

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
CENTRO DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE
LA CONSTRUCCIÓN



TÍTULO

“Análisis de ciclo de vida (ACV) de pavimentos urbanos en la zona de planificación 3 del Ecuador.”

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
Master en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción

AUTOR:

Ing. Geovanny Alejandro Pérez Martínez

TUTOR:

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza Mgs.

Riobamba, Ecuador. 2024

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Geovanny Alejandro Pérez Martínez**, con cédula de ciudadanía **0604692178**, autor del trabajo de investigación titulado: **Análisis de ciclo de vida (ACV) de pavimentos urbanos en la zona de planificación 3 del Ecuador**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Así mismo, 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 de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 11 de julio de 2024

Geovanny Alejandro Pérez Martínez
C.I: 060469217-8

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza** catedrático adscrito a la Facultad de **Ingeniería**, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **Análisis de ciclo de vida (ACV) de pavimentos urbanos en la zona de planificación 3 del Ecuador**, bajo la autoría de **Geovanny Alejandro Pérez Martínez**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los **11** días del mes de **julio** de **2024**

Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza

C.I: 060312346-4

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de **Posgrado** para la evaluación del trabajo de investigación **Análisis de ciclo de vida (ACV) de pavimentos urbanos en la zona de planificación 3 del Ecuador**, presentado por **Geovanny Alejandro Pérez Martínez**, con cédula de identidad número **0604692178**, bajo la tutoría de **Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzia**; 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 más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, a los **11** días del mes de **julio de 2024**

Alexis Iván Andrade Valle, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Marco Marcel Paredes Herrera, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma

Ángel Edmundo Paredes García, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **PÉREZ MARTÍNEZ GEOVANNY ALEJANDRO** con CC: **060469217-8**, estudiante del programa de **Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) DE PAVIMENTOS URBANOS EN LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 3 DEL ECUADOR**", cumple con el **9 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 11 de julio de 2024

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluita, MSc.
TUTOR

Adjunto:

- **TURNITIN** informe de originalidad

DEDICATORIA

El alcance de esta nueva meta profesional y de vida se la dedico a Dios, a la virgen y a mis abuelitos José y Aida, que están desde el cielo guiando y protegiendo mi camino hacia el éxito.

A mi amada hija Sophia Alejandra que con su amor incondicional ha alumbrado mi camino y ha sido mi mayor motivo de seguir adelante. Recuerda siempre que el conocimiento te hará libre, sigue siempre el camino del bien y recuerda que tienes un padre que te adora con todo el alma y todo sacrificio mi amor que he realizado, ha valido la pena y este logro es por y para ti.

A mis padres Geovanny y Martha, abuelitos Luis y Tránsito que con su apoyo incondicional constante y bendiciones han incidido en mi vida para cumplir mis metas.

A mis hermanos Ronald y Kevin que sigan siempre adelante y que luchen perseverantemente siempre, que confíen en Dios y que todas sus metas se cumplan, jamás decaigan y si lo hacen pues sacúdanse y sigan siempre hacia la meta.

A toda mi familia, tios, primos y futura generación, va dedicado hacia ustedes fundamentalmente este logro cumplido, que siempre se superen en su vida profesional y personal ya que lo único que los hará libres será el conocimiento.

¡Gracias, a todos!

Geovanny Alejandro Pérez Martínez

AGRADECIMIENTO

Especialmente a mi hija Sophia Alejandra por su comprensión para conseguir este logro planteado, por su apoyo y amor.

A mis padres Geovanny y Martha por siempre apoyarnos en todo lo que nos proponemos y metas, Dios les pague por tanto y todo. Dios les bendiga y que sea el comienzo para toda la generación de la familia superarse académicamente y mentalmente siempre; y que siempre sigan adelante pese a cualquier adversidad que se presente en la vida.

A mis hermanos Ronald y Kevin que me apoyaron moral y anímicamente a mirar siempre hacia arriba y seguir siempre adelante. Agradecerles siempre por ese apoyo.

A mis amigos que conocí durante esta maestría, a mis amigos de grupo de trabajo y clases Adriana, Karla, Bryan e Ivonne que siempre manteníamos buena relación académica y de amistad. Se logró Grupo Dinamita.

Como no a mi apreciado amigo Alexis Andrade que, con sus palabras de aliento, motivación y vocación, han presidido durante todo este tiempo de aprendizaje a culminar esta maestría tan anhelada.

A mi Universidad Nacional de Chimborazo que en conjunto con mis apreciados miembros de tribunal Ángel Paredes y Marcel Paredes y tutor de tesis Vladimir Pazmiño, han hecho de este sueño, algo sólido y han contribuido a mi vida profesional con principales fundamentos críticos en el área ambiental y vial, contribuyendo hacia una mejor calidad de vida de las personas y mitigar el impacto ambiental con buenas prácticas ambientales.

En sí, a Dios y a la vida por permitirme celebrar este logro con todos ustedes, Dios les pague a todos y que sea el inicio de muchas metas más por cumplir.

ÍNDICE GENERAL

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Construcciones en el Ecuador	5
2.2 Contaminación en la construcción	5
2.3 Pavimentos.....	6
2.3.1 Pavimentos Rígidos.....	6
2.3.2 Pavimentos Flexibles o Asfálticos.....	6
2.3.3 Pavimentos Articulado	7
2.3.4 Estructura y Composición de los pavimentos	8
2.4 Ruido.....	8
2.4.1 Generación de Ruido de maquinaria.....	8
2.4.2 Contaminación acústica	8
2.5 Emisión de gases	9
2.6 Certificaciones Ambientales	9
2.7 Sistemas de Gestión Ambiental	9
2.8 Buenas prácticas ambientales	9
2.9 Norma ISO 14001:2015 Sistemas de Gestión Ambiental	10
2.10 Norma ISO 14040 – Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	11
2.11 Matriz de Leopold	11
2.12 Metodología Delphi.....	11
2.13 Programa OpenLCA 1.7.0	12

2.14	Zona de Planificación 3	12
3.	CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....	13
3.1	Metodología de la Investigación.....	13
3.1.1	Tipo de Investigación	13
3.1.2	Diseño de Investigación	15
3.1.2.1	Investigación de Diseño Correlacional	16
3.1.2.1	Investigación de Diseño No Experimental	16
3.1.3	Técnicas de recolección de datos	16
3.2	Metodología Específica del ACV	17
3.2.1	Etapas del Ciclo de Vida de los Pavimentos Flexible, Rígido y Articulado	17
3.2.2	Análisis del Ciclo de Vida de los Pavimentos Flexible, Rígido y Articulado.....	17
3.2.3	Valoración de Impactos Ambientales mediante la Matriz de Leopold.....	19
3.2.4	Validación de los resultados mediante la Metodología Delphi	19
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1	Análisis del Ciclo de la Vida	20
4.2	Especificación de las Etapas del Proceso de Pavimentación para el Análisis del Ciclo de Vida	20
4.2.1	Extracción	20
4.2.2	Transporte	21
4.2.3	Producción	35
4.2.4	Pavimentación	38
4.3	Identificación de los Indicadores de Impacto Ambiental	43
4.3.1	Indicadores de Impacto en Pavimentos Flexibles.....	44
4.3.2	Indicadores de Impacto en Pavimentos Rígidos.....	44
4.3.3	Indicador de Impactos en Pavimentos Articulado.....	45
4.3.4	Identificación de los Impactos Ambientales	45
4.4	Valoración de impactos ambientales.....	49
4.4.1	Pavimentos flexibles.....	50
4.4.2	Pavimentos rígidos	51
4.4.3	Pavimentos articulados	52
4.5	Cuantificación de las Emisiones en los Proceso de Pavimentación Flexible, Rígido y Articulado ..	54

4.5.1	Emisión de Gases en los Proceso de Pavimentación Flexible, Rígido y Articulado	54
4.5.2	Emisión de Ruido en los Proceso de Pavimentación Flexible, Rígido y Articulado.....	54
4.6	Discusión	54
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	59
5.1	Conclusiones:	59
5.2	Recomendaciones:	59

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Emisiones en proceso de Extracción a cielo abierto	21
Tabla 2 Distancia de zona de concesión minera 1A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.....	22
Tabla 3 Distancia de zona de concesión minera 2A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.....	23
Tabla 4 Distancia de zona de concesión minera 3A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.....	24
Tabla 5 Distancia de zona de concesión minera 1B hacia el centro urbano de la ciudad de Ambato.	24
Tabla 6 Distancia de zona de concesión minera 2B hacia el centro urbano de la ciudad de Ambato.	25
Tabla 7 Distancia de zona de concesión minera 1C hacia el centro urbano de la ciudad de Puyo.....	26
Tabla 8 Distancia de zona de concesión minera 2C hacia el centro urbano de la ciudad de Puyo.....	27
Tabla 9 Distancia de zona de concesión minera 1D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.	28
Tabla 10 Distancia de zona de concesión minera 2D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.	28
Tabla 11 Distancia de zona de concesión minera 3D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.	29
Tabla 12 Distancia de zona de concesión minera 4D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.	30
Tabla 13 Distancia de zona de concesión minera 5D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.	31
Tabla 14 Distancia de zona de concesión minera 6D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.	31
Tabla 15 Distancia de zona de concesión minera 7D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.	32
Tabla 16 Resultado de litros de combustible consumido en la ruta	32
Tabla 17 Resultado de Kg de CO ₂ / litro de combustible quemado en la ruta	34

