



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

Actividades de mantenimiento vial y su huella de CO₂ en las vías de
pavimento asfáltico en el cantón Riobamba

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Civil

Autor:

Mayorga Miranda, Salomé Antonela

Tutor:

Ing. Carlos Sebastián Saldaña García. Mgs

Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Salome Antonela Mayorga Miranda** con cédula de ciudadanía 0605026152, autor del trabajo de investigación titulado: **ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VIAL Y SU HUELLA DE CO2 EN LAS VÍAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 03 de Julio del 2026.



Salome Antonela Mayorga Miranda

C.I: 0605026152

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **CARLOS SEBASTIAN SALDAÑA GARCIA** catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación “**ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VIAL Y SU HUELLA DE CO2 EN LAS VÍAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA**”, bajo la autoría de, **SALOME ANTONELA MAYORGA MIRANDA**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 30 días del mes de junio de 2026.



Ing. Carlos Sebastian Saldaña Garcia, Mgs

TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**Actividades de mantenimiento vial y su huella de CO2 en las vías de pavimento asfáltico en el cantón Riobamba**”, presentado por Salome Antonela Mayorga Miranda con cedula de identidad número 060502615-2, bajo la tutoría del **Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, MSc**, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 30 de junio de 2026.

Mgs. Angel Edmundo Paredes Garcia
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO


FIRMA

Mgs. Hernan Vladimir Pazmiño Chiluiza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO


FIRMA

Mgs. Marco Marcel Paredes Herrera
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO


FIRMA



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



CERTIFICACIÓN

Que, **MAYORGA MIRANDA SALOME ANTONELA** con CC: **060502615-2**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO VIAL Y SU HUELLA DE CO2 EN LAS VÍAS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN EL CANTÓN RIOBAMBA**", cumple con el 8 %, de similitudes y 6% textos estadísticamente próximos a un texto generado por una IA de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 25 de junio de 2026

Ing. Carlos Sebastián Saldana García
TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a la persona quien estuvo a mi lado brindándome su apoyo y enseñándome a ser fuerte y luchar en la vida, a mi madre, quien, siempre estará presente en mi corazón. Sé que, desde donde esté, comparte la alegría de este logro, que también le pertenece por haber sido mi primera inspiración para creer en mí y nunca rendirme.

Este logro también está dedicado a mi familia, por ser mi mayor fortaleza y el apoyo incondicional que me impulsó a seguir adelante. En especial, a mi padre Antonio, a mi hermana Vanessa y a mis tíos que de una u otra manera, estuvieron presentes durante este camino, brindándome su cariño, confianza y motivación para sobresalir pese a las dificultades que se me han presentado a lo largo de mi vida y poder alcanzar esta meta.

A todos ustedes, con profundo amor, respeto y gratitud, les dedico este logro, que representa el esfuerzo y la perseverancia.

Mayorga M. Salomé A.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para superar cada desafío y permitirme alcanzar esta importante meta académica.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi familia, quienes estuvieron a mi lado durante toda mi formación académica, brindándome su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y la motivación necesaria para seguir adelante en los momentos más difíciles. Su confianza en mí ha sido fundamental para culminar este logro. De manera muy especial, dedico este agradecimiento a mi madre, quien, aunque hoy ya no se encuentra físicamente conmigo, permanece siempre en mi corazón y en cada uno de mis logros. Fue la primera persona que creyó en mí y quien, con sus palabras: "Tú puedes", sembró la confianza y la determinación que me han acompañado a lo largo de este camino.

Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento a mi tutor, Ing. Carlos Sebastián Saldaña García, por su paciencia, dedicación, orientación y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo de esta investigación. Su guía y apoyo fueron fundamentales para la culminación satisfactoria del presente trabajo de titulación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, estuvieron presentes durante este proceso, brindándome su apoyo, sus consejos y su confianza. Cada aporte, por pequeño que haya sido, contribuyó a hacer posible la culminación de esta etapa tan importante de mi vida.

Mayorga M. Salomé A.

ÍNDICE GENERAL:

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	15
1.1. Antecedentes.....	15
1.2. Problema.....	16
1.3. Justificación.....	16
1.4. Objetivos.....	17
1.4.1. Objetivo General:.....	17
1.4.2. Objetivos Específicos:.....	17
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Gas de efecto invernadero.....	18
2.2. Cambio climático.....	18
2.3. Actividades de mantenimiento.....	18
2.4. Impacto de las actividades de mantenimiento vial en el ambiente.....	19
2.5. Huella de carbono.....	20
2.6. Como se calcula la huella de carbono.....	21
2.7. Acciones de mantenimiento.....	22
2.7.1. Tratamientos superficiales (Capas de sellado).....	22

2.7.2.	Sellado de grietas	22
2.7.3.	Parcheo	22
2.7.4.	Fresado	23
2.8.	Normativas y acuerdos que rigen el sistema ambiental en Ecuador.....	24
CAPÍTULO III. METODOLOGIA		26
3.1.	Tipo de Investigación.	26
3.2.	Diseño de Investigación.....	26
3.3.	Técnicas de recolección de Datos	26
3.3.1.	Recolección de datos.....	26
3.3.2.	Análisis Estadístico	27
3.3.3.	Cálculo de la huella de carbono	27
3.3.4.	Interpretación de resultados	28
3.4.	Población de estudio y tamaño de muestra.....	28
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		30
4.1.	Vías analizadas.....	30
4.2.	Severidad y tipos de fallas	30
4.3.	Análisis de Fallas más recurrentes en la ciudad de Riobamba.....	31
4.4.	Actividad de mantenimiento que se debe hacer en función de la severidad de la falla.....	32
4.4.1.	Actividad: Parcheo parcial.....	33
4.4.2.	Actividad: Parcheo total	36
4.4.3.	Actividad: Sellado de fisura (sellado con masillas asfáltica en caliente)	38
4.5.	Cuantificación de la huella de carbono generada por cada actividad de mantenimiento	40
4.5.1.	Análisis de la huella de CO ₂ para el transporte de parcheo parcial, parcheo total y sellado de fisuras de las vías urbanas de Riobamba.	42
4.5.2.	Huella de CO ₂ unitaria de parcheo parcial y parcheo total para materiales y equipos.....	44
4.5.3.	Análisis de la huella de CO ₂ para el mantenimiento de parcheo parcial y parcheo total de las vías urbanas de Riobamba con corte a diciembre de 2024.....	45
4.5.4.	Huella de CO ₂ unitaria de sello se fisuras para equipos y materiales.....	47

4.5.5. Análisis de la huella de CO₂ para el mantenimiento de sello de fisuras de las vías urbanas de Riobamba con corte a diciembre de 2024 48

4.6. Discusión 48

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 51

5.1. Conclusiones..... 51

5.2. Recomendaciones..... 52

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Vías analizadas.....	30
Tabla 2. Tipos de fallas	31
Tabla 3. Análisis porcentual de las patologías de pavimentos flexibles en Riobamba	31
Tabla 4. Fallas más recurrentes	32
Tabla 5. Resultado total de la huella de CO ₂ por actividad para el Transporte	42
Tabla 6. Resultado unitario de la huella de CO ₂ por actividad para equipos y materiales	44
Tabla 7. Resultado total de la huella de CO ₂ por actividad para materiales y equipos	45
Tabla 8. Resultado unitario de la huella de CO ₂ para la actividad sello de fisuras para equipos y materiales	47
Tabla 9. Resultado total la huella de CO ₂ para la actividad sello de fisuras para equipos y materiales	48
Tabla 10. Relación de CO ₂ con el volumen de las fallas.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Cambio climático que se genera en las actividades de mantenimiento y la construcción.....	20
Figura 2. Actividad de mantenimiento: Parcheo parcial	35
Figura 3. Actividad: Parcheo total	37
Figura 4. Actividad: Sellado de fisura (sellado con masillas asfáltica en caliente).....	39
Figura 5. Proceso de cálculo.....	40
Figura 5. Resultado total por actividad para transporte en porcentajes.....	44
Figura 6. Resultado por unitario para las actividades de parcho parcial y parcheo total en porcentaje.....	45
Figura 7. Resultado total para las actividades de parcho parcial y parcheo total en porcentaje.....	47

RESUMEN

Ecuador siendo miembro de la convención del marco de las Naciones Unidas y suscriptor del acuerdo de París, en donde se compromete a luchar contra el cambio climático, para el 2025 fue aprobada La Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), con el objetivo de reducir los gases de efecto invernadero y brindar iniciativas que aporten a la mitigación del cambio climático en el país.

El presente trabajo se orienta a determinar los procesos de mantenimiento vial de las fallas y la cuantificación de la huella de CO₂ generada por las actividades de mantenimiento vial en la ciudad de Riobamba. Para su ejecución, se investigó sobre los fundamentos teóricos relacionados con los gases de efecto invernadero, actividades de mantenimiento, huella de carbono, entre otros. En la base de datos se identificaron las fallas más recurrentes y las que tienen una severidad alta y media descartando la severidad baja, debido a que cuando presentan este tipo de fallas se recomienda no hacer nada, solo monitoreo. Luego se indagó, sobre las actividades de mantenimiento que se deben realizar en función de la falla presente en el pavimento asfáltico, seguido se procedió a cuantificar la huella de carbono que se genera por cada actividad, tanto para materiales, equipos y transporte de los materiales. La actividad que produjo más emisiones de CO₂ es parcheo parcial tanto en valor por unitario como considerando el área total de la falla de las vías urbanas de Riobamba con corte a diciembre de 2024. Para equipos y materiales el valor unitario se tiene una cantidad de emisión de 3,782 kgCO₂/m², para el área de 7489,011 m² de falla identificada con un valor total de 28322,287 kgCO₂/área total en m² y para transporte una emisión de 807,250 kgCO₂/km de kilómetros recorridos.

Asimismo, se establecen criterios para la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones, considerando que las principales fuentes de emisión se relacionan con el uso de equipo, materiales y transporte de los materiales.

Palabras claves: Huella de carbono, actividad de mantenimiento, cuantificación, cambio climático.

ABSTRACT

Ecuador is a member of the United Nations framework convention and a signatory to the Paris agreement, where it commits to fight climate change, with the aim of reducing greenhouse gases and providing initiatives that contribute to the mitigation of climate change in the country. This work is aimed at determining the road maintenance processes of the faults and the quantification of the CO₂ footprint generated by road maintenance activities in the city of Riobamba. For its execution, research was carried out on the theoretical foundations related to greenhouse gases, maintenance activities, carbon footprint, among others. In the database, the most recurrent failures and those with a high and medium severity were identified, discarding the low severity, because when they present this type of failure, it is recommended not to do anything, only monitoring. Then the maintenance activities that must be carried out based on the failure present in the asphalt pavement were investigated, followed by quantifying the carbon footprint that is generated by each activity, both for materials, equipment and transport of the materials. The activity that produced the most CO₂ emissions it is partial patching both in value per unit and considering the total area of the fault of the urban roads of Riobamba with cut-off to December 2024. For equipment and materials, the unit value has an emission amount of 3,782 kgCO₂/m², for the area of 7489,011 m² of identified failure with a total value of 28322,287 kgCO₂/total area in m² and for transport an emission of 807,250 kgCO₂/km of kilometers traveled. Likewise, criteria are established for the discussion of results, conclusions and recommendations, considering that the main sources of emissions are related to the use of equipment, materials and transportation.

Keywords: Carbon footprint, maintenance activity, quantification, climate change.

Reviewed by Jacqueline Armijos



CAPÍTULO I. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

Ecuador como miembro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) y suscriptor del Acuerdo de París, está comprometido con la lucha contra el cambio climático, a través de la implementación de iniciativas y acciones que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, permitiendo un desarrollo económico sostenible conforme a las circunstancias nacionales, por lo que en el 23 de enero de 2025 fue aprobada; La Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), la misma que fue implementada desde el 01 de enero de 2026, hasta el 31 de diciembre de 2035, apuntando a contribuir a los esfuerzos globales de reducción de gases de efecto invernadero identificando sectores, líneas de acción e iniciativas que aporten a la mitigación del cambio climático en el país. Teniendo como metas principales, reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI); aumento de la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático; y movilización de recursos financieros para contribuir con la gestión del cambio climático [1]. Dentro de estas metas el país se comprometió a reducir 8.800 kt CO₂-eq incondicionalmente (7%) y 10.600 kt condicionalmente (8%) para 2026-2035, priorizando sectores energía, transporte e industria [2].

En la actualidad no se encontraron estudios donde se den a conocer sobre las emisiones de CO₂ en Ecuador, sin embargo, en el 2023 Ecuador presentó un crecimiento de 30,68 megatoneladas, un 7,26% respecto a 2022, es decir que en el 2023 las emisiones fueron de 45.328 megatoneladas, con estas cifras Ecuador se convierte en el número 127 en el ranking de países por emisiones de CO₂, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes [3].

