	150,74	59,10
Tarro 5	90,64	100,94	150,01	58,82
	PROMEDIO			60,64

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de residuo asfáltico, el límite mínimo establecido por la norma de diseño de micropavimento es 62%, por lo tanto, tenemos como resultado 60.64% justificamos que el 1.35% de emulsión se perdió en los tarros de ensayo.

3.3.10. Punto de ablandamiento del Residuo, Norma AASHTO T-53 / ASTM D-

36

3.3.10.1. Descripción

El método consiste en la medida de temperatura a la que los anillos de betún se reblandecen y se caen hacia abajo a una distancia de 25mm bajo el peso de las esferas de acero. A medida que aumenta la temperatura, estos materiales cambian de manera gradual e imperceptible de materiales quebradizos o que fluyen muy lentamente a líquidos más blandos

y menos viscosos, por lo tanto, se determina la temperatura a la que se produce un cambio de fase en el asfalto.(ASTM D-244, 2004)

Todos los ensayos descritos en el apartado 3.2 son los mismos que corresponde para el proceso del análisis del residuo de la emulsión por lo tanto en este apartado solo colocamos resultados.

3.3.10.2. Resultados

S1: Temperatura 1

S2: Temperatura 2

$$P_{ablandamiento} = \frac{S1 + S2}{2}$$

Tabla 47 *Ensayo de punto de ablandamiento residuo de emulsión Resina de Poliuretano*

Residuo Resina de poliuretano	
S1	51°C
S2	51°C
Resultado	51°C

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de punto de ablandamiento no cumple con los requisitos de calidad del asfalto. La norma indica una temperatura mayor a 57 °C, con 1.5% de resina de poliuretano obtenemos un resultado de 51°C.

3.3.11. Penetración del Residuo, Norma AASHTO T-49-97 / ASTM D-588

3.3.11.1. Descripción

Este método cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos semisólidos, sólidos y se utiliza como una medida de la consistencia. Los valores más altos de penetración indican una menor consistencia.(AASHTO T 49-97, s. f.)

La muestra se funde y se enfría bajo condiciones controladas. La penetración se mide con un penetrómetro, por medio del cual una aguja estándar se introduce a la muestra bajo condiciones específicas.(AASHTO T 49-97, s. f.)

3.3.11.2. *Resultados*

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3}$$

Tabla 48 *Ensayo de Penetración residuo de emulsión Resina de Poliuretano*

Residuo Resina		
Tiempo (s)	Penetración (mm)	Resultado
5	52	51
	49	
	53	

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de penetración ayuda a determinar la resistencia que tiene el residuo del asfalto de la emulsión ante la deformación, es decir mientras mayor sea los valores de penetración menor será el grado de trabajabilidad del asfalto, en la prueba de evaporación del residuo asfáltico tenemos como resultado 51 mm es decir no cumple con el límite mínimo para diseño de micropavimento sin embargo continuamos con la emulsión que contiene el 1.5% de resina de poliuretano.

3.3.12. Ductilidad del Residuo, Norma AASHTO T-51 / ASTM D-113

3.3.12.1. *Descripción*

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se traccionan a una velocidad y temperatura especificadas.(ASTM D 113, s. f.)

3.3.12.2. Resultados

Tabla 49 Ensayo de Ductilidad del Residuo

Residuo (Resina de Poliuretano)	Ductilidad (cm)
1.5%	43.5

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de ductilidad refleja que, la ductilidad del residuo de la emulsión con 1.5% de Resina de Poliuretano es de 43.5 cm.

3.3.13. Recuperación por ductilidad del Residuo INV-742-13

3.3.13.1. Descripción

Este método se utiliza en los asfaltos modificados, que comprenden los cementos y emulsiones

asfálticas modificadas.(INV-742-13.pdf, s. f.)

3.3.13.2. Resultados

Tabla 50 Ensayo de Recuperación por Ductilidad del residuo

Residuo (Resina de Poliuretano)	Recuperación por Ductilidad (%)
1.5%	13.0%

Fuente: Autoría Propia

En ensayo de recuperación por ductilidad del residuo da como resultado con 1.5% de resina de poliuretano recuperación de 13%.

3.3.14. Recuperación Torsional del Residuo M-MMP-4-05-024/02

3.3.14.1. Descripción

Esta prueba permite la recuperación elástica torsional del asfalto mediante un dispositivo de torsión, que hace girar la muestra analizada en un ángulo de 100°, para después medir el ángulo recuperado.(M-MMP-4-05-024-02.pdf, s. f.)

3.3.14.2. Resultados

Tabla 51 Recuperación Torsional del residuo

Residuo (Resina de Poliuretano)	Recuperación Torsional (%)
1.5%	8.0%

Fuente: Autoría Propia

En ensayo de recuperación torsional del residuo arroja como resultado con 1.5% de resina de poliuretano recuperación de 8%.

3.3.15. Viscosidad con el Viscosímetro Brookfield del residuo ASTM D4402

3.3.15.1. Descripción

Este método sirve para determinar la viscosidad aparente de los asfaltos a partir de diferentes temperaturas que varían desde los 38 a 260°C. (ASTM D4402, s. f.)

3.3.15.2. Resultados

Tabla 52 Ensayos de Viscosidad del residuo emulsión Resina de Poliuretano

Residuo 1.5% Resina de poliuretano						
Peso (g)	Aguja	Temperatura (°C)	Viscosidad (cP)	Torque (%)	Velocidad (RPM)	
7	S21	145	200	8	20	
		140	252,5	10,2	20	
		135	320	12,7	20	
12	S29	60	1,86E+05	92,8	5	

Fuente: Autoría Propia

El ensayo de viscosidad nos permite determinar qué tan viscoso es el residuo del asfalto aplicado a diferentes temperaturas con el objetivo de determinar su trabajabilidad, la norma para diseño de micropavimento no establece límites mínimos ni máximos, solo se observa su comportamiento.

Finalmente, en la tabla 53 se presenta un resumen con resultados de los ensayos realizados para la emulsión con resina de Poliuretano (CQS-1h-PU) y emulsión con Polímero

(CQS-1h-P). Los resultados de ensayos de la emulsión con Polímero fueron proporcionados por la empresa EMULDEC:

Tabla 53 Resultados ensayos de calidad de la emulsión

NORMA			ENSAYOS PARA EMULSIÓN								
AST M	AASHT O	ISS A	ENSAYO	UNID AD	MÍNI MO	MÁXI MO	CQS- 1h-P	CUMP LE	CQS- 1h-PU	CUMP LE	
T-59	D-244/D-88		Viscosidad Saybolt Furol	25° C	s	20	100	22	si	25	si
T-59	D-244		Estabilidad		%	-	1	0.77	si	0.35	si
T-59	D-244		Asentamiento		%	-	5	4.01	si	8.98	no
T-59	D-244		Retenido en la malla N°20		%	-	0.1	0.004	si	0.02	si
T-58	D-244		Carga de la partícula		%	-	-	Catiónica	si	Catiónica	si
T-59	D-244		Ensayo de pH		-	-	7	4.35	si	3.1	si
T-59	D-244		Residuo asfáltico por Evaporación		%	62	-	62.48	si	60.64	si
T-53	D-36		Punto de ablandamiento		°C	57	-	57	si	51	no
T-49	D-588		Penetración residuo de materiales bituminosos		mm	40	90	69	si	51	si
T-51	D113		Ductilidad del residuo		cm	40	-	118	si	43.5	si
			Recuperación por Ductilidad del residuo		%	30	-	42	si	12.5	no
			Recuperación Torsional del residuo		%	12	-	15	si	8	no
4402			Viscosidad con el Viscosímetro Brookfield del residuo	S21	14 5 14 0 13 5 S29	cP	290 cP	300 cP		200 252.5 320 1.86E+03	no no no

Fuente: Autoría Propia

CAPITULO IV

Según la normativa ISSA A-143 dice: La micropavimentación consiste en una mezcla de asfalto emulsionado modificado con polímeros, cargas minerales como cemento Portland tipo I, cal apagada, polvo de caliza o puzolana, piedra molida, agua y aditivos, proporcionados, mezclados y esparcidos uniformemente sobre una superficie previamente preparada. La micropavimentación debe funcionar en secciones de diferentes espesores, como ahuellamiento, capas niveladoras y superficies fresadas.

4.1.Especificaciones según la Norma ASTM

Tabla 54 *Especificaciones para diseño de micropavimento*

Ensayo	ISSA TB No.	Especificación
Tiempo de mezcla 25°C	TB 113	Controlable hasta 120 segundos mínimo
Cohesión húmeda	TB 139	12 kg-cm mínimo
a 30 minutos mínimo (fraguado) a 60 minutos mínimo (transito)		20 kg-cm o mínimo cercano
Perdida por abrasión húmeda	TB 100	538 g/m ² máximo
Remojo de una hora		807 g/m ² máximo
Remojo de seis días		
Contenido de humedad optima	TB 106	Máximo 3 cm
Rueda cargada	TB 109	538 g/m ² máxima

Fuente: Autoría Propia

En la tabla 54 se describen los ensayos necesarios y el numeral de la norma que se debe cumplir para el diseño de micropavimento.

4.2.Ensayos de laboratorio

4.2.1. Determinación del porcentaje teórico de emulsión.

4.2.1.1.Descripción

Se utiliza el método Hveen el cual consiste en la determinación del área superficial del agregado, es el parámetro utilizado para aproximar el contenido de emulsión teórica. El área superficial se determina en base al tamaño de partícula.(Chimborazo, 2012)

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-PU

Espesor de la Película de Asfalto en el Agregado (t)	5,0 micrones
Gravedad Específica del Asfalto (ASG)	1,005 gr/cm ³
Porcentaje de asfalto residual de la Emulsión (AR)	62,00 %
Absorción de Kerosene en el agregado (KA)	4,10 %
Coefficiente de Conversión de Unidades	0,02047

Resultados

Tabla 55 Granulometría mina Vipesa CQS-1H-PU

Tamiz No.	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)	Factor Hveen	%Pasa*Factor Hveen
3/8"	9,5	100	0,02	2
No. 4	4,75	88	0,02	1,76
No. 8	2,36	46,37	0,04	1,85
No. 16	1,18	30,04	0,08	2,40
No. 30	0,6	21,92	0,14	3,07
No. 50	0,3	15,26	0,3	4,58
No. 100	0,15	7,29	0,6	4,37
No. 200	0,075	3,57	1,6	5,71
			S.T.A	25,74

Fuente: Autoría Propia

% L: Contenido de Asfalto Residual sobre el peso del agregado

S.T.A: Superficie Teórica del Agregado

t: Espesor de la película del mortero asfáltico

- 0,02047:** Coeficiente de conversión de unidades
- ASG:** Peso específico del Asfalto
- %E:** Porcentaje Teórico de Emulsión a aplicar en el Mortero Asfáltico
- A.R:** Porcentaje de asfalto residual de la emulsión a utilizar

$$\%L = (S.T.A * t * (0,02047) * (ASG)) + KA$$

$$\%L = 6,75\%$$

$$\%E = \frac{\%L * 100}{\%AR} = 10,88\%$$

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-P

Espesor de la Película de Asfalto en el Agregado (t)	5,0 micrones
Gravedad Específica del Asfalto (ASG)	1,005 gr/cm ³
Porcentaje de asfalto residual de la Emulsión (AR)	63,00 %
Absorción de Kerosene en el agregado (KA)	4,10 %
Coeficiente de Conversión de Unidades	0,02047

Tabla 56 Granulometría mina Vipesa CQS-1H-P

Tamiz No.	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)	Factor Hveen	%Pasa*Factor Hveen
3/8"	9,5	100	0,02	2
No. 4	4,75	88	0,02	1,76
No. 8	2,36	46,37	0,04	1,85
No. 16	1,18	30,04	0,08	2,40
No. 30	0,6	21,92	0,14	3,07
No. 50	0,3	15,26	0,3	4,58
No. 100	0,15	7,29	0,6	4,37
No. 200	0,075	3,57	1,6	5,71
			S.T. A	25,74

Fuente: Autoría Propia

$$\%L = (S.T.A * t * (0,02047) * (ASG)) + KA$$

$$\%L = 6.75\%$$

$$\%E = \frac{\%L * 100}{\%AR} = 10.63\%$$

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-PU

Espesor de la Película de Asfalto en el Agregado (t)	5,0 micrones
Gravedad Específica del Asfalto (ASG)	1,005 gr/cm ³
Porcentaje de asfalto residual de la Emulsión (AR)	62,00 %
Absorción de Kerosene en el agregado (KA)	4,10 %
Coefficiente de Conversión de Unidades	0,02047