Tabla 18 Matriz de Indicadores de Impacto Ambiental del Proceso para Pavimento Flexible	44
Tabla 19 Matriz de Indicadores de Impactos Ambientales del Proceso para Pavimento Rígido	44
Tabla 20 Matriz de Indicadores de Impactos Ambientales del Proceso para Pavimento Articulado	45
Tabla 21 Identificación de los Impactos Ambientales.....	45
Tabla 22 Matriz de Leopold Evaluación del proceso para Pavimento Flexible.....	50
Tabla 23 Matriz de Leopold Evaluación del proceso para Pavimento Rígido	51
Tabla 24 Matriz de Leopold Evaluación del proceso para Pavimento Articulado.....	52
Tabla 25 Comparación de Impactos en los diferentes tipos de pavimento	55
Tabla 26 Duración den el Tiempo de los Pavimentos Flexible, Rígido y Articulado.....	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Corte transversal Pavimentos rígidos	6
Ilustración 2 Pavimento Flexible	7
Ilustración 3 Pavimentos Articulados.....	7
Ilustración 4 Estructura de un ACV	18

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 Recursos Naturales Utilizados	35
Diagrama 2 Entradas y salidas en Preparación del terreno	38
Diagrama 3 Entradas y salidas en Pavimento Flexible.....	39
Diagrama 4 Entradas y salidas en Pavimento Rígido.....	40
Diagrama 5 Entradas y salidas en Elaboración del Hormigón	41
Diagrama 6 Entradas y salidas en Fabricación de adoquines.....	42
Diagrama 7 Entradas y salidas en Pavimento Articulado.....	43

Glosario

Pavimento rígido: Tipo de pavimento compuesto por losas de concreto de cemento Portland.

Pavimento flexible: Tipo de pavimento conformado por una capa de asfalto sobre una base de agregado.

Pavimento articulado: Pavimento compuesto por unidades modulares, como adoquines, dispuestas de manera articulada.

Análisis de ciclo de vida (ACV): Evaluación sistemática de los impactos ambientales de un producto o proceso a lo largo de su vida útil.

Impacto ambiental: Efecto negativo o positivo que una actividad o proyecto tiene sobre el ambiente.

Recursos naturales: Materias primas o elementos presentes en la naturaleza que son utilizados en la construcción y mantenimiento de pavimentos.

Contaminación moderada: Nivel de contaminación que, aunque presente, se considera manejable y controlable.

Mitigación ambiental: Acciones destinadas a reducir o prevenir los impactos negativos sobre el medio ambiente.

SGA: Sistema de Gestión Ambiental

ISO: International Organization for Standardization

RESUMEN

Los procesos constructivos se constituyen de diferentes etapas en las cuales se desarrollan actividades que generan agentes contaminantes, estos agentes tienen un canal de entrada y salida pues se utiliza un recurso que puede o no emitir contaminantes, específicamente en los procesos de pavimentación ocurre lo propio, claro está según el recurso o maquinaria utilizados. Ante todo, el equipo caminero emite grandes cantidades de contaminantes atmosféricos, las maquinarias que intervienen son muy necesarias e indispensables en ciertos casos, por tal motivo es de gran importancia considerar estos detalles para de alguna manera mitigar los efectos adversos que pueden traer estas obras.

Para realizar dichas consideraciones uno de los mecanismos es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de los recursos utilizados, como una estrategia preventiva, óptima y necesaria que vislumbra el efecto adverso ambiental contrastado con la obra realizada.

Esto se hace obligatorio ya que, diversos estudios vinculan la contaminación del aire con enfermedades respiratorias, cardíacas, hepáticas y demás en el ser humano, además de la alteración en las condiciones climáticas, pérdida de la flora y fauna y, obviamente la afectación de las condiciones propias y naturales del ambiente.

Los inventarios de emisiones son un instrumento fundamental para analizar esta problemática, partiendo de ello el ACV brinda la posibilidad de evidenciar previamente las consecuencias de un proceso y así emprender acciones que permitan minimizar riesgos y afectaciones ambientales.

Al realizar el ACV y compara los resultados de los mismos se pudo evidenciar que el proceso que se realiza para la colocación del pavimento rígido es el que menos efectos adversos genera al ambiente, sin embargo se puede observar también que las diferencias tanto con los pavimentos articulados y flexibles no tienen una diferencia muy distante unas de las otras, con lo cual se han considerado las recomendaciones pertinentes, ya que al realizar la planificación de los trabajos sea cual fuera el que se vaya a implementar se pueden ejecutar acciones de mitigación.

La metodología utilizada en el presente proyecto de investigación va desde un enfoque cualitativo y cuantitativo, metodología aplicada y con base en documentación de proyectos similares o de coyuntura al ACV; además fue de gran importancia adherir a la metodología

utilizada instrumentos específicos para este tipo de casos como es el Método Delphi y la Matriz de Leopold que proponen parámetros específicos en el contexto de protección ambiental.

Palabras claves:

Análisis de Ciclo de Vida, Impactos Ambientales, Sostenibilidad Ambiental, Pavimento Flexible, Pavimento Rígido, Pavimento Articulado.

ABSTRACT

The construction processes are made up of different stages in which activities that generate polluting agents are carried out, these agents have an entry and exit channel because a resource is used that may or may not emit pollutants, specifically in the paving processes the same thing happens, Of course, it depends on the resource or machinery used. First of all, the road equipment emits large quantities of atmospheric pollutants, the machinery involved is very necessary and indispensable in certain cases, for this reason it is of great importance to consider these details to somehow mitigate the adverse effects that these works can bring.

To carry out these considerations, one of the mechanisms is the Life Cycle Analysis (LCA) of the resources used, as a preventive, optimal and necessary strategy that glimpses the adverse environmental effect contrasted with the work carried out.

This is mandatory since various studies link air pollution with respiratory, heart, liver and other diseases in humans, in addition to the alteration in climatic conditions, loss of flora and fauna and, obviously, the impact of own and natural conditions of the environment.

Emission inventories are a fundamental instrument to analyze this problem. Based on this, LCA offers the possibility of previously demonstrating the consequences of a process and thus undertaking actions that allow minimizing risks and environmental effects.

When carrying out the LCA and comparing their results, it was evident that the process carried out for the placement of rigid pavement is the one that generates the least adverse effects on the environment, however it can also be observed that the differences with both articulated pavements and flexible are not very different from each other, which is why the pertinent recommendations have been considered, since when planning the works, whatever is going to be implemented, mitigation actions can be executed.

The methodology used in this research project ranges from a qualitative and quantitative approach, applied methodology and based on documentation of similar or current projects to the LCA; Furthermore, it was of great importance to adhere to the methodology used specific instruments for this type of cases such as the Delphi Method

and the Leopold Matrix that propose specific parameters in the context of environmental protection.

Keywords:

Life Cycle Analysis, Environmental Impacts, Environmental Sustainability, Flexible Pavement, Rigid Pavement, Articulated Pavement.



Reviewed by:

M.E.d Diana Chavez G.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 065003795-5

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

La preocupación por la sostenibilidad ambiental en el diseño y construcción de infraestructuras urbanas ha impulsado investigaciones a nivel global, regional y local. En el contexto global, diversos estudios han explorado el impacto ambiental de pavimentos utilizando análisis de ciclo de vida, ofreciendo valiosas perspectivas y enfoques metodológicos.

Investigaciones a cargo de la Agencia Europea de Medio Ambiente (2020) han abordado la sostenibilidad de los pavimentos en el contexto europeo, destacando la importancia de considerar aspectos locales y específicos de cada región en la toma de decisiones para el desarrollo urbano.

Asimismo, como en el trabajo de Arena et al. (2001) llevaron a cabo un análisis comparativo del ACV de diferentes tipos de pavimentos en un entorno urbano. Su enfoque incluyó la evaluación de emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de energía y agotamiento de recursos a lo largo del ciclo de vida de los pavimentos. Este estudio sirve como referencia para entender los enfoques metodológicos y los indicadores de impacto utilizados en análisis similares a nivel global.

En el ámbito regional, estudios realizados en países latinoamericanos como Brasil y México han explorado la sostenibilidad de los pavimentos urbanos. Investigaciones locales, como el trabajo de Gómez (2018) en Arequipa, se enfocaron en evaluar el impacto ambiental de pavimentos flexibles y rígidos. Estos estudios regionales proporcionan insights valiosos sobre las particularidades climáticas y de infraestructura que pueden influir en los resultados del ACV.

