



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

**ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE MICROPAVIMENTO
COMO ALTERNATIVA DE USO EN LA CONSERVACIÓN
VIAL DE LA PROVINCIA DEL AZUAY**

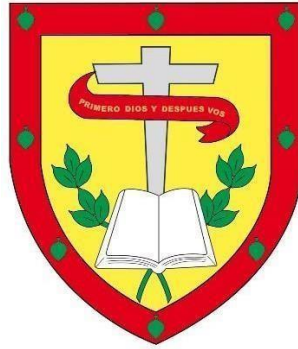
**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: CRISTIAN MARCELO ESPINOZA MOLINA

DIRECTOR: ING. CÉSAR MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LOS TIPOS DE MICROPAVIMENTO COMO
ALTERNATIVA DE USO EN LA CONSERVACIÓN VIAL DE LA
PROVINCIA DEL AZUAY**

**PROYECTO DE TITULACIÓN O PROYECTO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR: CRISTIAN MARCELO ESPINOZA MOLINA

DIRECTOR: ING. CÉSAR MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Cristian Marcelo Espinoza Molina portador de la cédula de ciudadanía N° 0302689880. Declaro ser el autor de la obra: "Análisis de los tipos de micropavimento como alternativa de uso en la conservación vial de la provincia del Azuay", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi 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 me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 25 de septiembre de 2023


F:
Cristian Marcelo Espinoza Molina
0302689880

CERTIFICACIÓN

Yo, Ingeniero César Maldonado Noboa certifico la presente investigación ANALISIS DE LOS TIPOS DE MICROPAVIMENTO COMO ALTERNATIVA DE USO EN LA CONSERVACION VIAL EN LA PROVINCIA DEL AZUAY, realizada por el estudiante Cristian Marcelo Espinoza Molina, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.



Ing. César Maldonado Noboa.

Tutor.

DEDICATORIA

Este logro, con profunda gratitud y significado, deseo consagrarlo a la totalidad de mi familia, reservando un lugar especial para mis amados padres, Marcelo y Cristina, quienes, desde los albores de mi existencia, han permanecido a mi lado con un apoyo inquebrantable. Asimismo, mi reconocimiento se extiende hacia mis abuelos maternos, quienes me brindaron su cálido amparo en el seno de su hogar, y hacia mis abuelos paternos, cuya influencia y respaldo se han hecho sentir de diversas maneras. Si bien podría enumerar a cada miembro de esta entrañable familia, pero mi afecto y voluntad abarcan a todos sin excepción.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi sincero agradecimiento a Dios, que ha actuado como mi fuerza preeminente en la perseverancia a lo largo de este arduo camino. Asimismo, es mi deber resaltar con reverencia el gravitante papel ejercido por mis padres, quienes han ejercido un papel fundamental como propulsores y faros orientadores en mi travesía académica, sobrepasando cualquier adversidad que pudiera surgir. No puedo omitir mencionar a mis hermanos, quienes día tras día me han brindado un apoyo incondicional, así como a toda mi familia, cuya presencia atenta y solidaria ha arropado cada fase de este capítulo de mi existencia.

De manera adicional, es imperante manifestar mi aprecio hacia mis educadores, cuyas enseñanzas han labrado mi formación hacia una nueva etapa profesional. En particular, deseo destacar al Ingeniero Cesar Maldonado por su contribución valiosa, proporcionando orientación y asistencia en el marco de este proyecto investigativo. Asimismo, no puedo pasar por alto la colaboración significativa de la Ingeniera Paola Delgado, quien con su compromiso y acompañamiento ha enriquecido mi camino hacia la culminación de este proceso de titulación.

RESUMEN

El micro pavimento es una alternativa de preservación vial que provee menores intervalos de mantenimiento, una relación directa con los costos de inversión. Ante esto, en Azuay el 81, 44% de vías cuenta con superficies de rodadura regulares o malas, siendo necesario proveer opciones que contemplen las limitaciones económicas con las que cuentan los administradores del ámbito vial provincial. Así, el presente estudio propone el uso de un micro pavimento tipo III, con dos alternativas de emulsión: CQS 1h P y CQS 1h PU. El agregado se obtiene en la cantera Rocka Azul, con 1% de relleno mineral (cemento tipo I), 17-18% contenido de agua y 1,5% de resina (poliuretano); siendo además una de las alternativas más económicas (42 171\$/km). Finalmente, dentro del análisis comparativo sobre otros estudios, se tienen rangos de 16,50% a 11% para contenido óptimo de emulsión, mientras para asfalto el rango es entre 10,23% y 5,5%.

Palabras clave: micro pavimento, preservación vial, agregados, emulsiones, aditivos

ABSTRACT

Micro-paving is a road preservation alternative with lower maintenance intervals, directly affecting investment costs. Given this, 81.44% of roads in Azuay have regular or poor road surfaces, necessitating options that consider the economic limitations of provincial road administrators. This study proposes using a Type III micro pavement, offering two emulsion alternatives: CQS 1h P and CQS 1h PU. The aggregate is obtained from the 'Rocka Azul' quarry, with 1% mineral filler (Type I cement), 17-18% water content, and 1.5% resin (polyurethane). This option also proves to be one of the most economical alternatives at \$42,171/km. Finally, comparative analysis with other studies reveals optimal emulsion content ranging from 16.50% to 11%, while for asphalt, the range lies between 10.23% and 5.5%.

Keywords: micro pavement, road preservation, aggregates, emulsions, additives

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
CERTIFICADO I	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
<i>Palabras clave.....</i>	<i>xiii</i>
ABSTRACT	xiv
<i>Keywords.....</i>	<i>xiv</i>
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Formulación del problema	3
1.3 Delimitación del problema	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Justificación.....	5
1.6 Metodología.....	6
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO	8
2.1 Estado del arte.....	8
2.1.1 Sistemas viales.....	9
2.1.2 Características de la red vial del Azuay	12
2.1.3 Estado de la carpeta asfáltica	15
2.1.4 Inventario vial del Azuay	17
2.2 Emulsiones- Definición	17
2.2.1 Tipos	18
2.2.2 Clasificación	18
2.2.3 Nomenclatura.....	20
2.2.4 Emulsiones modificadas con polímeros.....	20

2.2.5	Estabilidad de la emulsión asfáltica	21
2.2.6	Ruptura de emulsiones asfálticas.....	22
2.3	Micro pavimentos-definición.....	23
2.3.1	Definición.....	23
2.3.2	Tipos de micro pavimento	24
2.3.3	Micro pavimento y slurry seal.....	24
2.3.4	Ventajas de los micro pavimentos	25
2.3.5	Espesores de los micro pavimentos.....	26
2.3.5	Materiales.....	26
2.4	Usos de los micro pavimentos.....	29
2.5	Propiedades de los micro pavimentos	29
2.5.1	Cohesión.....	29
2.5.2	Abrasión en vía húmeda.....	29
2.5.3	Rueda cargada.....	29
2.5.4	Prueba de clasificación.....	29
2.6	Tratamientos de preservación vial y micro pavimentos.....	30
CAPÍTULO III. DISEÑO DE MICRO PAVIMENTOS		33
3.1	Métodos de diseño de micro pavimentos.....	33
3.1.1	Métodos empíricos.....	33
3.1.2	Método Marshall	34
3.1.3	ISSA A-143	34
3.1.4	ASTM D 6372.....	35
3.1.5	AASHTO-SECCIÓN 408	35
3.1.6	MS-19 Basic Asphalt Emulsion Manual (Instituto del Asfalto)	35
3.1.7	Norma Ecuatoriana Vial -NEVI 12- MTOP	36
3.2	Variables de diseño en micro pavimentos	37
3.2.1	Tipo de vía	37
3.2.2	Tipo de daño	38
3.2.3	Disponibilidad del material y los equipos.....	39
3.3	Ensayos en agregados.....	41
3.3.1	Ensayo de granulometría.....	41
3.3.2	Ensayo de abrasión	42
3.3.3	Ensayo de equivalente de arena	42
3.3.4	Ensayo de peso específico	42
3.4	Ensayos en emulsiones	42
3.4.1	Ensayo de viscosidad de Saybolt	43
3.4.2	Ensayo de contenido de agua.....	43

3.4.3	Ensayo de sedimentación.....	43
3.4.4	Ensayo de tiempo de mezclado.....	44
3.4.5	Ensayo de tamiz de residuos.....	44
CAPÍTULO IV. IMPLEMENTACIÓN Y ELABORACIÓN DE UN MICRO PAVIMENTO		45
4.1	Materiales.....	45
4.2	Equipos	48
4.2.1	Camión mezclador.....	48
4.2.2	Tolva de agregados	48
4.2.3	Silo de agregados/filler	49
4.2.4	Caja esparcidora	49
4.2.5	Mezclador.....	49
4.2.6	Tanque de emulsión.....	50
4.2.7	Tanque de aditivo.....	50
4.2.8	Tanque de agua.....	50
4.2.9	Rodillo neumático.....	51
4.2.10	Dispositivos de medición.....	51
4.3	Proceso constructivo	52
4.3.1	Selección de umbrales de Condición de Pavimento.....	52
4.3.2	Generar muestras representativas.....	54
4.3.3	Preparación de la superficie	55
4.3.4	Limitaciones Climáticas	55
4.3.5	Mezclado	55
4.3.6	Vertido.....	56
4.4	Micro pavimentos en la provincia del Azuay.....	57
4.4.1	Análisis de los tipos de micro pavimento aplicables.....	57
4.4.2	Compuestos de diseño del micro pavimento seleccionado	59
4.4.3	Ensayos en el micro pavimento seleccionado.....	59
4.4.4	Costos	60
4.4.5	Análisis comparativo	63
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		71
5.1	Conclusiones.....	71
5.2	Recomendaciones	74
REFERENCIAS.....		76

ANEXO 1.....82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los componentes del sistema vial provincial	10
Tabla 2. Conectividad vial del Azuay.....	12
Tabla 3. Dimensiones de ancho de vía y calzada.....	12
Tabla 4. Longitud de vía / número de carriles	13
Tabla 5. Relación porcentaje/velocidad promedio.....	13
Tabla 6. TPD por cantón.....	14
Tabla 7. Longitud vial/cantón/tipo de clima.....	15
Tabla 8. Longitud según superficie de vías	15
Tabla 9. Tipo de daño/cantón.....	16
Tabla 10. Requerimientos de mantenimiento vial(km) /cantón.....	16
Tabla 11. Estado en km/ tipo de superficie.....	17
Tabla 12. Competencia vial.....	18
Tabla 13. Nomenclatura de emulsiones.....	20
Tabla 14. Diferencias entre lechadas asfálticas y micro pavimentos según la experiencia sobre su uso.....	25
Tabla 15. Valores límite del agregado	28
Tabla 16. Valores referenciales norma NEVI.....	28
Tabla 17. Granulometría según tratamiento.....	29
Tabla 18. Límites para materiales	34
Tabla 19. Características de los materiales.....	35
Tabla 20. Características de los materiales	36
Tabla 21. Consideraciones según tráfico y velocidad.....	37
Tabla 22. Consideraciones generales de los materiales	40
Tabla 23. Ensayos de granulometría.....	41
Tabla 24. Ensayos en emulsiones	43
Tabla 25. Minas en Azuay	45
Tabla 26. Porcentaje de emulsión según canteras.....	46
Tabla 27. Propiedades agregado Tipo III.....	47
Tabla 28. Porcentaje óptimo de agua/cantera	47
Tabla 29. Ritmo de aplicación según micro pavimento.....	56
Tabla 30. Recomendaciones de mejoras.....	58
Tabla 31. Composición de mezcla.....	59

Tabla 32. Resumen de ensayos para la mezcla.....	60
Tabla 33. Resumen de costos según intervención (firme de concreto asfáltico).....	62
Tabla 34. Resumen de costos según intervención (firme de tratamiento bituminoso)....	62
Tabla 35. Resumen de costos según intervención (firme de lastre).....	63
Tabla 36. Resumen de generalidades/estudio	64
Tabla 37. Resumen de materiales y porcentajes/estudio.....	65
Tabla 38. Porcentajes de variación respecto con otros estudios	67
Tabla 39. Resumen de ensayos para agregados obtenidos de otros estudios.....	69
Tabla 40. Resumen de ensayos para mezclas obtenidos de otros estudios	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología del estudio.....	7
Figura 2. Red vial en Azuay	10
Figura 3. Red vial por cantones	11
Figura 4. Características de emulsión directa vs. emulsión inversa	18
Figura 5. Proceso de sedimentación	22
Figura 6. Esquema de ruptura de una emulsión.....	22
Figura 7. Aplicación de micro pavimento en una vía de Brasil.....	23
Figura 8. Curva de deterioro de un pavimento flexible	30
Figura 9. Concepto de conservación de pavimento	31
Figura 10. Fases para la rotura de una emulsión.....	31
Figura 11. Método de llenado de surcos.....	39
Figura 12. Vista de un camión estándar para micro pavimentación	48
Figura 13. Vista de una tolva de agregados.....	48
Figura 14. Vista de un silo de agregados	49
Figura 15. Vista de una caja esparcidora	49
Figura 16. Vista de un mezclador.....	50
Figura 17. Dispositivo manual de emulsión asfáltica	50
Figura 18. Principales componentes del equipo	51
Figura 19. Vista lateral y frontal de un rodillo neumático.....	51
Figura 20. Medición por volumen	52
Figura 21. Medición por peso.....	52
Figura 22. Relación índice IRI	53
Figura 23. Fisuración transversal.....	54
Figura 24. Muestra modificada sin tratar.....	54
Figura 25. Referencia de adición.....	57
Figura 26. Condiciones de servicio	61
Figura 27. Porcentajes de los principales materiales	65
Figura 28. Ubicación de los lugares de análisis.....	66
Figura 29. Comparación de resultados con otros estudios.....	68
Figura 30. Comparación de contenido óptimo de emulsión y asfalto.....	70

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

En la actualidad se vienen desarrollando numerosos materiales para lograr una mayor eficiencia en la preservación de la capade rodadura de las vías, especialmente para brindar mejores prestaciones ante condiciones adversas, de severidad, o de alto tránsito. Por ello, para garantizar las condiciones funcionales de la capa superficial de las vías, el micro pavimento es una de las principales opciones al proveer entre sus ventajas menores intervalos de mantenimiento, una relación directa con los costos de inversión.

En este sentido, el adecuado diseño y aplicación del micro pavimento permite incrementar la respuesta ante la fricción de la superficie, así como permite recuperar ahuellamientos por neumáticos, ante variables como el clima o el tráfico. Sumado a esto, es necesario garantizar la calidad del agregado o que las granulometrías estén disponibles dentro de distancias óptimas de acarreo (Barrionuevo, 2012). Consecuentemente, el micro pavimento está constituido por cinco materiales: agregado, aditivo, *filler*, agua añadida y emulsión (Vargas, 2016).

Con igual importancia, el micro pavimento presenta una resistencia a la abrasión que permite optimizar el mantenimiento de la carpeta asfáltica, ante la prevención o reducción del desgaste de la capa de rodadura. Para conseguir este efecto debe lograrse la compatibilidad del agregado con la emulsión, puesto que así se evita el desprendimiento con el tránsito vehicular ante la fricción de los neumáticos (Laguna y Suárez, 2020).

En cuanto a la metodología para realizar el diseño y otros parámetros relacionados con micro pavimentos, consta la Guía ISSA A – 143 (*International Slurry Surfacing Association*), aunque la norma ASTM (*American Society for Testing and Materials*) expresa algunos parámetros para la elaboración (Miranda, 2020). De esto, es posible evaluar variables como cohesión, adherencia del ligante, resistencia a la abrasión y consistencia.

Ante lo detallado, puede verse que el micro pavimento es una de las principales opciones de vanguardia para el mantenimiento vial, especialmente ante la relación costo/beneficio que provee. Es así como, resulta necesario determinar un tipo de micro

pavimento aplicable como alternativa de conservación vial en distintos escenarios, siendo el objetivo del presente estudio determinar el tipo más adecuado para la provincia del Azuay, la cual es una de las de mayor parque automotor a nivel nacional; con base en experiencias o estudios previos dentro de escenarios similares.

Con relación a esto, la provincia del Azuay tiene 5 601,29 km de vías, sin incluir zonas urbanas. De esto, 5 055,27 km (90,26 %) son del sistema de vías de la provincia administrado por el Gobierno Provincial del Azuay, en donde 798, 76 km son de pavimento flexible (19, 37%); 2 889, 71 km corresponden a una superficie de lastre (70, 06 %), y 435, 87 kilómetros mantienen superficie de tierra (10, 57%). Es decir, el estado de la superficie de rodadura de las vías en Azuay en su mayoría es regular con 3 394,04 km (67,14 %), donde existe un potencial para el uso de micro pavimentos en los 798,76 km de vías con pavimento flexible, dada la aplicabilidad de este material (CONGOPE, 2019).

Asimismo, puede notarse que el 81, 44% de las vías del Azuay tiene una superficie de rodadura regular o mala, debido a varios factores, entre ellos: inadecuados planes de mantenimiento, escasez de recursos económicos o privilegio en la ejecución de otras obras. Sumado a esto, la capacidad operativa para brindar mantenimiento de la red vial por parte de la entidad administradora (Prefectura del Azuay) es de 2 290 km, por lo que, al analizar la red vial actual de competencia provincial de 5055, 50 km, puede decirse que existe un déficit de 2 765, 50 km de vías no atendidas (54, 70% de las vías provinciales, CONGOPE, 2019).

Las cifras expuestas evidencian la necesidad de incorporar un plan de conservación que dentro de sus especificaciones contemple mejores alternativas para garantizar los niveles de servicio correspondientes, así como para mejorarlos e incrementar las condiciones funcionales de la carpeta asfáltica durante su periodo de diseño.

Con igual importancia, se debe proveer mecanismos u opciones que contemplen las limitaciones económicas con las que usualmente cuentan los administradores del ámbito vial de la provincia (Gobiernos Autónomos Descentralizados o GADs) en sus diferentes niveles de gobierno, por lo que se deben aplicar tecnologías adaptables, económicas y eficientes, para aprovechar las condiciones del terreno, sin olvidar la estabilidad de componentes como capas o bases, proporcionando una capa de rodadura

renovable e impermeable, conforme el desgaste que genera el tránsito (Almeida y Segura, 2022).

1.2 Formulación del problema

La vialidad provincial del Azuay cuenta con 5 601,29 km de vías, sin incluir zonas urbanas. Del total, 546, 02 km (9,74 %) corresponde a la red del Estado (a cargo del Ministerio de Transporte y obras Públicas), mientras 5 055,27 km (90,26 %) es del sistema vial de la provincia administrado por el Gobierno Provincial del Azuay. Además, según el tipo de superficie de rodadura, 798, 76 km son de pavimento flexible (19,37%); 2 889,71 km son de lastre (70.06 %), y 435, 87 kilómetros de tierra (10, 57%). De este modo, el estado de la superficie de rodadura de la red vial del Azuay es regular en su mayoría con 3 394,04 km (67,14 %), seguido por un estado bueno con 934, 48 km (18,56%), y finalmente un estado malo con 722,98 km o 14,30 % (Prefectura del Azuay,2020).

Por ello, puede verse que el 81,44% de las vías del Azuay tiene una superficie de rodadura regular o mala, debido a varios factores, entre ellos: inadecuados planes de mantenimiento, escasez de recursos económicos o privilegio en la ejecución de otras obras. Sumado a esto, la capacidad operativa para mantener y mejorar la red vial de la Prefectura del Azuay es de 2 290 km, y si se considera la red vial de 5 055, 50 km al momento, existe un déficit de 2 765, 50 km de vías cuyo mantenimiento no es óptimo (54, 70% de las vías provinciales). En consecuencia, resulta necesario incorporar un plan de conservación que dentro de sus especificaciones contemple mejores alternativas para garantizar los niveles de servicio correspondientes, así como para mejorarlos e incrementar las condiciones funcionales de la carpeta asfáltica durante su periodo de diseño.

Ante lo descrito, surgen algunas alternativas o procesos que permiten el uso de nuevos mecanismos para garantizar las condiciones superficiales de las vías, siendo el micro pavimento una de las principales opciones de vanguardia, al estar compuesto por una emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregados producto de trituración (arena), finos minerales, agua y aditivos (Miranda, 2020).

En consecuencia, el uso adecuado de esta tecnología genera beneficios positivos dado el alto desempeño del micro pavimento, lo cual se relaciona con menores intervalos de mantenimiento. Así, se requiere una menor inversión para el mantenimiento de la carpeta asfáltica, así como también se promueven adecuados niveles de conexión, tanto al interior provincial como regional, haciendo que se propenda a mayores oportunidades para las poblaciones que se conectan a través del viario provincial.

1.3 Delimitación del problema

Dado que el 81,44% de las vías del Azuay tiene una superficie de rodadura regular o mala, con un déficit de 2 765, 50 km de vías no atendidas (54, 70% de las vías provinciales); es necesario buscar alternativas económicas y eficientes para el mejoramiento de la carpeta asfáltica en este lugar. En este sentido, los micro pavimentos se enfocan como una de las principales opciones; por lo que se debe determinar las características principales de este material, así como las cantidades ideales de los componentes para aplicar en el medio: emulsión, agregados, aditivos, agua y finos; y las técnicas idóneas para su implementación. En complemento, el uso de este compuesto debe garantizar un proceso de calidad mediante los ensayos correspondientes para el diseño de la mezcla y su etapa constructiva.

Existen procedimientos técnicos a nivel nacional e internacional que han tenido éxito en su aplicación a la conservación vial, por lo que esta investigación busca revisar y organizar esa información, a fin de aplicarla a los tipos de vías de la zona de análisis (provincia del Azuay). Por ello, existe normativa que debe cumplirse para garantizar la calidad del producto y de los procesos, siendo la norma International Slurry Surfacing Association -ISSA- A143, la que más se ajusta en el diseño y otras especificaciones para la aplicación de un micro pavimento. En este sentido, esta norma también contempla normas complementarias para los componentes, tal como se detalla:

- Para asfalto: AASHTO M 208, ASTM D2397 para CQS-1h
- Para agregados: Arena, agregados finos: AASHTO T176, ASTM D2419; solidez de agregados por sulfato de sodio o magnesio: AASHTO T104, ASTM C88; resistencia a la degradación: AASHTO T 96, C131
- Relleno mineral: según ASTM D 242.

En tal virtud, es necesario indicar que la normativa antes expuesta es de carácter internacional, aunque a nivel ecuatoriano existe normativa INEN relacionada con áridos (INEN 695 e INEN 696), o para ciertas características de los agregados (INEN 860, INEN 863).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar los tipos de micro pavimento como alternativa de uso en la conservación vial en la provincia del Azuay.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los tipos de micro pavimento usados como alternativa de conservación vial.
- Seleccionar los tipos de micro pavimento aplicables en la red vial del Azuay.
- Indicar los compuestos de diseño y las propiedades de los micro pavimentos seleccionados.
- Determinar los principales ensayos aplicables a los micro pavimentos seleccionados.

1.5 Justificación

Ante la necesidad de mejorar la superficie de rodadura en la mitad de las vías del Azuay, se debe proveer mecanismos u opciones para tal efecto, siempre teniendo en cuenta las limitaciones económicas con las que usualmente cuentan los administradores del ámbito vial de la provincia (Gobiernos Autónomos Descentralizados o GADs en sus diferentes niveles). Es necesario aplicar tecnologías adaptables, económicas y eficientes, con lo cual, se pueda aprovechar las condiciones superficiales empleando capas de espesores pequeños, sin dejar de proteger la estabilidad de componentes como capas o bases, proporcionando capas de rodadura impermeables y renovables, según el desgaste que ocasiona el tránsito.

Ante esto, se propone que los micro pavimentos son una alternativa válida, por lo que es necesario generar un guía que describa su uso aplicado a nuestra realidad local; cuyo éxito también dependerá de los ensayos y cumplimiento de: calidad de los materiales, eficacia del diseño y metodología constructiva.

1.6 Metodología

El presente estudio tiene un enfoque mixto, puesto que requiere una revisión de literatura científica especializada en el área de micro pavimentos, tanto mediante una perspectiva cualitativa, para establecer los principales estudios de relevancia; así como una perspectiva cuantitativa para determinar los principales parámetros de selección. Con relación a esto, el estudio es de tipo exploratorio al tratar de indagar sobre un tema poco detallado en el medio.