Tabla 57 Granulometría mina Rookaazul CQS-1H-PU

Tamiz No.	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)	Factor Hveen	%Pasa*Factor Hveen
3/8"	9,5	100	0,02	2
No. 4	4,75	82,75	0,02	1,66
No. 8	2,36	46,48	0,04	1,86
No. 16	1,18	31,65	0,08	2,53
No. 30	0,6	27,06	0,14	3,79
No. 50	0,3	17,94	0,3	5,38
No. 100	0,15	10,26	0,6	6,16
No. 200	0,075	6,05	1,6	9,68
			S.T. A	33,05

Fuente: Autoría Propia

$$\%L = (S.T.A * t * (0,02047) * (ASG)) + KA$$

$$\%L = 7,50\%$$

$$\%E = \frac{\%L * 100}{\%AR} = 12,17\%$$

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-P

Espesor de la Película de Asfalto en el Agregado (t)	5,0 micrones
Gravedad Específica del Asfalto (ASG)	1,005 gr/cm ³
Porcentaje de asfalto residual de la Emulsión (AR)	63,00 %
Absorción de Kerosene en el agregado (KA)	4,10 %
Coefficiente de Conversión de Unidades	0,02047

Tabla 58 Granulometría mina Rookaazul CQS-1H-P

Tamiz No.	Abertura (mm)	Porcentaje que pasa (%)	Factor Hveen	%Pasa*Factor Hveen
3/8"	9,5	100	0,02	2
No. 4	4,75	82,75	0,02	1,66
No. 8	2,36	46,48	0,04	1,86
No. 16	1,18	31,65	0,08	2,53
No. 30	0,6	27,06	0,14	3,79
No. 50	0,3	17,94	0,3	5,38
No. 100	0,15	10,26	0,6	6,16
No. 200	0,075	6,05	1,6	9,68
			S.T. A	33,05

Fuente: Autoría Propia

$$\%L = (S.T.A * t * (0,02047) * (ASG)) + KA$$

$$\%L = 7,5\%$$

$$\%E = \frac{\%L * 100}{\%AR} = 11,81\%$$

El porcentaje teórico de emulsión ayuda a determinar un valor referencial de inicio, de tal forma que al momento de realizar el diseño de mezcla para micropavimento se logra obtener el porcentaje teórico para la mezcla, la misma que cumpla con los parámetros establecidos por la norma ISSA A-143, se obtiene entonces como resultados los siguientes datos: Mina Vipesa con resina de poliuretano 10.88%, Mina Vipesa con polímero 10.63%, Mina Rookaazul con resina de poliuretano 12.17% y Mina Rookaazul con polímero 11.81%.

4.2.2. Contenido de Humedad optima, Norma ISSA TB-106/ASTM D-3910

4.2.2.1.Descripción

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la consistencia a través del cono de lechada bituminosa. La determinación de la consistencia de la lechada es

una operación importante que permitirá determinar la cantidad óptima de agua para asegurar la correcta trabajabilidad de la mezcla.(ISSA Tb-106, 2015)

4.2.2.2.Equipos y Materiales

- Balanza
- Espátula
- Cono de absorción de arena
- Escala de flujo con siete círculos
- Recipiente
- Embudo

4.2.2.3.Procedimiento

Se pesa aproximadamente 500 gramos de material a partir de la granulometría y peso por diferente número de tamiz.



Ilustración 84 Peso del agregado

Fuente: Autoría Propia (*Laboratorio Emuldec*)

Se realiza la mezcla, agregar cemento, agua, agregado y porcentaje de emulsión calculado teóricamente.



Ilustración 85 Mezcla para ensayo de consistencia

Fuente: Autoría Propia (*Laboratorio Emuldec*)

Mezclar durante 30 segundos y se vierten inmediatamente en la pequeña abertura del cono hasta que se llene.



Ilustración 86 Mezclar durante 30 segundos

Fuente: Autoría Propia (*Laboratorio Emuldec*)

Levantar el cono inmediatamente.



Ilustración 87 Ensayo de consistencia

Fuente: Autoría Propia (*Laboratorio Emuldec*)

Generalmente, será necesario ensayar diferentes mezclas con porcentajes variables de agua y el óptimo calculado de emulsión, hasta conseguir una consistencia adecuada.

Una vez que se detiene el flujo, se mide el borde exterior de la lechada en cuatro puntos, se promedia y registra el resultado en centímetros.

4.2.2.4.Resultados

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-PU



Ilustración 88 Resultados ensayo de contenido de humedad optima mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Mezcla con 16% Agua b) Mezcla con 14% Agua, c) Mezcla con 18% Agua

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-P

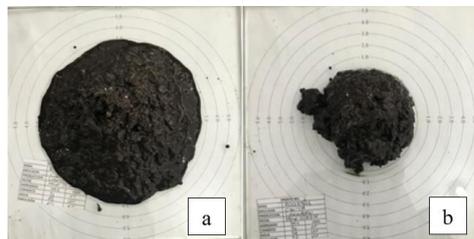


Ilustración 89 Resultados ensayo de contenido de humedad optimo mina Rookaazul-CQS-1H-P Mezcla con 13% Agua b) Mezcla con 16% Agua

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-PU

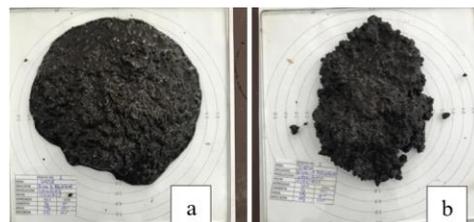


Ilustración 90 Resultados ensayo de contenido de humedad optima mina Vipesa CQS-1H-PU Mezcla con 15% Agua b) Mezcla con 12% Agua

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-P

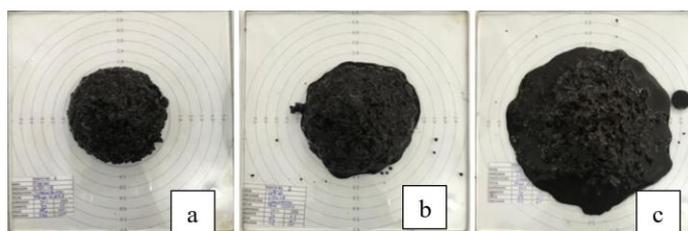


Ilustración 91 Resultados ensayo de contenido de humedad optima mina Vipesa CQS-1H-P Mezcla con 13% Agua b) Mezcla con 14% Agua, c) Mezcla con 16% Agua

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Para el ensayo se realizaron varias muestras con diferentes porcentajes de agua, cemento y emulsión. Los resultados para las dos canteras fueron los siguientes:

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 59 Ensayo de contenido de humedad optima CQS-1h-PU

Agregado		Pesos (gr)						Observaciones (cm)			
		Cemento		Agua		Emulsión		Sup.	Der.	Izq.	
100%	500	1%	5	12%	60	12%	60	0	0	0	0
								Inf.	0	Izq.	0
100%	500	1%	5	15%	75	12%	60	5	2.3	Der.	3.05
								Inf.	1.8	Izq.	3.1
100%	500	1%	5	14%	70	12%	60	4.1	2.025	Der.	1
								Inf.	2	Izq.	1

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 60 Ensayo de contenido de humedad optima CQS-1h-P

Agregado		Pesos (gr)						Observaciones (cm)			
		Cemento		Agua		Emulsión		Sup.	Der.	Izq.	
100%	500	1%	5	13%	65	12%	60	0	0	0	0
								Inf.	0	Izq.	0
100%	500	1%	5	14%	70	12%	60	1	1.25	Der.	2
								Inf.	1.1	Izq.	0.9
100%	500	1%	5	16%	80	12%	60	2.6	2.5	Der.	2.7
								Inf.	2.5	Izq.	2.2

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 61 *Ensayo de contenido de humedad optima CQS-1h-PU*

Agregado		Pesos (gr)						Observaciones (cm)			
		Cemento		Agua		Emulsión		Sup.		Der.	
100%	500	1%	5	14%	70	12%	60	0	0	0	0
								Inf.	0	Izq.	0
100%	500	1%	5	16%	80	12%	60	0	0	0	0
								Inf.	0	Izq.	0
100%	500	1%	5	18%	90	12%	60	3.9	4.4	2.975	
								Inf.	2.7	Izq.	0.9

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 62 *Ensayo de contenido de humedad optima CQS-1h-P*

Agregado		Pesos (gr)						Observaciones (cm)			
		Cemento		Agua		Emulsión		Sup.		Der.	
100%	500	1%	5	13%	65	12.0%	60	0	0	0	0
								Inf.	0	Izq.	0
100%	500	1%	5	16%	80	12.0%	60	2.7	2.5	2.625	
								Inf.	2.5	Izq.	2.8

Fuente: Autoría Propia

Se debe tener en cuenta que, para mejorar la consistencia de la mezcla y el tiempo de ruptura de la emulsión, se debe adicionar un porcentaje de cemento, el agua también juega un papel importante en este ensayo ya que al aumentar el agua la mezcla deberá cumplir con el parámetro establecido por la ISSA A-143 que debe ser 3 cm como límite máximo. En las tablas 59, 60, 61 y 62 observamos los resultados obtenidos y los mismos que lograron cumplir con los límites, por lo tanto, para continuar con los ensayos se parte con los porcentajes que cumplen el ensayo de consistencia tanto en agregado, cemento, agua y emulsión.

4.2.3. Tiempo de Mezclado, Norma ISSA TB-113

4.2.3.1.Descripción

Este método de prueba mide el tiempo de mezcla de una combinación específica de materiales para un sistema de revestimiento de lechada. Esta prueba verifica la compatibilidad de la materia prima y establece las proporciones adecuadas de las componentes necesarias para garantizar un tiempo de mezcla suficiente para la aplicación del producto.(ISSA Tb-113, 2017)

4.2.3.2.Equipos y Materiales

- Recipientes
- Espátula
- Tamiz N°20
- Balanza, Capaz de pesar 500gr con una precisión de 0.1 gr.
- Temporizador
- Agregado
- Asfalto Emulsionado
- Agua potable
- Toallas de papel
- Relleno Mineral

4.2.3.3.Procedimiento

Pesar 300gr del agregado en el recipiente de mezcla, seguido añadir la cantidad deseada de relleno mineral según el peso del agregado. Mezclar hasta que la distribución del relleno sea uniforme.



Ilustración 92 Pesar agregado para la mezcla

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Agregar la cantidad de agua según el peso del agregado seco. Mezclar con movimientos circulares hasta que la distribución del relleno sea uniforme.



Ilustración 93 Añadir agua a la Mezcla

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Agregar la cantidad de Emulsión deseado según el peso del agregado seco. Inmediatamente poner en marcha el cronometro. Mezcla con movimientos circulares por 30 segundos.



Ilustración 94 Colocar la emulsión

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Después de los 30 segundos, verter aproximadamente la mitad de la mezcla sobre el papel, conservando la mitad de la mezcla en el recipiente. Extender la mezcla a una profundidad aproximado de 6,4 -10 mm.

Continuar mezclando la muestra del recipiente por un máximo de 5 minutos o hasta que la mezcla se endurezca y se “rompa”. Registre el tiempo de mezcla en segundos.