A nivel local, la investigación de Játiva (2014) en la ciudad de Quito, Ecuador, examinó el desempeño ambiental de pavimentos permeables. Este estudio resalta la importancia de considerar condiciones climáticas y geográficas específicas al evaluar opciones de pavimentación en un entorno urbano ecuatoriano. Sin embargo, la Zona de Planificación 3 del Ecuador, específicamente, carece de estudios exhaustivos que comparen los impactos ambientales de pavimentos flexibles, rígidos y articulados.

La revisión exhaustiva de antecedentes en el ámbito de los análisis de ciclo de vida (ACV) de pavimentos urbanos no solo ha proporcionado una visión integral de la sostenibilidad ambiental a nivel global, regional y local, sino que también ha identificado la carencia de estudios específicos para la Zona de Planificación 3 del Ecuador. Estos antecedentes ofrecen valiosas guías metodológicas y modelos de análisis que han sido aplicados con éxito en diversas condiciones climáticas y contextos urbanos. La importancia de estas revisiones radica en la adaptación de enfoques probados a las particularidades locales, considerando factores específicos como el clima, la topografía y las prácticas constructivas.

1.2 Problema

Conscientes del cambio climático y del desarrollo sustentable de ciudades, los diferentes tipos de pavimentos que son tendidos sobre la capa de rodadura de las vías urbanas, resulta una problemática el no prever mejorar en la mitigación de impactos ambientales que generan estos trabajos y productos insertados en el ambiente, así lo referencia diferentes autores en este campo de investigación.

En este sentido, la calidad de la infraestructura vial está directamente relacionada con el desarrollo económico, la calidad del medio ambiente y la equidad social. Por su parte, la línea base de la sostenibilidad está cimentada sobre el balance que debe existir entre el desarrollo económico y los impactos sobre el medio ambiente y sobre la sociedad. Por esta razón, la función objetivo de una infraestructura de transporte sostenible puede ser vista como aquella que maximice la calidad de vida de la sociedad y su beneficio económico, minimizando los impactos negativos sobre el ambiente natural. (Orellana, 2021)

Según la clasificación de carreteras del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013), MTOP define que las vías sostenibles, deben considerar los aspectos económicos, ecológicos y sociales en el ciclo de vida de la infraestructura de transporte, ya que lograr una infraestructura vial sustentable es posible, tomando acciones que permitan cuantificar el impacto que se deja sobre el entorno y que ha generado su puesta en marcha, consecuentemente una técnica para evaluar los aspectos ambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso o actividad es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Orellana, 2021), que cuantifica y compara los impactos ambientales a lo largo de la vida útil de los pavimentos urbanos típicos en la región (pavimentos asfálticos, rígidos y

pavimentos de adoquines articulados de concreto) para definir cuál es el método más eficiente en términos de sus impactos medioambientales, permitiendo luego que las autoridades competentes tomen decisiones acertadas e informadas en materia ambiental. (Gómez, 2018, p. 45)

La Zona de Planificación 3 del Ecuador carece de investigaciones específicas que comparen los impactos ambientales de pavimentos urbanos mediante un análisis de ciclo de vida. Esta brecha de conocimiento evidencia la necesidad de realizar investigaciones locales y contextualizadas que consideren factores específicos de la región, como el clima, la geología y las prácticas de construcción.

1.3 Justificación

El término sustentabilidad ayuda a comprender que se vive en un mundo donde los recursos naturales son limitados y las necesidades son infinitas. Con una población en constante crecimiento y un desarrollo económico basado en tecnologías obsoletas que implican un consumo excesivo de recursos y una considerable contaminación, que enfrenta efectos climáticos devastadores. Este escenario permite el reconocimiento del límite en la capacidad de soporte del planeta y predice que se acerca velozmente al colapso del ecosistema. (Zarta, 2018, p. 413)

Con la intención de optimizar el uso de recursos en la evaluación de estudios de pavimentos desde perspectivas técnica y económica, así como establecer procedimientos que posibiliten una revisión integral de los estudios y diseños en este ámbito constructivo, este esfuerzo se convierte sin duda en una herramienta valiosa para los profesionales dedicados a la ingeniería de pavimentos. Estos especialistas deben estar familiarizados con este enfoque y emplearlo fluidamente, contribuyendo así a mejorar la calidad de los pavimentos mediante la aplicación de una metodología simple y gradual. (Villacís, 2014, p. 21)

Para Hernández et al. (2001) desde hace varios años, la construcción de carreteras ha propiciado preocupación e investigación debido a los impactos ambientales que genera, considerando su intensidad, magnitud y duración en los ecosistemas. La actual degradación del medio ambiente ha impulsado a instituciones tanto públicas como privadas a llevar a cabo estudios cada vez más detallados sobre los procesos, actividades, equipos y materiales empleados en sus proyectos. El objetivo es evaluar el nivel de impacto asociado a dichas

acciones y, de este modo, identificar las medidas de mitigación necesarias para reducir o eliminar potenciales daños ambientales. (p. 11)

La revisión de este tipo de procesos no solo fundamenta la necesidad de la presente investigación, sino que también subraya la relevancia de desarrollar guías específicas y modelos adaptados a la realidad ecuatoriana, contribuyendo así al avance del conocimiento y a la implementación de prácticas sostenibles en el diseño y construcción de pavimentos en la región.

Este proyecto de investigación se justifica debido a que busca llenar esta brecha, ofreciendo un análisis exhaustivo y comparativo de los pavimentos en la Zona de Planificación 3 del Ecuador, contribuyendo así al desarrollo sostenible y a la toma de decisiones informada en el ámbito de la ingeniería civil, consolidando la visión integral en cuando al uso de pavimento, en el que a más de buscar resultados de durabilidad de la obra en el tiempo, con el uso de materia prima de calidad, reducción de costos, trata de minimizar los impactos ambientales y afectaciones al ambiente en el área del proyecto vial.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- ✓ Comparar los impactos ambientales de los pavimentos flexibles, rígidos y articulados (adoquines) en las zonas urbanas principales de la zona de planificación 3 del Ecuador mediante el Análisis del ciclo de vida (ACV).

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las etapas del ciclo de vida de cada pavimento.
2. Analizar los indicadores de impacto ambiental que genera la colocación de pavimentos sobre la capa de rodadura a lo largo de su ciclo de vida a través del software OpenLCA 1.7.0 y la base de datos EcoInvent V3.
3. Evaluar los impactos obtenidos de los pavimentos urbanos, para determinar cuál es la mejor opción desde una perspectiva ambiental, sostenible y huella de carbono neutro.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Construcciones en el Ecuador

Según (Díaz et al., 2023) el ámbito de la construcción constituye aproximadamente el 10% del Producto Interno Bruto (PIB) total de Ecuador, situándose como uno de los sectores más significativos y contribuyentes a nivel nacional. La cadena de la construcción destaca por su relevancia en la economía, su extensa red de conexiones con otras áreas productivas y su capacidad para generar empleo; el auge en este sector se refleja en el incremento del consumo per cápita de los insumos suministrados por estas industrias. A pesar de experimentar fases recesivas, el sector de la construcción ha evidenciado la creciente demanda habitacional de la población y el aumento en la construcción de edificaciones. (p. 67)

Se deduce de esto que la construcción ostenta una posición jerárquica crucial en la economía de Ecuador, gracias a su notable impacto tanto directo como indirecto en diversos mercados y sectores socioeconómicos. La dependencia e importancia de este sector impulsan la investigación y el avance en el mercado de la construcción, con el objetivo de promover y consolidar el desarrollo sostenible en sus procesos productivos. (León & Segura, 2022, p. 18)

2.2 Contaminación en la construcción

Es importante tener en cuenta que los principales impactos que suelen originar los vertidos de diversos contaminantes durante la fase de construcción tienen varios efectos y estos son aplicables a cualquier proyecto o actividad que genere dichos contaminantes, independientemente de la fuente contaminante; en esto podría incluirse la construcción de carreteras, la liberación de aguas residuales de una industria, la liberación de agua de presas y embalses, o el vertido de un emisario submarino, por ejemplo. Los contaminantes más frecuentes suelen ser partículas sólidas (ya sean inertes o con contaminantes asociados), nutrientes, materia orgánica y sustancias prioritarias como metales y compuestos orgánicos, no obstante, no se debe pasar por alto las emisiones sonoras (ruido) y los contaminantes atmosféricos, que son bastante habituales durante la fase constructiva. Los contaminantes atmosféricos más comunes que pueden generarse en cualquier actividad de construcción incluyen partículas sólidas, compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno y monóxido de carbono. (Romero Gil, 2019, p.5)