Ante estas consideraciones, el primer objetivo específico basado en determinar los tipos de micro pavimentos, según sus características y propiedades, se basa en la revisión de artículos especializados. Para tal efecto, se requiere una revisión bibliográfica en bibliotecas digitales, revistas indexadas, informes técnicos, normas internacionales y otros recursos específicos al área de estudio. De este modo, mediante un proceso de exclusión, serán identificados los contenidos con mayor importancia para el estudio según: contraste de la información, relevancia, metodología sólida, resultados detallados y discusión.

El segundo objetivo específico basado en seleccionar los tipos de micro pavimentos aplicables en la red vial del Azuay, identifica las características viales del área de estudio, explorará diversos reportes o informe viales según un histórico dentro del último quinquenio, para determinar las principales variables de influencia en el mantenimiento vial del lugar de estudio. Además, correlacionará estas características con requerimientos ambientales, físicos, químicos, mecánicos, entre otros, de los micro pavimentos.

El tercer objetivo específico da a conocer las principales características de diseño de los micro pavimentos determinados; es decir, se indicarán las variables requeridas de cada material (volumen, proporción, tratamiento), así como el equipo necesario y el proceso para su consolidación.

Finalmente, el cuarto objetivo específico consiste en indicar los principales ensayos aplicables a los micro pavimentos seleccionados, por lo que se genera un listado de las normas referenciales más importantes relacionadas con cada una de las etapas de obtención del micro pavimento. Esta etapa permite validar la selección o propuesta del micro pavimento como alternativa de conservación vial en la provincia del Azuay, y estará basada en estándares nacionales o internacionales.

Con estas consideraciones, el presente estudio emplea como materiales información bibliográfica basada en normas técnicas nacionales e internacionales, reportes e informes del estado vial de la provincia de Azuay, recomendaciones técnicas de diversos autores y artículos de carácter científico relacionados con el tema de emulsiones asfálticas, micro pavimentos, su diseño y métodos de ensayo. Se prevé una antigüedad de la información de cinco años. En caso de requerir información adicional, especialmente sobre el estado vial, esta se solicita de manera directa a las entidades correspondientes.

El esquema de la Figura 1 resume las etapas del estudio, en donde se parte del conocimiento previo de las características de la red vial del Azuay, así como de las propiedades, tipos, materiales, ensayos y otros aspectos relacionados con los micro pavimentos.

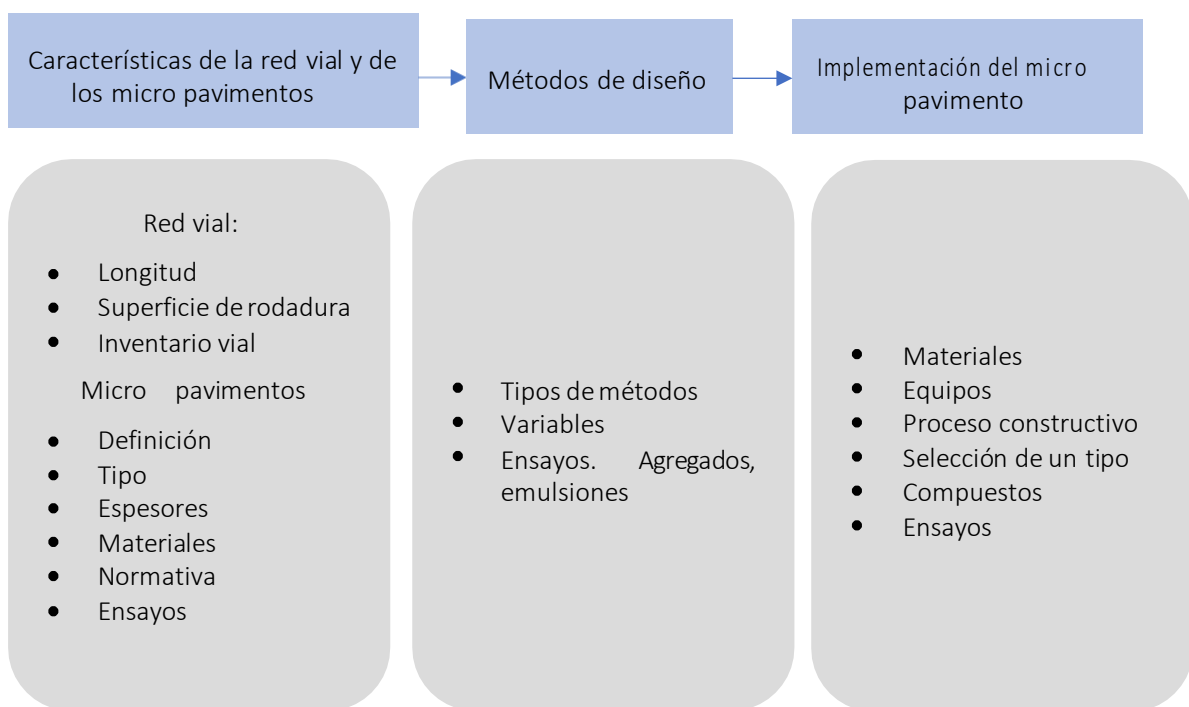


Figura 1. Metodología del estudio

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

El desarrollo tecnológico ha evaluado numerosos materiales para lograr una mayor eficiencia en su uso, especialmente en escenarios que precisan condiciones adversas, de severidad, o de alto tránsito, como pueden ser las vías. Es así como, para garantizar las condiciones funcionales de la carpeta asfáltica de las vías, el micro pavimento es una de las principales opciones, al proveer entre sus ventajas menores intervalos de mantenimiento, lo que se relaciona directamente con una menor inversión monetaria. De esta manera, a continuación, se detallan los principales hallazgos de la literatura especializada.

Primero, se dice que el adecuado diseño y aplicación del micro pavimento mejora las características superficiales de fricción o la recuperación de ahuellamientos por el desplazamiento de los neumáticos, ante variables como el clima y el tráfico. Sumado a esto, es necesario garantizar la calidad de los agregados o la disponibilidad de granulometrías (Barrionuevo, 2012). En consecuencia, el micro pavimento está constituido por cinco materiales (agregado, aditivo, *filler*, agua y emulsión; Vargas, 2016).

En adición, el micro pavimento presenta una resistencia a la abrasión que influye de mejor manera en el mantenimiento de la carpeta asfáltica, puesto que es posible prevenir y/o reducir el desgaste de la carpeta asfáltica, otorgándole mayores períodos de vida útil. Para conseguir este efecto debe lograrse la compatibilidad del agregado con la emulsión, puesto que así se evita el desprendimiento con el tránsito vehicular ante la fricción de los neumáticos (Laguna y Suárez, 2020). En consecuencia, Delgado et al. (2022) exponen que la estructura del agregado depende de la gradación, puesto que así se pueden determinar las propiedades volumétricas; además los autores acotan que en la actualidad la determinación óptima de agregados a combinar se realiza de manera iterativa, por lo que los profesionales confían principalmente en la experiencia.

En otro sentido, la metodología y especificaciones para elaborar el diseño, y otras especificaciones relacionadas con los micro pavimentos consta en la Guía ISSA A – 143

(*International Slurry Surfacing Association*), aunque la norma ASTM (*American Society for Testing and Materials*) expresa algunos parámetros para la elaboración (Miranda, 2020).

Por otro lado, Rojas et al (s.f) exponen un tiempo de cohesión de 80 minutos para la apertura al tráfico en cada una de las mezclas, enfatizando un lugar de estudio a 3000 msnm y un intervalo de temperatura entre 18 y 20°C. En otro caso, Vargas (2016) indica que el diseño de su micro pavimento necesitó como insumo inicial la emulsión modificada, elaborada con base en las etapas:

- A. Elaboración del asfalto modificado, contenido con 3 % de polímero (del peso del asfalto). A partir de esto, la modificación se realiza cuando el asfalto obtenga una temperatura de 150°C, para luego añadir el polímero.
- B. La solución jabonosa con agua contenida en 32 % del peso de la emulsión-PE, emulsificante (1,4 % PE), ácido (se debe obtener un PH= 2) y aditivo (3% PE), manteniendo una temperatura de 37°C.
- C. Finalmente, es necesario fusionar el asfalto modificado y la solución jabonosa, consiguiendo una emulsión asfáltica modificada con polímero, a una temperatura de salida de 80°C (Vargas, 2016).

2.1.1 Sistemas viales

Un sistema vial es una red de vías de comunicación por tierra, construidas para promover la circulación vehicular y de personas. De este modo, a nivel nacional los sistemas viales están enmarcados conforme las competencias establecidas en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización -COOTAD- (Flores, 2016). En este sentido, la Tabla 1 resume los principales componentes del sistema vial provincial en Azuay, mientras la Figura 2 indica gráficamente la distribución vial según una distribución estatal e intercantonal, contemplando los 15 cantones del lugar de estudio.

Mientras tanto, el GAD provincial de Azuay, mediante la Tercera Reforma y Codificación a la Ordenanza que regula el sistema de gestión vial de la provincia, establece tres componentes del sistema vial provincial: de administración directa, de

administración directa en vías de lastre y de delegación (GAD provincial del Azuay, 2020).

Tabla 1. Especificaciones de los componentes del sistema vial de Azuay

Tipo de red vial		Característica
Provincial		Están administradas por cada uno de los concejos provinciales. En Azuay conforman 5055,50 km.
Provincial	Secundaria	Enlazan cabeceras parroquiales y zonas productivas con la red vial estatal y caminos de bajo tráfico.
	Terciaria	Conectan los flujos vehiculares desde las vías secundarias a los caminos vecinales.
	Vecinal	Conectan los flujos vehiculares desde cada predio o terreno, hacia la red terciaria.

Fuente: (GAD Provincial del Azuay, 2020)

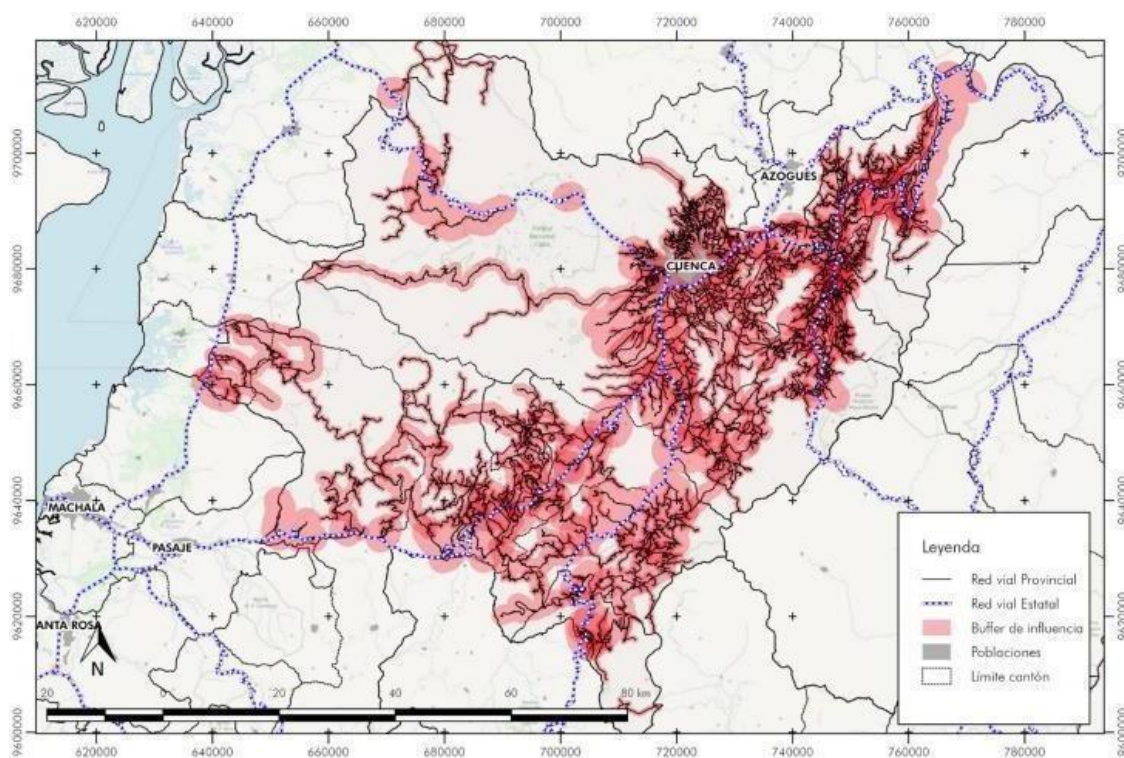


Figura 2. Red vial en Azuay

Fuente: (Flores, 2016)

En este sentido, el sistema de administración directa se especifica como aquel de competencia exclusiva del GAD de Azuay, conformado por vías intercantonales, interparroquiales y accesos a las cabeceras parroquiales, cuya superficie de rodadura sea asfalto. Mientras tanto, el sistema de administración directa en vías de lastre corresponde a aquellas vías que no cuentan con superficie de asfalto, cuya ubicación consta en las áreas rurales de las cabeceras cantonales. Finalmente, el subsistema de delegación comprende las vías con competencias delegadas a los GAD parroquiales, y corresponde

a las vías que facilitan la conectividad parroquial (GAD provincial del Azuay, 2020). De este modo, los 5055,50 km de vía con los que cuenta la provincia se encuentran distribuidos dentro de todo su territorio, en la Figura 3 se puede ver que el cantón Cuenca es el cantón con mayor longitud vial de la provincia con el 32,06%.

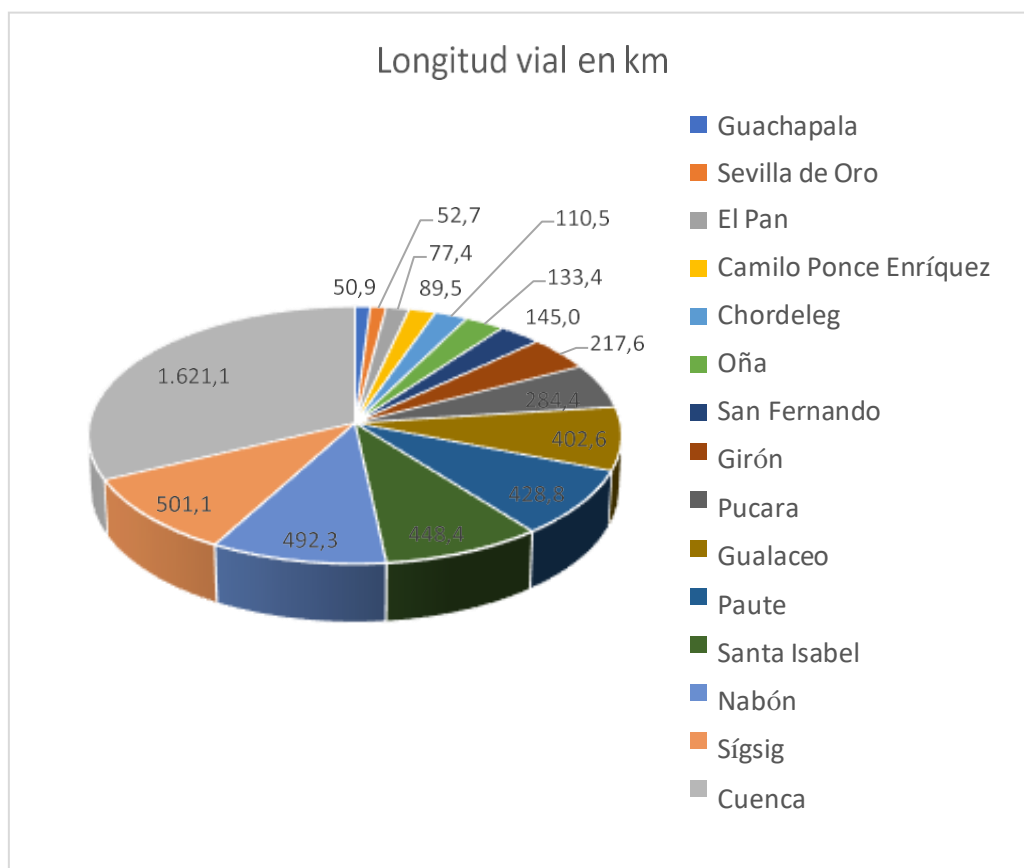


Figura 3. Red vial por cantones

Fuente (CONGOPE, 2020).

En lo que respecta al tipo de vía, en la Tabla 2 puede distinguirse la prevalencia de vías que conectan asentamientos humanos (48%), mientras otras que enlazan parroquias rurales entre sí (15%), cantones entre sí (14%) u otras como se detalla, tienen porcentajes relativamente bajos.

Tabla 2. Conectividad vial del Azuay

Tipo de vía	Longitud (km)	%
Asentamientos humanos a asentamientos humanos	2441,35	48
Parroquias rurales a parroquias rurales	751,22	15
Cantón a cantón	714, 62	14
Cabeceras parroquiales rurales a asentamientos humanos	567,76	11
Estatas con asentamiento humano	496,28	10
Estatales con cabeceras cantonales	39,72	1
Otros	44,54	1
Total	5055,50	100%

Fuente (CONGOPE, 2020).

2.1.2 Características de la red vial del Azuay

Según CONGOPE (2020), la provincia del Azuay cuenta con 5601, 29 km de vías, sin incluir las zonas urbanas cantonales; siendo 546, 02 Km o el 9, 74 % de la red estatal, mientras 5055, 27 km o 90, 26 % están a cargo de la Prefectura. A pesar de esto, la Actualización del Inventario vial de la provincia da a conocer que la capacidad operativa en mantenimiento y mejoramiento dentro de esta red vial es de 2290 km, lo que se relaciona con un déficit de 2765, 50 km de vías no atendidas (54,70%), siendo la calidad y el estado de la carpeta asfáltica los principales factores que afectan la conectividad provincial.

Ancho de vía y calzada

Sobre el ancho de calzada se tiene una amplia variabilidad, aunque el promedio aparece en 5, 10 m, mientras el ancho de vía consta en 6, 31 m, viéndose a detalle en la Tabla 3 los anchos para los diversos tipos de superficie de rodadura (CONGOPE, 2020).

Tabla 3. Dimensiones de ancho de vía y calzada

Superficie de rodadura	Ancho de vía (m)	Ancho de calzada (m)
Tratamiento bituminoso	6,11	5,03
Empedrado	5	5
Lastre	6,52	5,21
Pavimento flexible	8,29	7,3
Pavimento rígido	7,96	7,2
Tierra	5,29	4,28

Fuente: (CONGOPE, 2020)

Número de carriles

El número de carriles de manera general es uno en sentido bidireccional (57,02 %), mientras el 42,97% pertenece a dos carriles en sentido bidireccional. La mayor longitud total corresponde a Cuenca (1 621,07 km), y la menor a Guachapala (50,94 km, Tabla 4). Para el restante de cantones se mantiene la supremacía de longitud para un carril (CONGOPE, 2020).

Tabla 4. Longitud de vía versus número de carriles

Cantón	Longitud (km)/carriles (#)		Total
	1 carril bidireccional	2 carriles bidireccionales	
Camilo Ponce	37,52	51,93	89,45
Chordeleg	83,88	26,62	110,50
Cuenca	828,77	792,30	1621,07
El Pan	34,42	43,00	77,42
Girón	125,57	92,00	217,57
Guachapala	43,95	6,99	50,94
Gualaceo	232,14	170,41	402,55
Nabón	293,30	198,96	492,26
Oña	82,92	50,53	133,44
Paute	276,30	152,45	428,75
Pucará	133,41	150,94	284,35
San Fernando	70,21	74,78	144,99
Santa Isabel	294,24	154,20	448,44
Sevilla de Oro	52,24	0,41	52,65
Sígsig	294,21	206,92	501,13
Total	2815,40	2172,44	5055,50

Fuente: (CONGOPE, 2020)

Velocidad promedio

Las velocidades promedio de circulación en la red vial de Azuay fluctúa entre 15 km/h y 60 km/h, con predominio de velocidad 35 km/h (54,99%, Tabla 5; CONGOPE, 2020).

Tabla 5. Relación porcentaje/velocidad promedio

Velocidad promedio	%
15	0,18
20	5,31
25	6,93
30	8,53
35	54,99
40	2,59
45	13,44
50	3,83
55	0,07
60	4,13

Fuente: (CONGOPE, 2020)

Tráfico

Los niveles de tráfico fueron categorizados según el Tráfico Promedio Diario (TPD), donde:

- Nivel bajo: <50 TPD
- Nivel medio: <50 TPD<100
- Nivel alto: > 100 TPD

En consecuencia, en la Tabla 6 consta el TPD por cantón, considerando días ordinarios y de feriado, encontrándose una prevalencia de tráfico bajo del 81,70% es decir 1589 tramos de esta red vial cuentan con promedios bajos de tráfico, seguido de un 14,14% (275 tramos) con un promedio de tráfico medio y finalmente un nivel alto con 4,16% (81 tramos) CONGOPE, 2020.

Tabla 6. TPD por cantón

Cantón	TPD			Total
	Alto	Bajo	Medio	
Camilo Ponce	3	11	7	21
Chordeleg	-	88	4	92
Cuenca	75	439	189	703
El Pan	-	22	-	22
Girón	1	64	2	67
Guachapala	-	22	-	22
Gualaceo	1	197	15	213
Nabón	1	131	12	144
Oña	-	55	-	55
Paute	-	180	7	187
Pucará	-	35	7	42
San Fernando	-	55	-	55
Santa Isabel	-	99	18	117
Sevilla de Oro	-	23	-	23
Sígsig	-	168	14	182
Total	81	1589	275	1945

Fuente: (CONGOPE, 2020)

Clima

El clima en la zona de estudio y específicamente en las vías provinciales tiene predominio del tipo lluvioso (65,98%), luego aparece el clima lluvioso – nublado (20,43%), posteriormente el clima seco – nublado (10,76%) y finalmente el clima seco (2,83%; CONGOPE, 2020), tal como se expone en la Tabla 7.

Tabla 7. Longitud vial/cantón/tipo de clima

Cantón	Longitud en km/tipo de clima				Total
	Lluvioso	Lluvioso nublado	Seco	Seco nublado	
Camilo Ponce	-	-	77,38	12,06	89,45
Chordeleg	37,95	72,54	-	-	110,50
Cuenca	1301,96	176,29	43,19	99,62	1621,07
El Pan	77,42	-	-	-	77,42
Girón	121,53	12,29	-	83,75	217,57
Guachapala	21,06	29,88	-	-	50,94
Gualaceo	248,17	154,38	-	-	402,55
Nabón	197,42	160,34	-	134,50	492,26
Oña	74,01	-	-	59,43	133,44
Paute	402,58	26,17	-	-	428,75
Pucará	211,12	45,60	22,37	5,26	284,35
San Fernando	77,98	66,01	-	-	144,99
Santa Isabel	204,18	95,14	-	149,11	448,44
Sevilla de Oro	48,36	4,30	-	-	52,65
Sígsig	311,10	190,03	-	-	501,13
Total	3335,85	1032,96	142,94	543,74	5055,50

Fuente: (CONGOPE, 2020)

2.1.3 Estado de la superficie de rodadura

Se tiene que el sistema vial provincial cuenta con 442, 80 km de pavimento flexible (8, 88%), 3 863, 91 km son lastre (77, 47 %), 660, 39 km corresponden a tierra (13, 24 %), para tratamiento bituminoso corresponden 6, 78 km (0, 14%), 5, 31 km son empedrado (0, 11%) y finalmente, 8, 64 km corresponden a pavimento rígido (0, 17%, Tabla 8).