El sector de la construcción actualmente es uno de los más contaminantes, el mismo representa cerca del 40 % de las emisiones de CO₂ a nivel mundial, abarca a 27 países incluyendo a los de América Latina [4]. Se estima que la construcción de una carretera y mantenimiento de las mismas causa el 32,9% de la contaminación ambiental [5]. Esto se debe a que requieren actividades de alto grado de recursos naturales y energía, las mismas que genera gases de efecto invernadero significativamente alta. Haciendo énfasis en las diferentes etapas de mantenimiento, en las mismas interviene con más frecuencia la mano humana, generando un grado mayor de contaminación,

especialmente cuando la actividad de mantenimiento se trata de un reasfaltado, debido a que tiene mayor grado de químicos y compuesto [6].

Para conocer que cantidad de emisiones de CO₂ que se genera existen catálogos donde indican como medir la huella de carbono como es el protocolo de gases de efecto invernadero (GHG Protocol) y las directrices del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), los mismos no se encuentran actualizadas y no reflejan las condiciones locales ni las particularidades del contexto en la ciudad de Riobamba. Esta falta de adecuación puede llevar a subestimar o sobrestimar las emisiones reales generadas durante las actividades viales, dificultando así la implementación efectiva de estrategias para reducir la huella de carbono.

1.2. Problema

La problemática es la falta de conocimiento de cuanta huella de carbono (CO₂) se genera por cada producto de las actividades de mantenimiento realizada en un pavimento asfáltico y sabiendo que mantenimiento vial afecta mucho en el tema de emisiones teniendo una gran probabilidad que siga manteniéndose por que no existe otra alternativa de mantenimiento vial, esta situación no solo afecta la calidad del aire, sino que también facilita la infiltración de sustancias nocivas en el suelo y el agua, poniendo en riesgo la salud pública, la biodiversidad y el medio ambiente. Esto evidencia la necesidad de evaluar de manera integral el impacto ambiental de las actividades que se realizan, considerando no solo el estado físico de las vías, sino también las consecuencias derivadas de su rehabilitación y mantenimiento. Además, al no cuantificar la huella de carbono generada durante los trabajos viales, resulta difícil identificar cuales procesos son más contaminantes y qué acciones pueden implementar para reducirlos. La medición de emisiones permite establecer estrategias y selección de técnicas constructivas más sostenibles.

1.3. Justificación

Este estudio es relevante por saber cuál es la cantidad de emisiones de CO₂ que generan las actividades de mantenimiento vial y su impacto ambiental en las infraestructuras viales en la ciudad de Riobamba, considerando que estas actividades demandan el uso de maquinaria pesada, actividades de extracción de materiales, alto consumo de combustibles fósiles, cambio de uso de suelos, cemento, asfaltos y el transporte de materias primas como de insumos, factores que contribuyen directamente a la emisión de gases de efecto invernadero, en especial el CO₂. En este sentido, resulta fundamental cuantificar la huella de carbono asociada a los procesos de

mantenimiento vial, ya que esto permite identificar las etapas o actividades con mayor impacto ambiental y, a partir de ello, proponer medidas de mitigación más eficientes y sostenibles. La necesidad de este estudio se relaciona con el hecho de que el sector vial, además de ser esencial para la movilidad y el desarrollo urbano, puede convertirse en una fuente significativa de contaminación si no se ejecuta bajo criterios técnicos y ambientales adaptados.

Adicionalmente, la investigación cobra importancia porque la cuantificación de la huella de carbono, aportará a una mejor gestión más eficiente y sostenible, ayudando desde nuestro campo a reducir las emisiones de gas de efecto invernadero, para que nuestro país cumpla con el objetivo propuesto en las (NDC) vigente desde enero del presente año, que consiste en reducir un total de 17% con un 7% por esfuerzos propios del país y un 8% adicional.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

- Determinar los procesos de mantenimiento vial en vías asfaltadas que se realizan en Riobamba y medir su impacto a través de la huella de carbono.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Analizar las patologías más recurrentes en las vías del cantón Riobamba a partir de una base de datos existente.
- Determinar los procesos necesarios para dar el mantenimiento respectivo según la patología identificada.
- Cuantificar la huella de carbono de las actividades determinadas.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Gas de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI), son gases naturales (presentes en la atmósfera) o generados por la actividad humana (artificiales), que retienen el calor en la atmósfera terrestre y regulan la temperatura del planeta. Debido a la actividad humana (quema de fósiles, agricultura, construcción, procesos industriales, etc.) genera la concentración de gases y el mismo se intensifica provocando el calentamiento global. Su característica principal es absorber y emitir radiación infrarroja.

Este es un proceso físico esencial para el funcionamiento del clima terrestre, ya que retiene parte del calor que alcanza la superficie del planeta, evitando que escape totalmente al espacio, gracias a lo que se desarrolla la vida en la Tierra. Es por ello que este fenómeno natural es llamado “efecto invernadero” y resulta imprescindible para la supervivencia de los seres vivos[7].

Según Kunakair [8] menciona que, en la industria, en edificios y transporte sumando los 3 sería un 32 % es en donde interviene la construcción y las actividades de mantenimiento vial, ya que en la industria es en donde se fabrican todos los materiales necesarios para la construcción de las vías y donde llegan la extracción de los combustibles fósiles los cuales también general emisiones, como también el transporte de los mismos.

2.2. Cambio climático

El clima del planeta Tierra se está alterando significativamente, como resultado del aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero. Las variaciones climáticas han existido en el pasado y existirán siempre a consecuencia de diferentes fenómenos naturales. Sin embargo, durante las últimas décadas se han producido variaciones anormales causadas por la actividad humana, que alteran la composición global atmosférica. Entre los principales efectos que está causando los cambios climáticos es el deshielo de los casquetes polares y aumento del nivel del mar, presencia de temperaturas extremas, inundaciones, sequías, tormentas y olas de calor [9].

2.3. Actividades de mantenimiento

El mantenimiento tiene como objetivo restaurar, preservar y mejorar las vías de pavimentos flexibles o rígidos, donde incluye la reparación de la falla, la limpieza, señalización y obras de drenaje, garantizando el adecuado funcionamiento, prolongado la vida útil y funcionalidad de la

vía. Las actividades de mantenimiento se clasifican en correctivas y rutinarias, abarcando de limpieza de cunetas de la vegetación presente hasta la colocación de la nueva carpeta asfáltica o de hormigón, siendo primordial para la calidad de vida y la economía [10].

El mantenimiento de pavimentos flexibles en el cantón Riobamba abarca una serie de actividades clave para asegurar la durabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial. Este tipo de pavimento, conocido por su capacidad de adaptarse a las condiciones del terreno y su flexibilidad, requiere un enfoque sistemático para su cuidado. Las actividades incluyen la evaluación del estado del pavimento, donde se detectan problemas como fisuras, baches y deformaciones mediante inspecciones visuales y análisis de tráfico.

Al detectar las fallas existentes se recomienda considerar el mantenimiento según la severidad de la falla consiste en priorizar las acciones de acuerdo con el nivel de impacto que puede generar cada actividad. Las fallas de mayor severidad es decir fallas de severidad altas y medias, requieren atención inmediata y prioritaria por sus posibles efectos en la operación, la seguridad y el ambiente, mientras que las de menor severidad pueden programarse de forma planificada. Este enfoque permite optimizar recursos, reducir riesgos y mejorar la confiabilidad de los equipos.

La relevancia de estas actividades radica en su contribución a la seguridad vial, la eficiencia del transporte y el ahorro económico, ya que un mantenimiento adecuado evita daños mayores que podrían resultar en costos más altos[11].

2.4. Impacto de las actividades de mantenimiento vial en el ambiente

La industria de la construcción es responsable de una cantidad significativa de emisiones de gases de efecto invernadero, agotamiento de recursos y contaminación. La extracción de materias primas, el transporte de materiales de construcción y el consumo de energía durante la construcción contribuyen a la degradación del ambiente. Además, la eliminación de los residuos de la construcción agrava aún más el impacto ambiental de la construcción [12].

El mantenimiento vial es una de las etapas que genera mayor impacto ambiental dentro del ciclo de vida de los pavimentos asfálticos. Esto ocurre debido a que las intervenciones de mantenimiento son periódicas y requieren constantemente el uso de maquinaria pesada, transporte de materiales pétreos, funcionamiento de plantas de asfalto y consumo de combustibles fósiles [6]. El mantenimiento, tanto por su ausencia del como por su incorrecta ejecución, generan impacto ambiental. En este sentido las personas responsables de ejecutar dichas tareas, consideren en cada

una de sus acciones de preservación, en las mejores condiciones posibles, de nuestro planeta y toda la forma de vida en él.

A continuación, se puede ver como influyen las actividades de mantenimiento y las de la construcción en el cambio climático.

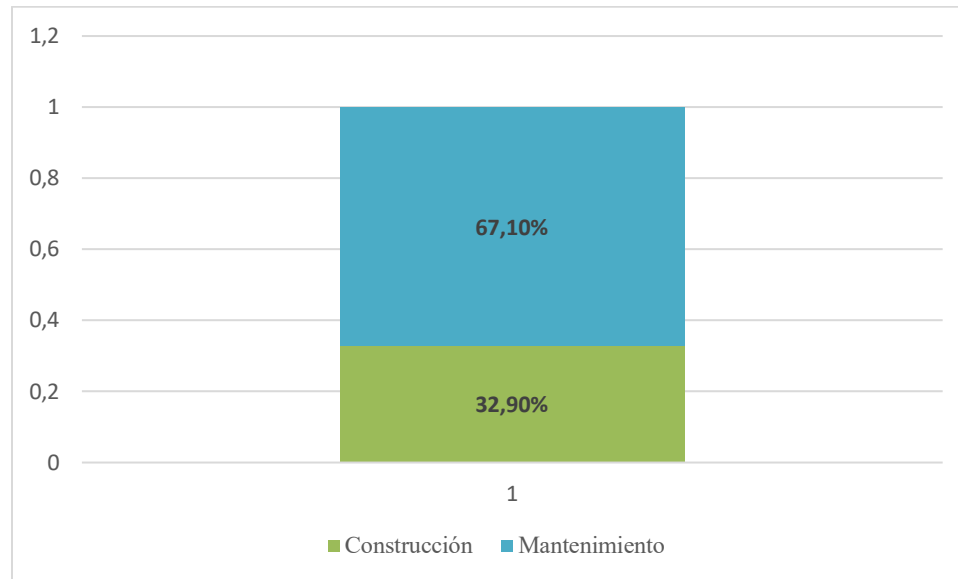


Figura 1. Cambio climático que se genera en las actividades de mantenimiento y la construcción
Fuente: Adaptado de [6]

En la figura 1 se puede observar que la etapa de mantenimiento genera mayor impacto ambiental, tanto así que el cambio climático representa un 67.1% de contaminación y un 32,9% en la etapa de construcción, esto debido a que para conservar la estructura de calzada se planifica intervenciones de manera periódica, ocasionando gases de efecto invernadero que incrementan la temperatura de la tierra.

2.5. Huella de carbono

La huella de carbono es una medida que refleja la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por una organización, evento, producto o individuo, directa o indirectamente como consecuencia de una actividad humana. Los GEI incluyen dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y otros gases que contribuyen al calentamiento global y al cambio climático [13].

Para calcular la huella de carbono se debe realizar un inventario de emisiones de estos gases o un análisis de ciclo de vida según la tipología de la huella, teniendo esto como base se puede implementar una estrategia de reducciones de emisiones de CO₂ basada en eficiencia energética,

ahorro de materias primas, economía circular, mejoras en proceso, etc. Se detallarán los diferentes tipos de huellas de carbono[14]:

- **Huella de carbono personal:** Son los hábitos de consumo que tienen las personas, considerando el gas de efecto invernadero del transporte, hábitos alimenticios y el consumo de bienes.
- **Huella de carbono de producto:** Son las emisiones generadas al momento de extracción de materiales, generación de energía, transporte, entre otras, para obtener un producto.
- **Huella de carbono corporativa:** Emisiones asociadas a las actividades de empresas u organizaciones, se basa en medidas de la eficiencia energética dentro de la empresa.

Durante el transcurso de la vida útil de un producto o servicio que necesitemos, se puede identificar ciclo de vida del producto que producen emisiones de gas de efecto invernadero, abarcando desde la obtención de materias primas hasta el manejo de desechos resultado de la utilización del producto.

Según Repsol [14], partiendo de estos los gases de efecto invernadero pueden dividirse en tres alcances siendo los siguientes:

- **Alcance 1:** Emisiones directas. Emisiones propias de personas o empresas donde producen una actividad como vehículos, hornos, etc.
- **Alcance 2:** Emisiones indirectas: Son las asociadas a la energía eléctrica por parte de una organización.
- **Alcance 3:** Son otras emisiones de las actividades de las personas o empresas, pero estas no son controladas por las empresas ni las personas. Son las materias primas compradas por la empresa, emitidos por terceros.