2.3 Pavimentos

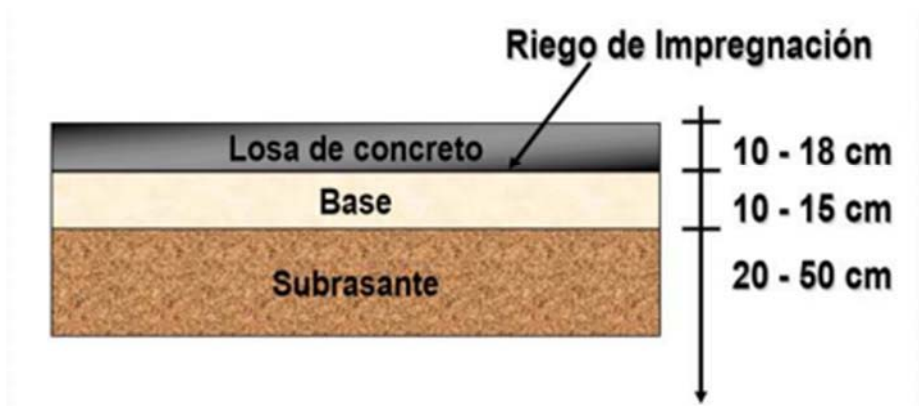
El término pavimento se refiere a la superficie horizontal de una construcción (o las distintas superficies en cada nivel de un edificio) que proporciona soporte a personas, animales o cualquier elemento de mobiliario. Asimismo, el término "pavimento" se aplica a las infraestructuras de vías de comunicación, abarcando diversas situaciones en la ciudad, como las vías destinadas a tráfico liviano, medio y pesado, en el ámbito urbano, los pavimentos en espacios públicos han sido cruciales para lograr mejoras en la calidad de vida de los ciudadanos. Este hecho es tan relevante que se remonta a la época romana, donde ya se conocían sus calzadas, algunas de las cuales perduran hasta nuestros días. (Cuervo, 2018, p. 7)

2.3.1 Pavimentos Rígidos

Los pavimentos rígidos están conformados por una capa de concreto de cemento Portland, conocida como losa, que se sustenta sobre una capa de base compuesta por grava. Esta capa, a su vez, descansa sobre una capa de suelo compactado denominada subrasante. La resistencia estructural de este tipo de pavimentos se basa principalmente en la calidad y resistencia de la losa de concreto. (Giordane & Leone, 2010, p. 4)

Ilustración 1 Corte transversal Pavimentos rígidos

Corte transversal.



Fuente: Cámara Nacional de Concreto. Nicaragua

2.3.2 Pavimentos Flexibles o Asfálticos

Giordane & Leone (2010) indican que, en términos generales, los pavimentos flexibles consisten en una fina capa de mezcla asfáltica que se coloca sobre una capa de base

y otra capa de sub-base, ambas comúnmente compuestas por material granular. Estas capas se apoyan sobre una capa de suelo compactado conocida como subrasante. (p. 3)

Ilustración 2 Pavimento Flexible

Corte transversal.

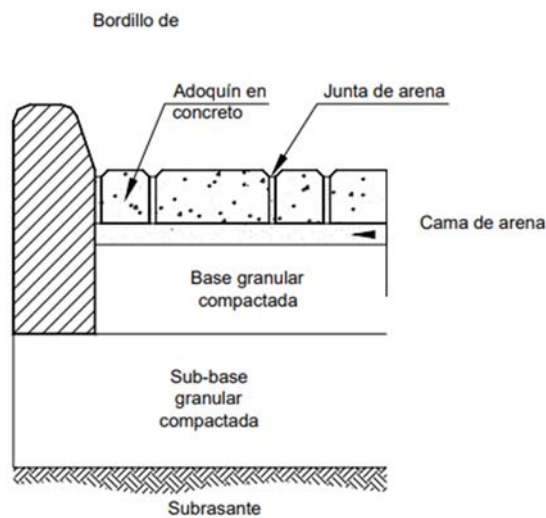


Fuente: Cámara Nacional de Concreto. Nicaragua

2.3.3 Pavimentos Articulados

Un pavimento articulado según Sánchez (2003), se conforma mediante la utilización de una capa superior compuesta por adoquines de concreto. En el caso de que existan, se incluyen capas adicionales de base y subbase, y opcionalmente, se puede agregar una capa de mejora para la subrasante. (p. 16)

Ilustración 3 Pavimentos Articulados



Fuente: Cámara Nacional de Concreto. Nicaragua

2.3.4 Estructura y Composición de los pavimentos

2.4 Ruido

El ruido se define como un sonido no deseado que interfiere con actividades o el descanso. Un ruido que carece de sentido o está fuera de contexto resultará más molesto y perturbador que uno neutro, ya que puede evocar sensaciones desagradables o distraer la atención. (Miyara, 2001, p. 4)

2.4.1 Generación de Ruido de maquinaria

En las industrias, el ruido mecánico surge como resultado del funcionamiento de varias máquinas, algunas de las cuales, debido a su tecnología menos avanzada, generan niveles de ruido más allá de lo tolerable. En el ámbito de la construcción, los niveles de ruido varían según el tipo de obra y la labor realizada. Un estudio sobre la contaminación acústica en construcciones modulares reveló que los trabajadores en tres estaciones principales están expuestos a un nivel de alrededor de 86 dBA, siendo los trabajadores de la estación de revestimiento los más expuestos al ruido. En el sector de la construcción, es esencial considerar los impactos ambientales y sociales de las operaciones para lograr la sostenibilidad, además de los factores económicos tradicionales que afectan al proyecto. La contaminación acústica, un factor social y ambiental comúnmente asociado con la construcción, resulta de las actividades llevadas a cabo durante las distintas etapas del proceso constructivo. (Huaquisto & Chambilla, 2021)

2.4.2 Contaminación acústica

Para Huaquisto & Chambilla (2021) la contaminación acústica se refiere a cualquier alteración en las propiedades físicas del entorno ocasionada por sonidos, ya sean considerados deseables o indeseables, que pueden ser directa o indirectamente perjudiciales para la salud, la seguridad y el bienestar de los seres vivos. Aunque el sonido se caracteriza como una perturbación que se propaga a través de un medio elástico como el aire o el agua con una velocidad específica, el término "ruido" se utiliza para describir un sonido desagradable que causa molestias a las personas. Por lo tanto, la clasificación de un sonido como ruido depende en gran medida de la percepción subjetiva individual, ya que un mismo sonido puede ser considerado agradable, indiferente o insoportable incluso por la misma persona en diferentes circunstancias.

2.5 Emisión de gases

Según Gobierno de España, Ministerio de Trabajo (2010), la emisión se define como la liberación constante o intermitente de materiales, sustancias o formas de energía hacia la atmósfera, provenientes directa o indirectamente de cualquier fuente que pueda generar contaminación atmosférica. Esto abarca tanto a los contaminantes emitidos directamente a la atmósfera, denominados contaminantes primarios (como el CO, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, entre otros), como a aquellos que se originan como resultado de reacciones químicas de dichos contaminantes primarios al entrar en contacto con el aire atmosférico, conocidos como contaminantes secundarios, siendo la formación de ozono el más significativo.

2.6 Certificaciones Ambientales

Las certificaciones ambientales surgen debido a la necesidad de que las empresas adopten estrategias para llevar a cabo procesos más sostenibles, lo que les permite mitigar los impactos ambientales que generan y cumplir con las regulaciones ambientales. La obtención de una certificación ambiental también simplifica el acceso de la empresa a mercados competitivos, aumenta su rentabilidad y mejora su posición en la competencia. Por lo tanto, para alcanzar estas certificaciones, las empresas deben implementar prácticas ambientales y realizar modificaciones en sus procesos, asegurándose de no generar problemas ambientales y cumpliendo con las disposiciones de la normativa ambiental establecida. (Inés & Ordóñez, 2018, p. 56)

2.7 Sistemas de Gestión Ambiental

Los SGA (Sistemas de Gestión Ambiental) son mecanismos voluntarios destinados a administrar los aspectos ambientales vinculados al funcionamiento de una entidad, ya sea una empresa, institución o municipio. Estos sistemas implican la instauración de un ciclo constante de planificación, ejecución, evaluación y perfeccionamiento del desempeño ambiental, adaptándose al tipo y alcance de los impactos ambientales que puedan derivarse de las actividades de la entidad. (Fraguell et al., 2017, p. 21)

2.8 Buenas prácticas ambientales

La Universidad de Guanajuato (2024) conceptualiza las Buenas Prácticas Ambientales como un enfoque que fomenta la participación y la responsabilidad con el único fin de mejorar el rendimiento ambiental y así mitigar los impactos asociados al cambio

climático, esto es a través de un conjunto de medidas y actividades que buscan reducir el consumo y optimizar el uso de los recursos naturales, con el objetivo de disminuir los efectos adversos de las actividades diarias en el entorno ambiental, esto es aplicable a todas las actividades.

Inés & Ordóñez (2018) define a las prácticas ambientales como las acciones ambientales que pueden incluir la reducción del consumo de agua y electricidad, la gestión de desechos sólidos tanto peligrosos como no peligrosos, el reciclaje de materiales, la adopción de energías alternativas, la implementación de medidas de eficiencia energética, entre otras prácticas. La incorporación de estas acciones ambientales y la adopción de procesos de producción más sostenibles en las empresas no solo facilitan la obtención de certificaciones ambientales, sino que también contribuyen a mejorar la competitividad de las mismas y a su entrada en nuevos mercados, especialmente en los denominados mercados verdes.