Tabla 8. Longitud según superficie de vías

Tratamiento bituminoso	Tipo de superficie (km)				
	Empedrado	Lastre	Pavimento flexible	Pavimento rígido	Tierra
6,78	5,31	3863,91	442,80	8,64	660,39

Fuente: (CONGOPE, 2020)

El Plan de Infraestructura Vial del Azuay (Prefectura del Azuay, 2018) da a conocer dentro de su plan de acción hasta 2038 que existían al año de consultoría 384 puntos críticos consistentes en 192 (50 %) por falta de mantenimiento, 90 o 23, 44% por limitaciones en el diseño geométrico, 42 de tipo geológico (10, 94 %), y 60 de tipo hidrogeológico (15, 63 %). En la Tabla 9 aparecen los puntos según el tipo y su pertenencia a cada cantón

Tabla 9. Tipo de daño/cantón

Cantón	Tipo de daño			
	Geológico	Hidrogeológico	Mantenimiento	Diseño Geométrico
Camilo Ponce	0	10	8	4
Chordeleg	2	0	4	4
Cuenca	17	7	101	45
El Pan	1	0	4	0
Girón	0	3	1	2
Guachapala	1	0	0	3
Gualaceo	1	2	6	2
Nabón	6	1	1	1
Oña	1	1	0	0
Paute	4	5	2	7
Pucará	6	6	9	2
San Fernando	0	6	14	9
Santa Isabel	2	4	8	1
Sevilla de Oro	1	3	0	3
Sígsig	0	8	38	7
Total	42	60	192	90

Fuente: (CONGOPE, 2020)

Con igual importancia, la Prefectura del Azuay (2018) indica las necesidades de conservación vial en km para cada cantón, teniendo el mantenimiento rutinario mayor importancia (4 331, 5 km), seguido de la rehabilitación (651, 24 km), el mejoramiento (41, 88 km), el mantenimiento periódico (30, 25 km) y finalmente la reconstrucción (0, 78 km). El detalle consta en la Tabla 10.

Tabla 10. Requerimientos de mantenimiento vial(km) /cantón

Cantón	Tipo de conservación				
	Mantenimiento periódico	Mantenimiento rutinario	Mejoramiento	Rehabilitación	Reconstrucción
Camilo Ponce	-	87,21	-	-	2,24
Chordeleg	-	93,18	-	-	17,32
Cuenca	-	1414,63	31,62	0,78	174,04
El Pan	-	66,87	-	-	10,55
Girón	19,5	155,19	7,69	-	35,18
Guachapala	-	50,94	-	-	-
Gualaceo	-	357,3	-	-	45,25
Nabón	-	437,85	-	-	54,41
Oña	-	117,26	-	-	16,18
Paute	-	355,05	-	-	73,70
Pucará	-	283,33	-	-	1,02
San Fernando	-	87,85	-	-	57,14
Santa Isabel	10,74	395,66	2,57	-	39,46
Sevilla de Oro	-	45,26	-	-	7,39
Sígsig	-	383,77	-	-	117,36
Total	30,25	4331,35	41,88	0,78	651,24

Fuente: (CONGOPE, 2020)

En complemento, el estado de la superficie de rodadura según su tipo, corresponde a regular en su mayoría (3 347,01 km o 67, 10%), luego aparece el estado bueno (926, 66 km o 18,58%), para finalmente aparecer el estado malo con 714, 16 km o 14, 32%; tal como consta en la Tabla 11.

Tabla 11. Estado en km/ tipo de superficie

Tipo de superficie	Estado (km)		
	Bueno	Malo	Regular
Tratamiento bituminoso	3,51	2,13	1,13
Empedrado	-	-	5,31
Lastre	682,35	369,04	2812,52
Pavimento flexible	199,87	80,12	162,81
Pavimento rígido	8,64	-	-
Tierra	32,28	262,86	365,25
Total	926,66	714,16	3347,01

Fuente: (CONGOPE, 2020)

2.1.4 Inventario vial del Azuay

El inventario vial constituye un registro ordenado, sistemático y actualizado del viario provincial, donde consta su ubicación, características físicas y categorización con base en su jerarquía y competencia. Por ello, CONGOPE (2016) realizó una digitalización de la información a través de un sistema de información geográfica, agrupando las vías según la competencia (MTOPE, Gobierno Provincial del Azuay, GADs Municipales o GADs Parroquiales). Mientras tanto, en la Tabla 12 se indican vías en kilómetros a cargo del Gobierno Provincial del Azuay (GPA) para cada cantón, aunque el mantenimiento de los kilómetros correspondientes a los GAD parroquiales también se coordina con el GPA.

2.2 Emulsiones- Definición

Las emulsiones asfálticas están conformadas por tres ingredientes fundamentales: agua, asfalto y un agente emulsificante. Están caracterizadas por contener una dispersión fina con cierta estabilidad de un líquido respecto con otro, siendo no miscibles entre estas. En ciertos casos, un estabilizador puede estar contenido en el agente emulsificante (De Celis, 2014).

Tabla 12. Competencia vial

Cantón	Vías (km)			
	MTOP	GPA	Municipios	GAD Parroquial
Camilo Ponce	10,94	9,54	30,67	212,28
Chordeleg	7,27	8,80	16,09	67,80
Cuenca	155,91	270,42	151	2890,73
El Pan	7,57	-	4,03	44,69
Girón	34,73	9,17	18,50	265,34
Guachapala	16,46	-	5,79	112,22
Gualaceo	18,49	16,26	129,20	275,16
Nabón	8,64	25,15	6,73	495,73
Oña	10,82	21,94	7,57	186,51
Paute	14,73	11,89	54,64	205,14
Pucará	20,53	26,36	3,13	442,25
San Fernando	-	6,58	11,18	127,06
Santa Isabel	32,73	42,08	13,88	493,81
Sevilla de Oro	13,47	-	8,54	51,60
Sígsig	12,33	3,82	21,21	177,28
Total	364,62	452,01	482,16	6047,6

Fuente: (CONGOPE, 2020)

2.2.1 Tipos

Los tipos de emulsiones aparecen según las fases y cuan concentradas están (Figura 4), siendo:

Emulsión directa: el asfalto está disperso en la fase acuosa (se tiene mayor cantidad de agua que de asfalto).

Emulsión inversa: una fase acuosa se dispersa en el asfalto (se tiene mayor cantidad de asfalto que de agua).

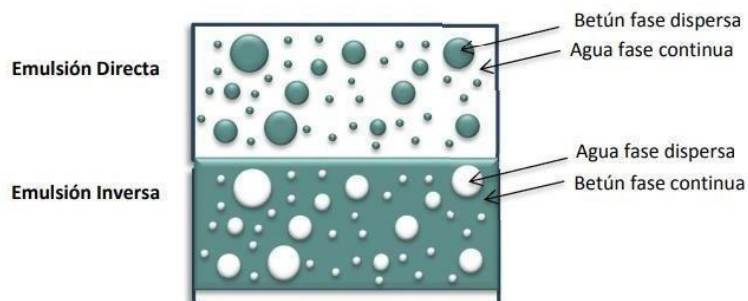


Figura 4. Características de emulsión directa vs. emulsión inversa

Fuente: (De Celis, 2014)

2.2.2 Clasificación

Según el tipo de emulgente usado, pueden ser aniónicas y catiónicas.

Emulsiones Aniónicas: En este caso, el agente emulsificante genera en los glóbulos polaridad de tipo negativo (carga negativa).

Emulsiones Catiónicas: En esta característica, los glóbulos reciben una polaridad positiva por parte del agente emulsificante (carga positiva).

Mientras tanto, según su estabilidad pueden ser:

De Rompimiento Rápido: Empleadas para riegos de liga y carpetas.

De Rompimiento Medio: Usadas para carpetas mezcladas en frío cuya elaboración sea en planta, con un contenido de finos $\leq 2\%$. También se usan en bacheos, renivelaciones y sobre carpetas.

De Rompimiento Lento: Aparecen en carpetas mezcladas en frío cuya elaboración es en planta, así como para estabilizar el asfalto.

Para Impregnación: Son empleadas para impregnar sub bases y/o bases hidráulicas.

Super Estables: Usadas para estabilizar materiales o recuperar pavimentos.

En el caso de Ecuador, se han realizado estudios para evaluar el comportamiento de las emulsiones asfálticas. Por ejemplo, Gavilanes (2022) analizó el comportamiento de emulsiones asfálticas catiónicas de rompimiento lento (CSS-1h), recomendando el reposo de la mezcla al menos cinco horas antes de los ensayos, dado que es necesario fraguar el contenido de agua. También determinaron que el porcentaje de emulsión debe adicionarse en cerca del 3%, para alcanzar valores máximos de CBR (*California Bearing Ratio* o Relación de Soporte de California; Gavilanes, 2022).

Por otro lado, Jaramillo y Places (2022) analizaron una emulsión catiónica de ruptura lenta, aplicando ensayos de viscosidad Saybolt Furol (25°C) y obteniendo 26 segundos; un residuo por evaporación de 59, 62%; estabilidad y asentamiento de 1, 30% y 2, 52% y una polaridad de carga positiva de las partículas (Jaramillo y Places, 2022). En complemento, Quirola y Reinoso (2017) emplearon una emulsión super estable al comparar el uso de dos tipos de emulsificantes catiónicos líquidos (Asfier 240 y Asfier 211). Los autores concluyen que la solución 240 presenta otro comportamiento que la 211, especialmente en lo que respecta al mayor tiempo de mezcla (Asfier 240), dotando un mayor recubrimiento de agregados.

2.2.3 Nomenclatura

Según normativa ASTM y AASHTO, las emulsiones cuentan con una serie de números y letras identificativas según sus propiedades. De este modo, la letra “C” da a conocer una emulsión catiónica, mientras su no aparición expresa a una emulsión aniónica. Luego, la velocidad de rotura es otro parámetro de clasificación, seguido del número 1 o 2 (donde 2 es más viscoso que 1). Finalmente, la letra “h” indica consistencia y la letra “s” indica que es más blando (Tabla 13; Repsol, s.f).

Tabla 13. Especificación de nomenclatura

Emulsión aniónica (ASTM D947, AASHTO M140)	Emulsión catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1 (RR-1)	CRS-1(RR-1)
RS-2	CRS-2
HFRS-2	-
MS-1 (RM-1)	-
MS-2	CMS 2 (CRM-2)
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	-
HFMS-2	-
HFMS-2h	-
HFMS-2s	-
SS-1 (RL-1)	CSS-1 (RL-1)
SS-1h	CSS-1h

Fuente: (REPSOL, s.f)

2.2.4 Emulsiones modificadas con polímeros

Las emulsiones modificadas con polímeros proveen calidad superior a las de grados convencionales al añadirse un polímero, haciendo que la base asfáltica tenga mayor adhesividad y elasticidad. Por ello, esta técnica se varían las propiedades físico-químicas. Entre las ventajas se encuentran su capacidad para resistir más a la ruptura y a la fractura térmica, disminución de daño por fatiga, menor agrietamiento y disminución a la susceptibilidad térmica (Palma et al., 2015).

Por tal efecto, los tipos de polímeros a usar se encuentran clasificados así:

Termofijos: constituyen polímeros no solubles, originados de una reacción química que conforma una estructura entrecruzada, sin la capacidad de fundición (no se pueden recuperar).

Termoplásticos: caracterizados por su solubilidad, son blandos al someterse al calor, apareciendo polímeros lineales o ligeramente ramificados.

Elastómeros: llamados también cauchos, tienen un comportamiento mixto, pues se parecen a los termofijos al adquirir una estructura parcialmente reticulada luego de la vulcanización; aunque a veces se comportan como termoplásticos.

De esto, se debe garantizar las siguientes propiedades:

- Baja polaridad, haciéndola más compatible con asfaltos.
- Peso molecular, disminuyendo riesgos por el exceso de viscosidad y conflictos de dispersión.
- Baja temperatura vítrea, mejorando problemas de deformación a cuando las temperaturas sean bajas.

Dentro de algunos análisis, Rojas et al. (s.f) concluyen que el porcentaje óptimo de polímero SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) es 2,5% para una mezcla en caliente, mejorando 88,10% la estabilidad, con un incremento de flujo de 13,33%. Por ello, se formuló un 59% de agregado grueso, 41% de agregado fino, 5,5% de asfalto y 2,5% de polímero SBS. En otro estudio, se determinó un incremento de estabilidad del 20,58%, y aumento del flujo de 11,11 %, en una mezcla modificada con 1% de SBR (caucho de estireno butadieno). Finalmente, López (2020) concluye que el porcentaje de PET (polietilentereftalato) óptimo puede ser entre 1% y 2% (máximo). De esto, se evidenció que la adición de PET incrementa la estabilidad (5% más) (López 2020).

2.2.5 Estabilidad de la emulsión asfáltica

Este proceso implica las etapas:

- Sedimentación de gotas: es la variación de densidades entre las gotas y la fase continua. Por ende, la velocidad de sedimentación, el tamaño de las gotas y el incremento en la aceleración constituyen una función positiva matemáticamente de dicha diferencia. Así, si la distancia entre dos gotas no es mayor a la de un diámetro, la Ley de Stokes es la referencia durante la sedimentación (Mercado et al., 2008).

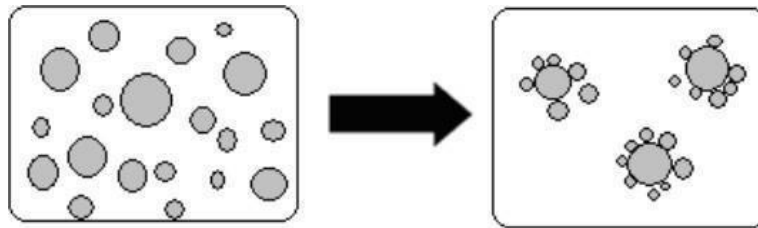


Figura 5. Proceso de sedimentación
Fuente: (Mercado et al., 2008)

- Drenaje entre gotas: Está en función de la presión derivada de las gotas y la viscosidad de la película, los cuales dependen de la cantidad de tensoactivos dentro de la interfase gota y fase continua. Los fenómenos que ralentizan el proceso son: a) repulsión electrostática, b) repulsión estérica, c) electroviscosidad y d) aquellas interacciones desarrolladas entre moléculas adsorbidas y moléculas de la fase continua (Mercado et al., 2008).
- Ruptura de la estabilidad de las emulsiones: aquí las fuerzas eléctricas representan un porcentaje de las fuerzas actuantes, especialmente cuando el proceso se vuelve más complejo ante la agitación sobre el sustrato mineral (Mercado et al., 2008).

2.2.6 Ruptura de emulsiones asfálticas

El tiempo de ruptura guarda relación con el tipo y la cantidad de surfactante empleado, así como con el tipo de agregado usado, la composición química y granulometría, la temperatura y el clima durante la aplicación. Así, cuando ha transcurrido cierto tiempo, estas emulsiones deben perder su estabilidad hasta que el asfalto pueda depositarse en forma de capa. El referido fenómeno se produce ante la carga eléctrica del material pétreo, haciendo que las partículas neutralicen la carga de aquellas de asfalto, facilitando la formación de agregados de gran tamaño. Por ello, se requiere que el agua se elimine del sistema asfalto-pétreo (Figura 6).

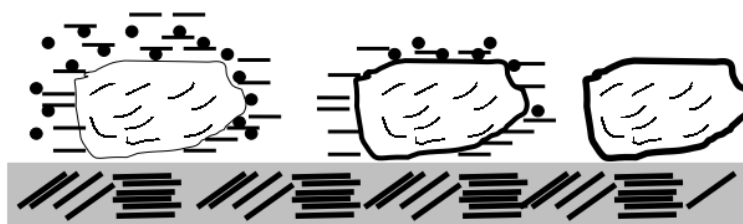


Figura 6. Ruptura de emulsiones
Fuente: (IMT, 2001)

2.3 Micro pavimentos-definición

Según se ha expuesto, se encuentra una amplia variedad en para diseñar micro pavimentos, haciendo que aparezca una variabilidad de los resultados en los diversos proyectos donde se han aplicado. Por ello, el uso de los micro pavimentos ha sido discutido ante condiciones como: agregados de baja calidad, granulometría inadecuada, escaso conocimiento de los procedimientos de diseño o falta de experiencia por parte de los profesionales a cargo (Sarmiento, 2018).

Sin embargo, de manera general puede decirse que los micro pavimentos son componentes de pavimentación en la superficie, conformados por capas con espesores pequeños de emulsión asfáltica modificada. Usualmente los espesores corresponden a capas delgadas que fluctúan entre 3 mm y 13 mm (Freire y Quizhpi, 2022).

2.3.1 Definición

El término micro pavimento se concede a la mezcla de materiales entre los que aparecen emulsión asfáltica modificada con polímeros, agregado, mineral de relleno, agua y aditivos varios, los cuales están satisfactoriamente en proporción, mezcla y aplicación en superficies previamente preparadas, según una especificación normativa (Figura 7). Además, la referida composición debe ser factible de aplicación en secciones longitudinales con espesores variables. Por ello, una vez curado y sometido a una consolidación con tránsito, debe resistir la compactación conforme especificaciones de tolerancia durante el diseño (bitumen y espesores variables; Delgado et al., 2022).



Figura 7. Aplicación de micro pavimento en una vía de Brasil

Fuente: (Grilli et al., 2019)

Con relación a esto, se debe proveer una superficie resistente a la fricción, especialmente en mojado o húmedo. Igualmente, la mezcla debe facilitar el tránsito

rápido, es decir, debe aceptar tránsito después de intervalos cortos de tiempo. Otra característica es su aplicabilidad como tratamiento superficial delgados de 10 mm de espesor, mejorando la fricción en pavimentos (Palomino, 2017).

Otros usos son en la recuperación de ahuellamientos en zonas con altos volúmenes de tráfico, y la corrección de alisamientos por exudación, desintegración y oxidación.

2.3.2 Tipos de micro pavimento

Los tipos de micro pavimento se diferencian conforme los diversos tamaños de piedra, donde se obtienen diferentes texturas superficiales (Vargas, 2016). A raíz de esto, existen tres tipos:

- Tipo I: es fino, empleado en parqueaderos y aeródromos.
- Tipo II: más grueso y su aplicación es genérica, especialmente en vías arteriales, zonas residenciales y carreteras.
- Tipo III: aparece en autopistas o vías de alta velocidad, destaca por ser el de mayores proporciones.

En tal virtud, se debe tener presente que, dependiendo del tipo de agregado, se obtendrán resultados de tonalidad más clara u oscura. Asimismo, la adición de ciertos polímeros provee una mayor duración y una mejor resistencia al tránsito y a los agrietamientos. Por ello, se usa generalmente látex de caucho, caucho de la miga, entre otros.

2.3.3 Micro pavimento y slurry seal

Es importante señalar la distinción que la ISSA da a las lechadas asfálticas (*slurry seal*) y micro pavimentos en frío (*micro surfacing*), los cuales son tipos de emulsiones asfálticas, usadas como recursos para el mantenimiento de pavimentos de asfalto. En sí, los micro pavimentos son tipos más avanzados de lechada asfáltica, con estabilidad superior y capacidad de distribuirse en espesores variables de hasta 50 mm (Castiblanco, 2015).

Por un lado, las lechadas asfálticas presentan como usos específicos proporcionar cobertura temporal a bajo costo y proporcionar superficies lisas para áreas peatonales, estacionamientos de automóviles, patios escolares y ciclovías. Al contrario, los micro pavimentos proveen corrección de forma y perfilado; así como otorgan una mayor durabilidad y una apertura al tráfico más rápida (Grilli et al., 2019).

De manera genérica, las lechadas asfálticas se utilizan principalmente en áreas urbanas o en carreteras de bajo volumen, aunque existen evidencias sobre su uso en aeródromos. Igualmente, este compuesto puede usarse como alternativa al sellado por aspersión en áreas urbanas donde el ruido del tráfico de un sello por aspersión no sería aceptable. Mientras tanto, el micro pavimento ofrece escenarios más amplios de aplicabilidad, surgiendo como alternativa a las tradicionales mezclas bituminosas calientes o templadas (Austroroads, 2003). En resumen, la Tabla 14 muestra las diferencias que Grilli et al. (2019) plantean entre lechadas asfálticas y micro pavimentos.

Tabla 14. Diferencias entre lechadas asfálticas y micro pavimentos según la experiencia sobre su uso

Lechada asfáltica	Micro pavimento
Uso de agregados de textura suave	Uso de áridos triturados y de alta calidad, de mayor tamaño.
Emulsión bituminosa de fraguado lento	Emulsión bituminosa modificada (elastomérica) de fraguado controlado
Las condiciones climáticas tienen un impacto primordial en la evolución del curado	El proceso químico, junto con las condiciones climáticas, controla la evolución del curado
Se utiliza principalmente para sellar y rejuvenecer pavimentos de carreteras sometidos a un volumen de tráfico bajo o medio.	Se utiliza principalmente para mejorar la resistencia al deslizamiento y nivelar pavimentos de carreteras sometidos a cualquier nivel de tráfico.
Vida útil: 3-5 años	Vida útil: 5-8 años
Tiempo de cierre al tráfico: 4 horas	Tiempo de cierre al tráfico: 1 hora
Costo promedio: 0,90 €/m ² (1 \$/m ²)	Costo promedio: 2 €/m ² (2,20 \$/m ²)

Fuente: (Grilli et al., 2019)

2.3.4 Ventajas de los micro pavimentos

Al compararse con un *slurry seal*, el micro pavimento (*micro surfacing*) según Miranda (2022) destaca por:

- Reduce la desintegración y es antiderrapante (curvas o pendientes pronunciadas).
- Permite impermeabilizar la superficie: Incrementa la durabilidad del pavimento en topografías montañosas, al reducir el envejecimiento por fatiga térmica, dado el uso de polímeros.
- Permite una rápida apertura (pasados 60 minutos de aplicación), y no necesita compactarse.
- Es factible para rellenar ahuellamientos, donde capas subsiguientes proveen un adecuado drenaje, reduciendo los hidroplaneos.
- Es ambientalmente amigable al aplicarse en frío.

- Mejora la adherencia sin requerir riegos de liga, siendo eficaz para aplicarse en capas de poco espesor (reducción de costos hasta 30%).
- Mejora el rendimiento de aplicación al facilitar su aplicación hasta 3 000 m²/día.

2.3.5 Espesores de los micro pavimentos

Los micro pavimentos están considerados como el método más avanzado de pavimentación en superficies, con capas entre 10 y 50 mm; siendo necesario considerar que los espesores y las granulometrías a seleccionar deben estar en función de la carga de los vehículos a la que se someterá la vía, así como los esfuerzos distribuidos. En este sentido, aparecen como capas: el terraplén o subrasante, la sub base, la base y la capa de rodadura (donde se aplican sellos o tratamientos superficiales, a través de ligantes).

Como tratamiento superficial, el espesor de la capa de micro pavimento es aproximadamente igual al tamaño máximo de agregado utilizado en la mezcla, por lo que micro pavimento aplicado como tratamiento superficial estará en función del grosor y peso por unidad de área; esto al variar la textura de la superficie del pavimento. Esto significa que se pretende colocar el material con un espesor ligeramente mayor que el tamaño más grande del agregado (Texas Transportation Institute, 1996).

Es así como las tasas de aplicación rondan entre 5,4 -16 kg/m², teniéndose que la tasa exacta estará en función de la textura de la superficie existente. Por ello, se debe considerar algunos casos, por ejemplo, cuando la superficie está deshilachada, es áspera y abierta, se necesita una mayor cantidad de material para llenar los vacíos de la superficie. Mientras tanto, se requiere menos material cuando existen superficies casi lisas o casi enjuagadas. También se debe tener presente si se colocan cantidades menores de micro pavimento en una superficie abierta, la caja esparcidora atraparé piezas individuales de agregado y las arrastrará a lo largo de la superficie de la carretera creandomarcas de arrastre excesivas.

Asimismo, cuando la textura superficial del pavimento no es uniforme, tampoco lo será la superficie del micro pavimento, debiéndose incorporar una capa inicial antes de la aplicación de la superficie final para crear una superficie uniforme (Texas Transportation Institute, 1996).

2.3.5 Materiales

Los materiales empleados pueden contener una mezcla de asfalto emulsionado, agregado mineral, agua y aditivos; los cuales se distribuyen uniformemente sobre una

superficie preparada y dirigida por el personal técnico a cargo. Es necesario indicar que existen varias normativas que establecen los compuestos, en algunos casos, son regulaciones de cada país, en otros, de asociaciones internacionales como ISSA, ASTM, entre otras. Destaca la norma ISSA A-143: Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación, donde se especifican los contenidos y ensayos de calidad para cada material del micro pavimento. Sin embargo, el MTOP ha emitido la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI, 2013), en la que en su volumen 6: Conservación Vial, da ciertos lineamientos para el uso de micro pavimentos.