2.6. Como se calcula la huella de carbono

La estimación de la huella de carbono se fundamenta en normativas globales como el Protocolo GHG o ISO 14064. Las emisiones se determinan al multiplicar los datos de uso (actividad de mantenimiento) por su respectivo factor de emisión que puede ser en cantidad de Kg (kilogramos) o T (toneladas) de CO₂e (dióxido de carbono equivalente), según el combustible

empleado, equipo, la clase de energía o la actividad evaluada. Esta es por tanto la fórmula que resume el cálculo:

$$\text{Huella de carbono} = \sum (\text{Dato Actividad} \times \text{Factor Emisión})$$

2.7. Acciones de mantenimiento

2.7.1. Tratamientos superficiales (Capas de sellado)

Este tipo de tratamientos superficiales se los utiliza para la rehabilitación de las vías, las mismas que tienen bajo nivel cargas y tráfico. Estas actividades son económicas y excelentes para tratar superficies oxidadas y viejas, corrigiendo fallas menores y sellado de grietas. La durabilidad del sellado es variable y depende básicamente del asfalto original, calidad del sellado y el tráfico que circula por esa vía, este tiene una durabilidad de 4 a 8 años.

2.7.2. Sellado de grietas

Consiste prácticamente en limpiar la superficie y proceder a riego de elementos asfálticos para sellar las grietas o fisuras presentes, para evitar que entre el agua a la base y sub bases granulares y siga produciendo daños provocando que se tenga que realizar otra actividad de mantenimiento más severa.

Esta actividad se realiza cuando se encuentra una falla longitudinal, transversal, deflexión, de borde o bloque, siendo una actividad poco efectiva y costosa, sin embargo, es una buena opción para evitar el deterioro del pavimento, su uso es recomendable antes que empiecen las épocas de lluvia.

2.7.3. Parcheo

El parcheo es uno de los más comunes para reparación de vías. Se entiende como parcheo a la remoción y reposición de un área localizada severamente dañada o el relleno de huecos producidos por disgregación, de igual manera se realiza para corregir fallas estructurales manifestadas por la aparición de grietas del tipo piel de cocodrilo en severidad media y alta, grietas de deslizamiento, ahuellamiento profundo y fallas puntuales como huecos, quiebres, hundimientos, etc.[15].

Se pueden clasificar las acciones de bacheo según su necesidad, parcheo provisional, cuando se requiere hacer un bacheo por emergencia debido a la aparición abrupta de una falla y la misma no se puede realizar permanentemente debido a factores como son las condiciones climáticas, falta de material (asfalto) o de equipos, se entiende que su duración es corta de días o semanas y luego se procederá a realizar el bacheo permanente. El parcheo permanente se ejecuta como mantenimiento preventivo o correctivo, previo a un mantenimiento mayor como cambiar completamente la carpeta asfáltica, la condición del bacheo que se realice debe llegar a la condición de la resistencia original del pavimento, este bacheo puede durar meses o años.

Estas acciones de bacheo se dividen en [15]:

- **Parcheo por emergencia:** Es cuando se realiza un sellado de hueco en caliente o en frío, con poca limpieza del área y su compactación debe ser de la mejor manera posible usando equipos adecuados.
- **Parcheo superficial:** Consiste en riego de ligas asfáltica mezclas en caliente o en frío, cuyas áreas delimitadas presentan agrietamientos, hundimientos, disgregación o deformaciones.
- **Parcheo de carpeta:** Es cuando el pavimento presenta fallas muy profundas aquí se realiza la remoción total o parcial de la carpeta asfáltica usando diferentes métodos acordes a las necesidades. Las áreas afectadas deben ser rectangulares o cuadradas y las paredes verticales para facilitar la colocación de la nueva carpeta asfáltica.
- **Parcheo profundo:** Consiste en la remoción de la carpeta asfáltica, base y sub base. Para la colocación del nuevo material debe de ser de la mejor calidad, obtenido de canteras que brinden confianza y ofrezca la mejor calidad y control, de igual manera la piedra picada.

2.7.4. Fresado

Fresado es un método que remueve pavimientos, ayuda a resolver problemas que genera la colocación del asfalto en vías urbanas, se usa principalmente para remover excavaciones, corrugaciones y alisar superficies deformadas.

Las operaciones de fresado permiten dar forma al material según necesidades y requisitos específicos, haciéndolo más redondeado, por ejemplo, eliminando bordes o perfilándolo en una amplia gama de formas, creando esquinas, huecos, juntas y guías. Mediante diferentes técnicas de

fresado es posible conseguir superficies no sólo funcionales sino también estéticamente decoradas con un alto grado de precisión[16].

2.8. Normativas y acuerdos que rigen el sistema ambiental en Ecuador

En Ecuador existen varias normativas y acuerdos a nivel nacional que rigen el sistema ambiental las más relevantes son las siguientes:

En Ecuador las leyes ambientales actuales consisten en un conjunto de regulaciones destinadas a la protección, conservación y uso responsable del entorno. Las más destacadas incluyen la NDC, Constitución de la Nación Ecuatoriana, la Ley de Gestión Ambiental, el Código Orgánico Ambiental, su reglamentación, y el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. Este conjunto normativo sienta las bases para la prevención, supervisión, control y corrección de los efectos ambientales derivados de acciones tanto públicas como privadas.

Ecuador reafirma su compromiso con la acción climática global mediante la presentación de su Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) para el período 2026–2035, alineada con los objetivos del Acuerdo de París y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Esta NDC tiene como objetivo implementar políticas, acciones y esfuerzos orientados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), aumentar la resiliencia y disminuir la vulnerabilidad ante los efectos adversos del cambio climático en sectores priorizados por la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC). Se estima una reducción incondicional de 8.800 kt CO₂-eq (7%) y una meta condicional de 10.600 kt CO₂-eq (8%), sujeta al apoyo de la cooperación internacional. En cuanto a adaptación, se priorizan sectores como patrimonio natural, hídrico, salud, asentamientos humanos, sectores productivos y estratégicos, y soberanía alimentaria. Las medidas propuestas buscan garantizar recursos hídricos, fortalecer la infraestructura y asegurar la producción alimentaria ante eventos climáticos extremos [2].

El Código Orgánico del Ambiente (COA, 2017) es el marco legal integral de Ecuador para la gestión ambiental, que regula la preservación del derecho humano y de la naturaleza a un ambiente sano (Sumak Kawsay), establece responsabilidad objetiva por daños ambientales, prohíbe actividades destructivas de ecosistemas/biodiversidad, y organiza instrumentos de gestión como calidad del aire/agua/suelo, áreas protegidas, gestión de residuos, cambio climático, vida

silvestre, bioseguridad y participación ciudadana, promoviendo conservación, restauración y desarrollo sostenible con sanciones penales y administrativas[17].

El Acuerdo Nro. MAE-MAE-2026-0016-AM regula medidas prioritarias de prevención, mitigación y restauración de daños ambientales en Ecuador, fortaleciendo la conservación de ecosistemas frágiles, biodiversidad y patrimonio natural mediante protocolos para actividades extractivas de alto impacto (minería, hidrocarburos), planes de contingencia obligatorios, zonificación ecológica, caudales ecológicos mínimos y remediación de suelos, basado en derechos constitucionales al ambiente sano y precaución ambiental[18].

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador, en el marco de sus competencias y atribuciones, expidió el Programa Ecuador Carbono Cero (PECC), a través del Acuerdo Ministerial Nro. MAAE-2021-018, así como, sus normas técnicas con alcance a producto y organizacional bajo los Acuerdos Ministeriales Nro. MAAE-2021-046 y Nro. MAAE-2021-047 respectivamente. Este programa, tiene como objetivo incentivar la toma de acciones frente al cambio climático por parte del sector productivo y de servicios, mediante la gestión de su huella de carbono permitiendo el reporte de sus compromisos y el acceso a incentivos ambientales y tributarios. El PECC es un esquema de aplicación voluntaria y progresivo, que prima la mejora continua mediante niveles de aplicación[19].

Acuerdo ministerial 097A, la presente norma técnica ambiental revisada y actualizada es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general.[20]

Tulsma, es el texto unificado de la legislación secundaria del ministerio del ambiente, donde se encuentran las leyes relacionadas a la protección de los recursos naturales, cuyo objetivo principal es presentar normas para preservar la calidad de los recursos del suelo para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general, conservando y actualizando la sostenibilidad ambiental [21].

CAPÍTULO III. METODOLOGIA

3.1. Tipo de Investigación.

El tipo de investigación analiza los fenómenos reales de los diferentes tipos de fallas de la ciudad de Riobamba, abordando las diferentes severidades de cada falla y buscando dar una solución de mantenimiento a las diferentes situaciones que presentan las vías, en esta investigación se harán uso de conocimiento previos para abordar y entender en el campo de la ingeniería de mantenimiento de vías y tener conciencia de la cantidad de contaminación que generamos, dañando al medio ambiente.

Este estudio tiene un enfoque mixto, partiendo de un enfoque cuantitativo, haciendo referencia al cálculo de la huella de carbono en las diferentes actividades de mantenimiento analizadas en la base de datos. Un enfoque cualitativo, ya que analiza los diferentes procesos necesarios para llegar a un resultado de mantenimiento adecuado alargando la vida útil del asfalto, este resultado permitirá analizar qué cantidad de huella de carbono genera dichas actividades necesarias para la reparación.

Es esencial realizar una investigación documental, debido que por este medio se recopila diferentes fuentes bibliográficas, las mismas que nos proporciona datos importantes y válidos, obtenidos de profesionales que han analizado investigaciones y trabajos relacionados al tema.

3.2. Diseño de Investigación

Esta investigación evalúa la cantidad de huella de carbono que genera cada actividad de mantenimiento, que requiere la patología según su severidad, la misma parte desde el transporte de los materiales necesario tomando como referencia el punto de llegada al stock del municipio de Riobamba, hasta cuando se finaliza la restauración del asfalto dañado, para luego generar una tabla de resumen en donde nos dé a conocer cuanta huella de carbono genero dicha actividad.

3.3. Técnicas de recolección de Datos

3.3.1. Recolección de datos

Para la investigación presente se utilizará técnicas e instrumentos de recolección de datos, según su propósito y análisis:

Se partirá de una indagación de diferentes fuentes bibliografías relacionadas a construcción de vías, componentes, elementos, materiales y todo tipo de recurso de obra utilizado, así como el uso de maquinarias y las emisiones que producen y aportan a la huella de carbono.

Para la obtención de las fallas más recurrentes se partió de una base de datos previamente realizada por estudiantes de la facultad de ingeniería civil (base de datos 2025) la cual consta con todos los tipos de fallas encontrados en la ciudad de Riobamba de las vías pavimentadas analizadas, en la cual ofrece información de la cantidad de fallas encontradas de cada tipo, la severidad de cada falla, y su área de afectación, clasificándolas de esta manera como severidad (baja, media y alta), indicando así también el PCI de cada uno de las vías.

Al contar con la base de datos y posterior a ello realizar el análisis de las mismas se prosiguió a obtener las fallas más recurrentes en el análisis descartando las fallas con severidad baja, optando por escoger todas las fallas de severidad media y alta de cada una de las fallas del pavimento para su análisis. Con los datos seleccionados se buscará calcular el porcentaje de falla que representa cada una de las patologías del pavimento flexible.

3.3.2. Análisis Estadístico

Se utilizarán técnicas estadísticas descriptivas para resumir y presentar los datos recopilados, lo que permitirá identificar la frecuencia y distribución de las patologías en las vías. Además, se llevarán a cabo análisis inferenciales para evaluar la relación entre las patologías identificadas y los procesos de mantenimiento, así como cuantificar la huella de carbono producidas en cada etapa del proceso de estas actividades.

3.3.3. Cálculo de la huella de carbono

El dominio son las 31 vías asfaltadas en la ciudad de Riobamba, vías analizada por la base de datos realizada por los estudiantes de ingeniería civil corte en diciembre del 2025, dentro de esas vías se encontraron diferentes tipologías de fallas de severidad alta y media, dentro de esas fallas nosotros vamos analizar únicamente materiales, equipos que sean medidos por medio de factores de emisión para el combustible (diésel) y transporte considerando el CO₂ que se genera por recorrido, es decir mis variables de entrada son 2 que es transporte de los materiales y el factor de emisión, para tener variables de salida en kgCO₂/m², KgCO₂/área total en m², kgCO₂/m y kgCO₂/km, de cada actividad de mantenimiento.

3.3.4. Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos se analizarán para identificar patrones y tendencias que brinden información sobre la efectividad de los procesos de mantenimiento actuales y su sostenibilidad ambiental. Se formularán recomendaciones basadas en evidencia para optimizar la gestión del mantenimiento vial, con el fin de disminuir la huella de carbono. Además, se discutirá cómo la discrepancia entre los catálogos existentes y la situación real puede influir en las estimaciones, y se propondrán ajustes o metodologías alternativas para lograr una evaluación más precisa.

3.4. Población de estudio y tamaño de muestra

Se realizó una muestra en la cual se halla una cantidad 1166 tipos de patologías, la cual se analizó cada 40 m de longitud, en dónde se tiene como dato la longitud de vía en km en Riobamba, como también muestra la longitud total de tratamiento dado y las que aún no están tratadas.