2.9 Norma ISO 14001:2015 Sistemas de Gestión Ambiental

La norma ISO 14001 establece los criterios que un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) debe cumplir. Fue desarrollada en 1996 por la International Organization for Standardization (ISO) como resultado de su participación en la Cumbre de la Tierra llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992. Esta norma tiene alcance internacional y es de naturaleza privada. Por otro lado, el reglamento comunitario EMAS (Eco-Management and Audit Scheme), iniciativa de la Unión Europea en 1993, es de carácter europeo y público. Desde 2001, incorpora los requisitos de la norma ISO 14001 en su estructura. Ambos enfoques, ya sea ISO 14001 o EMAS, adoptan un enfoque abierto y progresivo al no establecer requisitos específicos para las acciones medioambientales, a excepción de la obligación de seguir la legislación vigente, lo cual es un requisito esencial para obtener la certificación EMAS. En lugar de ello, ofrecen directrices y procedimientos que permiten a una organización desarrollar y mantener su propio Sistema de Gestión Ambiental (SGA) de acuerdo con sus características y capacidades. El modelo fundamental para implementar un SGA, tras llevar a cabo un análisis ambiental inicial, se fundamenta en un proceso continuó dividido en cinco etapas:

- ✓ Formulación de la política ambiental.
- ✓ Planificación.

- ✓ Implementación y funcionamiento.
- ✓ Supervisión y acciones correctivas.
- ✓ Revisión por parte de la Dirección. (Fraguell et al., 2017. p. 22)

2.10 Norma ISO 14040 – Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La creciente conciencia sobre la importancia de la protección ambiental y los posibles impactos relacionados con los productos, tanto en su fabricación como en su consumo, ha generado un mayor interés en el desarrollo de métodos para comprender y abordar estos impactos. Una de las técnicas desarrolladas con este propósito es el Análisis del Ciclo de Vida (ACV); el mismo que contribuye a identificar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en diversas etapas de su ciclo de vida, proporciona información a tomadores de decisiones en la industria, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales, para fines como planificación estratégica, establecimiento de prioridades, diseño y rediseño de productos o procesos, además selecciona indicadores de desempeño ambiental, incluyendo técnicas de medición y por último facilita acciones de marketing, como la implementación de un esquema de etiquetado ambiental, la elaboración de reivindicaciones ambientales o la presentación de la declaración ambiental de producto. La Norma ISO 14044 establece los requisitos para llevar a cabo un ACV. Este enfoque aborda aspectos ambientales e impactos potenciales (por ejemplo, el uso de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde la adquisición de la materia prima hasta su disposición final. (Online Browsing Platform (OBP), 2006)

2.11 Matriz de Leopold

La Matriz de Leopold es una metodología numérica que se utiliza para realizar un análisis detallado y subjetivo de los impactos ambientales de un proyecto. Esta técnica permite evaluar tanto los impactos adversos como los beneficiosos que pueden surgir durante la ejecución de la obra. (Vargas, 2009, p. 12)

2.12 Metodología Delphi

En el artículo denominado *El método Delphi*, Torrado & Reguant (2016) lo describen como una estrategia para recopilar información que permite obtener las opiniones de un grupo de expertos mediante consultas repetidas. Este enfoque, de naturaleza cualitativa, resulta recomendable en situaciones en las que la información disponible es insuficiente para

la toma de decisiones o cuando es necesario recopilar opiniones consensuadas y representativas de un conjunto de individuos para la investigación en cuestión. En este artículo se explican las características principales de esta técnica y se detalla el proceso de consultas repetidas en su aplicación. (p. 87)

2.13 Programa OpenLCA 1.7.0

OpenLCA 1.7 es programa que proporciona un conjunto de modelos de código abierto y con todas las funciones para evaluaciones del ciclo de vida y otros enfoques de modelado de sostenibilidad, la introducción de un tipo de flujo, 'residuos', permite que el programa realice una modelación de los flujos de residuos directamente como salidas de un proceso de producción que serán asignados como entradas a procesos de tratamiento de residuos. Este programa trabaja con el soporte de bases de datos que brindan información básica para realizar las acciones necesarias y así obtener los resultados que aporten al análisis del ciclo de vida.

Al ser necesaria la información de bases de datos que aporten al funcionamiento del programa de ACV, y dado el caso que las bases de datos existentes no contenían la información necesaria en su totalidad sino fragmentada en ciertas áreas, se creyó conveniente utilizar otro método como el investigativo para así obtener los datos necesarios para realizar una evaluación real del Análisis del Ciclo de Vida en los procesos de pavimentación tanto en Pavimentos flexible, rígido y articulado.

Realizar dicho análisis de manera intelectual, permite al profesional tener un conocimiento verdadero de los procesos de ACV, ya que, aunque es importante el apoyo de programas informáticos, es aún más indispensable el criterio profesional en el tema, aportando de esta manera al crecimiento técnico del tesista y que es igual de viable en este tipo de proyectos. (Ferreira et al., 2014)

2.14 Zona de Planificación 3

La Zona de Planificación 3 que se sitúa en el centro sierra y amazonia del Ecuador, la zona en referencia está limita al norte por las provincias de Pichincha, Napo y Orellana; al sur limita con Morona Santiago y Cañar; al Oriente con el Perú y al Occidente con Santo Domingo de los Tsachilas, Los Ríos y Bolívar. La Zona 3 se encuentra constituida por las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Pastaza y Tungurahua, consta de 30 cantones y 139 parroquias rurales esta distribución es con motivos administrativos. La Zona 3 se caracteriza

por su estratégica ubicación geográfica, constituye en una conexión de gran importancia entre las regiones naturales costa, sierra y oriente, en relación a su extensión es la más grande del país, cuenta con 45.000 km², por su territorio se despliega la Cordillera de los Andes, en la cual se encuentran las elevaciones más representativas del país, entre ellas están; el Tungurahua, el Cotopaxi y el Chimborazo, que son de gran influencia en su sistema climático, en la productividad y en el día a día de la población (Secretaría Nacional de Planificación, 2023, p. 5)

3. CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es de carácter mixto, con enfoque cuantitativo, ya que se espera obtener el impacto ambiental de los sistemas de pavimentos utilizados en términos de magnitudes numéricas, a través de indicadores de impactos ambientales ponderados y soluciones propuestas y de enfoque cualitativo, debido a que se valora cada uno de los procesos y recursos utilizados en la aplicación de pavimentos desde la obtención de los recursos hasta su puesta en uso en obra de cada pavimento. También es Aplicada, debido a que se tiene como propósito obtener conocimiento que permita mejorar la calidad de vida y reducir el impacto ambiental con tecnologías que se están aplicando, mas no son explotadas. Y es Documental, ya que la información se obtendrá de biografía y base de datos existente, compartida por las autoridades gubernamentales competentes y aportes en información documentada por profesionales en las ramas respectivas.

3.1.1.1 Investigación Cuantitativa

La investigación cuantitativa se distingue por su objetividad y enfoque deductivo, siendo el resultado de diversos procesos que pueden ser medibles, su área de estudio brinda la posibilidad de realizar proyecciones, generalidades y establecer relaciones en una población o entre poblaciones mediante inferencias estadísticas basadas en una muestra, de este modo, la investigación cuantitativa tiene el propósito de establecer relaciones de causa y efecto, incluso al abordar problemas sociales. Además, se sustenta en descubrimientos comunes que facilitan la correlación de variables en diversas realidades sociales mediante el uso de la estadística para que otros investigadores pueden apoyarse en estos hallazgos para dar continuidad a estudios adicionales o subsecuentes. (Babativa, 2017, p. 1)

En el presente proyecto se ha utilizado la investigación cuantitativa al valorar los impactos ambientales mediante la Matriz de Leopold, en la cual dichas valoraciones permiten cuantificar los mismos y así identificar una escala para las alteraciones en materia ambiental que podrían ser generadas por las actividades de pavimentación.

3.1.1.2 Investigación Cualitativa

La investigación cualitativa se enfoca en analizar la calidad de actividades, relaciones, temas, medios, materiales o instrumentos en una situación o problema específico, su objetivo es obtener una descripción holística, es decir, busca analizar de manera exhaustiva y detallada un tema o actividad particular. (Argilaga, 2011, p. 1)

Al momento de denominar escalas en cuanto a bajo impacto, impacto medio y alto impacto se está realizando una investigación cualitativa, este proceso permite segmentar estas escalas y realizar un diagnóstico y evaluación de los efectos adversos en cuanto a daños ambientales.

3.1.1.3 Investigación Aplicada

Para Vargas (2009), la investigación aplicada es también conocida como "investigación práctica o empírica", y se distingue por su enfoque en la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos. Simultáneamente, busca la adquisición de nuevos conocimientos después de llevar a cabo e institucionalizar la práctica basada en la investigación. Esta forma de investigación implica el empleo del conocimiento y los resultados de la investigación de manera rigurosa y organizada.