Asfalto emulsionado

Este tipo es modificado con polímeros, los cuales deben ser fresados o fusionados con asfalto o la solución correspondiente, previa la emulsificación. Usualmente, el mínimo es 3% de sólidos de polímero, según el asfalto y el peso (ISSA, 2010). Mientras tanto, la norma NEVI (2013) indica que los materiales son aquellos indicados en el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas No. 19, así como establece que el tipo y grado de una emulsión asfáltica se basará en las normas ASTM D 977 y ASTM D 2397, cuya selección estará acorde a características como tipo de construcción, propiedades del agregado o condiciones del ambiente. Además, los criterios de selección contemplarán la norma ASTM D 3628.

Agregado

El agregado mineral a emplearse debe constar en los requisitos de aplicación específicos dentro del diseño. En detalle, el agregado es piedra molida, teniendo los modelos: granito, escoria, caliza, sílex, otros agregados de buena calidad, o bien sea una mixtura entre los enlistados. En consecuencia, el agregado madre debe ser de mayor tamaño que la piedra máxima de la gradación empleada (ISSA, 2010).

Por otro lado, la norma NEVI (2013) Vol. 3 indica que los agregados deben ser a base de piedra triturada, donde la totalidad de la roca debe ser más grande que la piedra máxima en la graduación. Se recomienda que los requisitos físicos del agregado cumplan las especificaciones expresadas en la siguiente Tabla 15.

Tabla 15. Valores límite del agregado

Descripción	Límites
Equivalente de arena, previa adición de relleno mineral	≥ 65
Resistencia a los sulfatos, % de pérdida, promedio ponderado	≤ 15 (sulfato de sodio) ≤ 25 (sulfato de magnesio)
Abrasión con máquina de los Ángeles, %	≤ 30

Fuente: (ISSA A 143, 2010)

Relleno Mineral

Este componente facilitará el mejoramiento de consistencia y ajustará las propiedades de fractura y curado. En tal virtud, es común el uso de cemento Portland, así como el uso de hidróxido de calcio, polvo de caliza, cenizas volantes, etc., en concordancia con la norma ASTM D 242 (cuando el diseño de la mezcla lo precisa). Generalmente, los niveles de uso fluctúan entre 0,0% y 3,0%, pudiendo ser considerados parte de la gradación del agregado (ISSA, 2010).

Asimismo, la norma NEVI (2013) da a conocer que el relleno hidráulico debe consistir en cemento hidráulico sin contenido de aire o cal tratada, debe ser libre de cúmulos y su aceptación podrá ser visual. También, la cantidad requerida deberá considerarse en la graduación del agregado (Tabla 16).

Tabla 16. Valores referenciales norma NEVI

Tamaño del tamiz (mm)	Cantidad pasante el tamiz (% en peso)		
	Tipo I	Tipo II	Tolerancia en stock
9,5	100	100	-
4,75	90 a 100	70 a 90	$\pm 5\%$
2,36	65 a 90	45 a 70	$\pm 5\%$
1,18	45 a 70	28 a 50	$\pm 5\%$
0,6	30 a 50	19 a 34	$\pm 5\%$
0,33	18 a 30	12 a 25	$\pm 4\%$
0,15	10 a 21	7 a 18	$\pm 3\%$
0,075	5 a 15	5 a 15	$\pm 2\%$

Fuente: (NEVI, 2013)

Agua

Este material no debe incorporar sales perjudiciales y contaminantes, siendo necesario el análisis en laboratorio en caso de presentarse dudas sobre su calidad (ISSA, 2010).

Aditivos

Los aditivos aceleran o retardan la fractura y el fraguado, debiendo aprobarse por el laboratorio dentro del proceso de diseño (ISSA, 2010).

2.4 Usos de los micro pavimentos

Como ya se indicó, los micro pavimentos según Miranda (2022) reducen la desintegración, proveen propiedades impermeabilizantes, son de rápida apertura al tránsito, permiten el relleno de ahuellamientos, son ambientalmente amigables al aplicarse en frío o mejoran la adherencia sin requerir riegos de liga. En consecuencia, según expresan Castro y Zambrano (2020), la aplicación de los diversos tratamientos superficiales debe considerar el volumen y el tipo de tráfico, tal como se indica en la Tabla 17 según la granulometría.

Tabla 17. Granulometría según tratamiento

Tratamiento	Granulometría
Mortero asfáltico	Tipo II, Tipo III
Mortero asfáltico modificado con polímeros	Tipo II, Tipo III
Micro pavimento	Tipo II, Tipo III

Fuente:(Castro y Zambrano, 2020)

2.5 Propiedades de los micro pavimentos

2.5.1 Cohesión

Está en función del tiempo de fraguado de la mezcla de micro pavimento. Mide la torsión de una mezcla de micro pavimentos a medida que se fusiona y desarrolla una fuerza cohesiva.

2.5.2 Abrasión en vía húmeda

Corresponde al contenido mínimo de asfalto y la resistencia al decapado. Por ello, se requiere conocer la proporción de emulsión mínima permisible de un sistema de micro pavimento específico y su susceptibilidad a la humedad a largo plazo del sistema.

2.5.3 Rueda cargada

Es la cantidad de variables obtenidas al compactar y las mezclas multicapa ante compactaciones simuladas de tráfico dinámico (rodante).

2.5.4 Prueba de clasificación

Consiste en determinar la compatibilidad relativa existente dentro del agregado de relleno con una gradación específica y el residuo de asfalto emulsionado.

2.6 Tratamientos de preservación vial y micro pavimentos

Los tratamientos de conservación del pavimento permiten restaurar las condiciones de su superficie y protegen el pavimento subyacente, haciendo que disminuyan las probabilidades de rehabilitar o reconstruir pavimentos, además se reducen los costos por mantenimiento (Minnesota Department of Transportation, 2016).

En complemento, Herra (2018) da a conocer que el mantenimiento oportuno en las vías influye en la gestión de los sistemas de pavimentos, puesto que la intervención temprana en grietas y baches pequeños, evita un deterioro acelerado y, por ende, menores costos de inversión (Figura 8). Por ello, se indica una curva de deterioro teórica de un pavimento, en función de la condición y de la edad. Puede verse que, en niveles muy buenos, se enfatiza una preservación de microcapa, mientras para estados inferiores como regular, malo y muy malo, se precisa de rehabilitación o reconstrucción, según corresponda.

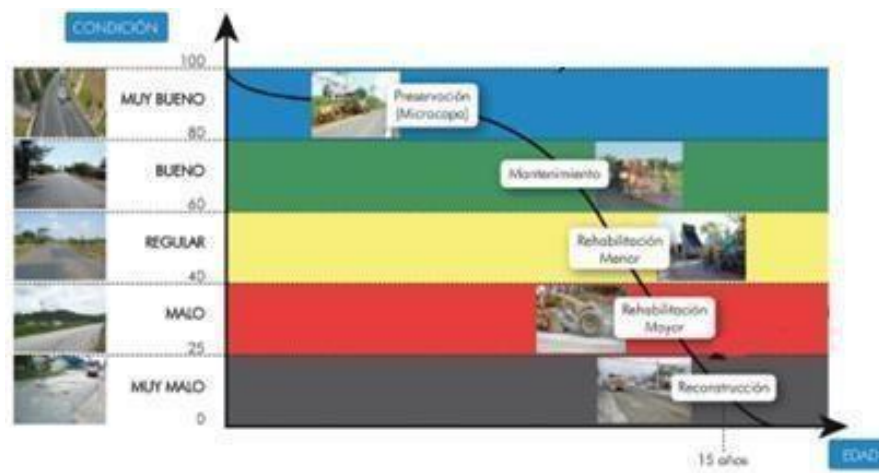


Figura 8. Curva de deterioro de un pavimento flexible
Fuente: (Herra, 2018)

Como puede verse en la Figura 8, el concepto de conservación del pavimento involucra los tipos de mantenimiento: preventivo, correctivo y de emergencia; en función del tiempo. Es así como surgen dos factores de importancia: el momento óptimo de aplicación y la elección correcta del tratamiento. Por ello, la curva esquemática de la Figura 9 expone que el mantenimiento preventivo debe realizarse de manera temprana en la vida del pavimento, donde las características de conservación incluyen tratamientos por aspersión: sellado de neblina, sellado de virutas, lechada asfáltica y micro pavimentos (Minnesota Department of Transportation, 2016).

Además, si la condición de activación se establece demasiado baja, el mantenimiento preventivo puede ser ineficaz al no aportar una capacidad estructural en las carreteras. Consecuentemente, cuando un pavimento alcanza esta condición, aparecen alternativas más rentables como la rehabilitación: fresado y relleno, reciclaje en frío en el lugar (CIR), recuperación de profundidad completa (FDR) y la reconstrucción (Minnesota Department of Transportation, 2016).

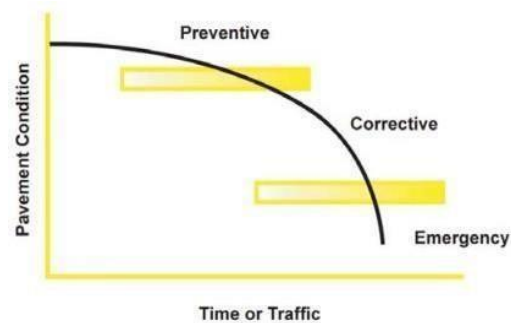


Figura 9. Concepto de conservación de pavimento
Fuente: (Minnesota Department of Transportation, 2016)

Con igual importancia, la popularidad de las emulsiones asfálticas modificadas ha llevado a un aumento en el uso de micro pavimentos, sin embargo, el punto de ruptura de una mezcla de micro pavimentos/*slurry seal* es extremadamente crítico, por lo que se debe perfeccionar el proceso de diseño de la mezcla y las estrategias para obtener el punto de ruptura (Robati et al. 2015).

Con relación a este término, se dice que, durante la producción, la fase jabonosa ha sido dispersa en el asfalto, haciendo que las partículas de asfalto estén separadas ante la reducción en pequeñas gotas, las que se rodean de emulsificante. En consecuencia, dicho emulsificante cuenta con carga eléctrica para evitar la atracción. A raíz de esto, la coalescencia o unión de las partículas de asfalto se da de manera posterior a la evaporación del agua contenida en la emulsión (Figura 10), dando origen al fenómeno denominado rompimiento o pérdida de estabilidad de la emulsión.

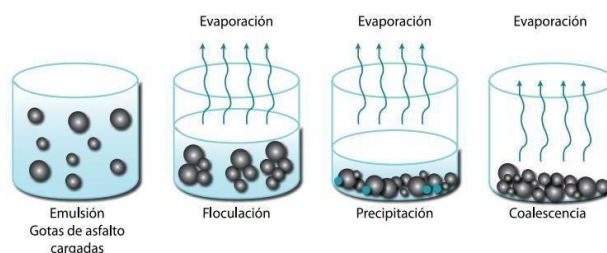


Figura 10. Fases para la rotura de una emulsión
Fuente: (Ulloa, 2012)

De manera general, varios estudios han demostrado que la micro pavimentación añade entre tres y cinco años de vida útil a los pavimentos existentes, reduciendo surcos y mejorando la calidad de conducción de la superficie. A raíz de esto, el micro pavimento constituye una manera económica de conservación, puesto a su rápida aplicación y tiempo de finalización, especialmente cuando las carreteras de micro pavimento pueden abrirse al tráfico en un hora (Kim et al. 2017, Bae y Stoffels 2008).

Tal es el caso de Kim et al. (2017), quienes encontraron que la aplicación de varias capas de micro pavimentos durante la vida útil de la superficie, hacen de esta una de las estrategias de conservación más efectivas. Por otro lado, Labbi et al. (2007) determinaron que la micro pavimentación en promedio provee una disminución del índice internacional de rugosidad (IRI) de 0,442 m/km. En simultáneo el referido estudio demuestra que el micro pavimento aumenta el índice de condición del pavimento (PCI) a 6,2, entre una escala de 0 y 100.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE MICRO PAVIMENTOS

Los métodos de diseño corresponden a la definición de los tipos de procesos para obtener un micro pavimento desde su formulación, según las condiciones y necesidades de aplicabilidad. Asimismo, se requiere conocer las variables que influyen en el diseño, a decir: tipo de vía, tipo de daño, disponibilidad de material y equipos, entre otras; manteniendo concordancia con normativa internacional (ASSHTO, Instituto del Asfalto, ASTM) y nacional (NEVI).

Por ello, este capítulo aborda aquellos métodos de diseño de importancia para micro pavimentos, la normativa relacionada, así como las variables requeridas. Con igual importancia se detallan los ensayos aplicables, tanto para agregados como para emulsiones, y la posibilidad de generar mantenimientos preventivos que alarguen y mantenga la vida útil de un pavimento, sin llegar a deterioros extremos que ameriten una reconstrucción total del pavimento lo que significa rubros y costos de ejecución excesivamente altos.

3.1 Métodos de diseño de micro pavimentos

Cuando se va a diseñar una mezcla de micro pavimento se debe considerar los estándares de prueba disponibles en la ISSA, los cuales proporcionan un marco referencial para la evaluación de parámetros como tiempo de mezcla, tiempo de fraguado, tiempo de tráfico, contenido de asfalto mínimo permitido y contenido de asfalto máximo permitido. A pesar de esto, los métodos de diseño de mezclas pueden mejorarse al ejecutar mediciones en el proceso, es decir, ajustes de formulación para compensar la reactividad variable de diferentes agregados (Kumar et al., 2016).

En este sentido, la metodología de diseño de mezclas para micro pavimentos según ASTM e ISSA, establece que los métodos de diseño allí señalados, constituyen únicamente una guía, por lo que se requieren métodos más precisos basados en pruebas relacionadas con el rendimiento (Kumar et al., 2016). Dentro de los estándares más conocidos, se incluyen los siguientes: ASTM D6372, ISSA A-143, y MS-19 *Basic Asphalt Emulsion Manual* (Instituto del Asfalto, 2023).

3.1.1 Métodos empíricos

Existen numerosos estudios que intentan determinar la concentración exacta de materiales en un micro pavimento. Por ejemplo, en Minnesota se investigó el desempeño

de micro pavimentos utilizando un aglutinante PG 48-34 más suave como base para una emulsión (Johnson et al. 2007). El estudio evaluó el agrietamiento antes y después de la construcción, con una evaluación del tratamiento seis meses después de la construcción (etapa post invernal), notándose una aparición de 71 % de grietas reflejadas en la superficie. Mientras tanto, el micro pavimento disminuyó la formación de surcos en 20% después de la construcción, manteniéndose similar seis meses después.

En otros casos, se han empleado virutas de cromo como sustituto del agregado, notándose resultados favorables en el acabado de la mezcla, manteniéndose el rendimiento al cabo de un año (Kamaraj et al. 2016).

3.1.2 Método Marshall

El presente método sirve para el desarrollo de mezclas de laboratorio, proporciona la caracterización de la formulación de mezcla óptima. La ISSA faculta el uso del método Marshall para muestras de micro pavimentos, así como el procedimiento para la prueba Marshall ha sido estandarizado por la ASME. Por ejemplo, ISSA prescribe el uso del método Marshall para muestras de micro pavimentos y la evaluación mediante métodos de diseño de mezcla de asfalto en caliente como la prueba Marshall modificada ISSA T148 (2010).

3.1.3 ISSA A-143

La referida norma pretende asistir en el diseño y otros parámetros esenciales en torno a un micro pavimento. Se tiene que la mezcla y su diseño evalúen la compatibilidad del agregado, del asfalto emulsionado modificado con polímeros, el agua, el relleno y mineral, etc. En la Tabla 18 aparecen los materiales componentes y los límites sugeridos para cada uno de ellos.

Tabla 18. Límites para materiales

Componente	Límite sugerido
Asfalto residual	5,5-10,5% por peso en seco/agregado
Relleno mineral	0,0-3% por peso en seco/agregado
Contenido de polímero	Mínimo 3% sólidos basados en contenido de peso del bitumen
Aditivos	Acorde lo requerido
Agua	Acorde la cantidad que provea consistencia adecuada

Fuente: (ISSA A 143, 2010)

3.1.4 ASTM D 6372

Esta norma aborda el diseño, prueba y desarrollo de mezclas de emulsión de asfalto modificado con polímeros, agregado mineral, relleno mineral, agua y otra variedad de aditivos, debidamente dosificados, cuya mezcla y esparcimiento se da sobre una superficie pavimentada. Por tal efecto, constituye una guía, en donde las especificaciones de uso final deben adaptarse para cumplir con los requisitos del trabajo y del usuario. La Tabla 19 resume las principales consideraciones para el diseño.

Tabla 19. Características de los materiales

Elemento	Característica
Agregados	Piedra triturada como granito, escoria, piedra caliza u otros; agregado de alta calidad o combinaciones de estos.
Relleno mineral	Cemento portland sin aire incorporado o cal hidratada. No debe contener grumos y se acepta con inspección visual. El tipo y la cantidad de carga mineral necesaria se determinará por un diseño de mezcla en un laboratorio, para considerarse en la gradación agregada.
Asfalto emulsionado	Emulsión asfáltica modificada con polímeros de fraguado rápido, según la Especificación D 2397 para CSS-1h o sección 377, SSIA. El polímero debe ser molido o mezclado en la solución de asfalto o emulsionante previo el proceso de emulsificación.

Fuente: (ASTM D 6372)

3.1.5 AASHTO-SECCIÓN 408

Esta constituye una guía para proporcionar información necesaria a propietarios o contratistas relacionado con la construcción de micro pavimentos. En tal efecto, se mencionan los requisitos de calidad de los materiales y aquellos métodos de diseño para micro pavimentos, según otros documentos de AASHTO. En la Tabla 20 se indican los principales requerimientos enunciados en esta guía.

3.1.6 MS-19 Basic Asphalt Emulsion Manual (Instituto del Asfalto)

El Instituto del Asfalto o *Asphalt Institute (AI)* y la Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas -*Asphalt Emulsion Manufacturers Association (AEMA)*- cuentan con un manual que explica las características de las emulsiones asfálticas y sus usos. En detalle, se indican el tiempo, lugar y procedimientos para el uso de emulsiones; así como se detallan las consideraciones para la selección de una emulsión específica a las condiciones del proyecto vial.

3.1.7 Norma Ecuatoriana Vial -NEVI 12- MTOP

El MTOP (2012) ha emitido la Norma NEVI-12. Volumen 6: Conservación Vial, con el objeto de implementar un plan estratégico para el mejoramiento de los proyectos viales. Por ello, se define al micro pavimento o micro aglomerado como una mezcla de agregados, relleno mineral, emulsión, agua y aditivos.

Tabla 20. Características de los materiales

Elemento	Característica
Agregados	Se deben cumplir con los requisitos de AASHTO 408.2.1. MP 28: Materiales para micro pavimentos. La gradación Tipo II se utiliza principalmente en carreteras y calles para corregir defectos superficiales moderados, rellenar huecos superficiales y para superficies de uso para tráfico medio a pesado. La gradación Tipo III se emplea en colectores, arterias y carreteras principales para mejorar la fricción y la durabilidad.
Relleno mineral	Se deben cumplir con los requisitos de MP 28. El cemento Portland o sulfato de aluminio es el relleno mineral más común. La cantidad a utilizar está determinada por los requisitos del diseño de la mezcla.
Asfalto emulsionado	Debe cumplir con los requisitos de MP 28, cuyas propiedades son determinadas por la agencia propietaria según condiciones climáticas y de tráfico. Solo se permite asfalto emulsionado de fuentes certificadas o aprobadas. Cada carga de asfalto emulsionado deberá contar con un certificado de cumplimiento/análisis que deberá ser presentado a la Agencia diariamente
Agua	Se debe cumplir con los requisitos de MP 28, cuya cantidad debe estar acorde a los requisitos del diseño de la mezcla. En condiciones cálidas se puede agregar agua adicional a la mezcla; aunque se debe considerar que el exceso de agua afectanegativamente la consistencia de la mezcla.
Aditivos	Se debe cumplir con los requisitos de MP 28. Su aplicación debe garantizar la compatibilidad con las emulsiones que suministre el proveedor. Usualmente se emplean en condiciones extremadamente cálidas

Fuente: (AASHTO 408)

Para los materiales se indica que la emulsión asfáltica debe contemplar lo estipulado en la norma ASTM D 977 y ASTM D 2397, con base en las características de construcción, propiedades del agregado y condiciones del ambiente. Se indica que los criterios de selección deben ajustarse a la norma ASTM D 3628.

Mientras tanto, se indica que los agregados deben cumplir los requisitos estipulados en el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas No.19 (Instituto del Asfalto);

es decir, se refiere a las especificaciones de otra normativa. Por ello, en el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas No. 19 constan dos métodos para diseñar mezclas en frío con emulsiones asfálticas. El primer método corresponde al diseño de mezclas con granulometrías cerradas, y el segundo a mezclas con granulometrías abiertas.

Mientras tanto, para otros materiales como relleno mineral, agua y aditivos, esta normativa no expone especificaciones.

3.2 Variables de diseño en micro pavimentos

Cuando se diseña un micro pavimento, es usual considerar las siguientes variables de entrada (Mackay, 2020):

- a) tráfico de diseño;
- (b) evaluación de la subrasante;
- c) medio ambiente;
- (d) materiales de pavimentación y revestimiento; y
- (e) consideraciones de construcción y mantenimiento.

Sin embargo, dada la estructura del presente estudio, estas variables están recogidas tal como se indica a continuación

3.2.1 Tipo de vía

Según expresan Castro y Zambrano (2020), la aplicación de los diversos tratamientos superficiales debe considerar el volumen y el tipo de tráfico (Tabla 21). En este sentido, puede verse que la aplicación de micro pavimentos tiene factibilidad de aplicación en volúmenes de tráfico pesados o muy pesados, así como en velocidades de tráfico bajas (tipo II) y altas (tipo III); esto si se compara con el uso de morteros asfálticos, los cuales pueden soportar volúmenes de tráfico livianos y medio-pesados, con velocidades de tráfico bajas y altas.

Tabla 21. Consideraciones según tráfico y velocidad

Tratamiento	Granulometría	Volumen de tráfico			Velocidad de tráfico	
		Liviano-medio	Medio-pesado	Pesado-muy pesado	Baja	Alta
Micro pavimento	Tipo II			X	X	
	Tipo III			X		X

Fuente: (Castro y Zambrano, 2020)

Con relación a esto, el tráfico de diseño debe basarse en ejes estándar equivalentes (ESA o *Equivalent Estandar Axes*) para la vida de diseño aplicable, donde se consideren los volúmenes de tráfico comercial actuales y previstos, las cargas y configuraciones por eje, el crecimiento del tráfico comercial y la capacidad de la calle. En el caso de nuevas subdivisiones y áreas identificadas para un futuro desarrollo o redesarrollo, el tráfico de diseño deberá tomar en cuenta la evolución del tráfico. En este sentido, en Ecuador la norma NEVI (2012) en su volumen 6, numerado 6.203.1.7 Factor vehicular de deterioro o factor camión, indica que este término se define como el número de ejes simples de rueda doble, de 80 kN (8,2 ton), donde se produce en el pavimento un daño igual al generado por la circulación de un vehículo comercial. Todo esto está relacionado con las deformaciones y deflexiones generadas durante la circulación, con impacto infinitesimal de deterioro en la estructura vial. El procedimiento detallado de cálculo consta en la norma detallada, así como en la Guía de Diseño de Pavimentos (AASHTO, 1993).

En consecuencia, el diseño del micro pavimento debe contar con los datos de tráfico y/o suposiciones realizadas en el cálculo del tráfico de diseño. En caso de ser posible, debe existir conteos de tráfico reales de al menos tres años (Mackay, 2020).

3.2.2 Tipo de daño

Algunos factores son importantes para determinar la resistencia/rigidez del diseño de la subrasante, como la secuencia de construcción de movimiento de tierras, el contenido de humedad de compactación y densidad de campo, cambios de humedad durante la vida útil o la presencia de capas débiles por debajo del nivel de subrasante de diseño (Mackay, 2020).