En la investigación realizado por [4] donde da a conocer que 11 vías (Av. 11 de noviembre, Alvarado, 24 de mayo, Eugenio Espejo, Morona, Loja, Barón de Carondelet 1, Diego de Almagro, Juan de Velasco, Cesar León Hidalgo y Virgilio Corral) se encuentran en estado malo y muy malo. Sin embargo, hasta la fecha se han intervenido como actividad de mantenimiento el reasfalto las siguientes vías: Canónico Ramos, Saint Amand Montrond, Sergio Quirola, Miguel Ángel León, Carlos Zambrano, Unidad Nacional; vías a Guano, Penipe y Chambo, ciudadela Los Álamos, sector El Shuyo y en calles como José Veloz, Eduardo Kingman, Agustín Torres, Juan Chiriboga, Cristóbal Colón, Febres Cordero, España, García Moreno, Chile, Brasil, Nueva York, Uruguay, Pinchincha y Diego Ibarra[22]. Actividad de mantenimiento temporales siendo el bacheo en más de 30 puntos, como medida por falta de asfalto, las siguientes vías intervenidas son: Puruhá, Loja, Tarqui, Francia, Uruguay, Brasil, Sergio Quirola, Reino Unido, Joaquín Chiriboga, Mariana de Jesús, entre otras, así como en avenidas como Juan Bernardo León, Unidad Nacional y Miguel Ángel León, entre las principales intervenciones [23].

La longitud de muestra analizada corresponde a 46.64 km, representa al 10.58 % de los 101 km de vías identificadas en mal estado, porcentaje que se considera estadísticamente representativo y confiable de acuerdo con los criterios establecidos por el MTOP (2011) y los cálculos realizados con un nivel de confianza del 95 %. En consecuencia, la longitud seleccionada resulta adecuada para el análisis y evaluación práctica de la huella de carbono (CO₂) asociada a la infraestructura vial estudiada.

La determinación del tamaño de la muestra se sustentó en la teoría estadística, la cual establece que una muestra debe ser representativa de la población y cálculo con base en parámetros como el nivel de confianza, el margen de error y la variabilidad de los datos. Para poblaciones finitas, el tamaño muestral se obtiene mediante una fórmula que relaciona el tamaño de la población con el nivel de confianza del 95% y el error permitido, garantizando así la validez de los resultados obtenidos. Por ello, la muestra seleccionada debe ser coherente con la extensión real de la población y permitir inferencias confiables sobre el análisis total.

Según las normas viales ecuatorianas recomiendan un porcentaje de muestra de 5-15% en los tramos críticos para evaluar patologías como los baches o fisuras, la muestra tomada es de 10.5% que está adecuadamente dentro del rango óptimo.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Vías analizadas

Tabla 1. Vías analizadas

Alvarado	Valenzuela
Atahualpa	Cuba entre olmedo y Av. Leopoldo freire
Riobamba (La Vasija) – Cubijés	Cuba entre José Orozco y pedro Bedón
Riobamba - Guano (lado derecho)	Joaquín Chiriboga
Riobamba - Guano (lado izquierdo)	Av. Juan Félix Proaño ida
Av. Bicentenario (lado derecho)	Av. Juan Félix Proaño vuelta
Av. Bicentenario (lado izquierdo)	Av. Puruhá ida
Av. 11 de noviembre (lado derecho)	Av. Puruhá vuelta
Av. 11 de noviembre (lado izquierdo)	Morona
Av. Msñr. Leónidas Proaño (Sección 1)	Diego de Almagro
Barón de Carondelet	Alvarado
LF01 Leopoldo freire (ida)	Virgilio corral
LF02 Leopoldo freire (vuelta)	Av. Celso Augusto Rodríguez (ida)
R01 roma (ida)	Av. Celso Augusto Rodríguez (vuelta)
R02 roma (vuelta)	Calle Madrid
BD01 bernardo darquea	

En la tabla 1, se puede observar las vías analizadas que fueron obtenidas en la base de datos a corte de diciembre del 2024, realizada por los estudiantes de la faculta de ingeniería civil, en estas vías presentan diferentes tipos de fallas.

4.2. Severidad y tipos de fallas

Para escoger las fallas más recurrentes en la ciudad de Riobamba se partió de una base de datos en las cual los otorgan los tipos de fallas existentes como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de fallas

1.Longitudinal / Transversa	6.Fisuras de Borde	11.Corrimiento / Desplazamiento	16.Escalonamiento calzada / espaldón
2.Piel de Cocodrilo	7.Abultamientos y Hundimientos	12.Hinchamiento	18.Cruce de Ferrocarril
3.Fisuras en Bloque	8.Roderas o Ahuellamiento	13.Pulimiento de Agregados	19.Huecos
4.Reflejo de Juntas	9.Corrugación	14.Exudación	
5.Fisuras de Arco	10.Depresiones	15.Desprendimiento de agregados	

Como se puede observar en la tabla 2 existen 19 tipos de fallas en la ciudad de Riobamba las cuales fueron encontradas y observados a lo largo del análisis realizado por los estudiantes de la facultad de ingeniería civil.

Tabla 3. Análisis porcentual de las patologías de pavimentos flexibles en Riobamba

	3.Fisuras en Bloque	1.Longitudinal / Transversa	2.Piel de Cocodrilo	2.Piel de Cocodrilo	1.Longitudinal / Transversa	1.Longitudinal / Transversa	3.Fisuras en Bloque	17.Baches / Servicio	17.Baches / Servicio
	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Baja	Media	Alta	Media
Cantidad	93	240	110	191	144	198	97	107	174
	8,0%	20,6%	9,4%	16,4%	12,3%	17,0%	8,3%	9,2%	14,9%
Área	4771,1	4459,45	4212,4	3622,2	3526,45	3504,97	3392,66	3276,7	3120,6
Densidad	11,3%	10,5%	10,0%	8,6%	8,3%	8,3%	8,0%	7,7%	7,4%

La tabla 3 representa el cálculo realizado donde se puede identificar los tipos de falla junto a su severidad (baja, media y alta) respectivamente, en donde se realiza un análisis del PCI existente y el porcentaje representativo de cada una de las fallas de acuerdo a la severidad que representa, así mismo el área de daño que tiene cada uno y el volumen de cada una en porcentaje.

4.3. Análisis de Fallas más recurrentes en la ciudad de Riobamba

Para llevar a cabo el análisis de las fallas más recurrentes se partió analizando todos los tipos de fallas que hay en la base de datos en la cual para fines de la investigación se optó por descartar fallas con severidad baja, debido a que cuando se tiene este tipo de fallas la recomendación es no hacer nada, solo realizar un monitoreo de cómo va evolucionando esa falla,

así mismo aquellas fallas que no aportaban un porcentaje tan representativo para realizar el análisis respectivo siendo las fallas más recurrentes las que se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Fallas más recurrentes

Fisuras en Bloque	Longitudinal / Transversa	Piel de Cocodrilo	Piel de Cocodrilo	Longitudinal / Transversa	Fisuras en Bloque	Bache / Servicio	Baches / Servicio	Hueco
Alta	Media	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Media	Alta
93	240	110	191	144	97	107	174	63
8,0%	20,6%	9,4%	16,4%	12,3%	8,3%	9,2%	14,9%	5,4%

La tabla 4 representa las fallas más recurrentes con severidad media y alta de acuerdo a un porcentaje representativo, siendo las fallas más recurrentes de tipo (fisuras en bloque, longitudinal/transversal, piel de cocodrilo, bache/servicio y hueco). La tabla nos muestra que la falla con mayor porcentaje de severidad encontrado en la ciudad de Riobamba es del tipo longitudinal transversal con un total de 20,6% con una severidad media, seguida de ello la falla piel de cocodrilo con un total de 16,4% con una severidad media, para la falla bache servicio se tiene un total de 14,9% con una severidad media, mientras que las fallas de severidad alta se encuentran con un porcentaje de entre 8%-12%, siendo la de 12,3% la falla longitudinal. Esto nos quiere decir que a la fecha de elaboración de este trabajo en la ciudad de Riobamba existe más fallas con una severidad media que si no llegan a tomar acciones empezarán a incrementar el porcentaje a patologías con severidad alta. También debemos tomar en cuenta que las fallas con severidad alta también suman porcentajes representativos por lo cual se debe realizar los respectivos análisis para determinar los procesos necesarios para dar mantenimiento respectivo según su patología y la severidad de la misma.

La falla tipo hueco se la considera no por su recurrencia debido a que su volumen es bajo con un valor de 5,40%, sin embargo, es importante por su serviciabilidad de la vía es fuerte y el grado del impacto que genera en la degradación de la vía.

4.4. Actividad de mantenimiento que se debe hacer en función de la severidad de la falla

Las patologías que tuvieron una severidad alta y media fueron cuatro siendo un total de ocho, incluyéndole la falla tipo hueco tanto en severidad media y alta teniendo un total de 10 fallas

analizadas, de las cuales tienen su respectiva actividad de mantenimiento, empezando desde el transporte de los materiales hasta la ejecución del mantenimiento de la falla.

Las (figura. 2, figura. 3 y figura. 4), corresponden a un esquema donde se detalla los procesos de mantenimiento de la superficie de pavimentos flexibles ya identificados anteriormente como los más relevantes en esta presente investigación, en los cuales se describen las principales actividades, materiales y equipos requeridos para la intervención vial. Estas figuras permiten ver de manera general las diferentes etapas del proceso desde la obtención de los materiales, transporte de los mismos, preparación, reparación y apertura al tráfico vehicular. La información obtenida fue recopilada a partir de revisión bibliográfica y especificaciones técnicas relacionados a mantenimiento vial, las cuales fueron adaptadas y organizadas utilizando un diagrama secuencial del proceso con el fin de facilitar el cálculo de la huella de CO₂.

Cabe aclarar que el camión cisterna es para transportar el material para la actividad mientras que la cisterna de emulsión es para aplicar en sitio del mantenimiento de la falla que se esté ejecutando.

A continuación, se presentan las actividades identificadas:

4.4.1. Actividad: Parcheo parcial

Esta actividad de mantenimiento consiste en retirar la capa de asfalto dañada conservando la base de soporte de la estructura vial.

Esta actividad de mantenimiento se va a realizar para las siguientes fallas encontradas:

- Piel de cocodrilo severidad media
- Bache/servicio (hueco) severidad media
- Hueco severidad media

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señaléticas y dispositivos de seguridad
2. El personal debe contar con todos los implementos de seguridad como son los cascos, chalecos, guantes y uniforme.
3. Identificar donde esta la falla y señalarla con yeso u otro material que sea perceptible a la vista.
4. Fresado: Trituración del material de la carpeta asfáltica que de ahí pasa a una banda transportadora para el camion recogido de fresado, para ser llevado a reciclaje.

5. Procesamiento y limpieza: Se realiza una limpieza superficial con la barredora, para evitar interrupción en la adherencia en la nueva capa.
6. Se realiza la imprimación de la emulsión asfáltica en las áreas fresadas y colocación de la nueva capa asfáltica, la misma debe de ser del grosor de la carpeta original, se debe extender de manera uniforme en toda el área y asegurarse que la mezcla asfáltica no quede sobre puesta fuera de la carpeta asfáltica original. En caso que requiera de le da acabados manuales.
7. Se realiza a compactación con un compactador de rodillo liso, para que la nueva carpeta quede firme.
8. Realizar una limpieza del lugar, en caso de sobrantes deben ser trasladados a la bodega.
9. Al terminar el trabajo se retiran las señaléticas y se da paso al tráfico.