Durante la realización de este proyecto se ha puesto en práctica los conocimientos adquiridos sobre tipos de pavimentos enlazando los mismos a los Análisis de Ciclo de Vida, esta metodología permitió no solo evidenciar conocimientos previos sino aplicarlos en una investigación que podrá ser objeto de consulta y apoyo para investigaciones futuras.

3.1.1.4 Investigación Bibliográfica o documental

La investigación documental implica la búsqueda de una respuesta sobre un tema específico mediante la exploración de diversos documentos, en este contexto, el término "documento", abarca todo aquello en lo que la huella del ser humano queda registrada durante su vida, estos podrían ser: libros, publicaciones (periódicos y revistas), materiales

impresos (como folletos, carteles, volantes, trípticos y desplegados), documentos de archivo, etc. (Baena, 2014, p. 12)

En el presente trabajo de investigación se extraerá toda la información referente a los procesos de pavimentos en el área constructiva y sus implicaciones ambientales, y se analizará cada uno de los recursos utilizados en los mismos, con el objetivo de diagnosticar cuál de los tipos de pavimentos estudiados (flexible, rígido o articulado), es el más amigable con el planeta.

3.1.1.5 Investigación Explicativa

Según lo indica García (2019), la investigación explicativa se basa en la identificación del origen o motivos de un conjunto específico de fenómenos, su propósito es comprender las causas de ciertos eventos, mediante la delimitación de las causales que se encuentran presentes en los procesos o al menos, de las condiciones en las que estas se generan, este es el tipo de investigación analiza a profundidad el conocimiento de la realidad del elemento investigado y busca dar una explicación de la razón y el porqué de sus consecuencias. (p. 20)

La investigación se desarrolla enfocándose en la finalidad de explicar, como se realizan los procesos en los trabajos de pavimentación, para de ahí partir al por qué de las consecuencias ambientales que generan cada uno de los procesos, recursos y maquinarias que se utilizan, cuantificando los efectos negativos o positivos de estos impactos en el ambiente, poniendo de manifiesto la necesidad de realizar de forma imprescindible un Análisis del Ciclo de Vida previo a ejecutar un proyecto constructivo.

3.1.2 Diseño de Investigación

Se busca evaluar la relación que existe entre los diferentes tipos de pavimento (asfalto flexible, rígido y articulado), y el uso de recursos en los mismos; además de las afectaciones al entorno en las diferentes etapas del ciclo de vida de los tres pavimentos con las cargas ambientales producidas por cada una de las etapas de esta actividad. No es posible para este proyecto el control experimental, ya que se recabará y sintetizará toda la información recogida en los impactos ambientales, sus implicaciones y se emitirán recomendaciones enfocadas en la mitigación.

3.1.2.1 Investigación de Diseño Correlacional

Este tipo de diseño de investigación es adecuado para determinar el nivel de conexión y similitud que pueda existir entre dos o más variables, es decir, entre características o conceptos de un fenómeno. Su objetivo no es proporcionar una explicación exhaustiva de la causa y efecto de lo ocurrido, sino más bien ofrecer indicios sobre las posibles causas de un acontecimiento. (Centro Universitario Interamericano, 2016, p. 1)

La correlación que existe entre las prácticas constructivas con el efecto en el ambiente es muy estrecha y es indispensable generar conciencia de que, dichos procesos deben cada vez ser mucho más amigables con la naturaleza para así hacer de los mismos una constante en la búsqueda de acciones enmarcadas en la protección y beneficio de los ecosistemas.

3.1.2.1 Investigación de Diseño No Experimental

Es aquel que se lleva a cabo sin intervenir deliberadamente en las variables. Se fundamenta principalmente en la observación de fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, para posteriormente analizarlos. (Dzul, 2017, p. 2)

Este estudio se llevó a cabo tomando como referencia la construcción de pavimentos como flexible, rígido y articulado en la demarcación geográfica del Ecuador, específicamente en la zona 3 donde no existe mayor información referente al tema y tiene un enfoque explicativo del mismo. Su objetivo principal es la determinación y análisis de ciclo de vida de cada proceso o recurso utilizado en los proyectos de pavimentación, para así buscar la opinión de expertos en el área ambiental y el ACV que colaboren con su experticia del tema a plasmar soluciones y alternativas que permitan minimizar y mitigar los efectos adversos que provocan en el ambiente los trabajos de construcción de pavimentación que buscan mejorar la calidad de vida de los pueblos. Este análisis se basará mediante el uso de la Matriz de Leopold y la utilización de la Metodología Delphi con lo que serán validados los impactos ambientales por parte de los profesionales consultados.

3.1.3 Técnicas de recolección de datos

Para el desarrollo de la investigación será necesario el uso de técnicas e instrumentos de recolección de datos, según el propósito de la misma:

- ✓ Consulta de diferentes fuentes relacionadas a proyectos de pavimentación tanto flexible, rígido como articulado, proceso, recursos utilizados en cada uno, maquinaria, además de las emisiones que estos producen.
- ✓ Consulta a expertos en Análisis de Ciclo de Vida y materia ambiental para que colaboren a la búsqueda de resultados y de recomendaciones para mitigar efectos adversos al ambiente.

3.2 Metodología Específica del ACV

Dentro del presente capítulo se explicará los procesos experimentales que se requieren para alcanzar los objetivos del proyecto de investigación.

COMPARAR LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLE, RÍGIDO Y ARTICULADO (ADOQUINES) EN LAS ZONAS URBANAS PRINCIPALES DE LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 3 DEL ECUADOR MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV).

3.2.1 Etapas del Ciclo de Vida de los Pavimentos Flexible, Rígido y Articulado

Mediante revisión bibliográfica se busca obtener información de calidad sobre la pavimentación en zonas urbanas principales de la zona de planificación 3 del Ecuador, y de manera general información sobre cada uno de los procesos que se dan para la elaboración de pavimento flexible, rígido y articulado, ya que son los tres tipos de pavimentos considerados para el estudio de la presente investigación, para cada uno de ellos se considera el proceso desde la extracción de materias primas, transporte hasta la transformación para la obtención del producto final.

Con toda la información recopilada se analizarán las etapas de ACV, para identificar a cuál de ellas pertenece cada parte del proceso de pavimentación y dar cumplimiento al presente objetivo, mediante la determinación de las etapas del ciclo de vida de cada pavimento.

3.2.2 Análisis del Ciclo de Vida de los Pavimentos Flexible, Rígido y Articulado

El desarrollo de un Análisis de Ciclo de Vida se realizará para los pavimentos flexibles, rígidos y articulados, para lograrlo se basará la presente investigación en la norma ISO 14040, con lo que se cubrirá las siguientes etapas metodológicas:

- **Etapa 1:** Definición del Objetivo y Alcance del ACV, en los objetivos se exponen los motivos por los que se desarrolla el estudio, la aplicación prevista y a quién va dirigido. El alcance consiste en la definición de la amplitud, profundidad y detalle del estudio. (Leiva, 2016, p. 18)
- **Etapa 2:** Análisis de Inventario de Ciclo de Vida, esta fase incluye la identificación y cuantificación de las entradas (consumo de recursos) del sistema del producto. Por sistema del producto se entiende el conjunto de procesos unitarios conectados material y energéticamente que realizan una o más funciones idénticas. (Leiva, 2016, p. 18)
- **Etapa 3:** Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida, durante esta etapa, utilizando los resultados del análisis de inventario, se evalúa la importancia de los potenciales impactos ambientales generados por las entradas y salidas del sistema del producto. (Leiva, 2016, p. 18)
- **Etapa 4:** Interpretación, la cual incluye la combinación de los resultados de las dos etapas anteriores, con la finalidad de extraer, de acuerdo a los objetivos y alcance del estudio, conclusiones y recomendaciones que permitan la toma de decisiones. (Leiva, 2016, p. 18)

Ilustración 4 Estructura de un ACV



Fuente: (Online Browsing Platform (OBP, 2006)

Después de llevar a cabo las fases del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicadas a pavimentos flexibles, rígidos y articulados, se obtendrán diagramas de procesos que detallarán los recursos naturales empleados en cada una de las etapas necesarias para llegar al producto final.

De esta información se extraerán los impactos ambientales que se producen en el proceso de los tres tipos de pavimentos para su análisis, comparación y evaluación de alternativas sustentables.

3.2.3 Valoración de Impactos Ambientales mediante la Matriz de Leopold

La Matriz de Leopold es un documento que permite estimar los impactos ambientales de un proyecto o proceso y propone un valor cuantitativo por cada uno de los impactos identificados y recursos utilizados; con lo cual se puede definir la intensidad de estos, cabe mencionar que los valores asignados son según el criterio del profesional responsable que realiza la matriz.

El desarrollo de esta matriz se la realiza en el programa de software Excel en el que mediante una tabla se cuantifica tanto la importancia como la intensidad de los impactos ambientales ya sean estos positivos o negativos. Para mediante una ponderación obtener un valor con el cual se pueda asociar el nivel de impacto que genere cada actividad o proceso en el proyecto.

Gracias a este método se logra obtener un listado de todos y cada uno de los procesos y de las afectaciones que en materia ambiental se pueden identificar para de esta manera prevenir y minimizar riesgos a la salud humana y a la calidad del ambiente.