En este sentido, es necesario considerar el tipo de superficie, puesto que, si esta es irregular, debe hacerse uniforme y semi lisa previa aplicación del micro pavimento. En el caso de depresiones de trayectoria de rueda o profundidad de los surcos (1,25 cm o más), deben rellenarse mediante una caja de depresión de la trayectoria de la rueda. En complemento, al agregado tipo III permite rellenar depresiones de la trayectoria de la rueda (Bista, 2020).

Con igual importancia, una reparación de la depresión de la trayectoria de la rueda debe contener una ligera corona que compense la compactación por la circulación de tránsito, así como debe tener agregado más grande en el centro y agregado más fino en

los bordes (Figura 11). También, debe limpiarse la superficie de materiales sueltos como polvo, grava, manchas de limo, vegetación, manchas de aceite y cualquier otra materia objetable; por lo que métodos como el barrido eléctrico y el lavado con agua son efectivos (no se permiten escobas; Bista, 2020).

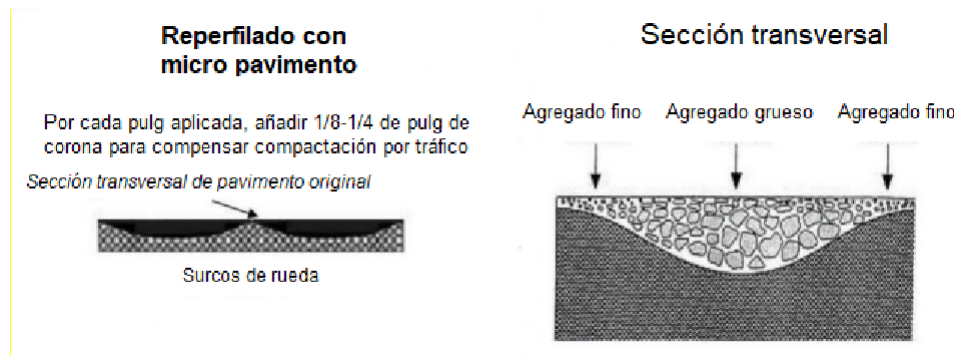


Figura 11. Método de llenado de surcos
Fuente: (Adaptado de Bista, 2020)

3.2.3 Disponibilidad del material y los equipos

Los pavimentos de manera general están clasificados en cuatro categorías con base en su comportamiento fundamental bajo efectos de cargas aplicadas (Mackay, 2020):

- (a) materiales granulares no consolidados, incluidos los materiales granulares modificados
- (b) materiales granulares unidos (cementados)
- (c) hormigón asfáltico
- (d) hormigón de cemento
- (e) los materiales de revestimiento: sellos bituminosos rociados (sellos de gravilla), hormigón asfáltico y micro pavimentos bituminosos (recubrimiento en frío), hormigón de cemento, adoquines de dovelas de hormigón y adoquines dovelas de arcilla

Con relación a esto, se debe tener presente que factores como la estabilidad y los mecanismos de rotura afectan el rendimiento de una emulsión asfáltica y un tratamiento de micro pavimento. Por ello, el diseño de la mezcla se verá afectado por factores externos como la temperatura y la reactividad de los agregados (AMMP, 2019).

En sí, las emulsiones de fraguado rápido se diseñan para romperse o fraguarse al contactarse con los agregados, aunque su ruptura depende de factores como: temperatura de la emulsión, características de los agregados, el viento, condiciones de humedad en el

sitio y parámetros de formulación de la emulsión (dosificación química y el pH de la emulsión; AMMP, 2019). La Tabla 22 resume las principales consideraciones para los materiales.

Tabla 22. Consideraciones generales de los materiales

Material	Característica
pH	Con mayor efecto a los 60 minutos que a los 90 minutos.
Temperatura	Existe una potencial zeta más bajo a temperaturas más altas, lo que indica un fraguado más rápido
Dosificación de emulsionante	Se identificó una posible interacción entre el pH bajo y el aumento de la dosis de emulsionante
Contenido de emulsión	La cohesión aumenta con el contenido de emulsión

Fuente (AMMP, 2019).

Sobre la proveniencia de los materiales, se debe contar con canteras comerciales que avalen el cumplimiento de requisitos de especificaciones estándar referenciales. También, los equipos deben mantener las especificaciones para la aplicación de micro pavimentos. Por ejemplo, el material debe mezclarse a través de una mezcladora específica para esta tarea, con secuencia automática y autopropulsión, con características de flujo continuo con características de entrega y medición, capacidad de almacenamiento suficiente y capacidad de carga continua durante la aplicación. Debe contarse con un dispositivo de carga autónoma, estaciones de accionamiento de lado opuesto y controles de velocidad (ISSA, 2010).

De manera similar, los equipos de esparcimiento deben contar con una caja de pavimentación de paletas de ejes mellizos o barrenas espirales unidas a la esparcidora, mientras un rascador secundario permitirá mejorar la textura superficial. En complemento, equipos rellenadores de baches también pueden hacer cortes, depresiones en la superficie existente, entre otros. En casos de baches de 0,5 pulg (12,7 mm) o mayores, deben ser rellenados independientemente con una máquina específica. También es necesario el uso de equipos auxiliares como: equipos para el control del tránsito, herramientas manuales y equipos complementarios y de seguridad (ISSA, 2010).

En resumen, el Departamento de Transporte de Estados Unidos (2002) también recomienda verificar la funcionalidad de los rodillos(en caso de usarse), la calidad de las

reservas, y realizar comprobaciones como: equipo libre de fugas, suficiencia de unidades para permitir la limpieza de gomas de la caja, calibración de equipos e identificación del personal que realiza la calibración.

3.3 Ensayos en agregados

El agregado debe satisfacer ciertos valores de pulido y tener como requisitos mínimos, según la norma ISSA (2010):

3.3.1 Ensayo de granulometría

Este procedimiento caracteriza la granulométrica del agregado permitiendo conocer su composición con base en los tamaños de agregado; dividiéndose en tipo II y tipo III (Tabla 23).

Tabla 23. Ensayos de granulometría

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 sulfato de sodio o sulfato de magnesio	T 104	C 88	15% máximo c/NA ₂ SO ₄ 25% máximo c/MgSO ₄
Resistencia a la degradación de agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles	T 96	C 131	30% máximo

Fuente: (ISSA A 143, 2010)

Para la aceptación del agregado, se deberán realizar cinco ensayos de gradación conforme a las normas AASHTO T 2 (ASTM D 75). Así, el material deberá aceptarse cuando los cinco ensayos promediados se encuentren en el margen de tolerancia de las reservas de la gradación del diseño. Es necesario considerar los dos tipos de gradación:

- Tipo II. Se usa para el relleno de huecos superficiales, reparación, sellado y ejecución de una superficie durable.
- Tipo III. Otorga una máxima resistencia anti deslizante y con superficies de menor deterioro; con uso recomendado para pavimentos de alto tránsito, relleno de baches o aplicación en superficies ampliamente texturadas, cuyo tamaño se adapte al relleno de huecos.

Si se consideran las normas AASHTO T 27 (ASTM C 136) y AASHTO T 11 (ASTM C 117), la gradación del agregado del diseño deberá encontrarse en ocho grupos

denominados: 3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200; tal como se indica en el apartado 4.2.3 (ISSA A143).

3.3.2 Ensayo de abrasión

Es un método empleado en las partículas de agregados de mayor grosor, cuyo tamaño máximo es menor a 37,5 mm [1 1/2"], permitiendo conocer la resistencia a la degradación a través de la Máquina de Los Ángeles. Con esto, constituye un indicador de la tenacidad del material y su resistencia a impactos producidos por cargas en los procesos de fabricación, tendido y compactación de la mezcla (ISSA, 2010; Palomino y Rodríguez, 2023).

3.3.3 Ensayo de equivalente de arena

Este ensayo evidencia la cantidad de arcilla u otros componentes perjudiciales, donde el valor mínimo recomendado es 65 (ISSA, 2010). En otras palabras, es una muestra rápida de correlación en campo, para indicar las proporciones relativas de arcilla o plásticos finos, al compararse con polvos de suelos granulares en agregados finos que pasan la malla No. 4 (IMT, 2019).

3.3.4 Ensayo de peso específico

La densidad total, densidad bruta (*bulk density*) o peso unitario de los agregados, es la determinación de la densidad total, entre la relación de la masa de un agregado en seco y el volumen que lo aloja, al incluir vacíos de aire entre partículas y vacíos de absorción.

3.4 Ensayos en emulsiones

La emulsión asfáltica debe modificarse con polímeros, cumpliendo las normas AASHTO M 208 o ASTM D 2397 para CQS-1h, teniendo como excepciones aquellas indicadas en la siguiente Tabla 24.

Tabla 24. Ensayos en emulsiones

Ensayo	Método de ensayo		Especificación
	AASHTO	ASTM	
Estabilidad de asentamiento y almacenamiento del asfalto emulsionado	T 59	D 6930	1% máximo
Destilación del asfalto emulsionado	T 59	D 6997	62% mínimo
Ensayos de residuo de asfalto emulsionado			
Punto de ablandamiento de materiales bituminosos (aparato de anillo y bola)	T 53	D 36	135°F (57°C) mínimo
Penetración de materiales bituminosos a 77°F (25°C)	T 49	D 5	40-902

Fuente: (ISSA A 143, 2010)

3.4.1 Ensayo de viscosidad de Saybolt

Es un ensayo que determina la viscosidad Saybolt Furol en asfaltos líquidos, entre temperaturas de 21°C y 99°. Las normas que rigen estos ensayos usualmente están especificadas en AASHTO T-59, ASTM D-244 y D-88. Es decir, este ensayo demuestra el tiempo (seg) en el que cae una muestra de emulsión asfáltica (Freire y Quizhpi, 2022).

3.4.2 Ensayo de contenido de agua

Este ensayo da a conocer la cantidad de agua en una emulsión, donde se arrastra el agua contenida en una emulsión bituminosa, a través de un proceso de destilación a reflujo con un disolvente volátil inmiscible en el agua. El procedimiento puede encontrarse en la norma PT-02 de la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB, 2020).

3.4.3 Ensayo de sedimentación

Este ensayo consta en la norma ASTM D 244, también conocido como ensayo de asentamiento, da a conocer el grado de estabilidad de una emulsión al ser almacenada. Por ello, detecta la tendencia que tienen los glóbulos de asfalto al someterse a sedimentación de manera temprana en la fase de almacenamiento. En consecuencia, es un indicador sobre la calidad de la emulsión, teniendo presente que, en las emulsiones asfálticas, las gotas de asfalto tienen mayor densidad que en una fase continua, originando la sedimentación (Vargas, 2016; Albornoz, 2014).

3.4.4 Ensayo de tiempo de mezclado

Este ensayo da a conocer el procedimiento requerido para evaluar el tiempo de mezcla del agregado con la emulsión; su aplicabilidad es en obra y puede realizarse de manera manual o de forma mecánica, tiene una duración de tres minutos y está especificado en la norma ISSA TB – 113 (Barrionuevo, 2012).

3.4.5 Ensayo de tamiz de residuos

Este ensayo permite conocer la cantidad de betún que no ha sido emulsionado satisfactoriamente; es decir, una cantidad excesiva de partículas prevé dificultades durante el manejo y la aplicación. Igualmente, los grumos pueden evidenciar una rotura de la emulsión, defectos de fabricación, contaminación, entre otros (UPM, s.f; Palomino y Rodríguez, 2023).

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y ELABORACIÓN DE UN MICRO PAVIMENTO

Como se indicó anteriormente, el micro pavimento permite mejorar la capa superficial de rodadura y los niveles superficiales de fricción. Con esto, existe normativa internacional (ISSA A 143) y ecuatoriana (Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12. Volumen 6: Conservación Vial), para implementar un plan estratégico para el mejoramiento de los proyectos viales. Así, en este capítulo se detallan las principales consideraciones para implementar un micro pavimento en la red de vías a cargo de la Prefectura del Azuay.

4.1 Materiales

Es bien conocido que los materiales que conforman un micro pavimento pueden contener una mezcla de asfalto emulsionado modificado con polímeros, agregados mineral, agua y aditivos. Para el caso de la provincia del Azuay, se hace énfasis en la disponibilidad de los materiales, por lo que a continuación se detallan los principales componentes.

Disponibilidad de minas

En la provincia de Azuay existen aproximadamente 218 minas registradas, las cuales se encuentran esparcidas por toda la zona. De esto, 129 son de cantera y 89 son de río La información se resume en la Tabla 25.

Tabla 25. Minas en Azuay

Material	Cantidad de minas	Total, de minas
Arena	102	
Material granular	116	218

Fuente: (CONGOPE, 2020)

Asfalto emulsionado

Este material debe modificarse con polímeros a través de un proceso de fresado o fusión con asfalto o solución emulsionante, previa la emulsificación. Consecuentemente, se propone un mínimo de 3% de sólidos de polímero, con base en el peso del asfalto (ISSA, 2010). Por ello, la emulsión es la suma de un asfalto + polímero con una solución jabonosa (ácido clorhídrico, agua y emulsificantes; Freire y Quizhpe, 2022).

Para el presente caso, Freire y Quizhpe (2022) analizaron el porcentaje óptimo de emulsión con base en los agregados proporcionados por dos canteras de la provincia del Azuay, y compararon los resultados al usar dos emulsiones catiónicas: CQS-1h-P (emulsión con polímero de rotura controlada), y CQS-1h -PU (asfalto emulsionado modificado con resina de poliuretano). En la Tabla 26 se sintetizan los resultados de los porcentajes óptimos de emulsión, tras emplear el método Hveen, en el que se determina el área superficial del agregado, aproximándose el contenido teórico de emulsión. Igualmente, el área de la superficie está en proporción del dimensionamiento de las partículas (Chimborazo, 2012; Freire y Quizhpe, 2022).

Tabla 26. Porcentaje de emulsión según canteras

Mina	Porcentaje de emulsión (óptimo) ¹	
	CQS-1h-P	CQS-1h-PU
A	11,80	14,20
B	11,20	13,60

Nota. ¹Corresponde al % con relación al peso total del agregado. Fuente: (Freire y Quizhpe, 2022)

Mientras tanto, las mismas autoras Freire y Quizhpe (2022) realizaron como ensayos en las emulsiones: Viscosidad Saybolt Furol, estabilidad, asentamiento, retenido en malla No. 20, carga de partícula, pH y residuo asfáltico por evaporación. Para todos los casos, la emulsión CQS -1h-P cumple los ensayos, mientras la emulsión CQS-1h -PU no cumple el ensayo de asentamiento, puesto que el máximo permitido es 5% y en el caso de estudio se obtuvo 8,98%.

Agregado

Es de destacar que el material de las canteras de la provincia del Azuay no cumple los estándares de calidad para la mezcla de micro pavimentos, por lo que se recomienda realizar un ajuste a la granulometría para encajar el agregado a una faja tipo III.

De este modo, Freire y Quizhpe (2022) seleccionaron una faja granulométrica TIPO III, cuyas propiedades del material se exponen en la Tabla 27.

Tabla 27. Propiedades agregado Tipo III

Propiedad	Especificación
Índice de plasticidad	No plástico
Peso unitario compactado	1,57 g/cm ³
Peso unitario suelto	1,35 g/cm ³
Abrasión	19,80%
Gravedad específica	2,54 g/cm ³
Absorción	3,38 %
Valor Azul de Metileno	7
Equivalente de arena	72,64%

Fuente: (Freire y Quizhpe, 2022)

Relleno Mineral

La norma NEVI (2013) precisa el uso de cemento hidráulico sin adición de aire o cal tratada. En el caso referencia de estudio, Freire y Quizhpe (2022) consideran el 1% de aplicación de cemento portland tipo I (en función del peso seco del agregado), para todos los casos de comparación.

Agua

Este material no puede incorporar sales perjudiciales y contaminantes, por lo que debe entregarse a un laboratorio en conjunto con los otros componentes de la mezcla en caso de existir dudas (ISSA, 2010). En el caso referencial, Freire y Quizhpe (2022) fluctúan el porcentaje de agua entre 13% y 18% (Tabla 28).

Tabla 28. Porcentaje óptimo de agua/cantera

Mina	Emulsión	% de agua
A	CQS-1h-P	17
	CQS-1h-PU	18
B	CQS-1h-P	13
	CQS-1h-PU	15

Fuente: (Freire y Quizhpe, 2022)

Aditivos

Freire y Quizhpe (2022) proponen una mezcla con 1, 5% de resina de poliuretano para todos los casos.

4.2 Equipos

La norma ISSA A143 (2010) indica que la máquina para micro pavimentos debe ser especialmente diseñada y fabricada para este efecto, facilitando un mezclado de flujo continuo, así como debe contar con un mezclador giratorio de paletas múltiples y doble eje.

4.2.1 Camión mezclador

Consiste en una unidad con capacidad de almacenamiento de agregados, asfalto emulsionado, relleno mineral, aditivo de control y agua, facilitando el abastecimiento adecuado para el proceso de dosificación. Para trabajo en campo debe cargar materiales en simultáneo con la colocación del micro pavimento. También, debe facilitar que el operador controle la velocidad de avance y retroceso (ASTM D63752-15, Figura 12).

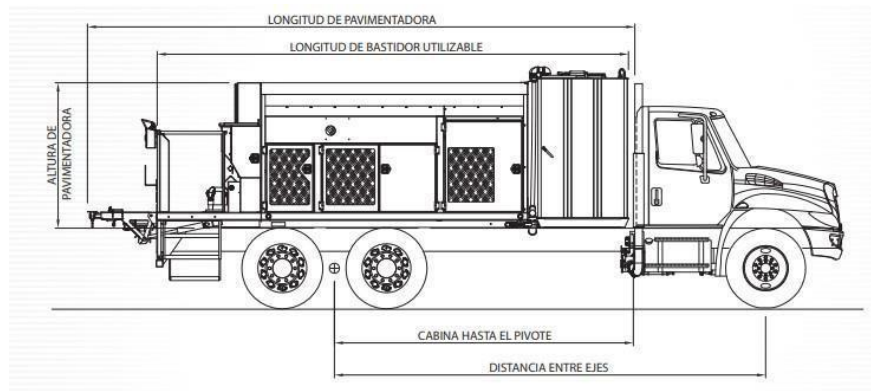


Figura 12. Vista de un camión estándar para micro pavimentación
Fuente: (Bergkamp, 2016)

4.2.2 Tolva de agregados

Es necesario contar con paredes de alta pendiente para reducir la tendencia a concavidades en los agregados, puede ser de acero y revestimiento en polietileno para facilitar que los agregados tengan un flujo autónomo, por lo que no se necesitaría un vibrador (Bergkamp, 2017; Figura 13).



Figura 13. Vista de una tolva de agregados
Fuente: (Bergkamp, 2016)

4.2.3 Silo de agregados/filler

Esta sección cuenta con una compuerta de regulación graduada o de accionamiento manual, con depósito para filler. Con esto, las máquinas están en la capacidad de regular las proporciones agua, cemento, emulsión asfáltica y aditivo, antes de mezclarse con el agregado, el que proviene de una banda transportadora sobre cadena (Figura 14; Bergkamp, 2017).



Figura 14. Vista de un silo de agregados
Fuente: (Bergkamp, 2016)

4.2.4 Caja esparcidora

Este elemento tiene la capacidad de expandirse y contraerse cuando realiza la pavimentación. Cuenta con cilindros hidráulicos y dos barras (primaria y secundaria), pudiendo deslizarse dentro de la estructura guía cuando la caja se expande o contrae al momento de pavimentar (Figura 15; Bergkamp, 2017).

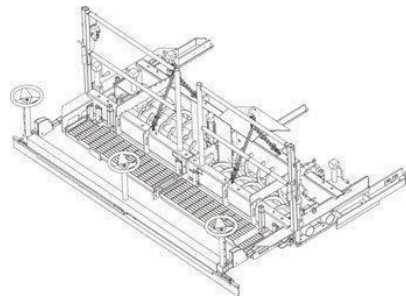


Figura 15. Vista de una caja esparcidora
Fuente: Bergkamp, 2023

4.2.5 Mezclador

Es un elemento tipo *pugmill*, cuenta con un eje de paletas múltiples (o doble) con almohadillas reemplazables, cuyo impulso se da por motores hidráulicos, mientras el tazón inferior permanece en su lugar para facilitar la limpieza (Figura 16; Bergkamp, 2017).



Figura 16. Vista de un mezclador
Fuente: (Bergkamp, 2016)

4.2.6 Tanque de emulsión

Puede tener capacidad entre 500 y 750 gal, ser removible, facilita la limpieza, cuenta con tapa removible de registro, así como un filtro en la línea de alimentación. Su construcción es de acero (Figura 17; Bergkamp, 2016).



Figura 17. Dispositivo manual de emulsión asfáltica
Fuente: (Universidad de Costa Rica, 2019)

4.2.7 Tanque de aditivo

Este elemento cuenta con una tolva, de acero inoxidable, con una geometría para facilitar la carga (Bergkamp, 2016).

4.2.8 Tanque de agua

Es dispositivo pues ser removible, es de acero, con recubrimiento para resistir la corrosión. Además, se encuentra una bomba de agua, con un sistema de bomba de mangueras y de rociador. La Figura 18 muestra un esquema de los componentes más importantes del equipo.

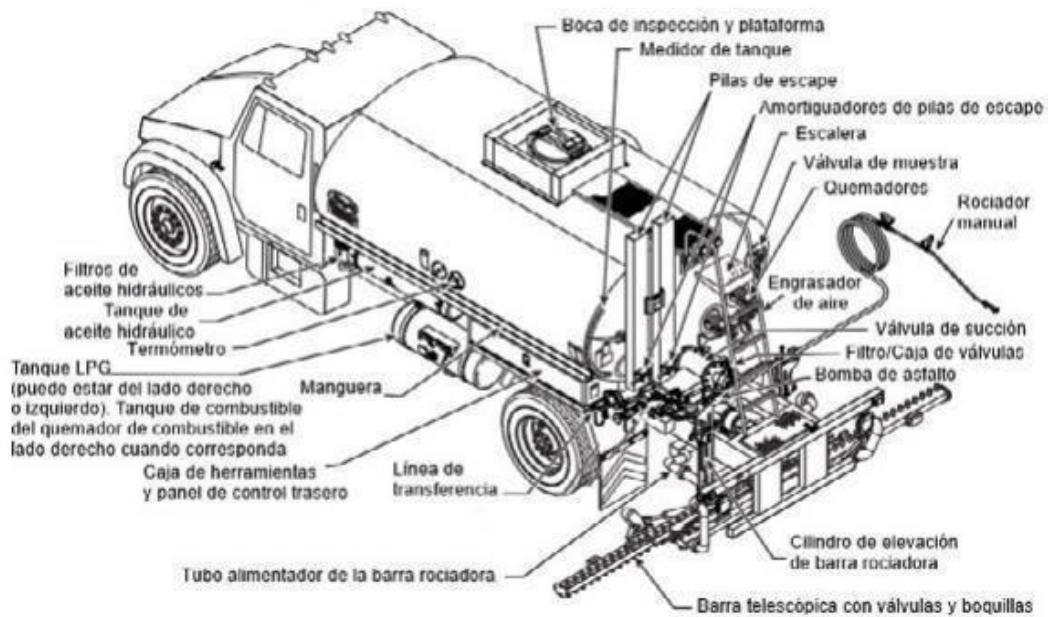


Figura 18. Principales componentes del equipo
Fuente: (Universidad de Costa Rica, 2019)

4.2.9 Rodillo neumático

Como se indica en la Figura 19, los rodillos neumáticos permiten realizar el proceso de amasamiento y sellado de asfalto y áridos, permitiendo ajustar la presión de aire. Es decir, esta máquina permite acomodar los agregados, para proveer superficies uniformes y antideslizantes, liberando el agua retenida (Miranda, 2022; Ammann, s.f).