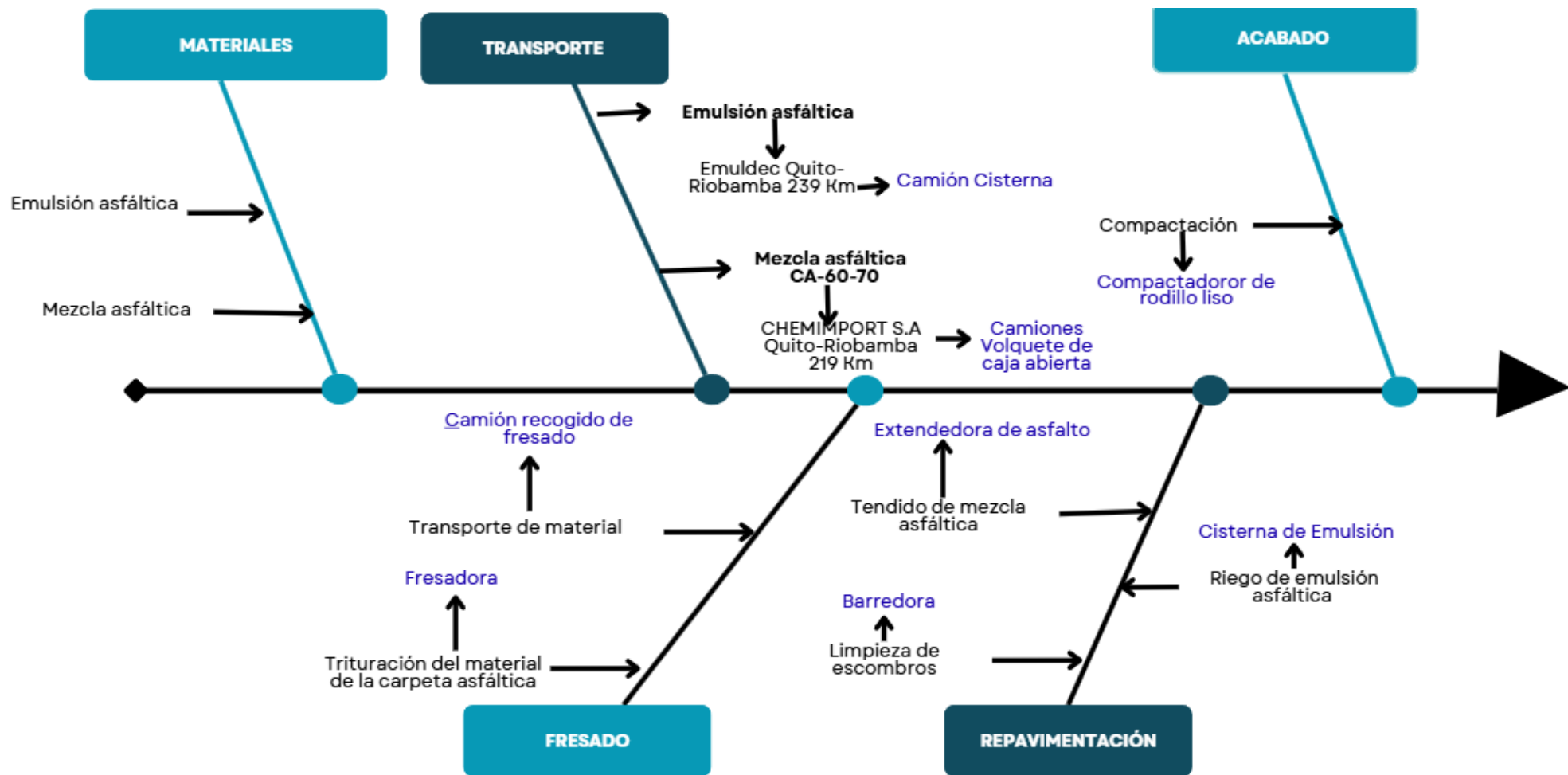


Figura 2. Actividad de mantenimiento: Parcheo parcial

4.4.2. Actividad: Parcheo total

Consiste en la reparación o repavimentar en todo el espesor del bache. Se refiere reposición y remoción de la capa asfáltica, base y sub base. El procedimiento debe ser aplicado cuando el bache presente fallas originales debido a agrietamientos en todas las capas del asfalto o por el deterioro de la base y sub-base.

El objetivo del parcheo total es minimizar la generación de más daños severos en la vía, recuperando las condiciones estructurales para una adecuada circulación vehicular.

Esta actividad de mantenimiento se va a realizar para las siguientes fallas encontradas:

- Piel de cocodrilo severidad alta
- Bache/servicio (hueco) severidad alta
- Hueco severidad alta

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señaléticas y dispositivos de seguridad
2. El personal debe contar con todos los implementos de seguridad como son los cascos, chalecos, guantes y uniforme.
3. Identificar donde esta la falla y señalarla con yeso u otro material que sea perceptible a la vista.
4. Excavación y remoción del pavimento como de la base y la sub-base. Todo el material retirado con una retroexcavadora y debe ser desalojado en un camión volquete.
5. Colocación y compactación de la base de remplazo
6. Riego de la emulsión asfáltica
7. Transporte y preparación de la mezcla asfáltica (concreto asfáltico en caliente), luego se realiza la colocación de doble capa de 5 cm y su compactación con un compactador de rodillo.
8. Realizar una limpieza del lugar, en caso de sobrantes deben ser trasladados a la bodega.
9. Al terminar el trabajo se retiran las señaléticas y se da paso al tráfico.

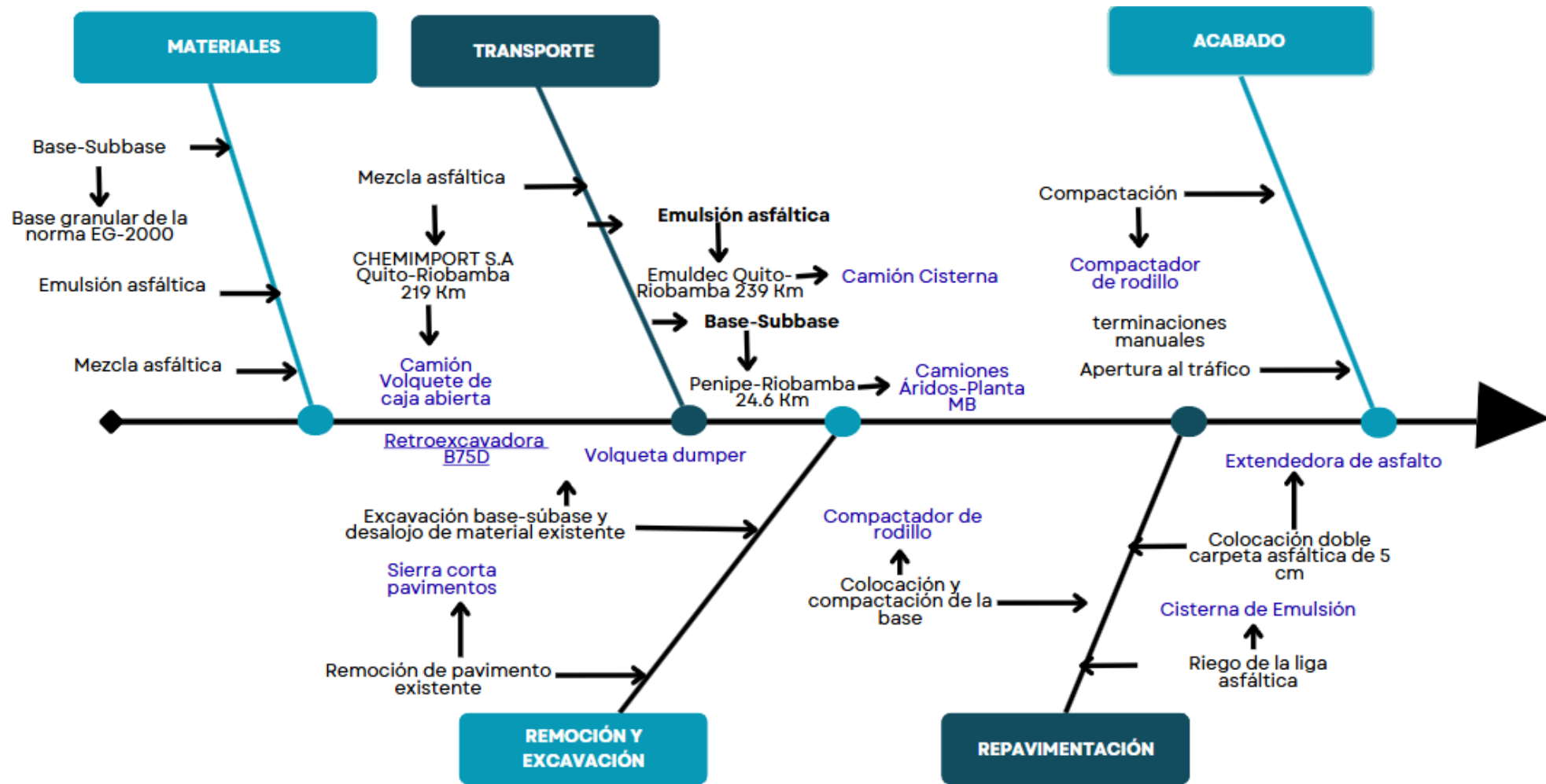


Figura 3. Actividad: Parcheo total

4.4.3. Actividad: Sellado de fisura (sellado con masillas asfáltica en caliente)

El objetivo de realizar esta actividad de mantenimiento es impedir que el agua de las superficies se filtre a las capas inferiores de la carpeta asfáltica, por lo que se sellan las fisuras presentes, por esta razón esta actividad se la considera como preventiva.

Esta actividad de mantenimiento se va a realizar para las siguientes fallas encontradas:

- Fisura en bloque severidad media y alta
- Longitudinal / transversal severidad alta y media

Procedimiento de ejecución:

1. Colocar señaléticas y dispositivos de seguridad
2. El personal debe contar con todos los implementos de seguridad como son los cascos, chalecos, guantes y uniforme.
3. Identificar donde esta la falla y señalarla con yeso u otro material que sea perceptible a la vista.
4. Se debe realizar una limpieza profunda de la superficie, esta debe estar libre de piedras, grava, polvo, tierra o cualquier materia extraña. Para una mejor unión del producto de sellado se recomienda usar un chorro de aire caliente (aire comprimido presión mínima de 120 psi) a una distancia adecuada desde la boquilla al pavimento a una temperatura entre 80 y 100 °C, de tal manera ayuda al restablecimiento del ligante, eliminación de partículas débiles adheridas, aumento de textura superficial y limpieza de partículas.
5. Se coloca el sellante de fisuras en el equipo de sellado, se procede a realizar el calentamiento del material, su temperatura debe estar hasta 180°C siendo la temperatura máxima de 210°C, si se pasa del grado de temperatura establecido los polímeros pueden deteriorarse.
6. Se procede el vertido del producto en la fisura o grieta, esta actividad se debe realizar inmediatamente después de la preparación y calentamiento de la superficie.
7. Realizar una limpieza del lugar, en caso de sobrantes deben ser trasladados a la bodega.
8. Al terminar el trabajo se retiran las señaléticas y se da paso al tráfico.

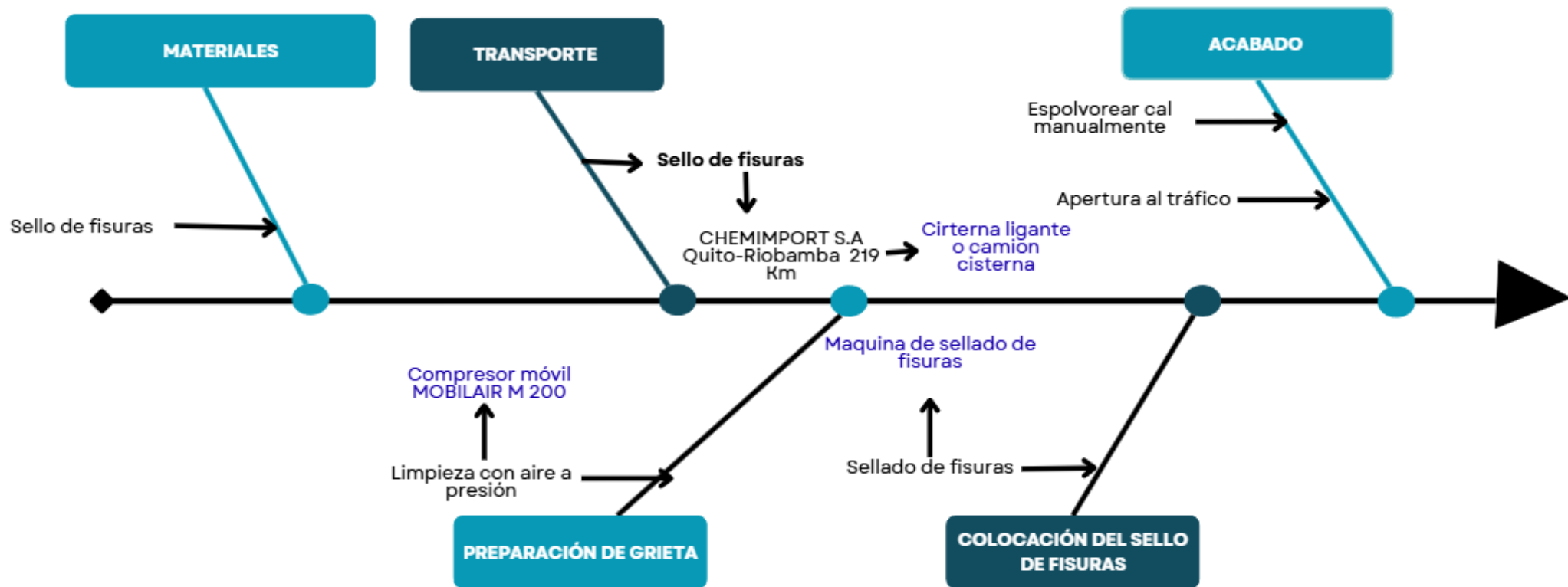


Figura 4. Actividad: Sellado de fisura (sellado con masillas asfáltica en caliente)

4.5. Cuantificación de la huella de carbono generada por cada actividad de mantenimiento

Para el cálculo de la huella de carbono expresado por medio del CO₂ se multiplica por un factor de emisión tanto para el transporte de los materiales como para los equipos y materiales obtenidos de diferentes fuentes bibliográficas.