3.2.4 Validación de los resultados mediante la Metodología Delphi

Con base en los datos extraídos del estudio de análisis de ciclo de vida para los tres tipos de pavimentos, se procederá a comparar los mismos con la finalidad de obtener la opción más sustentable, aportando de esta manera alternativas más amigables con el ambiente en estos procesos en el área de la construcción, valorando así los efectos generados durante la pavimentación; con esto se desarrollarán medidas y sugerencias para reducir y corregir el impacto sobre los recursos naturales utilizados en el procedimiento en zonas urbanas de la zona de planificación 3 del Ecuador. Para lograrlo se utilizará la metodología DELPHI la cual valida la información que se proporcionará como resultado de la investigación, mediante la revisión por parte de expertos en el área de pavimentos y ciencias ambientales.

4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis del Ciclo de la Vida

En la realización del presente trabajo investigativo se pretende establecer las diferencias que existe con respecto a la utilización de los diferentes tipos de pavimentación esto en relación a los impactos que causan los mismos al ambiente y así buscar siempre la mejor opción que propenda a mitigar o minimizar las afectaciones antes señaladas según las etapas planteadas.

A continuación se definen las etapas que se van a considerar para el análisis de ciclo de vida de los pavimentos seleccionados, para la presente investigación se realiza el análisis del inventario y se detalla mediante diagramas el proceso de pavimentación tanto para flexibles, rígidos y articulados y así proceder a identificar los recursos naturales que se utilizan en este tipo de procesos y realizar un correcto análisis de impactos ambientales mediante la matriz de Leopold, verificando de manera cuantitativa y clasificando los pavimentos desde el más contaminante hasta el menos contaminante y brindar así alternativas amigables con el ambiente sin afectar la durabilidad del pavimento y que sea perenne en el tiempo pero con opciones más sostenibles.

4.2 Especificación de las Etapas del Proceso de Pavimentación para el Análisis del Ciclo de Vida

Las etapas que se han considerado para el presente estudio son: extracción, transporte y pavimentación propiamente dicha.

4.2.1 Extracción

Para esta etapa se detalla mediante diagrama el proceso de elaboración del hormigón, material bituminoso, agregado fino y grueso.

La extracción se refiere al total anual de materias primas extraídas del entorno natural y destinadas a ser empleadas como insumos en algún proceso económico. Se cuantifica específicamente considerando los flujos utilizados de biomasa, minerales metálicos y no metálicos, así como combustibles fósiles. Este cálculo excluye las cantidades utilizadas de aire y agua. (Eurostat, 2016, p. 1)

Conforme a la información recopilada del proceso de producción se logra evidenciar las etapas de este tipo de procedimiento iniciando siempre con la extracción de materias primas.

Para dar inicio al proceso de pavimentación hay que realizar la extracción de materias primas; dicha extracción normalmente se realiza a cielo abierto por medio de sistemas de terrajeo, a continuación, se indica en la tabla 1 los valores de emisiones que se realizan los equipos de extracción de material en un promedio de una hora de trabajo.

Tabla 1 Emisiones en proceso de Extracción a cielo abierto

Contaminante (g/kWh)	Rango de potencia en kW		
	0-20	20-37	37-75
NO _x	14.4	14.4	14.4
CO	8.38	6.43	5.06
PM	2.22	1.81	1.51
PM 2.5	2.09	1.7	1.42

Fuente: León & Segura RECURSOS NATURALES COMO FACTORES DE RENDIMIENTO EN CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS AMBIENTALES PARA VIVIENDAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN (2022)

4.2.2 Transporte

El traslado de materias primas hacia la obra, para proceder con las actividades de ejecución del proyecto de pavimentación constituyen aspectos de gran importancia, pues involucra un rubro alto en el planillaje del proyecto.

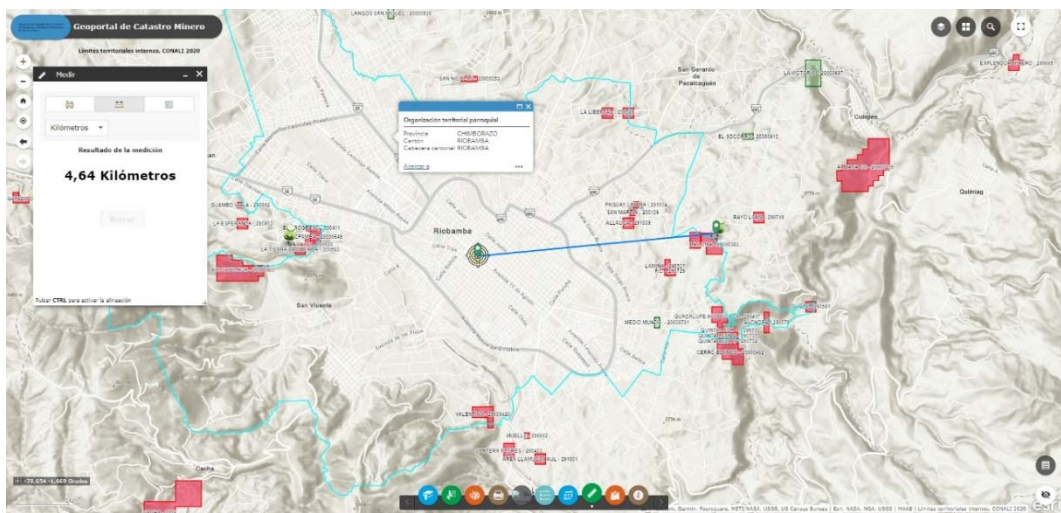
En su investigación León & Segura (2022), presentan los valores según la cantidad de combustible, diésel consumido y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas a estas actividades. En relación al transporte de materias primas, se emplean con mayor frecuencia volquetas con capacidades que oscilan entre 8m³ y 16m³, mostrando un consumo promedio de 0.3 a 0.4 litros de diésel por cada kilómetro recorrido por la volqueta que transporta la materia prima utilizada en el proceso de pavimentación.

En promedio se estima que la producción de CO₂ fue de 2.5Kg de CO₂/ litro de combustible quemado. (Bórquez & Ramis, 2017)

En este proyecto se ha considerado para su evaluación la Zona de Planificación 3 que está situada en el centro sierra y amazonia del Ecuador, el eje vial de las provincias de Cotopaxi, Tungurahua, Pastaza y Chimborazo es utilizado para el transporte de material pétreo de su origen hacia su destino en obra, para realizar un análisis comparativo de este particular se expone a continuación las distancias de algunas de las rutas utilizadas para ello.

Zonas de Concesión y su distancia hacia el centro urbano de Riobamba (Provincia Chimborazo)

Ilustración 5 . Distancia de zona de concesión minera 1A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.



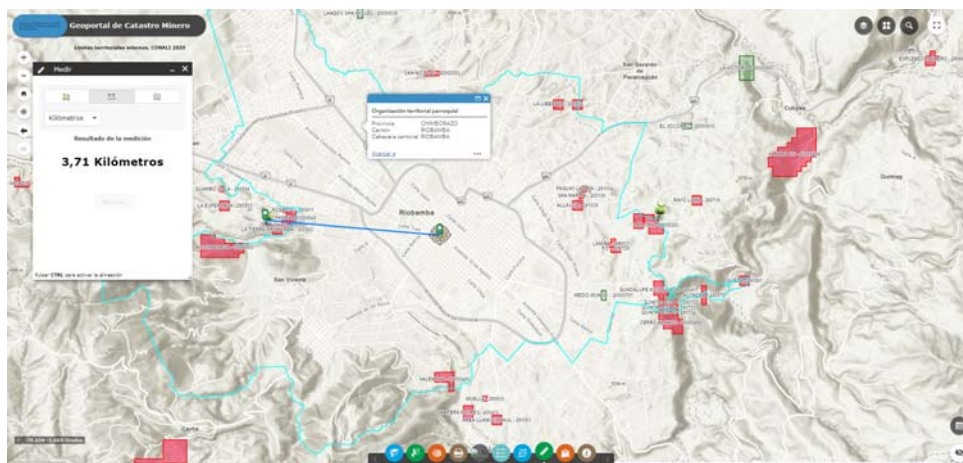
Fuente: <https://arcmneria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 2 Distancia de zona de concesión minera 1A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.

ZONA CONCESIÓN MINERA 1A	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA
San Martín	4.64 Kilómetros
Cerro Negro	
La Loma	
Guadalupe Acumulada	
Cerro Blanco	
Alondra	

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 6 Distancia de zona de concesión minera 2A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.