Ilustración 95 Realizar la mezcla

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

4.2.3.4.Resultados

Para el ensayo se realizaron varias muestras con diferentes porcentajes de agua y emulsión. Los resultados para las dos canteras fueron los siguientes:

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 63 Ensayo tiempo de mezclado CQS-1h-PU (Vipesa)

Agregado	Pesos (gr)				Observaciones			Espuma	Consistencia	
	Cemento	Agua	Emulsión	Mezcla	Mezcla	Mezcla				
100%	300	0%	0	11%	33	12%	36	30s	No	Seco
100%	300	0%	0	13%	39	12%	36	20s	No	Seco
100%	300	0%	0	16%	48	12%	36	>180s	No	Semifluido
100%	300	1%	3	16%	48	12%	36	>180s	No	Fluido
100%	300	1%	3	14%	42	12%	36	>180s	Si	Semifluido
100%	300	1%	3	12%	36	12%	36	>180s	No	Semifluido

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 64 *Ensayo tiempo de mezclado CQS-1h-P*

Agregado	Pesos (gr)						Observaciones			
	Cemento		Agua		Emulsión		Mezcla	Espuma	Consistencia	
100%	300	1%	3	13%	39	12%	36	>180s	No	semifluido
100%	300	1%	3	14%	42	12%	36	>180s	No	semifluido

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 65 *Ensayo tiempo de mezclado CQS-1h-PU*

Agregado	Pesos (gr)						Observaciones			
	Cemento		Agua		Emulsión		Mezcla	Espuma	Consistencia	
100%	300	0%	0	11%	33	12%	36	20s	No	Seco
100%	300	0%	0	13%	39	12%	36	17s	No	Seco
100%	300	0%	0	15%	45	12%	36	>180s	No	Semifluido
100%	300	1%	3	14%	42	12%	36	>180s	No	Semifluido
100%	300	1%	3	12%	36	12%	36	30s	No	Seco

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 66 *Ensayo tiempo de mezclado CQS-1h-P*

Agregado	Pesos (gr)						Observaciones			
	Cemento		Agua		Emulsión		Mezcla	Espuma	Consistencia	
100%	300	1%	3	13%	39	12.0%	36	>180s	No	semifluido

Fuente: Autoría Propia

El ensayo tiempo de mezcla ayuda a determinar el tiempo en segundos que la mezcla tarda en curarse y romperse con el objetivo de llegar a los límites establecidos por la norma ISSA A-143 de esta forma obtener una correcta mezcla. La mina Vipesa con CQS-1h-PU se realizó seis ensayos con diferentes porcentaje de agua y cemento para determinar el porcentaje

óptimo de estos elementos en la mezcla hasta lograr los límites de tiempos establecidos que están entre 120 y 180 segundos para el mezclado, teniendo como resultado 12% de agua y 1% de cemento portland tipo I, la mina Vipesa con CQS-1h-P 11% de agua y 1% de cemento portland tipo I, la mina Rookaazul con CQS-1h-P 13% de agua y 1% de cemento portland tipo I, mina Rookaazul con CQS-1h-PU 14% de agua y 1% de cemento portland tipo I.

4.2.4. Ensayo de cohesión, Norma ISSA TB-139/ASTM D-3910

4.2.4.1.Descripción

Este método de prueba se usa para determinar el fraguado inicial y el desarrollo del curado de los sistemas de revestimiento de lechada como una función del torque a lo largo del tiempo.(ISSA Tb-139, 2017)

Esta prueba cuantifica el tiempo requerido antes de que un sistema de pavimentación con lechada pueda someterse a un tránsito rodante recto.(ISSA Tb-139, 2017)

4.2.4.2.Equipos y Materiales

- Probador de cohesión
- Moldes de anillo con una profundidad de 5,7-6,3 mm x 65-75 mm de diámetro interior y 9,5-10,5 mm x 65-75 mm de diámetro interior.
- Filtro para techos saturado de 6,8 kg (15 lb) del tamaño adecuado para encajar en los moldes del anillo de cohesión y en el probador.
- Recipientes
- Espátula
- Balanza, capaz de pesar 500gr con una precisión de 0.1 gr.
- Temporizador
- Agregado
- Asfalto Emulsionado
- Agua potable

- Relleno Mineral

4.2.4.3.Procedimiento

Centrar la moldura de anillo adecuada en un cuadro del fieltro para techos. Preparar la mezcla y mezclar durante 30 segundos.

Inmediatamente después de llenar cada molde, nivelar la muestra hasta obtener una superficie plana.



Ilustración 96 Colocar la mezcla en molde

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Cuando las muestras estén lo suficientemente firmes para resistir el flujo, retire el molde anular. El molde anular debe retirarse antes de analizar la muestra. Realizar el ensayo en la maquina cada 30 minutos.

Prepare el instrumento para la prueba ajustando la presión del aire a 200 kPa. Asegúrese de que el pie de neopreno se haya preparado para la prueba.

El torquímetro se pone a cero y se coloca encima del extremo de la barra. La muestra se centra debajo del pie de neopreno preparado y el sustrato de muestra se sujeta con una mano. Se baja el pie hasta la muestra a una velocidad de 8 a 10 cm por segundo. Después de 5 a 6 segundos de contacto con la muestra, girar el torquímetro con la mano opuesta. Hacer un movimiento horizontal continuo sin presión hacia abajo para girar el torquímetro en un arco de 90 a 120° en 0,5 a 0,7 segundos. Anote la lectura del torque y el modo de ruptura.



Ilustración 97 Prueba transcurrida los 7 segundos

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Levantar el pie de la maquina y limpiar raspando con una espátula.

Resultados

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano (CQS-1H-PU), 30 minutos expuesto al sol.

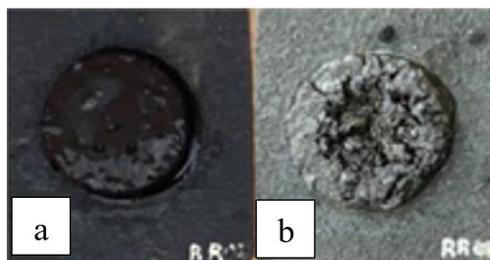


Ilustración 98 Resultados del ensayo cohesión mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 30 minutos al sol

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano (CQS-1H-PU), 60 minutos expuesto al sol.

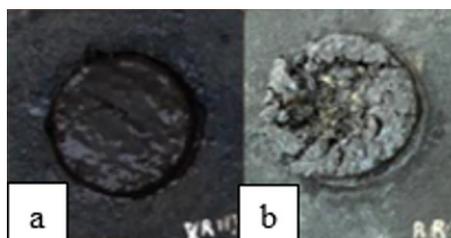


Ilustración 99 Resultados del ensayo cohesión mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 60 minutos al sol.

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano (CQS-1H-PU),30 minutos expuesto al sol.

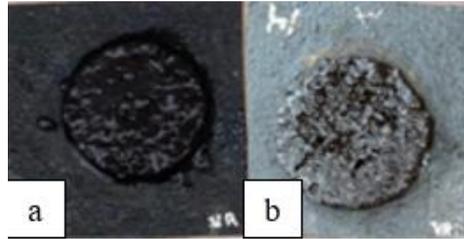


Ilustración 100 Resultados del ensayo cohesión mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 30 minutos al sol.

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano (CQS-1H-PU),60 minutos expuesto al sol.

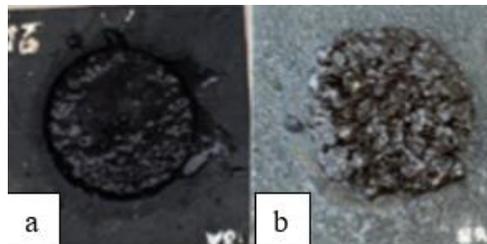


Ilustración 101 Resultados del ensayo cohesión mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 60 minutos al sol.

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con polímero (CQS-1H-P), 30 minutos expuesto al sol.

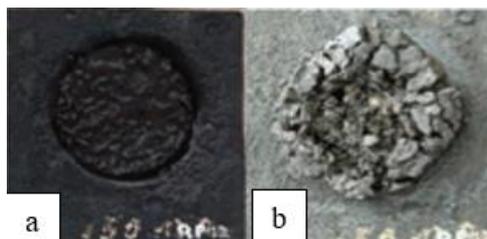


Ilustración 102 Resultados del ensayo cohesión mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 30 minutos al sol.

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con polímero (CQS-1H-P), 60 minutos expuesto al sol.

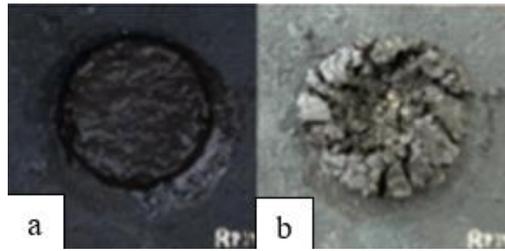


Ilustración 103 Resultados del ensayo cohesión mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 60 minutos al sol.

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con polímero (CQS-1H-P), 30 minutos expuesto al sol.

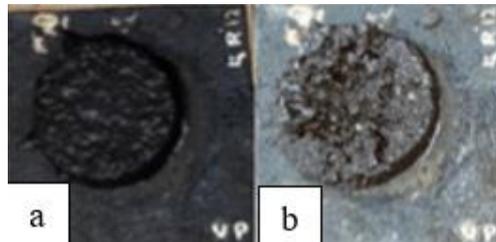


Ilustración 104 Resultados del ensayo cohesión mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 30 minutos al sol.

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con polímero (CQS-1H-P), 60 minutos expuesto al sol.

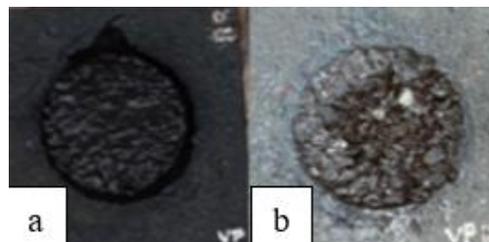


Ilustración 105 Resultados del ensayo cohesión mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra antes del ensayo b) Muestra después del ensayo, 60 minutos al sol.

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Para el ensayo se realizaron varias muestras con diferentes porcentajes de emulsión.

Los resultados para las dos canteras fueron los siguientes:

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 67 *Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-PU (Rookaazul)*

	Porcentaje	Pesos (gr)
Agregado	100%	300
Cemento	1%	3
Agua	14%	42
Emulsión	12%	36

Fuente: Autoría Propia

Tabla 68 *Resultados del ensayo de cohesión CQS-1h-PU (Rookaazul)*

N° Ensayo	Exposición al sol (horas)	Torque (kg*cm)
1	0:30	10
2	1:00	10
3	1:30	11
4	2:00	12.5
5	2:30	18

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 69 *Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-P (Rookaazul)*

	Porcentaje	Pesos (gr)
Agregado	100%	300
Cemento	1%	3
Agua	13%	39
Emulsión	12.0%	36

Tabla 70 *Resultados del ensayo de cohesión CQS-1h-P (Rookaazul)*

N° Ensayo	Exposición al sol (horas)	Torque (kg*cm)
1	0:30	8
2	1:00	10
3	1:30	10.5
4	2:00	12
5	2:30	15

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 71 *Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-PU (Vipesa)*

	Porcentaje	Pesos (gr)
Agregado	100%	300
Cemento	1%	3
Agua	12%	36
Emulsión	11.0%	33

Fuente: Autoría Propia

Tabla 72 *Resultados del ensayo de cohesión CQS-1h-PU (Vipesa)*

N° Ensayo	Exposición al sol (horas)	Torque (kg*cm)
1	0:30	6
2	1:00	7.5
3	1:30	8
4	2:00	10
5	2:30	19

Fuente: Autoría Propia

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 73 *Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-P (Vipesa)*

	Porcentaje	Pesos (gr)
Agregado	100%	300
Cemento	1%	3
Agua	12%	36
Emulsión	12.0%	36

Fuente: Autoría Propia

Tabla 74 Cantidades en gramos para realizar el ensayo de cohesión CQS-1h-P (Vipesa)

N° Ensayo	Exposición al sol (horas)	Torque (kg*cm)
1	0:30	8
2	1:00	9
3	1:30	10
4	2:00	10
5	2:30	12.5

Fuente: Autoría Propia

El ensayo ayuda a determinar el comportamiento de la mezcla durante 30 minutos y 60 minutos que son los tiempos óptimos según la norma ISSA A-143 y que determina el tiempo de apertura al tráfico.

Cuando el torque alcanza un valor de 12kg-cm es considerado un valor de cohesión al cual la mezcla es estable, resistente al agua y no puede ser remezclada. Mientras que a un valor de 20kg-cm, se ha producido suficiente cohesión para poder abrir el tráfico.

La mina Rookaazul con CQS-1h-P durante los 30 minutos da un torque de 8 kg*cm, transcurrido los 60 minutos tenemos un torque de 10 kg*cm, lo que significa que no cumple con la normativa para diseño de micropavimento.

La mina Rookaazul con CQS-1h-PU durante los 30 minutos nos da un torque de 10 kg*cm, transcurrido los 60 minutos tenemos un torque de 15 kg*cm, lo que significa que no cumple con la normativa para diseño de micropavimento.

La mina Vipesa con CQS-1h-P durante los 30 minutos nos da un torque de 8 kg*cm, transcurrido los 60 minutos tenemos un torque de 9 kg*cm, lo que significa que no cumple con la normativa para diseño de micropavimento.

La mina Vipesa con CQS-1h-PU durante los 30 minutos nos da un torque de 6 kg*cm, transcurrido los 60 minutos tenemos un torque de 7.5 kg*cm, lo que significa que no cumple con la normativa para diseño de micropavimento.