En la figura 5 se presenta cuales son las entradas y salidas para tener un mejor entendimiento de como se va a realizar el calculo de la huella de CO₂.



Figura 5. Proceso de cálculo

En la investigación para transporte se consideró una distancia desde donde fabrican los materiales ubicada en Quito empresa Emuldec a 239 km de Riobamba más la distancia donde es el stock del municipio a una distancia de 2,09 km teniendo un recorrido aproximado total de 241,09km. A continuación, se detalla en cálculo de emisiones de kgCO₂/km para un camión cisterna.

Donde:

1,422 kg CO₂e/Km = Valor de CO₂ en kg que se produce en un km de vía, valor obtenido de Rodríguez Sampedro [24].

241,09 km= Kilómetros recorridos

$$1,422 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{km}} * 241,06 \text{ km} = 342,830 \text{ kgCO}_2/\text{Km}$$

La huella de carbono de equipos en kgCO₂/m² se calcula a partir del consumo de combustible del equipo, un factor de emisión asociado al tipo de combustible utilizado es decir kilogramos de CO₂ emitidos por cada galón que se consume y considerando el rendimiento en m²/h. Para estimarla, se registra primero la cantidad de combustible usada por el equipo, luego se multiplica por el factor de emisión correspondiente, a base del rendimiento se calcula así las emisiones generadas por su operación, de manera de ejemplo a continuación se presenta el cálculo para una Fresadora.

Donde:

6,27 gl x 1 h =Galones que consume el equipo en una hora, obtenido de studuco [25].

10,18 KgCO₂/gl= Huella de carbono emitido por galón consumido, obtenido de United states enviromental protection agency [26].

0,01=Rendimiento m²/h

$$6,27 \text{ gl} \times 1 \text{ h} * \frac{10,18 \text{ hgCO}_2}{\text{gal}} = 63,823 \text{ kgCO}_2/\text{gal}$$

$$0.01 * 0,16 = 0,0016 \text{ gal}$$

$$0,0016 * 63.823 = \mathbf{0,102 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2}$$

El valor de 0,102 kgCO₂/m² se le multiplica por el área total de las fallas que se están analizando para obtener un valor final en función del área de la falla.

La huella de carbono de los materiales muestra la cantidad de dióxido de carbono que se emite cuando se use un material. Esto se mide en kilogramos de dióxido de carbono por metro cuadrado, según el tipo de material, como ejemplo a continuación se presenta el cálculo para una Mezcla asfáltica:

Donde:

50, kg CO₂/tn= Huella de carbono generada por una tonelada obtenido de Rodríguez Sampedro [24].

2,03 gr/cm³= Densidad de la mezcla asfáltica

$$\frac{2,03}{1000} = 0.0023 \text{ kg/cm}^3$$

$$\frac{0,0023 \text{ kg/cm}^3}{1000} = 0.0000023 \text{ tn/cm}^3$$

$$0,0000023 \text{ tn/cm}^3 * 50,2 \text{ kgCO}_2/\text{tn} = 0,000115 \text{ kgCO}_2/\text{cm}^3$$

$$0,000115 \text{ kgCO}_2/\text{cm}^3 * 0,05 = 0,0000577 \text{ kgCO}_2/\text{cm}^2$$

$$0,0000577 \frac{kgCO_2}{cm^2} * 10000 = \mathbf{0,5773 kgCO_2/m^2}$$

El valor de 0,5773 kgCO₂/m² se le multiplica por el área total de las fallas que se están analizando para obtener un valor final en función del área de la falla.

Para los cálculos presentados, se trabajó la cuantificación del CO₂ en unidades base como es el metro cuadrado (m²), metros (m) y kilómetro (km) de acuerdo a las características que se está evaluando, longitudinales, materiales y las actividades que se encuentran dentro del trabajo de investigación. La estimación del CO₂ se efectuó mediante factores de emisión por cada actividad evaluada.

Para la consideración de los factores utilizados, fue necesario revisar diferentes fuentes, como artículos y páginas web, donde previamente ya tenía estudios desarrollados sobre los valores de los factores de las emisiones, en el caso de no estar en las unidades que se está trabajando fue necesario realizar una conversión de unidades, y en caso de no haber un valor exacto se estimó un valor con los datos que ya se tenía o tomo el valor de una actividad similar. Los valores de los factores considerados se adjuntan en anexos.

Para el resultado parcial es el valor por unitario de la actividad de mantenimiento y el resultado total es considerando el área de falla ya identificada en la base de datos, los mismos que fueron levantados en diciembre del 2024 por los estudiantes de ingeniería civil es decir a la fecha de corte, para la fecha actual las vías analizadas ya se han de encontrar en diferentes condiciones a las que se evaluaron.

4.5.1. Análisis de la huella de CO₂ para el transporte de parcheo parcial, parcheo total y sellado de fisuras de las vías urbanas de Riobamba.

La cantidad en la tabla 5, se resume la cantidad de CO₂ generada por las actividades de transporte de equipo y material.

Tabla 5. Resultado total de la huella de CO₂ por actividad para el Transporte

Actividad de mantenimiento	Falla	kg CO₂/km	Total, de kg CO₂/km	Total, de kg CO₂/km en %
Parcheo parcial	Piel de cocodrilo - severidad alta	342,830	466,347	29%

	Bache/servicio (hueco) - severidad media	120,545		
	Hueco - severidad media	2,972		
		342,830		
Parcheo total	Piel de cocodrilo - severidad alta	120,545	807,25	50%
	Bache/servicio (hueco) - severidad alta	342,830		
	Hueco - severidad alta	1,045		
Sello de fisura (sellado con masilla asfáltica en caliente)	Fisura en bloque - severidad media y alta		342,83	21%
	Longitudinal/transversal - severidad alta y media	342,830		

Como se puede ver en la tabla 5, la actividad de mantenimiento que más emisiones de CO₂ debido al transporte genera es el parcheo total, con una cantidad de emisión de 807,25 kgCO₂/km y la actividad que menos huella de carbono genera es sellado con masilla asfáltica en caliente con un 342,83 kgCO₂/km y la actividad de parcheo parcial con un valor de 466,347 kgCO₂/km siendo el valor intermedio.

A continuación, en el figura 5, se puede apreciar de mejor manera los resultados mostrados, corroborando así que la actividad de parcheo profundo genera mayor cantidad de emisiones de gas de efecto invernadero, generadas en los kilómetros analizados con un valor del 50%, seguido con parcheo parcial con un 29% y por último, la actividad que menos contaminación genera es la se sellado de fisuras con tan solo un 21%, en los mismos ya se consideró los kilómetros recorridos para cada actividad, las cuales son las medidas de mantenimiento que se ha tomado para las diferentes fallas que lo requieren, cabe mencionar que se está analizando solo de ida, sabiendo que de vuelta se recorren los mismos kilómetros.

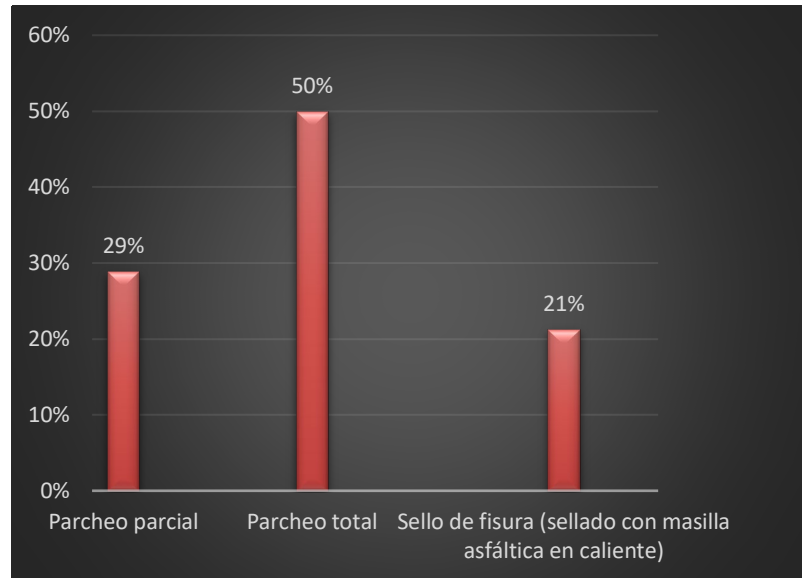


Figura 6. Resultado total por actividad para transporte en porcentajes

4.5.2. Huella de CO₂ unitaria de parqueo parcial y parqueo total para materiales y equipos

Tabla 6. Resultado unitario de la huella de CO₂ por actividad para equipos y materiales

Actividad de mantenimiento	Parqueo parcial (kg CO ₂ /m ²)	Parqueo total (kg CO ₂ /m ²)	Parqueo parcial (%)	Parqueo total (%)
Equipos	0,363	1,790	17%	83%
Materiales	1,992	1,992	50%	50%

La tabla 6 muestra que la actividad de parqueo total es la que genera más contaminación por unidad de medida en equipos con un valor de 1,79 kgCO₂/m² con respecto a parqueo parcial con un 0,363 kgCO₂/m² y para materiales tienen un mismo valor con 1,992 kgCO₂/m², lo que nos quiere decir es que se tiene que actuar cuando está en parqueo parcial la falla, es decir evitar que se vuelva una falla que requiera una actividad de mantenimiento de parqueo total, impidiendo que genere más contaminación que la actividad que requería en el corte, es decir a lo que se tenía al momento que se levantó a información. En la figura 6 se ve los mismos resultados, adicionalmente se observa que si se suman los valores tanto en materiales y equipos en cada actividad se puede llegar a los resultados de que la actividad que genera mayor contaminación es parqueo total con la suma de 3,782 kgCO₂/m² y de parqueo parcial como consecuencia tiene un resultado de 2,355 kgCO₂/m².

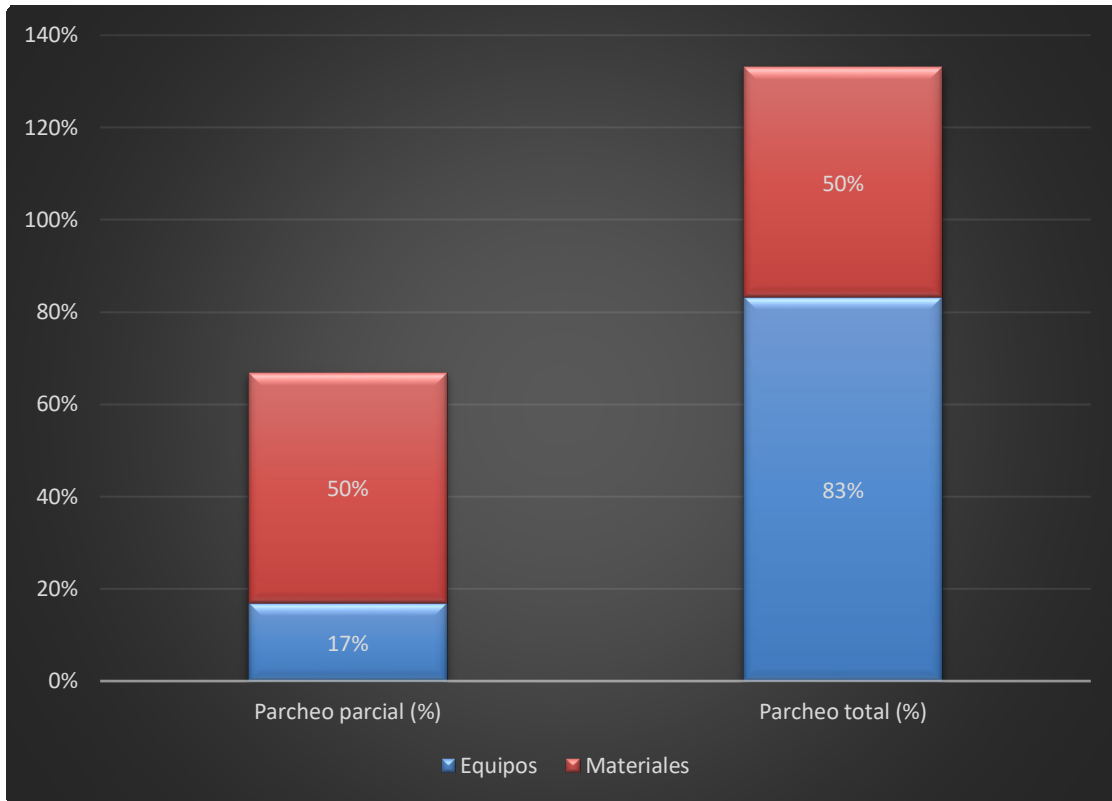


Figura 7. Resultado por unitario para las actividades de parcho parcial y parcheo total en porcentaje

4.5.3. Análisis de la huella de CO₂ para el mantenimiento de parcheo parcial y parcheo total de las vías urbanas de Riobamba con corte a diciembre de 2024.