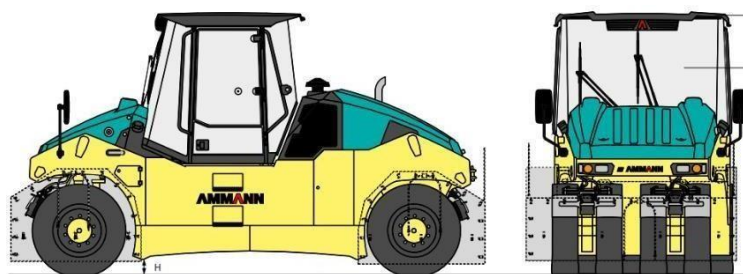


Figura 19. Vista lateral y frontal de un rodillo neumático

Fuente: (Ammann, s.f)

4.2.10 Dispositivos de medición

Según la norma ISSA A 143 (2010), deberán etiquetarse controles individuales volumétricos o de peso para evaluar la cantidad de componentes de la mezcla, debiéndose emplear para la calibración de los materiales en cualquier momento. Por ello, existen

algunos métodos para controlar la tasa aplicada o la cantidad de emulsión asfáltica. Generalmente, la mayoría de camiones disponen un medidor volumétrico localizado en su parte posterior, conectado a su vez a una barra graduada y pre calibrada (Figura 20).

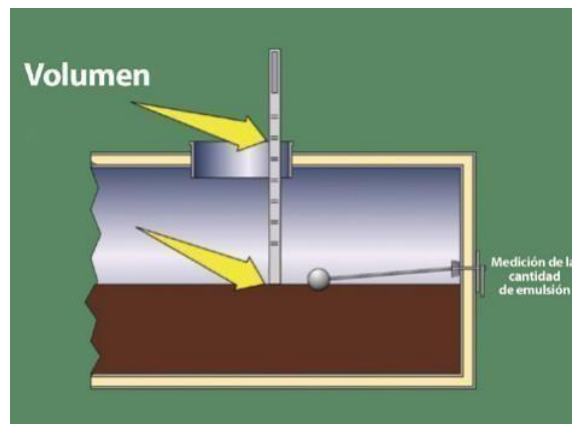


Figura 20. Medición por volumen

Fuente: (Universidad de Costa Rica, 2019)

En otros casos, existe un lector electrónico localizado en el tablero de instrumentos para informar el volumen empleado. Asimismo, un método menos convencional es pesar el camión distribuidor antes de ejecutar el riego de liga, para retomar el pesaje una vez culminado el proceso. Mientras tanto, para conocer la tasa de emulsión asfáltica en l/m^2 , es necesario indicar el ancho y el largo de la superficie de aplicación (Figura 21; Universidad de Costa Rica, 2019).

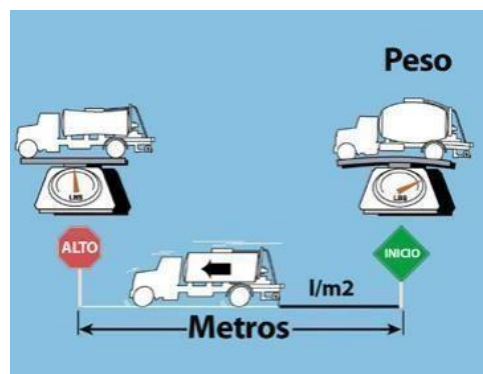


Figura 21. Medición por peso

Fuente: (Universidad de Costa Rica, 2019)

4.3 Proceso constructivo

4.3.1 Selección de umbrales de Condición de Pavimento

El grado de conservación del pavimento está en función de la condición de la estructura antes de aplicar el tratamiento (Figura 20). Por ello, cuando la estructura del pavimento cuenta con malas condiciones, el tratamiento de conservación no aportará

significativamente en su vida útil; transformándose en una medida ineficaz en función de costos (Ayman et al., 2020).

Con la misma importancia, una grieta expuesta desde el pavimento original hacia la superficie, indica que no se han sido satisfechas las funciones principales del tratamiento, por lo que la aparición de grietas superficiales aumentará los valores del IRI, sumando condiciones ásperas y afectando las condiciones de conducción (Ayman et al., 2020).

En este sentido, es necesario establecer umbrales de condición basados en indicadores, los cuales pueden ser: índice IRI, fisuración transversal, rozamiento y periodicidad (CONGOPE-BID, 2019).

El índice IRI (Índice Internacional de Rugosidad o *International Roughness Index* por sus siglas en inglés, Figura 22), es un estándar estadístico que indica la rugosidad de una vía, y permite determinar la calidad de rodadura de dicha infraestructura. Por ello, se considera la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (mm, m o pulg) de un modelo de vehículo (cuarto de auto), cuya relación se da para la distancia recorrida (m, km. o millas), produciendo movimientos en el vehículo al viajar a 80 km/h (IMT, 2018).

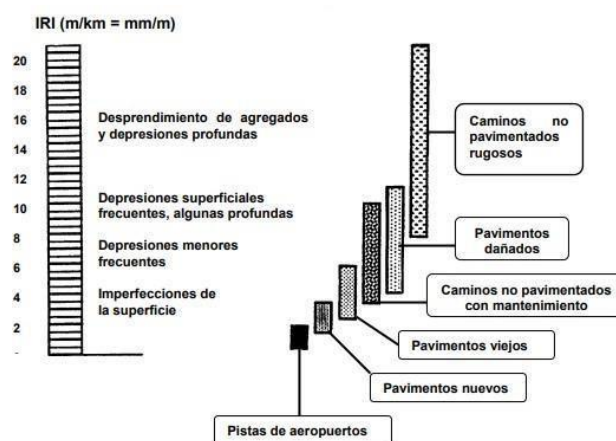


Figura 22. Relación índice IRI
Fuente: (IMT, 2018)

Las unidades del IRI son mm/m, m/km o in/mi, Mientras tanto, la fisuración transversal mide las fisuras normales al eje de la vía, surgen como resultado del efecto térmico en pavimentos flexibles con mezclas asfálticas de alta rigidez, existiendo tensiones de tracción al descender las temperaturas. Asimismo, se tiene la deflexión de

las fisuras en capas bituminosas inferiores, al no haberse realizado una adecuada junta de construcción transversal. Su unidad de medida es porcentual % (Valdés et al., 2012).



Figura 23. Fisuración transversal
Fuente: (MOPC, 2016)

Mientras tanto, el rozamiento está en función del coeficiente de fricción, el que a su vez está relacionado con el número de puntos de contacto entre los pétreos del pavimento y el neumático. En consecuencia, si el pétreo es más áspero y angular, mayor fricción genera. La unidad de medida es porcentual (VISE, 2023). Por otro lado, la periodicidad se refiere al intervalo de tiempo en el cual se realizan las inspecciones sobre el estado de la vía. Generalmente es en años (CONGOPE-BID, 2019)

En conclusión, puede decirse que la condición del pavimento actual incide en el desempeño del tratamiento de conservación, por lo que es indispensable definir los umbrales de condición del pavimento.

4.3.2 Generar muestras representativas

Otra consideración importante es realizar un procedimiento para fabricar muestras tratadas de laboratorio, haciendo que se pueda comparar el rendimiento con mezclas no tratadas. Así, en función de la prueba de rendimiento, las muestras pueden elaborarse según procedimientos estándar (Figura 24; Ayman et al., 2020).



Figura 24. Muestra modificada sin tratar
Fuente: (Ayman et al., 2020)

4.3.3 Preparación de la superficie

General

Es imprescindible la eliminación de cualquier material libre, lodo, vegetación u otro elemento no acorde a la superficie; siendo aceptable la variedad de métodos de limpieza estándar. En caso de emplear agua, debe promoverse el secado de las grietas, así como es necesaria la protección de alcantarillas, cajas de válvulas, rejillas y otras entradas (AMDP, 2019).

Capa Ligante

Aunque no es necesaria una capa ligante, puede considerarse su uso al contar con superficies secas y disgregadas (de concreto o adoquín). Así, la capa ligante consistirá en $\frac{1}{4}$ de asfalto emulsionado y $\frac{3}{4}$ de agua, aplicada con un distribuidor estándar con capacidad de aplicación uniforme a una capacidad de 0,05-0,15 gal/yd² (0,23-0,68 l/m²). Además, se requiere que la capa ligante trate lo suficiente previa aplicación del micro pavimento, a más que en caso de requerirse esta fase, debe plasmarse en la planificación (AMDP, 2019).

Grietas

Las grietas deben tratarse cuando superen 0,25 pulg o 0,64 cm de ancho a nivel superficial del pavimento. La aplicación debe contemplar un sellador aprobado (AMDP, 2019).

4.3.4 Limitaciones Climáticas

Este elemento no debe aplicarse cuando la temperatura atmosférica o del pavimento esté bajo 50°F (10°C), aunque es factible su aplicación si tanto la temperatura atmosférica como la del pavimento, se encuentran sobre 45°F (7°C). Con similar importancia, no se recomienda aplicar micro pavimentos si se proyectan temperaturas muy bajas dentro de las 24 posteriores a la aplicación. Tampoco debe aplicarse un micro pavimento cuando las condiciones climáticas dilaten la reapertura del tránsito fuera del tiempo promedio (ISSA, 2010).

4.3.5 Mezclado

Al momento de diseñar una mezcla debe evaluarse la compatibilidad de los materiales. Consecuentemente, la norma ISSA A 143 (2010) expone que deben emplearse materiales congruentes entre aquellos identificados por el contratista con los ensayos:

tiempo de mezcla, decapado húmedo, cohesión húmeda, pérdida a por abrasión húmeda, desplazamiento lateral, asfalto excesivo y compatibilidad de clasificación.

4.3.6 Vertido

Es necesario previo el vertido, agitar y esparcir la mezcla en la caja de pavimentación a través de paletas de ejes mellizos o barrenas espirales unidas a la esparcidora. Debe emplearse un sello frontal que evite la pérdida de mezcla durante el contacto con la vía. En caso de ser necesario, el material puede rellenar baches, cortes, depresiones, entre otros (ISSA A 143, 2010).

Para el caso de baches de 0,5 pulg (12,7 mm) o mayores, debe hacer un relleno exclusivo con una máquina para relleno de baches, de ancho de 1,5 m o 1,8 m. Mientras tanto, baches superiores a 1,5 pulgadas (38,1 mm) de profundidad, es posible el requerimiento de varias aplicaciones mediante la máquina para restauración de secciones. En casos de baches o deformaciones inferiores a 0,5 pulgadas (12,7 mm), es factible aplicar una capa niveladora en todo el ancho, utilizando una esparcidora, un rascador de metal o de goma rígida (ISSA A 143, 2010).

Se debe garantizar la consistencia de la mezcla a través de un ritmo de aplicación que considere el tipo de agregado (Tabla 29).

Tabla 29. Ritmo de aplicación según micro pavimento

Agregado	Localización	Ritmo de aplicación
Tipo II	Sectores urbanos y residenciales Aeropuertos Capa niveladora	5,4-10,8 kg/m ² Según sea necesario
Tipo III	Vías primarias Baches de ruedas Capa niveladora	8,1-16,3 kg/m ² Ver Tabla 32 Según sea necesario

Fuente: (ISSA A 143, 2010)

En este sentido, para cada milímetro de mezcla de micro pavimentación, se debe añadir entre 3,2 mm y 6,4 mm como corona, promoviendo que se compacte durante el tránsito (Figura 25).

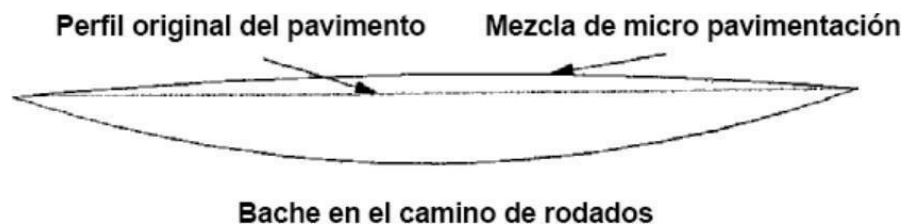


Figura 25. Referencia de adición
Fuente: (ISSA A 143, 2010)

4.4 Micro pavimentos en la provincia del Azuay

Como lo indican CONGOPE-BID (2019), existen estrategias de intervención tanto de obra como de mantenimiento, cuya aplicabilidad puede extenderse en tramos viales con características similares. Asimismo, es necesario considerar las condiciones de tráfico, limitaciones climáticas, condiciones de superficie y equipo (ISSA A 143, 2010). Consecuentemente, a continuación, se expone el análisis de los tipos de micro pavimento aplicables.

4.4.1 Análisis de los tipos de micro pavimento aplicables

Considerando como primera instancia la categoría de tránsito y tipo de superficie de la vía, el presente estudio en sustento con el informe CONGOPE-BID (2019), expone el uso de micro pavimento para vías con tratamiento bituminoso y superficie con material granular, dentro de las categorías de tránsito 1-5. Para el caso de tratamiento bituminoso, se propone realizar un mantenimiento rutinario y bacheo profundo, empleando material granular y tratamiento bituminoso de la totalidad de los baches. Asimismo, se propone una reconstrucción basada en un recargo de base de material granular ($e=20-30$ cm) y tendido de micro pavimento ($e=20$ mm), al alcanzar $IRI=6$.

Para el caso de vías con material granular, se plantea ejecutar un mantenimiento rutinario y bacheo profundo, a través de material granular de $5m^3/km/año$, con perfilado cada 60 días, recargo de material granular (20 cm de espesor) cada 8 años. También, dentro de los siguientes 4- 6 años, se plantea realizar el reciclado, estabilización química de la base granular (20-30 cm) y tendido de micro pavimento (20 mm de espesor); al llegar a $IRI=5$. La Tabla 30 sintetiza las propuestas.

Tabla 30. Recomendaciones de mejoras

Tipo de vía		Solución
Tratamiento tránsito 1 y 2	bituminoso,	MR y BP + recargo base granular 30cm + micro pavimento cuando IRI=6
Tratamiento tránsito 3	bituminoso,	Reciclado base + micro pavimento cuando IRI=6 + MR y BP al 100%
Tratamiento tránsito 4 y 5	bituminoso,	Reciclado base+ micro pavimento cuando IRI=6 + MR y BP al 100%
Granular, tránsito 1		MR y BP profundo de 5m ³ /km/año + perfilado c/60 días +recargo de base granular de 20cm c/8 años+ cambio estándar a micro pavimento en 2026 (reciclado + micro pavimento) + MR y BP al 100% + reciclado + micro pavimento cuando IRI=5
Granular, tránsito 2		MR y BP de 5m ³ /km/año + perfilado c/60 días + recargo de base granular de 20 cm c/ 8 años+ cambio estándar a micro pavimento en 2026 (reciclado + micro pavimento) + MR y BP al 100%+reciclado base + tratamiento bituminoso cuando IRI=5
Granular, tránsito 3-5		MR y BP de 5m ³ /km/año + perfilado c/60 días + recargo de base granular de 20 cm c/ 8 años+ cambio estándar a micro pavimento en 2024 (reciclado + micro pavimento) + MR y BP al 100%+reciclado + tratamiento bituminoso cuando IRI=5

Nota: MR: Mantenimiento Rutinario, BP: Bacheo profundo

Fuente: (CONGOPE, 2020)

Además, CONGOPE (2019) da a conocer la necesidad de realizar una tarea de conservación en las vías con tratamiento bituminoso, dentro de los corredores prioritarios (Anexo 1), usando micro pavimento al existir los siguientes umbrales:

- IRI: >3,16
- Rozamiento: < 0,4
- Fisuración transversal: >5
- Periodicidad: 6 años

Igualmente, al tener que el uso de micro pavimento tipo III es factible para niveles de tráfico muy pesados, así como para altas velocidades de tráfico, se propone este tipo de micro pavimento para el uso de corredores estratégicos en la provincia del Azuay, puesto que, si bien las mediciones actuales presentan niveles de tráfico bajos, es necesario considerar un margen superior con proyección futura.

Con la misma importancia, Freire y Quizhpe (2022) indican que la calidad de los agregados obtenidos en las canteras de Azuay, no presenta una granulometría que encaje en las fajas granulométricas; debiendo ajustarse la misma a una faja Tipo III. Finalmente, según la norma ISSA A 143 (2010), las condiciones climáticas deben considerar la no aplicación cuando la temperatura atmosférica o del pavimento se encuentre $\leq 10^{\circ}\text{C}$, por lo que, a pesar de que la temperatura anual promedio en Azuay fluctúa entre 13°C y 14

°C, existen zonas donde las temperaturas llegan entre 2 °C y 4 °C (CONGOPE, 2019), debiéndose tener las consideraciones pertinentes en las zonas donde existan estos registros.

4.4.2 Compuestos de diseño del micro pavimento seleccionado

El micro pavimento determinado se selecciona con base en los criterios normativos, de disponibilidad, características de la vía, condiciones de tránsito, condiciones ambientales y estudios previos. En este sentido, se ha seleccionado un micro pavimento tipo III, con dos alternativas de emulsión: CQS-1h-P y CQS-1h-PU. El agregado proviene de la cantera Rocka Azul, con 1% de relleno mineral (cemento portland tipo I), 17-18% de agua y 1,5% de resina de poliuretano; tal como se resume en la Tabla 31. La normativa principal o base consideró los estándares de tres entidades: ISSA, ASTM y MTOP. Como normativa complementaria o secundaria se estipuló aquella proveniente de AASHTO y del Instituto del Asfalto (AI); todo en concordancia con el estudio de Freire y Quizhpe (2022).

Tabla 31. Composición de mezcla

Normativa base	ISSA A 143, ASTM D 6372 -99a, NEVI 12-MTOP (principales) AASHTO 408, MS-19 Basic Asphalt Emulsion Manual (secundarias)	
	Tipo III	
Tipo de micro pavimento	CQS-1h-P	CQS-1h-PU
Alternativa de emulsión		
Agregado	100%	100%
Emulsión	11,8%	14,2%
Relleno mineral	1%	1%
Agua	17%	18%
Aditivos (resina de poliuretano)	1,5%	1,5%

Fuente: Elaboración propia según (Freire y Quizhpe, 2022; ISSA A143, 2010; ASTM D 6372; NEVI, 2012)

4.4.3 Ensayos en el micro pavimento seleccionado

La normativa referencial señala ocho ensayos para ISSA A 143 (2010), mientras ASTM D 6372 indica cuatro ensayos. Las principales consideraciones se establecen en la Tabla 32.

Tabla 32. Resumen de ensayos para la mezcla

ISSA A 143		
Ensayo	Norma	Detalle
Tiempo de mezcla a 77°F (25°C)	TB 113	120 seg mínimo de control
Cohesión húmeda		12 kg-cm mínimo
• 30 minutos fraguado	TB 139	20 kg-cm o mínimo de espín cercano
• 60 minutos tránsito		
Decapado húmedo	TB 114	90% mínimo de paso
Pérdida por abrasión húmeda		
• Remojo de una hora	TB 100	538 g/m ² máximo
• Remojo de seis días		807 g/m ² máximo
Desplazamiento lateral	TB 147	5% máximo
Gravedad específica	TB 147	2,10 máximo
Asfalto excesivo por adhesión de arena	TB 109	538 g/m ² máximo
Compatibilidad de clasificación	TB 144	Mínimo de 11 grados
ASTM D 6372		
Ensayo	Norma	Detalle
Cohesión	D 3910	Mide el torque de una mezcla de micro pavimentos a medida que se une y desarrolla fuerza cohesiva.
Abrasión en vía húmeda	D 3910, sección 6.4	Determina el contenido mínimo de asfalto y la resistencia al decapado
Rueda cargada	Boletín técnico ISSA 147	Mide la cantidad de compactación y las características de desplazamiento de mezclas de micro pavimento multicapa bajo compactación de tráfico rodante simulado.
De clasificación	Boletín técnico ISSA 144	Evalúa la determinación de la compatibilidad relativa entre el agregado de relleno de una gradación específica y el residuo de asfalto emulsionado.

Fuente: (ISSA A 143; ASTM D 6372)

4.4.4 Costos

Como lo mencionan CONGOPE-BID (2018), el monto de la inversión de un proyecto debe considerar los costos de ejecución del proyecto y mantenimiento. Por ello, al no existir una referencia amplia sobre análisis de costos con uso de micro pavimento en Azuay, se recomienda una estimación conforme tareas similares de

contratos recientes o según estimaciones de profesionales; usándose también información de costos referenciales en Ecuador y entrevistas con empresas del área.

En sí, los costos de transporte están ligados con los costos de la agencia (entidad a cargo de la vía) y los costos de los usuarios. Por ello, el primer caso está relacionado con tareas de construcción, operación, mantenimiento y funcionamiento; mientras que el segundo caso contempla los costos de operación de los vehículos que se desplazan por la vía, el tiempo de traslado y la siniestralidad. En consecuencia, se tiene que los “modelos de deterioro” dan a conocer con alta probabilidad la evolución del estado de un pavimento conforme el paso del tiempo, por lo que se puede generar estrategias para las intervenciones al final de su vida útil, necesidades de mejoras, etc. (CONGOPE-BID, 2018; CONGOPE, 2019).

Con relación a esto, según la Figura 26, teniendo un proyecto inicial (proyecto 1), se genera un indicador de temporalidad de servicio 5, por lo que conforme el paso del tiempo (de manera anual), se lleva a un umbral mínimo de 6,5 años, requiriéndose una nueva intervención (proyecto 2). Con esto, las tareas ejecutadas durante el proyecto 2 permitirán obtener nuevamente una condición 5. Así, los costos de inversión que debe ejecutar la entidad a cargo están relacionados con la construcción y las rehabilitaciones sucesivas (proyectos 1, 2, 3 y 4), debiendo añadirse los costos de operación y mantenimiento durante cada etapa (vida útil).

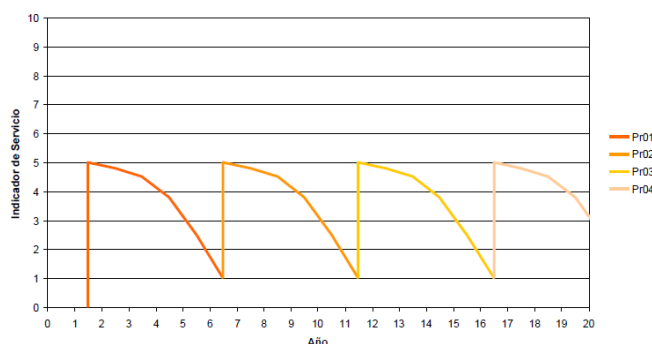


Figura 26. Condiciones de servicio
Fuente: (CONGOPE, BID-2018)

Ante esta consideración, en la Tabla 33 se resumen los costos según una estimación del Factor Estándar de Conversión (FEC) o Razón de Precio de Cuenta (RPC, materiales, maquinaria, jornales, entre otros); para diferentes alternativas de mantenimiento en firmes de concreto asfáltico. Como puede verse, el uso de micro pavimento (42 171\$/km) es una de las alternativas más económicas en conjunto con la

aplicación de lechada asfáltica (21 192\$/km para T2 y 16 688\$/km para T1), o bacheo (187\$/m³) si se compara con una reconstrucción total (346 899\$/km) u otros procesos como reciclado y estabilización química (133 626\$/km para 6 cm de concreto asfáltico, 100 839 \$/km para 4 cm de concreto asfáltico).

Tabla 33. Resumen de costos según intervención (firme de concreto asfáltico)

Tipo de intervención	Costo con RPC
Reconstrucción total + 10 cm de concreto asfáltico (\$/km)	346 899
Reconstrucción y estabilización de base granular + 6 cm de concreto asfáltico (\$/km)	133 626
Reconstrucción y estabilización de base granular + 4 cm de concreto asfáltico (\$/km)	100 839
Recapeo (4 cm de concreto asfáltico) (\$/km)	53 953
Micropavimento (e=20mm) (\$/km)	42 171
Lechada asfáltica (10 mm) (\$/km)	21 196
Lechada asfáltica (5 mm) (\$/km)	16 688
Bacheo con mezcla asfáltica (\$/m ³)	187

Fuente: (CONGOPE, BID-2018)

Mientras tanto, con las estimaciones antes descritas, para firmes de tratamiento bituminoso, la Tabla 34 expone que los tratamientos con micro pavimento engloban intervenciones medio altas (recargo de base + micro pavimento) y bajas (reciclado y estabilización química+ micro pavimento, micro pavimento e=20 mm). En sí, las intervenciones con micro pavimento pueden estar entre las más bajas, luego del bacheo.