4.2.5. Ensayo de Abrasión en húmedo, Norma ISSA tb-100 / ASTM D-3910

4.2.5.1.Descripción

Este método mide la calidad del desgaste de los sistemas de revestimiento de lechada en condiciones de desgaste húmedo. La prueba de desgaste húmedo es una prueba de rendimiento simulada que se correlaciona con la calidad de desgaste en campo. Esta prueba determina el contenido de emulsión mínimo permitido para un sistema dado.(ISSA Tb-100, 2020)

4.2.5.2.Equipos y Materiales

- Balanza
- Recipiente
- Espátula
- Disco de ensayo
- Equipo para ensayo de abrasión
- Termómetro
- Cronometro
- Horno a 60°C
- Baño agua maría a 25°C



Ilustración 106 Herramientas para ensayo de abrasión en húmedo disco de ensayo, molde y equipo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

4.2.5.3.Procedimiento

Pesar aproximadamente 700 gramos de agregado según granulometría.

Realizar la mezcla final según el literal 4.2.3 y mezclar durante 30 segundos antes de colocar en el molde de ensayo.



Ilustración 107 Mezcla para ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Verter la mezcla en el molde, con la espátula rellenar todos los bordes y con el rodillo enrasar hasta que se observe uniformidad de esta.



Ilustración 108 Preparando la muestra para ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Dejar en el horno durante un mínimo de 15 horas y no más de 30 horas a una temperatura de 60°C.



Ilustración 109 Muestras en el horno secas

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Transcurrido las horas de secado, dejar enfriar y pesar la muestra inicial antes de ser ensayada.



Ilustración 110 Peso de la muestra seca antes del ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Colocar en el agua a una temperatura de 25°C durante una hora, transcurrido la hora inmediatamente colocar en el equipo de ensayo, sujetar la muestra a la placa de montaje y apretar las abrazaderas.



Ilustración 111 Muestras saturadas en agua durante 1 hora o 6 días

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

Cubrir la muestra con agua a temperatura de 25°C.



Ilustración 112 Muestra para ensayo

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

El ensayo debe durar 5 minutos.

Transcurrido el tiempo de ensayo retirar la muestra y lavar los residuos que quedan en el molde, dejar en el horno según punto 3 del procedimiento y pesar.



Ilustración 113 Equipo en movimiento durante 300segundos

Fuente: Autoría Propia (Laboratorio Emuldec)

La diferencia entre el peso inicial y el peso luego de realizar el ensayo es la pérdida por desgaste durante una hora.

Se sigue el mismo procedimiento para 6 días en el agua.

4.2.5.4.Resultados

Los resultados del ensayo de abrasión en húmedo están expresados en gramos por metro cuadrado (gr/m^2). Para obtener los resultados se determina, para cada molde, la diferencia entre las masas, en estado seco, antes y después de someterla al ensayo de abrasión.

El valor de desgaste por unidad de área se lo calcula multiplicando el valor de gramos perdidos por el factor adecuado según el modelo de la máquina usada, en este caso el factor es 32.9 gr/m^2 .

Tabla 75 Cuadro de factores de corrección según el tipo de máquina

Modelo de la maquina	Ejecución	Factor adecuado
	Tiempo en Minutos	gr/m^2
C-100	300" \pm 2"	32.9*1
A-120	405" \pm 2"	29.7*1
N-50 Modificado	315" \pm 2"	3.5*0.78
N-50	315" \pm 2"	32.9*1

Fuente: Norma ISSA TB – 100

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 10% (CQS-1H-PU).



Ilustración 114 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul CQS-1H-PU
a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 12% (CQS-1H-PU).

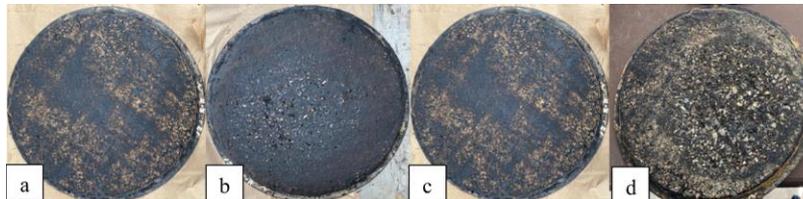


Ilustración 115 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul CQS-1H-PU
a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 14% (CQS-1H-PU).

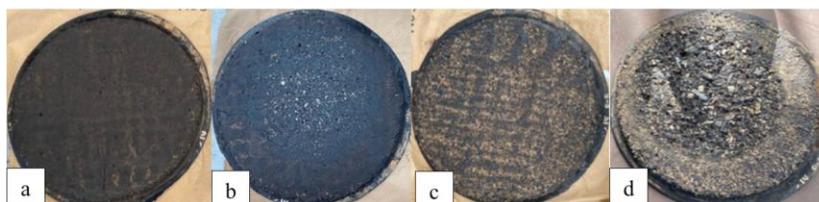


Ilustración 116 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul CQS-1H-PU
a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 16% (CQS-1H-PU).



Ilustración 117 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 11% (CQS-1H-PU).

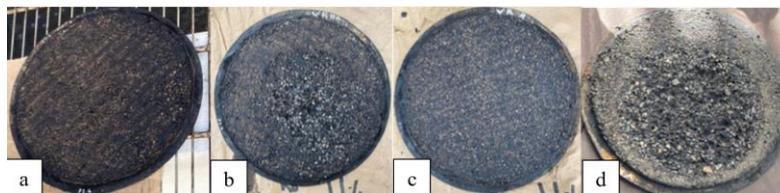


Ilustración 118 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 13% (CQS-1H-PU).

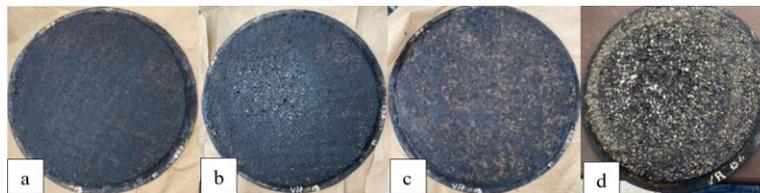


Ilustración 119 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 15% (CQS-1H-PU).



Ilustración 120 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul CQS-1H-P con emulsión del 10%.



Ilustración 121 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul CQS-1H-P con emulsión del 12%.

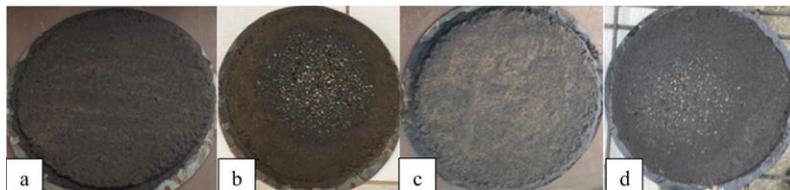


Ilustración 122 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul CQS-1H-P con emulsión del 14%



Ilustración 123 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul CQS-1H-P con emulsión del 16%

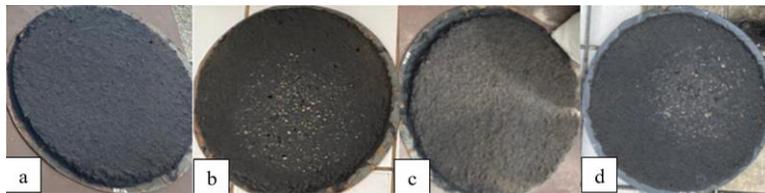


Ilustración 124 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa CQS-1H-P con emulsión del 10%

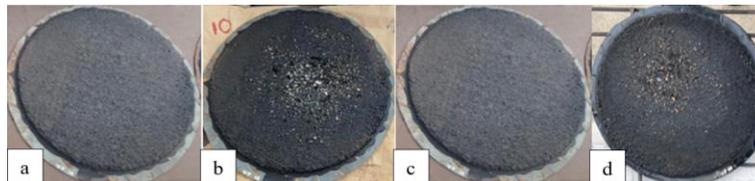


Ilustración 125 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa CQS-1H-P con emulsión del 12%

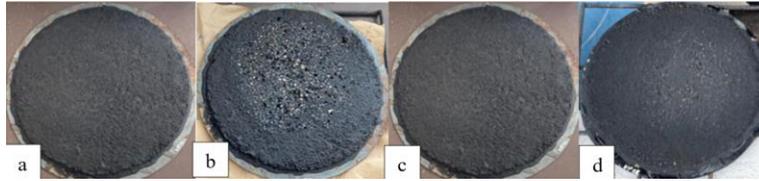


Ilustración 126 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa CQS-1H-P con emulsión del 14%

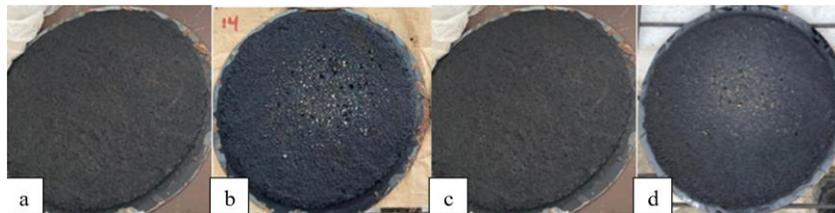


Ilustración 127 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa CQS-1H-P con emulsión del 16%



Ilustración 128 Resultados del ensayo de abrasión en húmedo mina Vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, saturada 1 hora c) Muestra seca antes del ensayo d) Muestra seca después del ensayo, saturada 6 días.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Para el ensayo se realizaron varias muestras con diferentes porcentajes de emulsión.

Los resultados para las dos canteras fueron los siguientes:

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 76 Resultados del ensayo Abrasión en húmedo con emulsión CQS-1h-PU (Rookaazul)

ABRASIÓN EN HÚMEDO														
Agregado	Cemento		Agua		Emulsión		Peso (gr)							
							1 HORA	P=P1-P2	P*f	6 DÍAS	P=P1-P2	P*f		
100 %	700	1%	7	14 %	98	10 %	70	P1	1623.78	2.62	86.20	1678.37	73.82	2428.68
								P2	1621.16			1604.55		
100 %	700	1%	7	14 %	98	12 %	84	P1	1645.3	4.99	164.17	1645.21	47.54	1564.07
								P2	1640.31			1597.67		
100 %	700	1%	7	14 %	98	14 %	98	P1	1641.11	2.33	76.66	1644.78	22.36	735.64
								P2	1638.78			1622.42		
100 %	700	1%	7	14 %	98	16 %	112	P1	1625.26	5.93	195.10	1637.38	10.01	329.33
								P2	1619.33			1627.37		

Fuente: Autoría propia

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 77 Resultados del ensayo Abrasión en húmedo con emulsión CQS-1h-P (Rookaazul)

ABRASIÓN EN HÚMEDO														
Agregado	Cemento		Agua		Emulsión		Peso (gr)							
							1 HORA	P=P1-P2	P*f	6 DÍAS	P=P1-P2	P*f		
100%	700	1%	7	13%	91	10%	70	P1	1634.78	19.4	638.26	1644.78	29.4	967.26
								P2	1615.38			1615.38		
100%	700	1%	7	13%	91	12%	84	P1	1635.77	4.32	142.13	1640.77	9.32	306.63
								P2	1631.45			1631.45		
100%	700	1%	7	13%	91	14%	98	P1	1652.89	-6.42	-211.22	1662.89	3.58	117.78
								P2	1659.31			1659.31		
100%	700	1%	7	13%	91	16%	112	P1	1664.73	9.54	313.87	1647.73	2.54	83.57
								P2	1655.19			1645.19		

Fuente: Autoría propia

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 78 Resultados del ensayo Abrasión en húmedo con emulsión CQS-1h-PU (Vipesa)

ABRASIÓN EN HÚMEDO														
Agregado		Cemento		Agua		Emulsión			Peso (gr)					
									1 HORA	P=P1-P2	P*f	6 DÍAS	P=P1-P2	P*f
100%	70	1%	7	12	84	9%	63	P1	1630.	19.34	636.2	1632.	80.26	2640.
	0			%					32		9	75		55
								P2	1610			1552.		
									.98			49		
100	700	1%	7	12	84	11	77	P1	1625	14.77	485.9	1617.	51.69	1700.
%				%		%			.53		3	33		60
								P2	1610			1565.		
									.76			64		
100	700	1%	7	12	84	13	91	P1	1654	3.71	122.0	1638.	23.22	763.9
%				%		%			.1		6	85		4
								P2	1650			1615.		
									.39			63		
100	700	1%	7	12	84	15	10	P1	1649	3.89	127.9	1640.	16.3	536.2
%				%		%	5		.16		8	15		7
								P2	1645			1623.		
									.27			85		

Fuente: Autoría propia

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 79 Resultados del ensayo Abrasión en húmedo con emulsión CQS-1h-P (Vipesa)

ABRASIÓN EN HÚMEDO														
Agregado		Cemento		Agua		Emulsión			Peso (gr)					
									1 HORA	P=P1-P2	P*f	6 DÍAS	P=P1-P2	P*f
100%	70	1%	7	12	84	10	70	P1	1637.	8.61	283.2	1647.8	18.61	612.
	0			%		%			89		7	9		27
								P2	1629.			1629.2		
									28			8		
100	700	1%	7	12	84	12	84	P1	1634.	7.26	238.8	1639.4	12.06	396.7
%				%		%			64		5	4		7
								P2	1627.			1627.3		
									38			8		
100	700	1%	7	12	84	14	98	P1	1659.	7.85	258.2	1657.5	5.85	192.4
%				%		%			59		6	9		6
								P2	1651.			1651.7		
									74			4		
100	700	1%	7	12	84	16	112	P1	1681.	3.6	118.4	1679.5	1.6	52.64
%				%		%			56		4	6		
								P2	1677.			1677.9		
									96			6		

Fuente: Autoría propia

El ensayo de abrasión en húmedo ayuda a determinar el desgaste que produce una muestra de mezcla de micropavimento durante un periodo de 5 minutos, esto simula una

inundación en donde la mezcla no debería presentar un alto grado de desgaste. Por lo tanto, en las tablas 76, 77, 78 y 79 observamos los resultados obtenidos durante 24 horas y 6 días saturadas por lo cual el ensayo cumple con los requisitos de diseño.