A continuación, se presentan los resultados de la huella de CO₂ producto de equipo y materiales en función de las áreas de falla registradas en las vías del cantón Riobamba de acuerdo al estado que presentaron a diciembre del 2024

Tabla 7. Resultado total de la huella de CO₂ por actividad para materiales y equipos

Actividad de mantenimiento	Parcheo parcial (kg CO ₂ /m ²)	Parcheo total (kg CO ₂ /m ²)	Parcheo parcial (%)	Parcheo total (%)
Equipos	2854,903	13404,950	18%	82%
Materiales	15678,140	14917,337	51%	49%

En la tabla 7, resultados en función de las áreas a dar mantenimiento para equipos la actividad que genera mayor valor de emisiones de efecto invernadero es el parcheo total, con una cantidad de emisión de 13404,950 kgCO₂/m², este valor representa a las fallas Bache/servicio (hueco), severidad alta y Hueco severidad alta, seguido de la actividad de mantenimiento parcheo

parcial donde incluye una nueva capa asfáltica, cuya actividad de mantenimiento es para la falla piel de cocodrilo - severidad alta, Bache/servicio (hueco) - severidad media y hueco - severidad media, con un valor de 2854,903 kgCO₂/m².

Para materiales, considerando el área a dar mantenimiento, la actividad que mayor CO₂ es parcheo parcial con una cantidad de emisión de 15678,140kgCO₂/m², seguido de la actividad de parcheo total, con un valor de 14917,337 kgCO₂/m².

En este caso para materiales la el parcheo parcial genera más contaminación que el parcheo total, esto debido a que el área que se debe realizar el mantenimiento es mayor que la del parcheo total teniendo los mismos materiales a utilizar (valor unitario es igual) y para equipos el parcheo total genera mayor contaminación (valor unitario mayor).

Adicionalmente en la figura 7 se plasman los resultados por cada actividad de mantenimiento que se debe realizar en función de la falla y su severidad en porcentajes. La suma de las emisiones en materiales y equipos en la actividad de parcheo total es un valor total de 28322,287 kgCO₂/m² siendo equipos los que producen mayor contaminación con un 82% y en la actividad de parcheo parcial con un total de 18533,043kgCO₂/m², teniendo en cuenta que en este caso los materiales generan mayor contaminación con un 51% y equipos con un valor de 18%.

Si analizamos solo en cuestión de materiales la actividad parcheo total tiene un valor de 49% a comparación de parcheo parcial que tiene un valor mayor de 51%, para la cuestión de equipos la parcheo total tiene un valor de 82% y parcheo parcial con un valor de tan solo el 18%. En este caso par materiales el parcheo parcial genera un valor mayor de contaminación, pero si analizamos en la suma de los dos valores tanto de materiales como en equipos reafirmamos que la que mayor contaminación genera es la de parcheo total.

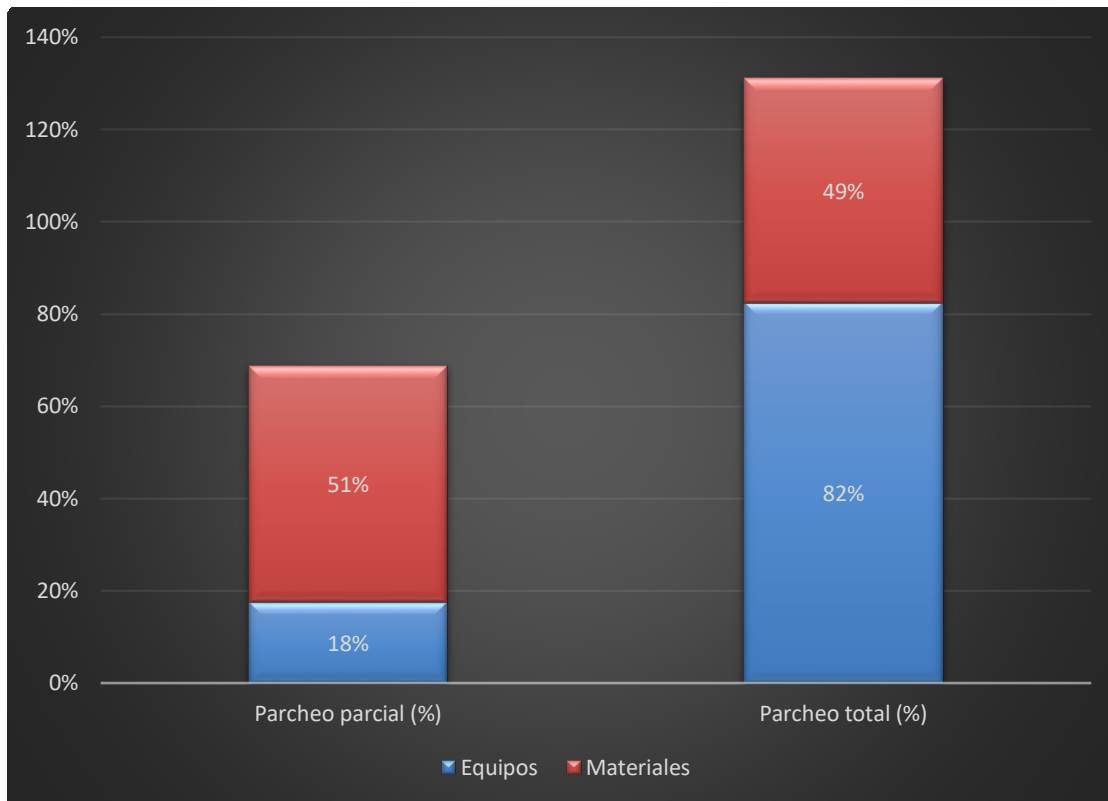


Figura 8. Resultado total para las actividades de parcho parcial y parcheo total en porcentaje

4.5.4. *Huella de CO₂ unitaria de sello se fisuras para equipos y materiales*

Para la cuantificación de CO₂ para el sello de fisuras se lo realizo en (kgCO₂/m) y no en (kgCO₂/m²) como las otras dos actividades analizadas por este motivo se realizó su respectivo análisis de manera separada.

Tabla 8. Resultado unitario de la huella de CO₂ para la actividad sello de fisuras para equipos y materiales

Actividad de mantenimiento	Sello de fisuras (kg CO ₂ /m)
Equipos	0,442
Materiales	0,338

En la tabla 8 muestra que por unitario realizar la actividad de mantenimiento para el sello de fisura (sellado con masilla asfáltica en caliente) en materiales genera una contaminación de 0,442 kgCO₂/m y para materiales 0,338 kgCO₂/m, en este contexto lo que más contaminación

genera son los materiales, considerando la suma de tanto materiales como de equipos tiene una contaminación total de 0,779 kgCO₂/m.

4.5.5. Análisis de la huella de CO₂ para el mantenimiento de sello de fisuras de las vías urbanas de Riobamba con corte a diciembre de 2024

En la tabla 9 se presentan los resultados obtenidos para el área total de las fallas de fisura en bloque - severidad media y alta y longitudinal/transversal - severidad alta y media, teniendo un total de equipos y material una suma de 12258,5456 kgCO₂/m.

Tabla 9. Resultado total la huella de CO₂ para la actividad sello de fisuras para equipos y materiales

Actividad de mantenimiento	Sello de fisuras (kg CO₂/m)
Equipos	7130,177
Materiales	5128,369

Solo para equipos genera una contaminación de 7130,177 kgCO₂/m y para materiales 5128,369 kg CO₂/m, estos resultados tienen relevancia con los valores unitarios (valor unitario mayor en equipos).

4.6. Discusión

En la cuantificación de la huella de carbono (CO₂) en las actividades de mantenimiento vial que se debe realizar para cada falla con severidad media y alta identificadas en la base de datos de los estudiantes de ingeniería civil, permitió identificar que las principales emisiones se encuentran asociada al uso de equipos pesados, seguido de los materiales aplicados para reparar la falla y por último es el transporte de los materiales desde el stock a la ubicación de la vía que va hacer reparada. Estos resultados evidencian que, si bien el mantenimiento es indispensable para garantizar la funcionalidad, conservación y seguridad de la infraestructura vial de la ciudad de Riobamba, también constituye una fuente de emisiones que debe ser considerada dentro de la gestión integral de las vías.

Del mismo modo, se constató que las actividades que requieren de diferente tipo de maquinaria pesada presentan una mayor contribución a la huella de carbono, lo que resalta la importancia de optimizar los procesos de mantenimiento. En este sentido, la cuantificación de las

emisiones es muy útil para encontrar los puntos críticos que tienen un gran impacto. Esto ayuda a implementar medidas que reducen el daño y mejoran la sostenibilidad de las intervenciones viales.

Tabla 10. Relación de CO₂ con el volumen de las fallas

Actividad de mantenimiento	Falla	Transporte	Equipos	Materiales	Cantidad	Volumen
		kgCO ₂ /km	kgCO ₂ /m ²	kgCO ₂ /m ²		
Parcheo parcial	Piel de cocodrilo - severidad alta					
	Bache/servicio (hueco) - severidad media	466,347	2854,90	15678,14	357	30.6%
	Hueco - severidad media					
Parcheo total	Piel de cocodrilo - severidad alta, Bache/servicio (hueco) - severidad alta y Hueco - severidad alta	807,250	13404,95	14917,34	280	26.9%
		kgCO ₂ /km	kgCO ₂ /m	kgCO ₂ /m		
Sello de fisura (sellado con masilla asfáltica en caliente)	Fisura en bloque - severidad media y alta	342,830	7130,177	5128,37	574	49.20%
	Longitudinal/transversal - severidad alta y media					

En la tabla 10 muestra que en cuestión de volumen tenemos que la más alta es la suma de las fallas Fisura en bloque - severidad media y alta y Longitudinal/transversal - severidad alta y media con un total de 49,20% correspondiente al valor de 574 , nos encaminaría a pensar que estas fallas con su respectiva actividad de mantenimiento, sello de fisura (sellado con masilla asfáltica en caliente), serían las que generen mayor cantidad de huella de carbono, pero con los resultados obtenidos no muestran esos resultados sino que la actividad que mayor contaminación genera es el de parcheo total, el mismo que es la actividad de mantenimiento para las fallas Piel de cocodrilo - severidad alta, Bache/servicio (hueco) - severidad alta y Hueco - severidad alta, teniendo un volumen de 26,9% cuyo valor es de 280 siendo un valor menor, esto nos quiere decir que la huella de carbono no depende del área o la cantidad de falla a dar mantenimiento sino de la falla en sí y que mantenimiento se le va aplicar, porque dependiendo de eso se necesitan los materiales, equipos y transporte que son los principales factores de las emisiones.

Los resultados obtenidos de esta investigación evidencian que las actividades relacionadas con el mantenimiento vial, también fue investigado por otro autor, el mismo que analizó la huella de carbono en vías de pavimento flexible (asfalto): Vías de segundo orden en Azuay, dando a

conocer que las actividades de mantenimiento generan un gran impacto en el cambio climático con un valor de 67,1%, agotamiento fósil un 68%, material particulado con un 94,1% y la toxicidad humana un 92,2%. Los resultados de la investigación realizado por [6] presentan relación , debido a que las actividades de mantenimiento vial evaluadas también evidencian generación significativa de CO₂ asociadas principalmente al uso de materiales de asfalto y operación de equipo, así mismo señala que en la provincia de Azuay las emisiones aumenta debido a que le dan prioridad a las actividades de mantenimiento y al uso de materiales derivados de los compuestos pétreos de los cuales se generan las mezclas asfálticas tanto para frío como en caliente, de igual manera para las emulsiones. Sin embargo, las diferencias que existe son por la metodología utilizada, el alcance considerado y los diferentes factores de emisión, no obstante, los resultados mantienen coherencia respecto a la consideración de que en ambos estudios hacen referencia a la cantidad de CO₂ generadas por las actividades de mantenimiento para pavimentos flexibles.