Tabla 34. Resumen de costos según intervención (firme de tratamiento bituminoso)

Tipo de intervención	Costo con RPC
Reconstrucción total + estabilizado granular + TSB (\$/km)	240 665
Recargo de base 30 cm + micro pavimento (\$/km)	110 477
Recargo de base 40 cm + micro pavimento (\$/km)	140 157
Reciclado y estabilización química base granular 30 cm + micro pavimento (\$/km)	93 313
Reciclado y estabilización química base granular 20 cm + micro pavimento (\$/km)	73 287
Micro pavimento e=20 mm (\$/km)	42 171
Reciclado y estabilización química base granular 25 cm + concreto asfáltico 5 cm (\$/km)	131 353
Bacheo (\$/m ³)	2013

Fuente: (CONGOPE, BID-2018)

Finalmente, en la Tabla 35 se da a conocer los costos de las intervenciones para firmes de lastre, donde los costos que incluyen micro pavimento se encuentran entre los

más altos (ensanchado + base estabilización química + micro pavimento; 178 156\$/km en e=20 cm o 195 767\$/km en e= 30 cm), al compararse con recargo de base 15 cm (17 155 \$/km), perfilado (874 \$/km) o bacheo con lastre (111 \$/ m³).

Tabla 35. Resumen de costos según intervención (firme de lastre)

Tipo de intervención	Costo con RPC
Ensanchado + base estabilización química 25 cm +concreto asfáltico (5 cm)	228 335
Ensanchado + base estabilización química 30 cm + micro pavimento	195 767
Ensanchado + base estabilización química 20 cm + micro pavimento	178 156
Recargo base 15 cm	17 155
Perfilado	874
Bacheo lastre	111

Fuente: (CONGOPE, BID-2018)

4.4.5 Análisis comparativo

En esta sección se realiza un análisis comparativo de los materiales y porcentajes de contenido, procedencia y otras generalidades de la aplicación de micro pavimentos; el análisis se centra en comparar diferentes estudios de preservación vial a nivel Ecuador. En la Tabla 36 se da a conocer los estudios referenciales y su principal característica.

Materiales y porcentajes de contenido

Los agregados empleados por Delgado et al. (2022) son ripio de 3/8", cisco grueso y arena lavada, con tres tipos de aditivo, y un porcentaje óptimo de asfalto de 6,8%. Por otro lado, Rojas et al. (s.f) utilizaron una emulsión tipo CSS-1H-P, con adición de promotor de adherencia, plastificante, ácido y polímero. Barrionuevo (2012) aplicó una emulsión CSS-1h; mientras Castro y Zambrano emplearon 4% de SBR y 14,2 % de emulsión.

En complemento, Toscano (2014) usó una emulsión CSS-1h, con 3% de SBS, cemento portland tipo I (0,5%), mientras Naranjo (2020) añadió emulsión (14%), variando los porcentajes de fibra de coco (entre 1% y 0,5%) y cemento (entre 0% y 1%).

Tabla 36. Resumen de generalidades/estudio

Estudio	Característica	Metodología
Delgado et al. (2022)	Diseño de micro pavimento para uso en vías de Manabí	Uso de agregados: ripio 3/8", cisco grueso y arena lavada. Uso de aditivos Kaowats, Danox Arj y Gripper 67
Rojas et al. (s.f)	Diseño de micro pavimento para suelo tipo limo orgánico arenoso	Opciones de estabilización a base de cal y cemento. Uso de agregado de la mina Píntag, Pichincha (61,4% de arena)
Barrionuevo (2012)	Diseño de micro pavimento con agregados de minas de Bolívar	Uso de agregados de mina Calagua, Bolívar (faja III)
Castro y Zambrano (2020)	Empleo de tecnologías para capa de rodadura y sellado mediante <i>slurry seal</i> y micro pavimento	Porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 14,3 %, aunque se puede reducir su contenido
Toscano (2014)	Diseño y uso de micro pavimento en la vía Pifo-Cusubamba (Pichincha)	Uso de polímeros elastómeros termoplásticos (SBS), con una cantidad de 3% en peso del contenido de asfalto. Adición de cemento Portland Tipo I
Naranjo (2020)	Incorporación de fibras de coco para variar tiempos de mezcla y curado	Uso de agregado mina Naranjo-López (Pichincha; gradación tipo II)
Guilcapi y Santamaría (2012)	Análisis comparativo al variar los porcentajes de <u>polímeros</u>	Uso de polímeros caucho estireno butadieno (SBR) y agregados provenientes de canteras en Guayllabamba y San Antonio (Pichincha)

Guilcapi y Santamaría (2012) emplearon una emulsión CQS, variando los porcentajes de agua, emulsión y polímero, al usar agregados de dos minas diferentes. Por tal motivo, en la Tabla 37 y Figura 27 se indican los materiales conforme cada estudio.

Procedencia

- Delgado et al. (2022): Agregado de Cantera Uruzca, Portoviejo (tamaño máximo nominal (9,5 mm o 3/8").
- Rojas et al. (s.f): Agregado de la mina Píntag (Pichincha; granulometría tipo III).
- Barrionuevo (2012): Agregado de cantera Calagua, Bolívar (granulometría tipo III).

- Castro y Zambrano (2020): Agregado extraído de la cantera Yolán, Durán, Guayas (tipo III).

Tabla 37. Resumen de materiales y porcentajes/estudio

Estudio	Materiales
Delgado et al. (2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Agregados: Ripio 3/8" (15%), cisco grueso (30%) y arena lavada (55%) • Aditivos: Kaowats (3,5%), Danox ARJ (1%) y Gripper 67 (0,5%) • Asfalto: 16,25%
Rojas et al. (s.f)	<ul style="list-style-type: none"> • Agregado: 100% • Emulsión: 14,15% • Polímero: 3% • Agua: 12%
Barrionuevo (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Agregado: 100% • Cemento: 2% • Agua: 20% • Emulsión con polímero: 10,94%
Castro y Zambrano (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Emulsión: 14,2% • Polímeros: 4%
Toscano (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Agregado: 100% • Emulsión: 15% • Agua: 13 % • Filler: 0,5 %
Naranjo (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: 13% • Emulsión: 14 % • Fibra de coco: 0,5%-1% • Cemento: 2%
Guilcapi y Santamaría (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Agregado: 100% • Cemento: 1% • Agua: 6,50% y 10% (al usar agregados de dos minas) • Emulsión: 14,5% y 15% (al usar agregados de dos minas) • Polímero: entre 1% y 4%

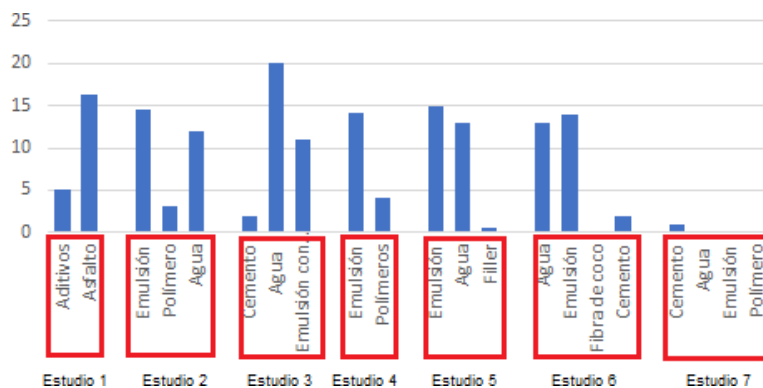


Figura 27. Porcentajes de los principales materiales

Fuente: Elaboración propia

- Toscano (2014): Agregado tipo III, procedente de la mina Colibrí (Pichincha).
- Naranjo (2020): Agregado proveniente de la planta de trituración Naranjo-López (Pichincha; pasante del tamiz 3/8”).
- Guilcapi y Santamaría (2012): Agregados provenientes de las canteras San Antonio y Guayllabamba, Pichincha; pasante del tamiz 3/8”).

La Figura 28 muestra un esquema de la ubicación de las canteras empleadas en los estudios referenciales.

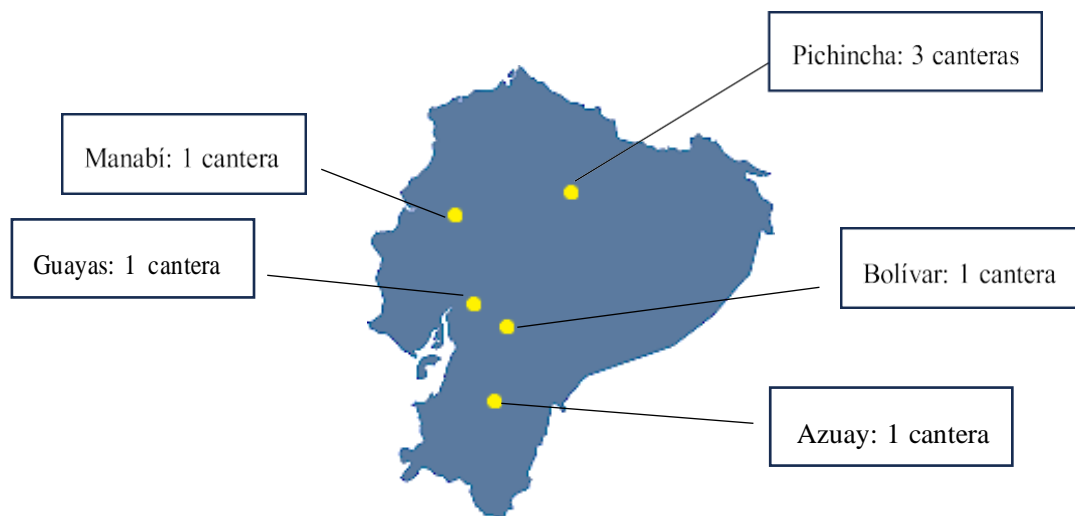


Figura 28. Ubicación de los lugares de análisis
Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos

- Delgado et al. (2022): Se evaluó los vacíos de Agregado Mineral (VMA), con valores superiores al 14%, así como la estabilidad Marshall (índice de la calidad agregado), con un valor superior a 2200 libras.
- Rojas et al. (s.f): Determinaron que las mejores opciones de estabilización son cal y cemento; así como se determinó un tiempo de rotura de 30 minutos, con una cohesión para apertura al tránsito a los 80 minutos.
- Barrionuevo (2012): Es necesario un 2% de cemento para compensar la deficiencia de finos del agregado, concluyendo que el agregado de la cantera Calagua es apto por sus propiedades de desempeño mecánico y mezcla con la emulsión.

- Castro y Zambrano (2020): Si bien el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica es 14,3% (8,82% de asfalto), se puede reducir el contenido de emulsión para el sellado de grietas superficiales y protección de la capa de rodadura.
- Toscano (2014): La emulsión CSS - 1h modificada con polímeros y sin aditivos, interactúa satisfactoriamente con el agregado; así como el emulsificante Asfier 211G muestra estabilidad, adherencia y cubrimiento adecuado
- Naranjo (2020): El uso de fibra de coco disminuye los tiempos de mezcla e incrementa la cohesión.
- Guilcapi y Santamaría (2012): Una mayor cantidad de polímero SBR en la emulsión hace que aumente de manera gradual (3% mínimo), recomendando también el uso del agregado de la cantera Guayllabamba; no así el agregado de la cantera San Antonio, ante la alta reactividad de estos compuestos.

Comparación

Al realizar un análisis comparativo, puede verse que en un solo caso se especifican los componentes del agregado (ripio, cisco y arena), mientras en otros casos no se detalla dicha información. Para la emulsión asfáltica, se tiene un valor máximo de 16,5% y un mínimo de 10,94% (promedio 14,26%). La adición de polímeros contempla valores entre 1% y 5%, con un promedio de 3,25%; mientras el porcentaje de agua fluctúa entre 6,5% y 20%, donde el promedio es 11,38%. Finalmente, el relleno mineral está constituido entre 0,5% y 2%, con un promedio de 0,93%.

Por ello, al comparar los resultados de las fuentes bibliográficas con el presente caso, se tiene que esta propuesta emplea porcentajes de emulsión entre 11,8 % y 14,2%, con relleno mineral de 1%, agua (17%-18%) y aditivos (1,5%). La Tabla 38 indica los principales resultados comparativos, así como el porcentaje de variación.

Tabla 38. Porcentajes de variación respecto con otros estudios

Material	Resultado (%)	Otros estudios (%)	Variación (%)
Emulsión	11,8 (CQS-1h-P)		-20,84
	14,2 (CQS-1h-PU)	14,26	-0,42
Agua	17 (CQS-1h-P)		+33,05
	18 (CQS-1h-PU)	11,38	+36,77
Relleno	1	0,93	+7
Aditivos	1,5	3,25	-116,66

Fuente: Elaboración propia

Como puede verse, la mayor variación existe en el uso de aditivos (-116,66%), mientras la menor variación se da en el contenido de emulsión (-0,42% para CQS-1h-PU). Para el caso del contenido de agua, otros estudios exponen menores porcentajes; así como para el relleno (Figura 29).

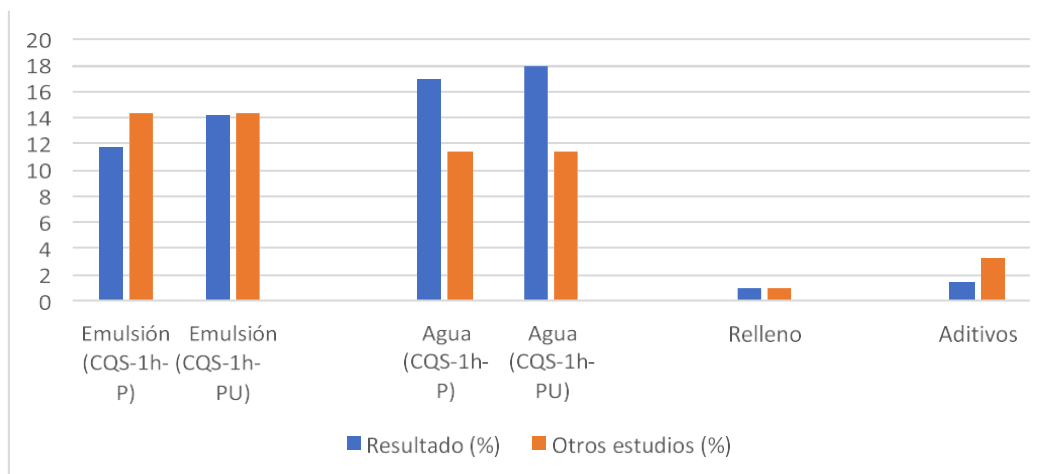


Figura 29. Comparación de resultados con otros estudios
Fuente: Elaboración propia

De esto, cinco estudios son realizados en lugares de la región Sierra, con condiciones ambientales similares a las del presente caso (Pichincha y Bolívar), con altitudes promedio de 2953 msnm y 2300 msnm respectivamente (altitud promedio Azuay: 2100 msnm). En este sentido, Rojas et al. (s.f) manifiestan contemplar las condiciones ambientales y meteorológicas, en especial cuando su estudio fue realizado en Calacalí (3000 msnm y temperaturas entre 18 y 20°C).

A pesar de esto, ninguno de los estudios que diseñan micro pavimentos ejecutó pruebas de campo o muestras in situ, aunque la formulación en uno de los casos se recomienda con un contenido residual de asfalto de 62% o mayor (Barrionuevo, 2012). Asimismo, se indica que el emulsificante tipo Asfier 211G provee buena estabilidad, adherencia y cubrimiento. Finalmente, Naranjo (2020) indica que el uso de fibras de coco implica niveles aceptables en los tiempos de mezcla, ruptura, curado y cohesión.

Ensayos realizados en agregados

Como puede verse en la Tabla 39, consta el detalle de los principales ensayos realizados para agregados. En algunos casos no se realizan ensayos, mientras los ensayos más comunes son granulometría, equivalente de arena y pérdida por abrasión. Mientras

tanto, otros ensayos específicos para cada estudio son límite plástico, peso específico o densidad relativa y azul de metileno.

Tabla 39. Resumen de ensayos para agregados obtenidos de otros estudios.

Estudio	Ensayo	Especificación
Delgado et al. (2022)	No realiza	-
Rojas et al. (s.f)	<ul style="list-style-type: none"> • Equivalente de arena • Abrasión de grueso • Peso específico de finos • Absorción de agregado fino • Peso específico gruesos • Absorción de agregado grueso • Límite plástico • Límite líquido 	<ul style="list-style-type: none"> • 84,5% • 30,87% • 2,44 • 3,64% • 2,37 • 4% • No plástico • No líquido
Barrionuevo (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Peso unitario • Abrasión húmeda • Gravedad específica • Azul de metileno • Equivalente de arena 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% en 3/8; 81% No. 4; 55% No. 8; 34% No. 16; 20% No. 30; 11% No. 50; 7% No. 100; 4% No. 200 • 1,54 g/cm³ • 20,5% • 2,66 g/cm³ • 2 mg/g • 82,26
Castro y Zambrano (2020)	No realiza	-
Toscano (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Equivalente de arena • Pérdida por abrasión • Durabilidad ante sulfatos 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% en 3/8; 80,55% No. 4; 58,93% No. 8; 42,34% No. 16; 31,65% No. 30; 12% No. 50; 16,28% No. 100; 11,22% No. 200 • 72% • 28% • 5,57%
Naranjo (2020)	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Equivalente de arena • Solidez de agregados • Resistencia a la degradación 	<ul style="list-style-type: none"> • 99,8% en 3/8; 96,2% No. 4; 73,9% No. 8; 54,3 No. 16; 37,8 No. 30; 23,4 No. 50; 13,4 No. 100; 6,2% No. 200 • 80,07 • 10,72% • 23,72%
Guilcapi y Santamaría (2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Granulometría • Equivalente de arena • Azul de metileno • Plasticidad • Abrasión • Densidad relativa 	<ul style="list-style-type: none"> • 100% en 3/8; 96,84% No. 4; 72,15% No. 8; 51,47 No. 16; 34,35 No. 30; 19,51% No. 50; 9,39% No. 100; 5,53% No. 200 • 81% (cantera 1); 88% (cantera 2) • 4 mg/g (cantera 1); 12 mg/g (cantera 2) • No plástico (cantera 1); No plástico (cantera 2) • 30,70% (cantera 1); 33,80% (cantera 2) • 2,65 g/cm³(cantera 1); 2,69 g/cm³ (cantera 2)

Fuente: Elaboración propia

Ensayos para mezclas

Algunos estudios aplican una evaluación basada en la estabilidad Marshall, la cual representa la resistencia estructural de la mezcla al someterse a compactación y se ve influenciada por la cantidad de asfalto, así como la capacidad granulométrica y el tipo de agregados. Otros ensayos comunes son humedad óptima, abrasión, adhesión de arena, cohesión, tiempo de mezcla y rueda cargada. En la Tabla 40 se indican las principales especificaciones.

Tabla 40. Resumen de ensayos para mezclas obtenidos de otros estudios

Estudio	Ensayo	Especificación
Delgado et al. (2022)	• Marshall	• 3499 lb
Rojas et al. (s.f)	• Marshall	• 2667 lb (máximo) con 3% polímero
Barrionuevo (2012)	• Humedad óptima • Cohesión • Abrasión • Rueda cargada	• Entre 0-3 cm • Entre 9-25 kg-cm • 489,94 g/m ² (máximo) • 438,64 g/m ² (máximo)
Castro y Zambrano (2020)	• Abrasión • Adhesión de arena	• 509,6 g/m ² (máximo) • 531,4 g/m ² (máximo)
Toscano (2014)	• Humedad óptima • Cohesión • Abrasión • Rueda cargada	• 2,5 cm • 14 kg/cm (30 min) • 22kg/cm (60 min) • 150,4 g/m ² • 436 g/m ²
Naranjo (2020)	• Tiempo de mezcla • Cohesión	• Hasta 120 s (mínimo) • 12kg-cm a 30 min; 20 kg-cm a 60 min
Guilcapi y Santamaría (2012)	• Humedad óptima • Tiempo de mezcla • Cohesión • Abrasión • Rueda cargada	• 3,60 cm (máximo, cantera 1); 3,20 cm (máximo, cantera 2) • > 3 min (ambas canteras) • 23 kg-cm (máximo, cantera 1); 24 kg-cm (máximo, cantera 2) • 578 g/m ² (máximo, cantera 1); 594,17 g/m ² (máximo, cantera 2) • 638,45 g/m ² (máximo, cantera 1); 642,14 g/m ² (máximo, cantera 2)

Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de asfalto

En la Figura 30 se indican los resultados de contenido óptimo de emulsión y asfalto en unidades de porcentaje. Se tienen valores máximos de 16,50% para las emulsiones, mientras el porcentaje más bajo corresponde a 11%. Por otro lado, el 10,23% de asfalto es el valor máximo, mientras el valor mínimo de contenido de asfalto es 5,5%.

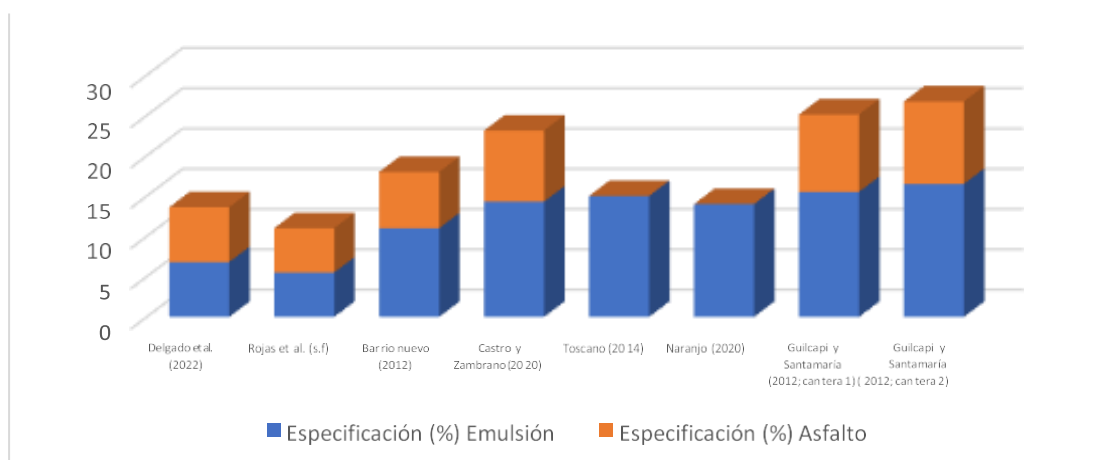


Figura 30. Comparación de contenido óptimo de emulsión y asfalto

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La conservación vial es un proceso que está ligado al mantenimiento oportuno, lo cual guarda relación con la gestión de los sistemas de pavimentos. Por ello, una intervención temprana en grietas y baches pequeños a través de la selección de un método apropiado, evitará un deterioro acelerado y menores costos de inversión. De esto, en niveles muy buenos de condición superficial se requiere una preservación de microcapa, siendo los micro pavimentos un método superior de pavimentación superficial, con espesores entre 10 y 50 mm.

En tal virtud, los espesores y las granulometrías de este tratamiento deben contemplar el tráfico de la vía y la distribución de esfuerzos; por lo que se presentan tres variedades de micro pavimento: Tipo I (fino, empleado en parqueaderos y pistas de aeródromos), Tipo II (con aplicación en vías arteriales, zonas residenciales y carreteras, se caracteriza por ser más grueso), y Tipo III (aplicación en autopistas y carreteras de alta velocidad, siendo el de mayor grosor).

En consecuencia, el uso de micro pavimentos reduce la desintegración y provee propiedades antiderrapantes e impermeabilizantes, es de fácil apertura al tránsito, es apropiado para rellenar ahuellamientos, mejora la adherencia, tiene un mejor rendimiento de aplicación y es ambientalmente amigable; por lo que su aplicabilidad está relacionada con el mantenimiento preventivo, siendo imprescindible perfeccionar los procesos de diseño de la mezcla, para obtener condiciones favorables con los punto de ruptura de una mezcla de micro pavimentos.

Así, el uso de micro pavimentos se encuentra en una fase de expansión a nivel nacional, existiendo normativa referencial de numerosas entidades. De esto destacan la norma ISSA A 143, ASTM D 6372 (internacionales) y NEVI 12-MTOP (nacional). Para los dos primeros casos se especifica el equipo, contenido de materiales y métodos de ensayo; mientras el segundo caso es más general y refiere a otros recursos como el Manual de Emulsiones Asfálticas (Instituto del Asfalto).