4.2.6. Ensayo de rueda cargada, Norma ISSA TB-109

4.2.6.1.Descripción

La prueba de rueda cargada está destinada a compactar mezclas bituminosas de agregado fino, por medio de una rueda recíproca cargada con neumáticos de caucho. La prueba se puede usar con fines de diseño y de tal forma establecer límites máximos para el contenido de asfalto a fin de evitar un lavado severo del asfalto bajo cargas de tráfico pesado.(ISSA Tb-109, 2018)

4.2.6.2.Equipos y Materiales

- Máquina de prueba de ruedas cargadas que consta de un marco de canal de acero
- Motor bridado
- Caja de presas, ubicada en el centro sobre la rueda.
- Rueda de goma suave, montada a una distancia horizontal suficiente entre la manivela de transmisión y el eje de la rueda para la trayectoria de desplazamiento de la rueda.
- Placas de montaje de muestras, fabricadas en acero de 0.70mmX76mm
- Marco de arena de acero
- Contador de revoluciones
- Balanza de 2000g
- Recipiente para la mezcla
- Espátula
- Horno a temperatura 60
- Arena fina de Ottawa

4.2.6.3.Procedimiento

Se realiza la mezcla como en el literal 4.2.3, la temperatura se mantiene a 25°C.



Ilustración 129 Mezcla para ensayo

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Preparar el molde para el ensayo de rueda cargada.

Colocar la mezcla en el molde y enrasar.



Ilustración 130 Muestra en moldes para ensayo de rueda cargada

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Dejar en el horno durante un mínimo de 15 horas y no más de 30 horas a una temperatura de 60°C.

La rueda se inspecciona y se limpia a fondo, luego se coloca la rueda sobre la muestra.

El contador se pone a cero y se inicia la compactación con el interruptor eléctrico.

Después de 1000 ciclos, la maquina se detiene, se descarga y se eliminan las partículas sueltas de la muestra.



Ilustración 131 Ensayo de rueda cargada (1000 ciclos)

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Se registra el peso de la muestra después del ensayo.

ENSAYO 100 CICLOS

Pesar 200 gramos de arena a una temperatura de 80°C



Ilustración 132 Arena Ottawa en el horno

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Extender la arena uniformemente en el marco y cubrir con la tira de metal



Ilustración 133 Colocación de arena Ottawa en muestra.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

La aplicación de arena debe completarse en 100 ciclos.

El marco de arena está centrado, con la goma y asegurar para evitar la pérdida de arena.



Ilustración 134 Muestra en maquina rueda cargada (100 ciclos).

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Retirar el exceso de arena sobre la muestra de ensayo.



Ilustración 135 Retirar exceso de arena Ottawa después del ensayo.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Se registra el peso de la muestra después del ensayo.



Ilustración 136 Peso de la muestra después del ensayo

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

4.2.6.4.Resultados

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 10% (CQS-1H-PU)



Ilustración 137 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 12% (CQS-1H-PU)



Ilustración 138 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 14% (CQS-1H-PU)



Ilustración 139 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 16% (CQS-1H-PU)

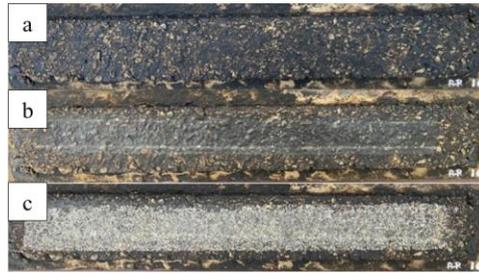


Ilustración 140 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 9% (CQS-1H-PU)



Ilustración 141 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 11% (CQS-1H-PU)



Ilustración 142 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 13% (CQS-1H-PU)



Ilustración 143 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con 1.5% resina de poliuretano con emulsión del 15% (CQS-1H-PU)



Ilustración 144 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Vipesa CQS-1H-PU a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con polímero con emulsión del 10% (CQS-1H-P)



Ilustración 145 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con polímero con emulsión del 12% (CQS-1H-P)

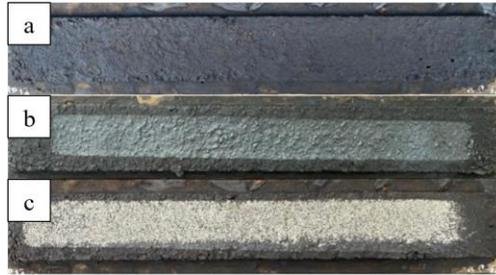


Ilustración 146 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000 ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con polímero con emulsión del 14% (CQS-1H-P)



Ilustración 147 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000 ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Rookaazul con polímero con emulsión del 16% (CQS-1H-P)

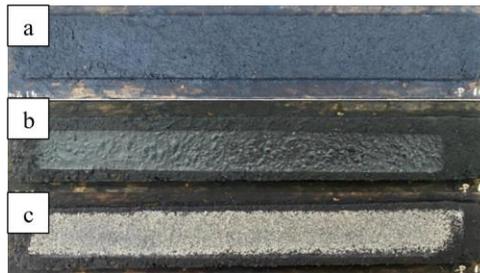


Ilustración 148 Resultados del ensayo de rueda cargada mina Rookaazul-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000 ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con polímero con emulsión del 10% (CQS-1H-P)

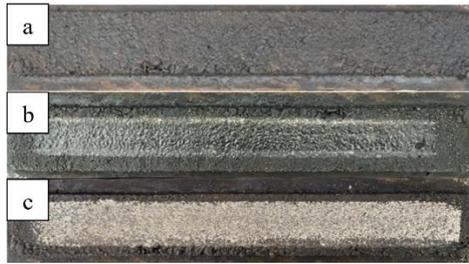


Ilustración 149 Resultados del ensayo de rueda cargada mina vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con polímero con emulsión del 12% (CQS-1H-P)



Ilustración 150 Resultados del ensayo de rueda cargada mina vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con polímero con emulsión del 14% (CQS-1H-P)



Ilustración 151 Resultados del ensayo de rueda cargada mina vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Mina Vipesa con polímero con emulsión del 16% (CQS-1H-P)



Ilustración 152 Resultados del ensayo de rueda cargada mina vipesa-CQS-1H-P a) Muestra seca antes del ensayo b) Muestra seca después del ensayo, 1000 ciclos c) Muestra seca después del ensayo, 100 ciclos con arena Ottawa.

Fuente: Autoría propia (Laboratorio Emuldec)

Para el ensayo se realizaron varias muestras con diferentes porcentajes de emulsión.

Los resultados para las dos canteras fueron los siguientes:

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 80 Resultados del ensayo Rueda Cargada con emulsión CQS-1h-PU (Rookaazul)

RUEDA CARGADA											
Agregado	Cemento	Agua		Emulsión		1000 vueltas	Arena	Diferencia gr	Ganancia gr/m ²		
100%	500	1%	5	14%	70	10%	50	881.25	884.70	3.45	277.67
100%	500	1%	5	14%	70	12%	60	889.45	894.28	4.83	388.73
100%	500	1%	5	14%	70	14%	70	851.63	859.99	8.36	672.84
100%	500	1%	5	14%	70	16%	80	852.56	867.02	14.46	1163.78

Fuente: Autoría propia

Cantera: Rookaazul

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 81 Resultados del ensayo Rueda Cargada con emulsión CQS-1h-P (Rookaazul)

RUEDA CARGADA												
Agregado	Cemento	Agua	Emulsión	1000 vueltas	Arena	Diferencia gr	Ganancia gr/m2					
100%	500	1%	5	13%	65	10%	50	872.9	875.50	2.6	209.26	
100%	500	1%	5	13%	65	12%	60	852.92	857.75	4.83	388.73	
100%	500	1%	5	13%	65	14%	70	874.75	879.69	4.94	397.59	
100%	500	1%	5	13%	65	16%	80	840.09	846.59	6.5	523.14	

Fuente: Autoría propia

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-PU

Tabla 82 Resultados del ensayo Rueda Cargada con emulsión CQS-1h-PU (Vipesa)

RUEDA CARGADA												
Agregado	Cemento	Agua	Emulsión	1000 vueltas	Arena	Diferencia gr	Ganancia gr/m2					
100%	500	1%	5	12%	60	9%	45	858.31	861.98	3.67	295.37	
100%	500	1%	5	12%	60	11%	55	908.18	912.01	3.83	308.25	
100%	500	1%	5	12%	60	13%	65	871.38	878.68	7.3	587.53	
100%	500	1%	5	12%	60	15%	75	869.56	881.06	11.5	925.55	

Fuente: Autoría propia

Cantera: Vipesa

Emulsión: CQS-1H-P

Tabla 83 Resultados del ensayo Rueda Cargada con emulsión CQS-1h-P (Vipesa)

RUEDA CARGADA											
Agregado	Cemento	Agua	Emulsión	1000 vueltas	Arena	Diferencia gr	Ganancia gr/m ²				
100%	500	1%	5	12%	60	10%	50	856.29	861.90	5.61	451.51
100%	500	1%	5	12%	60	12%	60	848.91	855.28	6.37	512.68
100%	500	1%	5	12%	60	14%	70	865.18	872.02	6.84	550.50
100%	500	1%	5	12%	60	16%	80	856.32	863.09	6.77	544.87

Fuente: Autoría propia

Esta prueba es uno de los dos ensayos que ayuda a determinar el contenido óptimo de asfalto y evitar la falta y excesos en el contenido de asfalto en micropavimento.

Analizando los contenidos de asfalto resultantes de la adhesión de la arena, son considerados los contenidos máximos de asfalto que no debe sobrepasar el límite máximo de 538 gr/cm² la misma que se encuentra especificada por la ISSA Tb-109, para vías de tráfico pesado.

Con los resultados que se obtuvieron en los ensayos de Abrasión en Húmedo y Rueda cargada, se procede a obtener el porcentaje óptimo de emulsión, el cual es la intersección de las dos curvas que se forman.