Otro estudio realizado por [27] donde analiza la huella de carbono en proceso de construcción vial, donde muestra que el transporte de materias primas, es uno de los factores que consumen gran cantidad de combustible, generando contaminación ambiental, teniendo un porcentaje de emisiones del 32,69 %. Esto coincide con los resultados de esta investigación ya que para la construcción de la infraestructura vial hace uso de equipo, transporte de materiales y la aplicación de mezclas asfálticas las mismas que se toman en cuenta para realizar la actividad de mantenimiento vial.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se depuraron los datos para evaluar las fallas que tienen severidad alta y media presentes, las mismas tienen mayor relevancia dentro del sistema evaluado. Asimismo, se observó que ciertas fallas se repiten con más frecuencia. A estas fallas identificadas son las que toca prestarles más atención en el plan de mantenimiento las mismas que son (Fisuras en Bloque, Longitudinal / Transversa, Piel de Cocodrilo, Baches / Servicio y hueco). Por lo tanto, la base de datos analizada resultó ser muy útil. Ayudó a encontrar los puntos críticos del sistema y a establecer criterios para intervenir técnicamente.
- Se identificaron las actividades necesarias que se deben realizar para dar el mantenimiento a la patología identificada, tomando en cuenta que es planificada y ordenada, considerando la inspección previa de las fallas y la priorización de las intervenciones para eso nos ayudamos de un diagrama con una flecha principal de la misma salen sus ramificaciones. De esta manera es posible garantizar una atención oportuna de problemas detectados optimizando el uso de recursos y prolongar la vida útil del pavimento. En consecuencia, el mantenimiento no solo permite correr daños, sino también prevenir fallas mayores y asegurar la continuidad operativa del sistema.
- Los resultados del estudio demuestran que la actividad parcheo total genera más contaminación de las tres actividades analizadas, emisión generada considerando el área de la falla tiene un valor de 28322,287 kgCO₂/m² tanto en equipos como materiales y de manera parcial (unitario) un valor de 3,782 kgCO₂/m². Sin embargo, si analizamos de manera separada en equipos tiene un valor de 1,790 kgCO₂/m² y en transporte 807,250 kgCO₂/km, solo en materiales el parcheo parcial como el parcho total genera igual contaminación con valor de 1,992 kgCO₂/m², pero considerando el área de la falla a reparar con la cantidad mayor de 15678,140 kgCO₂/m² cantidad correspondiente al parcheo total y en todos los parámetros considerados la que menor grado de emisiones de gas de efecto invernadero es la actividad de sello de fisura (sellado con masilla asfáltica en caliente).

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a las autoridades pertinentes realizar inspecciones periódicas y evitar que las fallas escalen a severidad alta y media así se obvia hacer actividades de mantenimiento que requieren más equipos y materiales que generan mayor grado de contaminación. Es en el caso de la severidad baja es recomendable no hacer nada.
- Si se optimiza el uso de maquinaria evitando tiempos muertos y recorridos innecesarios, consume menos combustible por ende el CO₂ disminuiría. Otro factor a tomar en cuenta es priorizar materiales y los procesos que generen menos emisiones contaminantes.
- Llevar siempre un registro de CO₂ que se genera en cada actividad de mantenimiento para identificar qué actividad genera más y tomar como prioridad y evitar que llegue a esa severidad.
- Capacitar al personal de prácticas sustentables y dar cursos en donde den a conocer cómo se podría reducir la huella de carbono en las actividades que realizan. Luego evaluar periódicamente los resultados obtenidos para aplicar mejoras continuas.
- Los resultados obtenidos son válidos, pero se recomienda realizar en estudios posteriores ajustes más técnicos para obtener los valores equivalentes aproximados de la huella de carbono CO₂.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Secretaría Nacional de la Administración Pública y Planificación, “Ecuador ratificó su compromiso con la mitigación y adaptación al cambio climático, a través de su Segunda NDC”. Consultado: el 30 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://planificacion.presidencia.gob.ec/ecuador-ratifico-su-compromiso-con-la-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-climatico-a-traves-de-su-segunda-ndc/>
- [2] D. E. República, “Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional Cita recomendada”.
- [3] datosmacro, “Ecuador - Emisiones de CO2”, *Energía y medio ambiente*, 2023, Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2/ecuador>
- [4] J. Wladimir Paredes Alvarez, “Declaratoria de autoría”.
- [5] “Universidad Nacional de Chimborazo”.
- [6] P. E. Beltrán Castro, K. B. García Molina, y C. J. Cordero Cabrera, “Análisis de la huella de carbono en vías de pavimento flexible (asfalto): Vías de segundo orden en la provincia del Azuay”, *ConcienciaDigital*, vol. 4, núm. 4.1, pp. 81–95, nov. 2021, doi: 10.33262/concienciadigital.v4i4.1.1927.
- [7] kunakair, “Qué son los gases de efecto invernadero (GEI): definición, tipos y ejemplos”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://kunakair.com/es/gases-de-efecto-invernadero/>
- [8] Kunakair, “Qué son los gases de efecto invernadero (GEI): definición, tipos y ejemplos”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://kunakair.com/es/gases-de-efecto-invernadero/>
- [9] Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, “Cambios Climáticos.” Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/cambios-climaticos/>
- [10] Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Tungurahua, “Mantenimiento vial provincial”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.ec/gadp-tungurahua/tramites/mantenimiento-vial-provincial>
- [11] S. Ganchozo y C. Steven, “Flexible mediante método del pci de la carretera puerto-aeropuerto (tramo II)”.

- [12] Mundo Verde, “Introducción al impacto ambiental que producen las construcciones”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://grupomundoverde.mx/que-impacto-ambiental-producen-las-construcciones/>
- [13] “Guía práctica para el cálculo de la”.
- [14] Repsol, “Todo sobre la huella de carbono”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/ejes-sostenibilidad/cambio-climatico/reduccion-huella-carbono/index.cshtml>
- [15] Academia.edu, “Manual de mantenimiento y rehabilitacion de pavimentos flexibles”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/doc/110104986/Manual-Mrvial>
- [16] Biesse, “¿En qué consiste el proceso de fresado? ¿Qué herramientas, técnicas y tecnologías se necesitan para realizar este tipo de mecanizado? ¿Qué materiales se pueden fresar?”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://biesse.com/us/es/news/what-is-milling-definition-and-process/>
- [17] R. DE Correa Delgado presidente la republica del Ecuador, “Dios, patria y libertad”. [En línea]. Disponible en: www.lexis.com.ec
- [18] S. De, A. De, y B. De Germoplasma, “Dirección de gestión de inovación código proceso : DT-PBG-SP01 Versión: 1.0”.
- [19] A. y T. E. del E. El Ministerio del Ambiente, “Ambiente y energia”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.ec/maae>
- [20] Lorena Tapia Núñez, “Acuerdo 097-A - Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria”. Consultado: el 21 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://vlex.ec/vid/reformese-texto-unificado-legislacion-645825397#:~:text=El%20objetivo%20principal%20de%20la,y%20del%20ambiente%20en%20general.>
- [21] Walter Chimborazo, “Tulsma: Legislación Ambiental Ecuatoriana”. Consultado: el 21 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/345251437/tulsma-docx#:~:text=El%20TULSMA%20est%20estructurado%20por%20nueve%20libros.>
- [22] Prensa, “Riobamba refuerza el mantenimiento vial con 2.000 toneladas de material asfáltico”. Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en:

<https://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/noticiasgadm/177-riobamba-refuerza-el-mantenimiento-vial-con-2-000-toneladas-de-material-asfaltico>

- [23] Prensa, “Municipio de Riobamba implementa trabajos temporales de bacheo ante escasez de asfalto.” Consultado: el 2 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/noticiasgadm/319-municipio-de-riobamba-implementa-trabajos-temporales-de-bacheo-ante-escasez-de-asfalto>
- [24] A. Sampedro Rodríguez, “Determinación de la huella de carbono de las mezclas asfálticas en caliente y sus técnicas sostenibles”.
- [25] Studocu, “Catálogo de Fresadora y Perfiladora: Análisis de Costo y Operación”. Consultado: el 24 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-campeche/maquinaria-pesada-y-movimientos-de-tierra/fresadora-perfiladora/41209082>
- [26] United states enviromental protection agency, “Emisiones de gases de efecto invernadero de un vehículo de pasajeros típico”. Consultado: el 24 de junio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>
- [27] E. García, “Huella de Carbono en proceso de construcción vial, caso de estudio Vía San Alfonso – Santo Domingo.”, 2024.

ANEXOS

Anexo 1: Huella de carbono de transporte por actividad

TRANSPORTE									
Actividad de mantenimiento	Falla	Transporte	Km	Dis stok-centro de gravedad km	Km Total	kg CO2e/Km	Fuente	kg CO2/km	Total de kg CO2/km
Fresado parcial	Piel de cocodrilo - severidad alta	Cirtema ligante	239	2.09	241.09	1.422	https://www.premio	342.830	466.347
	Bache/servicio (hueco) - severidad media	Camion volquete de caja abierta	239	2.09	241.09	0.5	https://connectedfl	120.545	
	Hueco - severidad media	Camion recogido de fresado		2.09	2.09	1.422	https://www.premio	2.972	
Parcheo total	Piel de cocodrilo - severidad alta	Camion Cistema	239	2.09	241.09	1.422	https://www.premio	342.830	807.250
	Bache/servicio (hueco) - severidad alta Hueco	Camion volquete de caja abierta	239	2.09	241.09	0.5	https://connectedfl	120.545	
	- severidad alta	Camiones Áridos-Planta MB	239	2.09	241.09	1.422	https://www.premio	342.830	
		Volqueta dumper		2.09	2.09	0.5	https://connectedfl	1.045	
Sello de fisura (sellado con masilla asfáltica en caliente)	Fisura en bloque - severidad media y alta	Cirtema ligante	239	2.09	241.09	1.422	20SAMPEDRO.pdf	342.82998	342.830
	Longitudinal/transversal - severidad alta y media								

Anexo 2: Huella de carbono de Equipos por actividad

EQUIPOS														
Actividad de mantenimiento	Falla	Equipo	kg CO2/gal	Fuente	gal/h	kg CO2/gal	Rendimiento m2/h	Fuente	h/gal	gal	kg CO2/m2	Total (kg CO2/m2)	Área de la fallas (m2)	kg CO2/m2 en toda el area de la fallas
Parcheo parcial	Piel de cocodrilo - severidad alta Bache/servicio (hueco) - severidad media Hueco - severidad media	Fresadora	10.18	https://www.epa.gov	6.27	63.823	0.01	https://data	0.160	0.0016	0.1018	0.363	7870.960	2854.903
		Barredora	10.18	https://www.epa.gov	1.53	16.137	0.01	https://data	0.631	0.0063	0.1018			
		Compactadora de rodillo liso	10.18	https://www.epa.gov	4.1	41.738	0.00163	CITO (REHAE)	0.244	0.0004	0.0165934			
		Cisterna de emulsión	10.18	https://www.epa.gov	3.2	32.576	0.007	CITO (REHAE)	0.313	0.0022	0.07126			
		Extendidora de asfalto	10.18	https://www.epa.gov	2.64	26.896	0.007	CITO (REHAE)	0.379	0.0026	0.07126			
Parcheo total	Piel de cocodrilo - severidad alta Bache/servicio (hueco) - severidad alta Hueco - severidad alta	Sierra corta pavimentos	10.18	https://www.epa.gov	2	20.360	0.0801	cio vial Chim	0.500	0.0401	0.815418	1.790	7489.011	13404.950
		Retroexcavadora B75D	10.18	https://www.epa.gov	2.91	29.585	0.0801	cio vial Chim	0.344	0.0276	0.815418			
		Compactador de rodillo liso	10.18	https://www.epa.gov	4.1	41.738	0.00163	CITO (REHAE)	0.244	0.0004	0.0165934			
		Cisterna de embulsión	10.18	https://www.epa.gov	3.2	32.576	0.007	CITO (REHAE)	0.313	0.0022	0.07126			
		Extendidora de asfalto	10.18	https://www.epa.gov	2.64	26.896	0.007	CITO (REHAE)	0.379	0.0026	0.07126			
Actividad de mantenimiento	Falla	Equipo	kg CO2/gal	Fuente	gal/h	kg CO2/gal	Rendimiento m2/h	Fuente	h/gal	gal	kg CO2/m	Total (kg CO2/m)	Longitud de la falla en (m)	kg CO2/m en toda el area de la fallas
Sello de fisura (sellado con masilla asfáltica en	Fisura en bloque - severidad media y alta Longitudinal/transversal - severidad alta y	Compresor móvil MOBILAIR M	10.18	https://www.epa.gov	2.6	26.468	0.0007	https://data	0.385	0.0003	0.007	0.442	16149.650	7130.177
		Maquina de sellado de fisuras	10.18	https://www.epa.gov	3.17	32.275	0.04267	https://data	0.315	0.0135	0.434			

Anexo 3: Huella de carbono de Materiales por actividad

MATERIALES								
Actividad de mantenimiento	Falla	Materiales	kg CO2/tn	Fuente	kg CO2/m2	Total de CO2/m2	Area total de las fallas (m2)	kg CO2/m2 Total
Fresado parcial	Piel de cocodrilo - severidad alta Bache/servicio (hueco) - severidad media Hueco - severidad media	Emulsión asfáltica	247.769	https://www.premioin	1.415	1.992	7870.960	15678.140
		Mezcla asfáltica	50.2	https://investigacione	0.577			
Parcheo total	Piel de cocodrilo - severidad alta Bache/servicio (hueco) - severidad alta Hueco - severidad alta	Emulsión asfáltica	247.769	https://www.premioin	1.415	1.992	7489.011	14917.337
		Mezcla asfáltica	50.2	https://investigacione	0.577			
Actividad de mantenimiento	Falla	Materiales	kg CO2/kg	Fuente	kg CO2/m	Longitud de la falla en (m)	Area total de las fallas	kg CO2/m Total
Sello de fisura (sellado con masilla asfáltica en caliente)	Fisura en bloque - severidad media y alta Longitudinal/transversal - severidad alta y media	Sello de fisuras	1.25	https://www.climatiq	0.338	0.3375	15195.168	5128.369