En este sentido, el diseño de un micro pavimento para la provincia de Azuay debe no solo contemplar los métodos de diseño, ensayos, equipos o personal; sino factores ambientales como: niveles de tráfico, tipo y estado de la capa de rodadura, medio ambiente, materiales de pavimentación y revestimiento y consideraciones de construcción y mantenimiento.

Por ello, es necesario analizar el tráfico de diseño según los ejes estándar equivalentes (ESA) para la vida de diseño aplicable, donde se consideren los volúmenes de tráfico comercial actuales y previstos, las cargas y configuraciones por eje, el crecimiento del tráfico comercial y la capacidad de la vía. Asimismo, se debe establecer umbrales de condición basados en indicadores, tales como índice IRI, fisuración transversal, rozamiento y periodicidad.

Estas condiciones deben establecerse para el sistema vial del Azuay, conformado por 5055, 50 km de red vial provincial, dividida en componentes (secundaria, terciaria y vecinal). Con estas consideraciones, el 8, 88% es pavimento flexible, el 77, 47 % es lastre, el 13, 24 % tierra, el 0, 14% tratamiento bituminoso, el 0, 11 empedrado y el 0, 17% pavimento rígido; en donde aproximadamente un 50% de puntos críticos son por falta de mantenimiento, aunque existen otros por limitaciones de diseño o de carácter geológico e hidrológico. En consecuencia, se evidencia un potencial para el uso de micro pavimentos en los 798,76km de vías con pavimento flexible, dada la aplicabilidad de este material.

Ante esto, se tiene que el mayor requerimiento para mantener en óptimas condiciones la capa de rodadura es el mantenimiento rutinario (4 331, 5 km), seguido de la rehabilitación (651, 24 km), el mejoramiento (41, 88 km), el mantenimiento periódico (30, 25 km) y finalmente la reconstrucción (0, 78 km).

Por ello, para el uso de micro pavimentos como alternativa de conservación vial, se propone el uso de un micro pavimento tipo III, con dos alternativas de emulsión: CQS-1h-P y CQS-1h-PU. El agregado proviene de la cantera Rocka Azul, con 1% de relleno mineral (cemento portland tipo I), 17-18% de agua y 1,5% de resina de poliuretano.

Así, en Azuay en firmes de concreto asfáltico, el uso de micro pavimento (42 171\$/km) es una de las alternativas más económicas en conjunto con la aplicación de lechada asfáltica (21 192\$/km para T2 y 16 688\$/km para T1), si se compara con una reconstrucción total (346 899\$/km) u otros procesos como reciclado y estabilización

química (133 626\$/km para 6 cm de concreto asfáltico, 100 839 \$/km para 4 cm de concreto asfáltico).

Consecuentemente, para garantizar la calidad, se adopta la norma ISSA A143 como la que más se ajusta en los ensayos, control de calidad y mediciones para la aplicación de un micro pavimento; en conjunto con la norma ASTM D6372. De esta forma, se plantean ocho ensayos para el primer caso (ISSA A 143), comprendidos en tiempo de mezcla, cohesión húmeda, decapado húmedo, pérdida por abrasión, desplazamiento lateral, gravedad específica, asfalto excesivo y compatibilidad de clasificación. Mientras tanto, para el segundo caso (AST, D 6372) se plantean cuatro ensayos consistentes en: cohesión, abrasión en vía húmeda, rueda cargada y compatibilidad de clasificación.

Finalmente, dentro del análisis comparativo sobre otros estudios en torno a micro pavimentos en Ecuador, se tiene el uso de emulsión asfáltica en valores máximos de 16,5% y mínimos de 10,94% (promedio 14,26%). La adición de polímeros contempla valores entre 1% y 5%, con un promedio de 3,25%; mientras el porcentaje de agua fluctúa entre 6,5% y 20% (promedio de 11,38%). Finalmente, el relleno mineral está constituido entre 0,5% y 2% (promedio de 0,93%). Por ello, al comparar los resultados de las fuentes bibliográficas con el presente caso, se tiene que esta propuesta emplea porcentajes de emulsión entre 11,8 % y 14,2%, con relleno mineral de 1%, agua (17%-18%) y aditivos (1,5%).

De esto, cinco estudios son realizados en lugares de la región Sierra, con condiciones ambientales similares a las del presente caso (Pichincha y Bolívar), con altitudes promedio de 2953 msnm y 2300 msnm respectivamente (altitud promedio Azuay: 2100 msnm). A pesar de esto, ninguno de los estudios que diseña micro pavimentos ejecutó pruebas de campo o muestras in situ. Los ensayos más comunes son granulometría, equivalente de arena y pérdida por abrasión. Mientras tanto, otros ensayos específicos para cada estudio son límite plástico, peso específico o densidad relativa y azul de metileno. Sobre el contenido óptimo de emulsión y asfalto se tienen valores máximos de 16,50% para las emulsiones, mientras el porcentaje más bajo corresponde a 11%. Por otro lado, el 10,23% de asfalto es el valor máximo, mientras el valor mínimo de contenido de asfalto es 5,5%.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar un manual de aplicación de micro pavimentos con enfoque nacional más detallado, dado que la norma NEVI MTOP (2012) establece su uso, aunque la información sobre algunos materiales no es específica, y se refiere a recursos internacionales como normativa del Instituto del Asfalto. Esto permitiría tener mayor especificidad en los procesos, dado que experiencias internacionales demuestran normativa específica a nivel nacional, estatal y regional.

Se recomienda dentro del diseño de un micro pavimento, en primera instancia realizar los ensayos de manera individual tanto para agregados como para emulsiones, dejando como proceso subsiguiente la realización de los ensayos para la mezcla, garantizando así la calidad de los procesos, especialmente para dar cumplimiento a la normativa. Igualmente, se recomienda emplear como normativa referencia 1 la especificación ISSA A 143, puesto que es la más detallada, a más de trabajar en conjunto con normativa ASTM, donde se establece con mayor especificidad el uso de equipos y procedimientos para la evaluación de materiales y mezclas.

Se recomienda considerar los ensayos a aplicar previo el diseño de la mezcla, dado que a nivel provincial existe limitación de equipo e instrumental para realizar ciertas evaluaciones; lo que en definitiva limita la aplicación de este tratamiento superficial.

Se recomienda contar con informes más detallados y actualizados sobre el estado de las vías a nivel provincial, cantonal y parroquial, dado que así se pueden establecer con mayor detalle estrategias de preservación o mantenimiento, así como otras intervenciones de mejoramiento o ampliación. Con el mismo énfasis, se recomienda implementar planes de preservación vial, especialmente sobre la carpeta asfáltica, dado que en el presente documento se evidencia los menores costos que implica la ejecución de este tipo de tratamiento, al compararse con procesos como reciclado, estabilización química, hasta aquellos más integrales como la reconstrucción. Es decir, una intervención temprana en grietas y baches pequeños, evita un deterioro acelerado y, por ende, menores costos de inversión. Además, se debe tener presente que la implementación de un tipo de mantenimiento (preventivo, correctivo y de emergencia), está en función de parámetros como el tiempo; haciendo que tengan influencia el momento óptimo de aplicación y la elección correcta del tratamiento.

Se recomienda obtener umbrales de condición específicos para la vía a intervenir, especialmente en cuanto al índice IRI, factor de rozamiento, fisuración transversal, periodicidad y ejes estándar equivalentes, puesto que así se prevé la calidad superficial conforme los volúmenes de tráfico comercial actuales y previstos, las cargas y configuraciones por eje, el crecimiento del tráfico comercial y la capacidad vial.

Se recomienda el uso de micro pavimento tipo III en los corredores viales de la provincia del Azuay, especialmente por las características que proveen las canteras de la zona en cuanto a agregados, así como la factibilidad de su uso para niveles de tráfico muy pesados, y altas velocidades de tráfico. Dicha consideración se basa en proyecciones futuras, dado que, si bien las mediciones actuales presentan niveles de tráfico bajos, es necesario considerar un margen superior con proyección futura, especialmente en los corredores que conectan cabeceras cantonales, donde se concentran los mayores flujos de tránsito.

Con la anterior consideración, se recomienda buscar nuevas canteras que provean la calidad de agregados requerida para el uso de micro pavimentos, dado que la granulometría de las canteras actuales no encaja en las fajas granulométricas; debiendo realizar ajustes para cumplir los requerimientos.

Finalmente, se recomienda realizar nuevos estudios, considerando la aplicación in situ de las mezclas, especialmente en zonas de altimetría variada, dado que la provincia del Azuay y en sí el territorio ecuatoriano destacan por una variada topografía, haciendo que las condiciones climáticas varíen dentro de ciertos corredores viales, un parámetro a considerar según normativa internacional.

REFERENCIAS

- AASHTO 408. *Construction Guide Specification for Micro Surfacing*. Disponible en: http://tsp2-etf.org/wp-content/uploads/2019/12/408_Micro-Surfacing-09-05-2019.pdf
- Albornoz, Y. (2014). *SEDIMENTACIÓN O ASENTAMIENTO*.
- AMMANN. (s.f.). *Rodillos neumáticos*.
- AMPP. (2019). *Scientific Innovations in Microsurfacing and Slurry Seal Mixture Design Final Report* (Issue November). www.intrans.iastate.edu
- ASTM. (2016). *D 6372-15 Standard Practice for Design, Testing, and Construction of Micro-Surfacing 1. i*, 1–7. <https://doi.org/10.1520/D6372-15.2>
- ATEB. (2020). Determinación Del Contenido De Agua. *Introducción a La Ciencia Del Suelo*, 217.
- Austrroads. (2003). *Guidelines and specification for bituminous slurry surfacing*. Publication AP–T26/03, Austrroads Incorporated, Sydney, NSW.
- Ayman, A., Mehta, Y., & Shackil, G. (2019). *Laboratory Performance Evaluation of Pavement Preservation Alternatives*.
- Bae, A. y Stofels, S. (2008). *Economic Effects of Microsurfacing on Thermally-Cracked Pavements*. DOI:10.1007/s12205-008-0177-y
- Barrionuevo, L. (2012). DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO UTILIZANDO EMULSIÓN ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO, CON AGREGADO PROCEDENTE DE LA CANTERA CALAGUA DE LA CIUDAD DE SAN MIGUEL, PROVINCIA DE BOLÍVAR. *Universidad Central Del Ecuador, Kolisch 1996*, 49–56.
- Bergkamp. (2016). *M310 PAVIMENTADORA DE MORTEROS ASFÁLTICOS Y MICRO PAVIMENTOS* (pp. 0–3). Bergkamp Inc.
- Bergkamp. (2023). *Caja esparcidora de expansión*.
- BERGKAMP. (n.d.). *Pavimentadoras de morteros asfálticos y micro pavimentos. 1*(785), 1–13. www.slurry.org
- Bista, S. (2020). *Guidelines for Mix Design and Construction of Slurry Seal and Microsurfacing Pavement Preservation Treatments*. Tesis de Maestría. Universidad de Nevada. Estados Unidos.
- Borja Torres, S. A., y Cárdenas Castillo, J. A. (2019). *Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS*. 1–258. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18757>
- Castiblanco, J. (2015). *Uso de micropavimento para adecuación de vías municipales*. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia.

- Castro, B. Zambrano, S. (2020). *Propuesta de empleo de diferentes tecnologías de capa de rodadura para pavimento flexible y en reforzamiento*. Universidad Politécnica Litoral. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/51690/1/T-70522%20CASTRO-ZAMBRANO.pdf>
- Congope-BID. (2017). *Plan de Infraestructura Vial Provincial. Azuay*. 1390. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2018/07/01-Plan-Vial-Guayas.pdf>
- Congope. (2020). *Plan De Desarrollo Vial Integral De La Provincia Del Azuay 2019*. 1(69), 5–24. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Azuay-plan-vial-integral.pdf>
- CONGOPE. (2016). Inventario vial de las parroquias rurales de la provincia del Azuay. *Conogopare*, 4–5. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5286/1/11666.pdf>
- De Celis, G. (2014). *PARTE IV EMULSIONES ASFÁLTICAS*. Universidad de los Andes. Venezuela. Disponible en: <https://pavimentosulacivil.files.wordpress.com/2018/01/emulsiones-asfc3a1lticas.pdf>
- Delgado-Salvatierra, K. A., Macías-Sánchez, L. K., y Ortiz-Hernández, E. (2022). DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MICROPAVIMENTO CON ADITIVOS. *REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA ARBITRADA YACHASUN - ISSN: 2697-3456*, 6(11 Ed. esp), 91–103. <https://doi.org/10.46296/yc.v6i11edespsep.0225>
- Delgado, A., Macías, L., y Ortiz, E. (2022). *ADITIVOS ASPHALT MIX DESIGN TYPE MICRO-PAVEMENT WITH ADDITIVES El mal estado de la red vial se presenta comúnmente en un gran número de países alrededor del mundo, incluyendo Ecuador, en deslizamiento y propiedades fono, Por consiguiente, dichas mezclas*. 11, 91–103.
- Departamento de Transporte de Estados. (n.d.). Microsurfacing Application. *Pavement Preservation Checklist Series*.
- Flores, 2016: Flores Enrique (2016). *La ordenación de la red vial. El cantón de Cuenca*. 2016. Ecuador. Universidad de Cuenca
- Freire, E., y Quizhpi, M. (2022). Diseño y comparación de propiedades de un micropavimento con asfalto emulsionado modificado con polímeros y asfalto emulsionado modificado con resina de poliuretano. *Universidad Católica de Cuenca*, 1–71. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954>
- Gavilanez, E. (2022). Estudio del efecto de la adición de emulsión asfáltica en las propiedades físico – mecánicas de suelos granulares, para el diseño de pavimentos flexibles. *Universidad Técnica de Ambato*, 33(1), 1–12.
- Grilli, A.; Graziani, A.; Carter, A.; Sangiorgi, C.; Pivoto Specht, L.; Copetti Callai, S. Slurry Surfacing: A Review of Definitions, Descriptions and Current Practices. *RILEM Tech Lett* 2019, 4, 103-109.

- Guilcapi, O y Santamaría, F. (2012). Análisis comparativo de emulsiones asfálticas tipo SBR en el diseño de micro pavimentos empleando agregados de las canteras de Guayllabamba y San Antonio. *Tesis de pregrado*. Universidad Politécnica del Ejército. Sangolquí, Ecuador.
- Herra, L. (2018). Conceptualización del procesamiento digital de imágenes para la evaluación de superficies de pavimento en Costa Rica. *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR*. ISSN: 1409-4045 - ISSN electrónico: 2215-3705. Volumen 20. Número 35. p.p. 20-26
- Instituto Mexicano del Transporte -IMT- (2001) *Emulsiones asfálticas*. Documento Técnico No. 23. México. ISSN 0188-7114
- IMT. (1998). Índice Internacional De Rugosidad En La Red Carretera De México. *Instituto Mexicano Del Transporte*, 1(108), 1–57. <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- IMT. (2018). *Manual De Ensayos Para Laboratorio*. 551, 1–80.
- Instituto del Asfalto. (n.d.). *Manual básico de emulsiones asfálticas No. 19*.
- Instituto Mexicano del Transporte -IMT-. (2001). Emulsiones Asfálticas. *Documento Técnico*, 0, 48. <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf%0Ahttps://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>
- International Slurry Surfacing Association -ISSA-. (2005). Issa-Tb 107. *A Method for Unit Field Control of Slurry Seal Quantities*, 107, 6–8.
- ISSA. (2010). *Norma de rendimiento recomendada para micro pavimentación*.
- Jaramillo Soto Washington Patricio, & Places Jácome Jordy Alexis. (2022). *Análisis comparativo del desempeño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado (RAP) utilizando emulsión asfáltica y emulsión asfáltica modificada con aceite de motor desechado de vehículos*.
- Johnson, E. N., Wood, T. J., & Olson, R. C. (2007). Flexible Slurry–Microsurfacing System for Overlay Preparation: Construction and Seasonal Monitoring at Minnesota Road Research Project. *Transportation Research Record*, 1989–2(1), 321–326.
- Kamaraj, C et al. (2016). Experimental study on micro surfacing using chrome shaving impregnated with modified bitumen emulsion. *Journal of Scientific & Industrial Research*. Vol. 75, June 2016, pp. 378-38
- Kim, R.; Adams, J.; Castorena, C.; Ilias, M.; Im, J.; Bahia, H.; Chaturabong, P.; Hanz, A.; Johannes, P. (2017). Performance-Related Specifications for Emulsified Asphaltic Binders Used in Preservation Surface Treatments. 117p. *NCHRP Research Report*. Issue Number: 837. ISSN: 0077-5614
- Kumar, R.; Lyngdoh, T. (2014). New Laboratory Mix Methodology of Microsurfacing and Mix Design. *Transportation Research Procedia* 17 (2016) 488 – 497. doi: 10.1016/j.trpro.2016.11.098

- Labi, S.; Lamptyey, G.; Kong, S. (2007). Effectiveness of Microsurfacing Treatments. *Journal of Transportation Engineering* 133(5). DOI:10.1061/(ASCE)0733- 947X (2007)133:5(298)
- Laguna, J., y Suárez, Y. (2020). Diseño del micropavimento para el mantenimiento del pavimento flexible de la Avenida Guillermo Billinghurst en San Juan de Miraflores – 2020. *Universidad Andina Del Cusco*, 1–118. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gu_tierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López, J. (2020). COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PROVENIENTES DE BOTELLAS PET RECICLADAS. *Universidad Militar Nueva Granada*, 21(1), 1–9.
- Mackay. (s.f.). *PAVEMENT DESIGN*.
- Mackay. (2020). *Planning scheme policy – pavement design*. V1.0. Disponible en: https://www.mackay.qld.gov.au/___data/assets/pdf_file/0005/263597/Planning_scheme_policy_-_pavement_design_v1.0.pdf
- Medina, P. (2019). *Criterios de estandarización de emulsiones asfálticas para el reciclado en frío de pavimentos en el Distrito Metropolitano de Quito*.
- Mercado, R., Bracho, C., & Avendaño, J. (2008). *Emulsiones asfálticas Uso-Rompimiento*. 1, 46. <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S365A.pdf>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. *Nevi-12*, 3, 1028.
- Minnesota Department of Transportation. (2016). *Alternatives to Seal Coats Problem Statement*. February, 1–44.
- Miranda, F. J. (2020). *Ventajas de aplicar micropavimento en obras de mantenimiento vial: una revisión de la literatura científica* (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
- Miranda, F. (2022). APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO PARA LA CONSERVACIÓN VIAL EN EL TRAMO LA QUINUA – CHALLHUAMAYO, REGIÓN AYACUCHO, 2020. *Ucv*, 0–116.
- MOPC. (2016). Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación. *Mopc*, 212. <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificación-fallas.pdf>
- MTOP. (2015). Conservación vial. *Nevi-12*, 6, 1–508. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_6.pdf
- Naranjo, J. (2020). Incidencia de la incorporación de fibras de coco y valor de ph de la fuente hidrica, en los tiempos de mezcla y curado de micro pavimentos. *Tesis de*

- pregrado*. Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.
- Palma, C. V., Cisneros, J. C. O., Belmonte, F. Á., y Facio, A. C. (2016). Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos. *Afinidad*, 73(574), 119–124.
- Palomino Díaz, M. V., y Rodríguez Balbín, E. F. (2023). *Importancia en la selección de criterios de diseño en el desempeño de micropavimentos aplicado al proyecto vial Conococha – Recuay*. 150. <http://hdl.handle.net/10757/622453>
- Prefectura del Azuay. (2020). *Tercera Reforma y Codificación a la Ordenanza que Regula el Sistema de gestión Vial de la provincia del Azuay*.
- Quirola, D., & Reinoso, M. (2017). MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO, MEDIANTE LA ADICIÓN DE PORCENTAJES DE ASFIER 211 Y 240 EN EL AGUA DE PRE-ENVUELTA. *Pontificia Universidad Católica Del Ecuador*, 1–23.
- Repsol. (s.f). *Emulsiones bituminosas*. Ficha técnica. Disponible en: <https://www.repsol.com/content/dam/repsol-corporate/es/productos-y-servicios/productos/asfaltos/emulsiones-bituminosas.pdf>
- Robati, M.; Carter, A.; Perrato, D. (2015). New Conceptual Model for Filler Stiffening Effect on Asphalt Mastic of Microsurfacing. *Journal of Materials in Civil Engineering* Volume 27, Issue 11 [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001264](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001264).
- Rojas, F.; Romero, P.; y Vinueza. C. (s.f). *METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICROPAVIMENTO DE BAJO COSTO PARA SUELO TIPO LIMO ORGÁNICO ARENOSO (OL)*. Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.
- Sarmiento, L. (2018). Análisis de la aplicación de bases estabilizadas con capa de protección asfáltica en los plazos, costos y calidad de construcción en la vía Pindal-Milagros-Paletillas y su impacto en la red terciaria de la provincia de Loja. *UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA*. Edu.ec. Recuperado el 22 de junio de 2023, de <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/21519/1/Sarmiento%20%20C3%20%2081lvarez%20%20Lenin%20Alfonso.pdf>
- Texas Department of Transportation. (1996). *Use of Micro-Surfacing in Highway Pavements. Final Report*. 7(2).
- 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 Pifo Cusubamba, como parte del mantenimiento preventivo. *Tesis de pregrado*. Universidad Internacional del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Ulloa, A. (2012). *Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio*. Disponible en: <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/13374/13469-24412-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20proceso%20de%20coalescencia%20o,de%20estabilidad%20de%20la%20emulsi%C3%B3n>
- Universidad de Costa Rica. (2019). Aplicación de riego de liga. *PITRA: Programa de*

Infraestructura Del Transporte.

UPM. (s.f.). *Determinación del residuo por tamizado de las emulsiones bituminosas, y determinación de la estabilidad al almacenamiento por tamizado.*

Valdés Vidal, G., Pérez-Jiménez, F., y Calabi Floody, A. (2012). La Fisuración en Pavimentos Asfálticos y sus Mecanismos de Deterioro. *Revista Ingeniería de Obras Civiles*, 1(0), 27–37. <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/1964>

Vargas-Gutiérrez, A. (2016). *Experiencia De Diseño De Micropavimento En El Salvador.*

WISE. (2023). *¿SABES QUÉ ES EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN?*

ANEXO 1

Corredores prioritarios en Azuay

Vía	Longitud (km)	TPDA
E-35 límite urbano Cuenca-E594 La Unión	0,39+13,05+9,08+17,39	942+435+208+82
Santa Lucrecia-Viola La Unión	18,77	91
El Recreo-San Antonio	17,57+11,80	43+77
San Antonio-San Joaquín	29,09+40,42	23+59
El Recreo-San Antonio	17,57+11,80	43+77
Ricaurte-Patrón Santiago	6,62+5,29+5,01	105+681+226
Zhumiral-Zhumiral rural	3,43	177
La Alborada-Paralelas	6,68+12,97	139+227
Nabón-San Felipe de Oña	3,28+16,45+17,93	281+53+68
Uquiña-Playa Macas	20,18	29
Serrag-E594 (Satunsaray)	7,40+21,37	101+131
Jima-Shiquin	4,24	53
Shiquin-El Rodeo	6,37	78
Gulag-Cocha	4,43+5,70	95+60
E59-Gañarín	7,71	135
Pucará-E59 (San Francisco)	18,94+9,46	96+162
Moras-Cachi Mirador	4,81	145
San Gerardo-La Unión	4,66	141
Cachi Mirador-Narihuiña	15,59	83
San Gerardo-Guena	9,13	90
San Francisco-Narihuiña	17,69	44
Paute-Cañal	3,32+10,92	74+30
Nabón-Ramada	16,37	253
E35-Patadel	23,47	117

Fuente: (CONGOPE, BID-2018)

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Cristian Marcelo Espinoza Molina portador de la cédula de ciudadanía N.º 0302689880. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de los tipos de micropavimento como alternativa de uso en la conservación vial de la provincia del Azuay” 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, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de septiembre de 2023



F:
Cristian Marcelo Espinoza Molina
0302689880