Tabla 84 Datos para obtener porcentaje óptimo de emulsión CQS-1h-P (Rookaazul)

Porcentaje de Emulsión Asfáltica (CQS-1h-P) (%)	RUEDA CARGADA	ABRASIÓN EN HÚMEDO
	Ganancia (gr/m ²)	Perdida (gr/m ²)
10%	209.26	967.26
12%	388.73	306.63
14%	397.59	117.78
16%	523.14	83.57

Fuente: Autoría propia

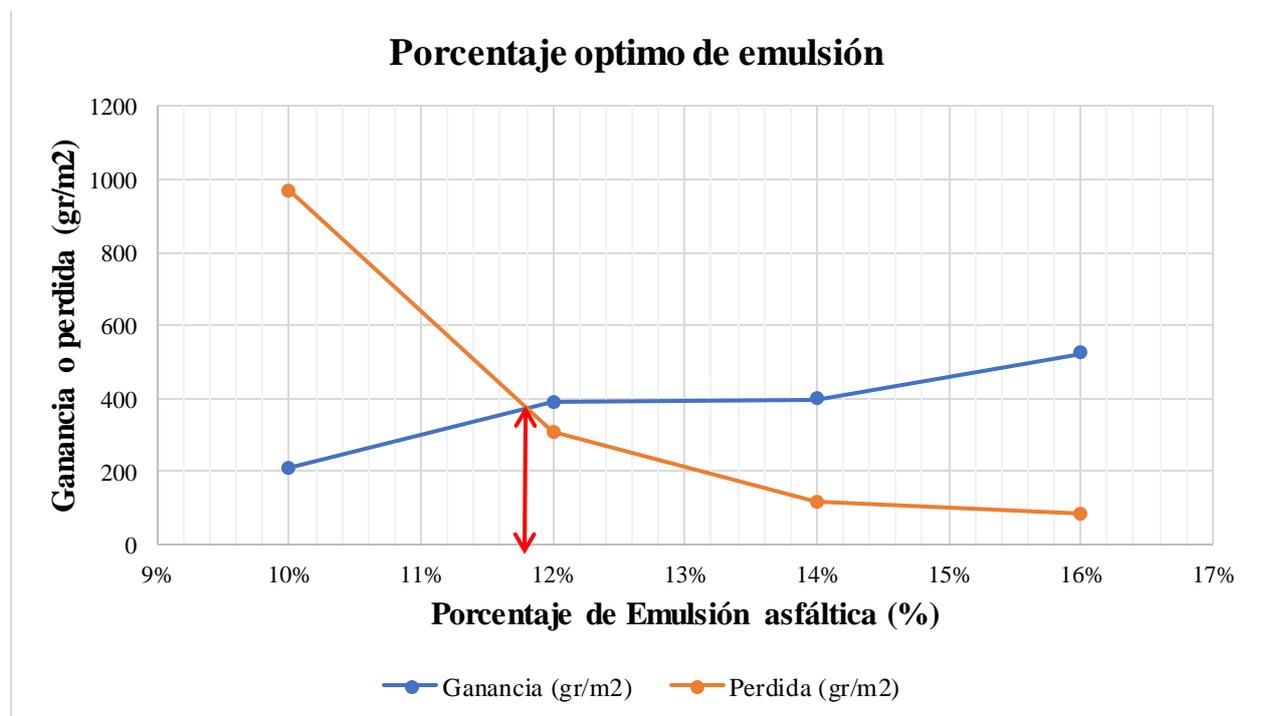


Figura 5 Grafica para la determinación de contenido óptimo en función a la pérdida por abrasión e incremento de rueda cargada, con emulsión CQS-1h-P (Rookaazul).

Fuente: Autoría propia

Tabla 85 Datos para obtener porcentaje óptimo de emulsión CQS-1h-PU (Rookaazul)

Porcentaje de Emulsión Asfáltica (CQS-1h-PU) (%)	RUEDA CARGADA	ABRASIÓN EN HÚMEDO
	Ganancia (gr/m ²)	Perdida (gr/m ²)
10%	277.67	2428.68
12%	388.73	1564.07
14%	672.84	735.64
16%	1163.78	329.33

Fuente: Autoría propia

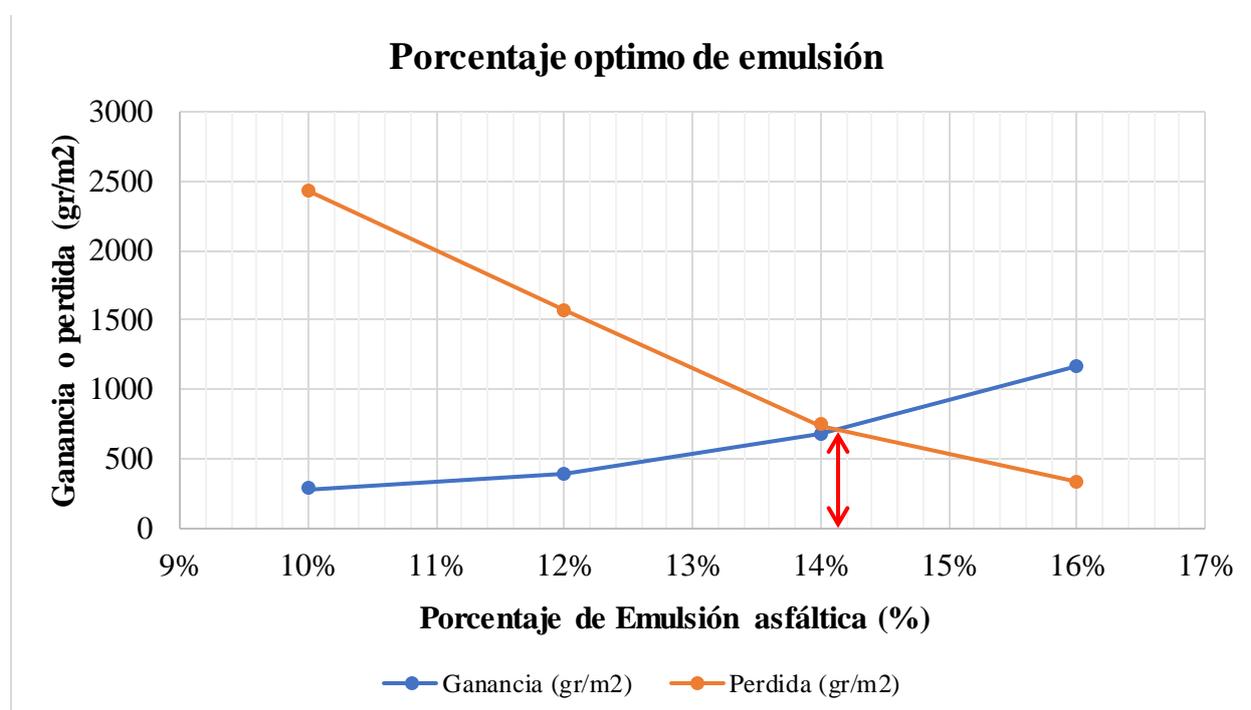


Figura 6 Grafica para la determinación de contenido optimo en función a la perdida por abrasión e incremento de rueda cargada, con emulsión CQS-1h-PU (Rookaazul).

Fuente: Autoría propia

Tabla 86 Datos para obtener porcentaje óptimo de emulsión CQS-1h-P (Vipesa)

Porcentaje de Emulsión Asfáltica (CQS-1h-P) (%)	RUEDA CARGADA	ABRASIÓN EN HÚMEDO
	Ganancia (gr/m ²)	Perdida (gr/m ²)
10%	451.51	612.27
12%	512.68	396.77
14%	550.50	192.46
16%	544.87	52.64

Fuente: Autoría propia

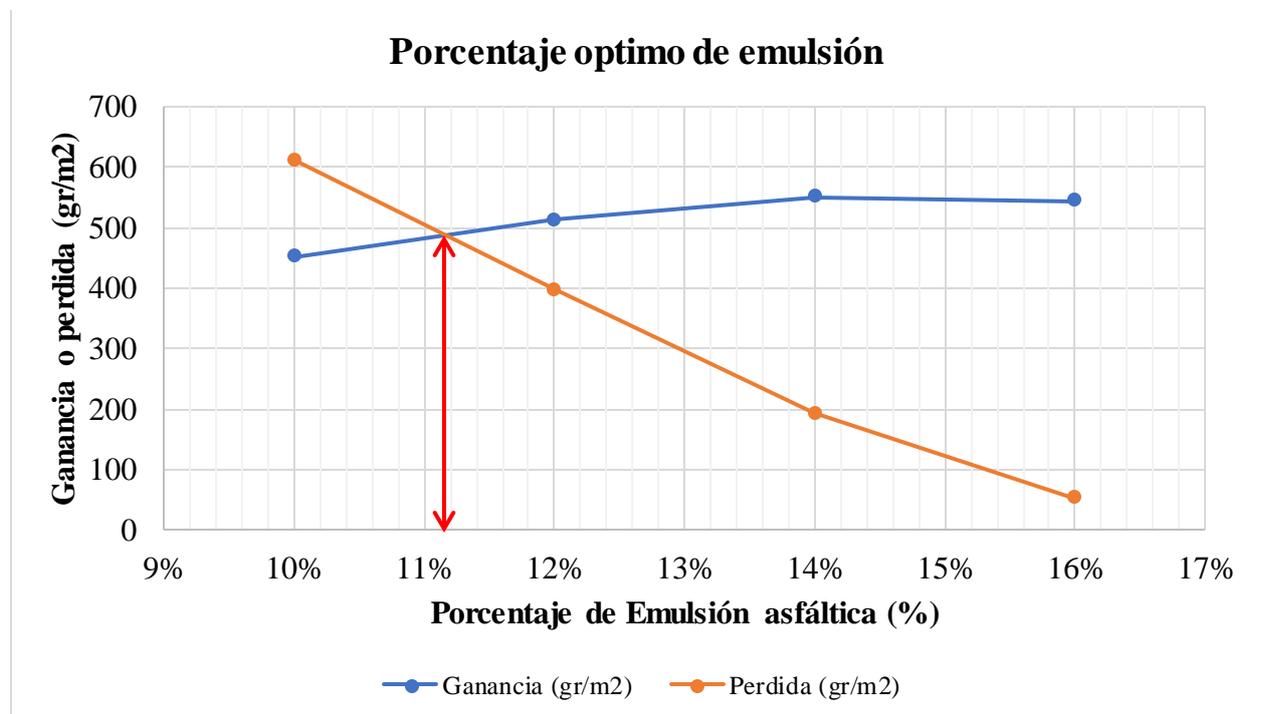


Figura 7 Figura 6 Grafica para la determinación de contenido optimo en función a la perdida por abrasión e incremento de rueda cargada, con emulsión CQS-1h-P (Vipesa).

Fuente: Autoría propia

Tabla 87 Datos para obtener porcentaje óptimo de emulsión CQS-1h-PU (Vipesa)

Porcentaje de Emulsión Asfáltica (CQS-1h-PU) (%)	RUEDA CARGADA	ABRASIÓN EN HÚMEDO
	Ganancia (gr/m ²)	Perdida (gr/m ²)
9%	295.37	2640.55
11%	308.25	1700.60
13%	587.53	763.94
15%	925.55	536.27

Fuente: Autoría propia

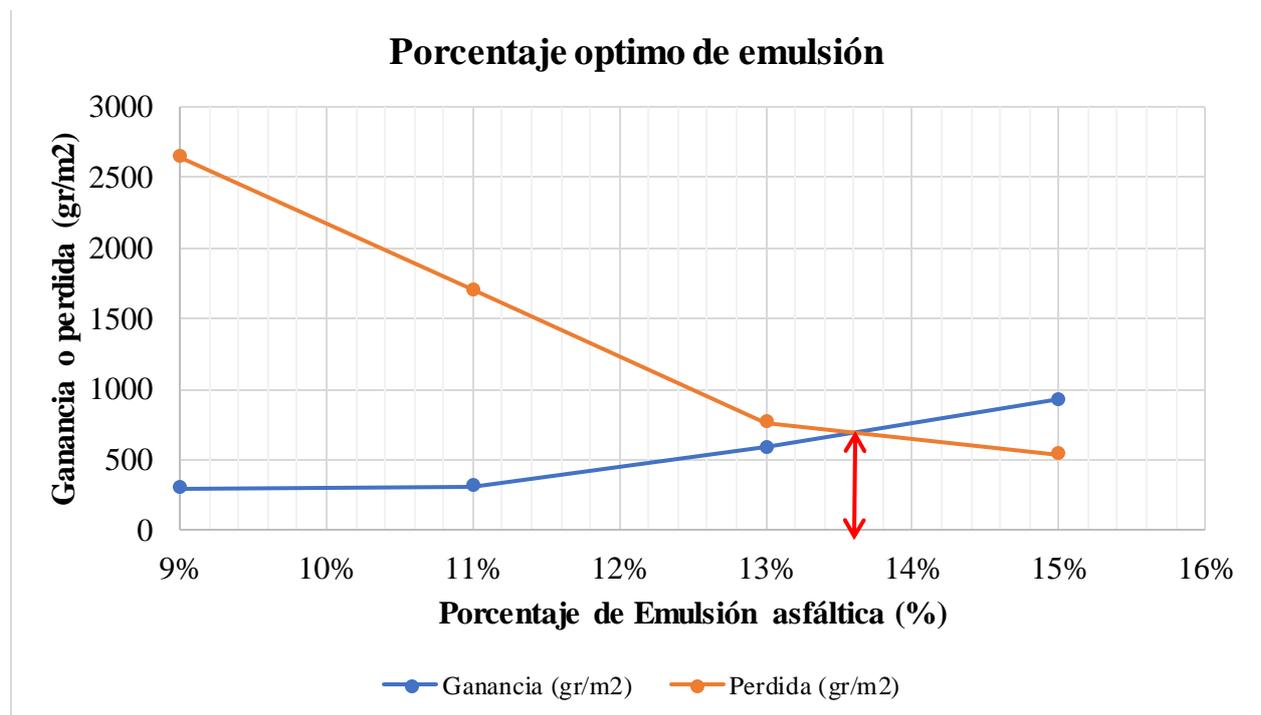


Figura 8 Grafica para la determinación de contenido óptimo en función a la pérdida por abrasión e incremento de rueda cargada, con emulsión CQS-1h-PU (Vipesa).

Fuente: Autoría propia

La intersección de ambas curvas, da como resultado el Porcentaje Óptimo de Emulsión, que para el diseño de las minas a utilizar son las siguientes:

Tabla 88 Resultados del porcentaje óptimo de emulsión para las canteras.

Mina	Porcentaje Optimo de Emulsión	
	CQS-1h-P	CQS-1h-PU
Rookaazul	11.80%	14.20%
Vipesa	11.20%	13.60%

Fuente: Autoría propia

Hay que tomar en cuenta que al añadir un porcentaje mayor a los obtenidos se evidenciará exudación en el micropavimento y al añadir un porcentaje menor existirá un severo desprendimiento de partículas del micropavimento.

4.3.Comparación de mezclas

AGREGADOS

Tabla 89 Resultados de los ensayos de calidad de los agregados

NORMA			ENSAYOS DE AGREGADOS		uds.	mí n.	máx.	Asfaltar	Cum ple	Rookaa zul	Cum ple	Vipesa	Cum ple
AST M	AASH TO	ISSA											
C-117	T 27-11		Faja Granulométrica			-	-	Tipo III	SI	Tipo III	SI	Tipo III	SI
D43 18			ÍNDICE DE PLASTICIDAD			NP		No Plástico	SI	No Plástico	SI	No Plástico	SI
C-29	T-29		Peso Unitario	Compactado	g/c m3	-	-	1.58	-	1.57	-	1.77	-
				Suelto	g/c m3	-	-	1.48	-	1.35	-	1.63	-
C-131	T-96		Abrasión (Maquina de los Ángeles)			-	0.3	17.97%	SI	19.80%	SI	10.95%	SI
C-128	T-84		Gravedad Especifica	Gravedad específica	g/c m3	-	-	2.53	-	2.54	-	2.56	-
				Gravedad específica SSS	g/c m3	-	-	2.59	-	2.63	-	2.61	-
				Gravedad específica aparente	g/c m3	-	-	2.68	-	2.78	-	2.69	-
				% Absorción		-	-	2.26%	-	3.38%	-	2.00%	-
		TB 145	Valor de Azul de Metileno		mg-g	-	9	7	SI	7	SI	9	SI
			Equivalente de Arena			65 %	-	60.96%	NO	72.64%	SI	71.06%	SI
		D-2419											

Fuente: Autoría propia

Granulometría

Al realizar una primera granulometría en las Tres canteras que se utilizaron para la presente investigación, estas no encajaban en las fajas granulométricas para el diseño de

micropavimento, por lo cual se modificó la granulometría original haciéndola encajar dentro de la faja escogida.

Con las granulometrías modificadas de las tres canteras, se encajó dentro de la faja granulométrica **TIPO III**, siendo el agregado de Rookaazul el material mejor centrado.

Índice de plasticidad

El índice de plasticidad del agregado de las minas Asfaltar, Rookaazul y Vipesa es nulo por lo tanto el material es no plástico y cumple con los ensayos de calidad de los agregados.

Abrasión (Maquina de los ángeles)

Los resultados de las minas Asfaltar, Rookaazul y Vipesa no presentan un alto grado de desgaste ya que el porcentaje máximo es de 30% para diseño de micropavimento.

Azul de metileno

Los resultados del ensayo de Azul de metileno dieron un valor para la mina asfaltar de 7mg/g, mina Rookaazul de 7 mg/g y mina Vipesa 9mg/g por lo tanto cumple con los ensayos de calidad de agregados, es decir que los materiales no son reactivos, la norma recomienda como valor máximo de 9 mg/g para la aplicación y tendido de un micropavimento.

Equivalente de arena

Los resultados obtenidos en la ejecución de los ensayos dieron un valor promedio de equivalente de arena por cada cantera, la mina asfaltar llego a un promedio de 60.96% por lo tanto no cumple con los ensayos de calidad de agregados para micropavimento, la mina Rookaazul llego a un promedio de 72.64% cumple con la norma y la mina Vipesa a un promedio de 71.06% cumple, que de acuerdo con las recomendaciones de la ISSA no debe ser menor a 65% del equivalente de arena.

EMULSIÓN

Tabla 90 Resultados de los ensayos de calidad de la emulsión

NORMA			ENSAYOS PARA EMULSIÓN								
AS T M	AASH TO	IS S A	ENSAYO	UNID AD	MÍNI MO	MÁXI MO	CQS- 1h-P	CUMP LE	CQS- 1h-PU	CU MP LE	
T- 59	D- 244/D- 88		Viscosidad Saybolt Furol	25° C	s	20	100	22	SI	25	SI
T- 59	D- 24 4		Estabilidad			-	1%	0.77%	SI	0.35%	SI
T- 59	D- 24 4		Asentamiento			-	5%	4.01%	SI	8.98%	NO
T- 59	D- 24 4		Retenido en la malla N°20			-	0.1	0.004 %	SI	0.020 %	SI
T- 58	D- 24 4		Carga de la partícula			-	-	Catió nica	SI	Catió nica	SI
T- 59	D- 24 4		Ensayo de pH			-	7	4.35	SI	3.1	SI
T- 59	D- 24 4		Residuo asfáltico por Evaporación			62	-	62.48 %	SI	60.64 %	SI

Fuente: Autoría propia

Viscosidad Saybolt Furol

Las emulsiones analizadas mediante el ensayo de viscosidad son: CQS-1h-P de 22 segundos y CQS-1h-PU de 25 segundos, los mismos se encuentran dentro del rango establecido por la norma que es de 20 a 100 segundos con una temperatura de 25C por lo tanto son emulsiones manejables, facilitando su bombeo tanto en planta como en obra.

Estabilidad

A las 24 horas una emulsión CQS-1h-P nos dió un valor de 0.77% de estabilidad y para emulsión CQS-1h-PU dió 0.35% de estabilidad, los cuales son menores al 1% establecidos por la norma ASTM D-244.

Asentamiento

El ensayo de asentamiento a los 5 días nos dió como resultado para emulsión CQS-1h-P de 4.01% y emulsión CQS-1h-PU de 8.98% por lo tanto para emulsión con 1.5% de resina

de poliuretano no cumple con la especificación, mientras que para emulsión con polímero cumple.

Retenida malla No.20

El ensayo de retenido en malla No.20 se obtuvo para emulsión CQS-1h-P de 0.004% y para emulsión CQS-1h-PU de 0.020%, los cuales se encuentran dentro del rango establecido que va entre 0-0.1%, esto indica que las emulsiones no contienen aglomerado bituminoso y están libres de contaminantes.

Carga de la partícula

Se obtuvo en el ensayo de carga de la partícula, que las emulsiones analizadas son catiónicas (carga positiva). Es decir que va a existir una unión adecuada entre el agregado y la emulsión.

Ensayo pH

Los resultados obtenidos en el ensayo de pH para emulsión CQS-1h-P es de 4.35 y para emulsión CQS-1h-PU es de 3.1, los mismos que se encuentran dentro del rango establecido por la norma que es de máximo 7.

Residuo por evaporación

En el ensayo de residuo por evaporación se obtuvo el valor de 62.48% para emulsión CQS-1h-P y para emulsión CQS-1h-PU de 62.2%, por lo tanto, las emulsiones cumplen con el mínimo de 62% de asfalto residual indicado en la norma.

4.4.Diseño de los micropavimentos

La Emulsión deberá dosificarse de acuerdo a los resultados de los ensayos de abrasión en húmedo junto con el ensayo de rueda cargada, la mismas que se encuentran descritas en la norma ISSA Tb 100, con el que se determinará el contenido óptimo de emulsión de la mezcla,

se debe considerar una pérdida máxima de 538 g/m² para en ensayo de abrasión en húmedo y un máximo de 538 g/m² de adhesión.

Mediante el ensayo de cohesión desarrollado en las normas de ensayo ISSA Tb 139 se determinó las características de curado de las mezclas para el micropavimento.

Los porcentajes que se indican para la mezcla están en función al peso unitario del agregado, el mismo que debe ser tomado en cuenta en la ejecución de la obra, el exceso de agua en la mezcla originaria definitivamente dará un tiempo de rotura y curado más alto.

Con el porcentaje óptimo de emulsión se volvió a realizar los ensayos para prueba de desempeño descrito en la tabla 91 obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 91 Resultados de pruebas de desempeño

Ensayos	Resultados de pruebas de desempeño				
	Unidad	Rookaazul		Vipesa	
		CQS-1h-P	CQS-1h-PU	CQS-1h-P	CQS-1h-PU
Tiempo de mezcla	s	183	196	199	205
Cohesión 30 min	kg-cm	9	13	9	13
Cohesión 60 min	kg-cm	11	14	11	14
Cohesión 120 min	kg-cm	16	16	17	16
Cohesión 180 min	kg-cm	18	19	20	20
Abrasión en húmedo (saturación – 1 hora)	g/m ²	146.08	126.34	167.46	169.44
Abrasión en húmedo (saturación – 6 días)	g/m ³	451.39	487.58	414.87	396.44
Rueda Cargada (adherencia de arena)	g/m ⁴	394.37	249.5	371.01	360.56

Fuente: Autoría propia

La tasa de aplicación promedio para el proceso constructivo, partiendo del peso unitario del agregado se obtendrá la cantidad de material granular en kg a utilizar en 1 m², con un espesor de 0.01m³ descrito en las tablas 92, 93, 94 y 95.

Tabla 92 Cantidad de material granular (Rookaazul)

Mina Rookazul			
Parámetros	Cantidad	Unidad	
Peso Unitario	1572.80	kg/m ³	
Espesor	0.01	M3	
Peso agregado	15.73	kg/m²	

Fuente: Autoría propia

Tabla 93 Fórmula de trabajo para Micropavimento TIPO III (Mina Rookaazul)

Fórmula de trabajo para Micropavimento TIPO III (Mina Rookaazul)				
	CQS-1h-P		CQS-1h-PU	
	Porcentaje	Pesos (kg)	Porcentaje	Pesos (kg)
Agregado	100%	15.73	100%	15.73
Cemento	1%	0.157	1%	0.16
Agua	17%	2.674	18%	2.83
Emulsión	11.8%	1.856	14.2%	2.23

Fuente: Autoría propia

Tabla 94 Cantidad de material granular (Vipesa)

Mina Vipesa			
Parámetros	Cantidad	Unidad	
Peso Unitario	1771.38	kg/m ³	
Espesor	0.01	m	
Peso agregado	17.71	kg/m²	

Fuente: Autoría propia

Tabla 95 Fórmula de trabajo para Micropavimento TIPO III (Mina Vipesa)

Formula de trabajo para Micropavimento TIPO III (Mina Vipesa)				
	CQS-1h-P		CQS-1h-PU	
	Porcentaje	Pesos (kg)	Porcentaje	Pesos (kg)
Agregado	100%	17.71	100%	17.71
Cemento	1%	0.18	1%	0.18
Agua	13%	2.30	15%	2.66
Emulsión	11.2%	1.98	13.6%	2.41

Fuente: Autoría propia

En las tablas 92, 93, 94 y 95. Podemos observar que el requerimiento de emulsión modificada con resina de poliuretano en la mezcla es mayor que en el diseño de mezcla con emulsión modificada con polímero.

Conclusiones V

5.1. Conclusiones

- Al realizar una primera granulometría en las Tres canteras provenientes de la provincia del Azuay que se utilizaron para la presente investigación, estas no encajaban en las fajas granulométricas para el diseño de micropavimento, por lo cual se ajustó la granulometría dentro de la faja escogida, Tipo III, siendo el agregado de Rookaazul el material que mejor calza en las especificaciones.
- Al obtenerse resultados negativos en el ensayo de equivalente de arena de todas las minas, se decidió modificar las características físicas de los agregados ensayados, ya que estos materiales no fueron maquilados con las exigencias requeridas previamente para agregados de micropavimentos, la solución entonces a este problema será realizar ajustes y correcciones durante el proceso de trituración y de ser el caso con un lavado de los materiales.
- Para la presente investigación se usaron una emulsión asfáltica que fue entregada por la empresa EMULDEC con un contenido de 0.35% de polímero y la emulsión asfáltica fabricada en la presente investigación fue modificada con 1.5% de resina de poliuretano.
- Las emulsiones analizadas mediante el ensayo de viscosidad demuestran resultados favorables resumidos a un fácil bombeo del material tanto en planta como en obra.
- A las 24 horas una emulsión CQS-1h-P nos dió un valor de 0.77% de estabilidad y para emulsión CQS-1h-PU dió 0.35% de estabilidad, los cuales son menores al 1% establecidos por la norma ASTM D-244.
- A los 5 días para una emulsión CQS-1h-P nos dió 4.01% de asentamiento y para emulsión CQS-1h-PU dió 8.98% de asentamiento, por lo tanto, para emulsión con 1.5%

de resina de poliuretano no cumple con la especificación, mientras que para emulsión con polímero si cumple.

- Se obtuvo en el ensayo de carga de la partícula, que las emulsiones analizadas son catiónicas (carga positiva), es decir que va a existir una unión adecuada entre el agregado y la emulsión.
- Los resultados obtenidos en el ensayo de pH para emulsión CQS-1h-P es de 4.35 y para emulsión CQS-1h-PU es de 3.1, los mismos que se encuentran dentro del rango establecido por la norma que es de máximo 7.
- El diseño de micropavimento con materiales de la mina Rookaazul utilizando emulsión CQS-1h-P, presenta una fórmula de trabajo con los siguientes porcentajes: Agregado 100%, Cemento 1%, Agua 17% y Emulsión 11.8%.
- El diseño de micropavimento de la mina Rookaazul utilizando emulsión CQS-1h-PU, su fórmula de trabajo en porcentaje es: Agregado 100%, Cemento 1%, Agua 18% y Emulsión 14.2%.
- El diseño de micropavimento de la mina Vipesa utilizando emulsión CQS-1h-P, su fórmula de trabajo en porcentaje es: Agregado 100%, Cemento 1%, Agua 13% y Emulsión 11.2%.
- El diseño de micropavimento de la mina Vipesa utilizando emulsión CQS-1h-PU, su fórmula de trabajo en porcentaje es: Agregado 100%, Cemento 1%, Agua 15% y Emulsión 13.6%.
- En 1 m² de micropavimento con espesor de 0.01 m, se requiere 15.73 kg de agregado proveniente de la cantera Rookaazul, en el caso de la cantera Vipesa se requiere 17.71 kg.
- Comparando los resultados obtenidos con CQS-1h-P y CQS-1h-PU, se obtuvo que el porcentaje de emulsión necesaria para el diseño de micropavimento con la emulsión

modificada con resina de poliuretano es mayor respecto del porcentaje de emulsión modificado con polímero en ambas Minas.

5.2.Recomendaciones

- Se recomienda que se haga un análisis del proceso de obtención del material, con la intención de mejorar la calidad del producto obtenido.
- Para la determinación de calidad de los agregados, se deben procurar un mayor número de ensayos con la finalidad de verificar y validar las exigencias de calidad y especificaciones a utilizarse en un proyecto de micropavimento, los cuales se encuentran normados por la ISSA A 143.
- El agua a ser utilizada en el diseño deberá estar pura y limpia de cualquier tipo de contaminación orgánica o química. Se recomienda, agua potable.
- Los porcentajes para el diseño de micropavimento, están en función del peso seco del material granular, si existe una alteración como lo es el exceso de agua en la mezcla, originará un tiempo de curado y rotura más alto.

CAPITULO VI

AASHTO T-96. (2002). *Abrasión del agregado grueso usando la Maquina de los Ángeles.*

AASHTO T 49-97. (s. f.). *Penetración del residuo.*

Aldana, J. (2021). *Análisis y Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de un diseño de mezcla para micropavimentos, utilizando arena de rio y arena triturada como agregado fino, aplicado a carreteras de segundo orden.* [Universidad de San Carlos de Guatemala].

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/16408/1/Jorge%20Antonio%20Aldana%20L%C3%B3pez.pdf>

Amagua, J. (2021). *Diseño de un pavimento asfáltico drenante basado en un material de protección ambiental de dióxido de titanio (TiO₂), aplicado en el corredor vial de alto tráfico, Sector El Trébol, Cantón Quito.* [Universidad de las Fuerzas Armadas].
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/24119/T-ESPE-044388.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ASTM C-29. (2002). *Peso Unitario.*

ASTM C-88. (2009). *Resistencia de Sulfatos de sodio o Sulfatos de Magnesio.*

ASTM C-117. (2001). *Análisis Granulométrico de los agregados.*

ASTM C-128. (2004). *Ensayo de densidad relativa (Gravedad específica).*

ASTM D 113. (s. f.). *Método para determinar ductilidad.*

ASTM D-5. (2005). *Ensayo Penetración de materiales bituminosos.*

ASTM D-36. (2000). *Punto de ablandamiento del asfalto.*

ASTM D-75. (2003). *Muestreo del agregado mineral.*

ASTM D-244. (2004). *Ensayo asfalto emulsificador*.

ASTM D-2419. (2002). *Equivalente de arena de suelos y agregado fino*.

ASTM D4402. (s. f.). 3.3.15. *Viscosidad con el Viscosímetro Brookfield*.

ASTM-4318. (2005). *Índice de plasticidad*.

Barrionuevo, L. (2012a). *Diseño del micropavimento utilizando emulsión asfáltica modificada con polímero, con agregado procedente de la cantera Colagua de la ciudad de San Miguel, Provincia de Bolívar*. [Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/457/1/T- UCE- 0011-20.pdf>

Barrionuevo, L. (2012b). *Diseño del micropavimento utilizando emulsión asfáltica modificada con polímero, con agregado procedente de la cantera Colagua de la ciudad de San Miguel, Provincia de Bolívar*. [Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/457/1/T- UCE- 0011-20.pdf>

Blanco, V. (1987). Breve historia de las carreteras. *Revista Obras Publicas*, 11.

Bobadilla, J., & Tigre, J. (2022, junio). Uso de polímeros en asfalto: Una revisión. *Revista Gaceta Técnica*, 1. <https://revistas.uclave.org/index.php/gt/article/view/3719/2403>

Camargo, H., & Suárez, A. (2010). *Diagnóstico de las nuevas tecnologías empleadas para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente mdc-2* [Universidad Militar Nueva Granada]. <https://core.ac.uk/download/pdf/143448549.pdf>

Castro, J. (2021). *Incidencia de la adición de polímeros en los hormigones asfálticos convencionales mezclados en planta para vías en el cantón Ambato, Provincia de Tungurahua*. [Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33539/1/Tesis%20I.%20C.%201521%20-%20Castro%20Faz%20Jonathan%20Stallin.pdf>

Chimborazo. (2012). *Diseño de Mezclas Asfálticas Mediante el Método SUPERPAVE* [Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/760/1/ti887.pdf>

EMIS. (2020). On and for emerging markets [Amazon]. *Ingeniería*. <https://www.emis.com/php/company-profile/EC/main.html>

Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes. (2013).

Figuerola, A., Reyes, F., Hernández, D., Jiménez, C., & Bohórquez, N. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 11.

García, S. (2012). *Utilización de Hormigón reciclado como árido para micro aglomerado asfálticos en frío destinados a tratamientos de mantención de pavimentos*. [De Chile]. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112105/cf-garcia_sg.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Guevara, L. (2009). *Modelo de mantenimiento vial que permita desarrollar planes de conservación en la capa De rodadura para vías Inter parroquiales de la Provincia de Tungurahua* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2198/1/Mestr%C3%ADa%20V.%20T.%20059%20-%20Guevara%20Rodr%C3%ADguez%20Luis%20An%C3%ADbal.pdf>

INV-742-13.pdf. (s. f.). Recuperado 5 de agosto de 2022, de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-742-13.pdf>

ISSA Tb-100. (2020). *Abrasión en húmedo*.

ISSA Tb-106. (2015). *Ensayo de Consistencia*.

ISSA Tb-109. (2018). *Ensayo Rueda Cargada*.

ISSA Tb-113. (2017). *Tiempo de mezcla*.

ISSA Tb-139. (2017). *Ensayo de cohesión*.

ISSA Tb-145. (2013). *Método de ensayo para determinar el valor de azul de metileno en partículas finas de agregado mineral*.

M-MMP-4-05-024-02.pdf. (s. f.). Recuperado 5 de agosto de 2022, de <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-024-02.pdf>

Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación A143. (2010). https://cdn.ymaws.com/www.slurry.org/resource/resmgr/technical_bulletins/Spanish_TB/A143_Final_Revision_for_Publ.pdf

Normas de rendimiento recomendadas para slurry seal de asfalto emulsionado A105. (2010).

Palomino, M., & Rodríguez, E. (2017). *Importancia en la selección de criterios de diseño en el desempeño de micropavimentos aplicado al proyecto vial Conococha – Recuay*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Pavimentos de Poliuretano—Información y Aplicaciones. (2020, marzo 3). Fixer. <https://fixer.es/blog/pavimentos-poliuretano/>

Pérez, F. (2008). *Estudio propagación de fisuras en pavimentos asfálticos tratados superficialmente mediante resina de PU* [Universidad Politécnica de Catalunya]. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5029/Mem%20i%20annexes%20PFC_Sergio%20Gallejo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Recommended Performance Guideline For Polymer Modified Emulsified Asphalt Slurry Seal. (2020).

Rodríguez, E. (2019). *Aplicación de micropavimentos para la conservación de la carpeta asfáltica de la avenida San Remo del distrito de Puente Piedra, 2019*. [Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45691>

Rojas, F., Romero, P., & Vinuesa, C. (2014). Metodología de diseño de micropavimento de bajo costo para suelo tipo Limo orgánico arenoso. *Universidad Fuerzas Armadas*. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8233/1/AC-C-ESPE-047876.pdf>

Rujel Atoche, C. E., & Solórzano Durand, K. J. (2015). *Importancia de la determinación de un micropavimento en frío como capa de rodadura de alta performance para el proyecto Conococha – Recuay* [Universidad Ricardo Palma]. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2187>

Salazar, J. (2011). Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano. *Dialnet*, 1, 14.

Solís, G., & Moreno, E. (2012). Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. *Alconpat*, 2(1), 21.

Tapia, R. (2016). *Evaluación Ex-post de la implementación del programa de mantenimiento vial por niveles de servicio en la red vial estatal del Ecuador* [Católica del Ecuador].

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11084/TESIS%20SUSANA%20TAPIA%20O..pdf?sequence=1>

Toscano, L. (2014). *Diseño de micro-pavimento aplicado como tratamiento superficial para el control de la variación térmica en el pavimento flexible de la vía Pifocusubamba, como parte del mantenimiento preventivo*. [Internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2222/1/T-UIDE-1269.pdf>

Urgiles, L., & Gustavo, L. (2011). *Diseño y Evaluación de micropavimentos con emulsión asfáltica modificada con polímeros, para agregados de canteras de Guayllabamba, Pintag, Pifo, San Antonio y Nayón en el distrito Metropolitano de Quito*. [Escuela Politécnica del ejército]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3087/1/T-ESPE-030896.pdf>

Vargas Gutiérrez, A. (2016). *Experiencia de diseño de micropavimentos en el Salvador* [Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2622/MAS_ICIV-L_033.pdf?sequence=1

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotras, **Evelyn Narcisa Freire Cabrera**, **Michelle Alexandra Quizhpi Pizarro** portadoras de las cédulas de ciudadanía N° **0930555966** y **0106568199**. En calidad de autoras y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Diseño y comparación de propiedades de un micropavimento con asfalto emulsionado modificado con polímeros y asfalto emulsionado modificado con resina de poliuretano.”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizamos además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

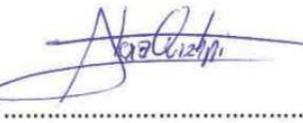
Cuenca, **31 agosto de 2022**



F:

Evelyn Narcisa Freire Cabrera

C.I. **0930555966**



F:

Michelle Alexandra Quizhpi Pizarro

C.I. **0106568199**