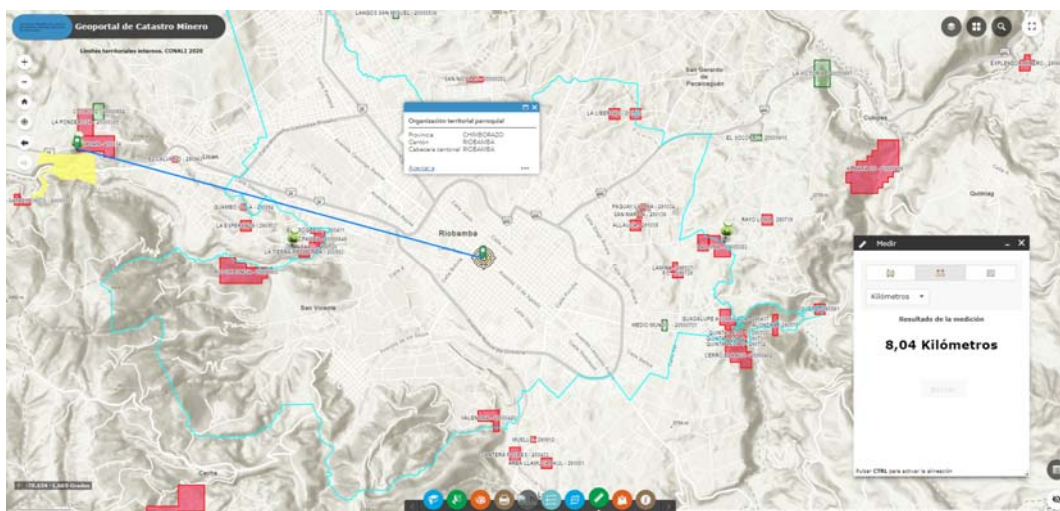
Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 3 Distancia de zona de concesión minera 2A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.

ZONA CONCECIÓN MINERA 2A	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA
Río Chibunga	3.71 Kilómetros
La Tierra Prometida	
Macají 2	
El Progreso	

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 7 Distancia de zona de concesión minera 3A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.



Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

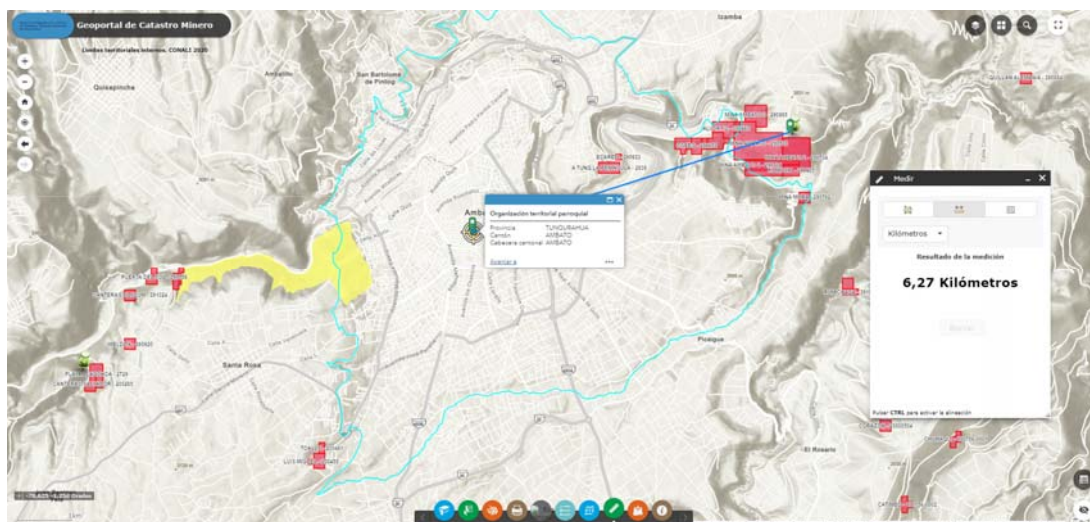
Tabla 4 Distancia de zona de concesión minera 3A hacia el centro urbano de la ciudad de Riobamba.

ZONA CONCECIÓN MINERA 3A	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA
Sillahuan	8.04 Kilómetros
La Ponderosa	

Fuente: Pérez (2024)

Zonas de Concesión y su distancia hacia el centro urbano de Ambato (Provincia Tungurahua)

Ilustración 8 Distancia de zona de concesión minera 1B hacia el centro urbano de la ciudad de Ambato.



Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

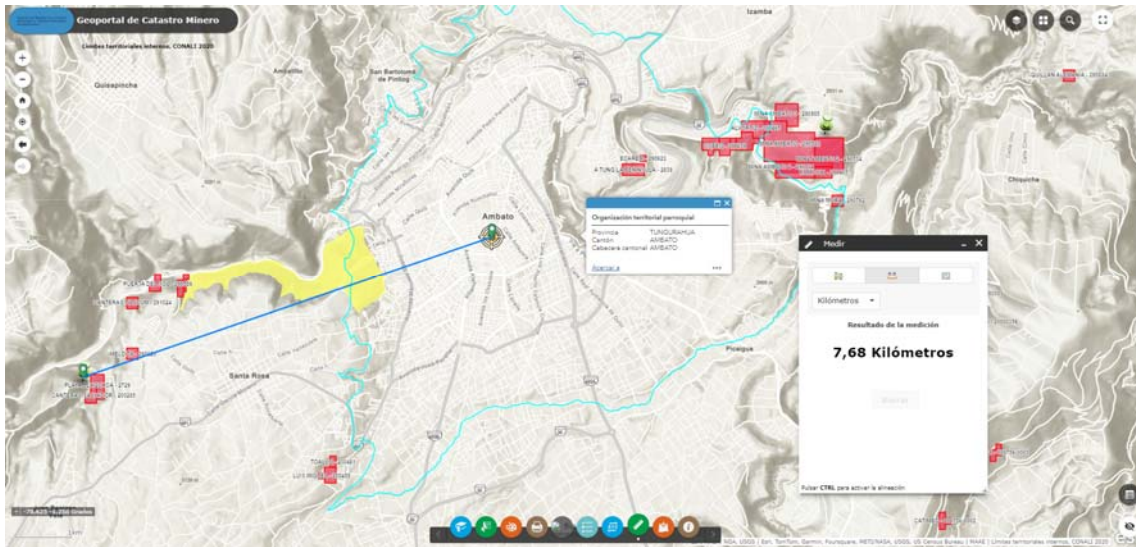
Tabla 5 Distancia de zona de concesión minera 1B hacia el centro urbano de la ciudad de Ambato.

ZONA CONCECIÓN MINERA 1B	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE AMBATO
Alvortiz	6.27 Kilómetros
Cachurco	
Copeg	
Masaquiza Pinto	
Canteras Nieto	

Kumochi	
Mina Mora	
Solar 1	

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 9 Distancia de zona de concesión minera 2B hacia el centro urbano de la ciudad de Ambato.



Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

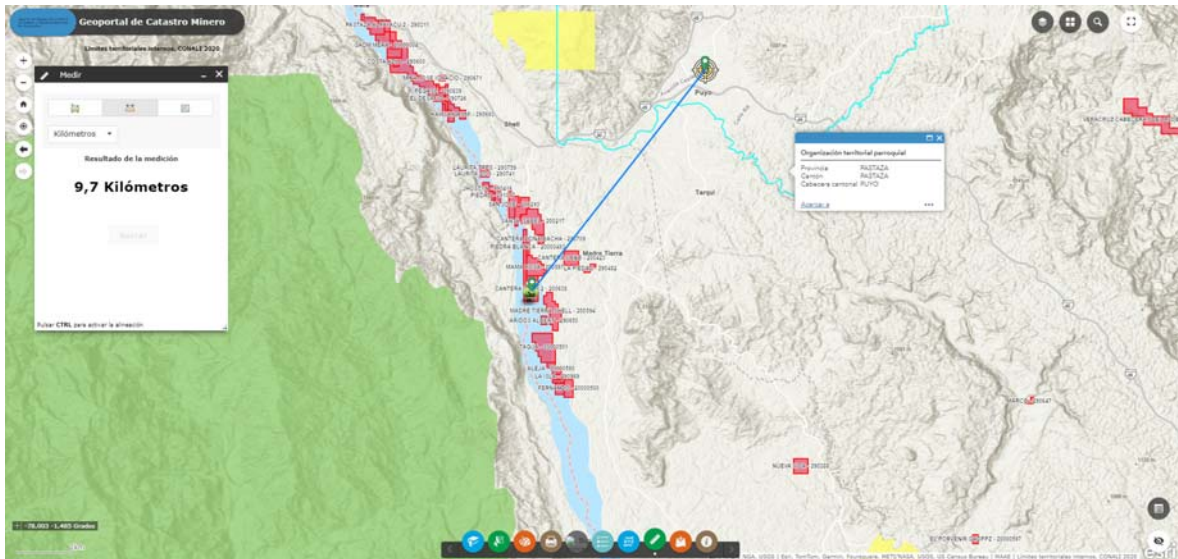
Tabla 6 Distancia de zona de concesión minera 2B hacia el centro urbano de la ciudad de Ambato.

ZONA CONCECIÓN MINERA 2B	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE AMBATO
Canteras Salvador	7.68 Kilómetros
Playa Llagchoa	
Luis Miguel	
Acosta	
Toallo	

Fuente: Pérez (2024)

Zonas de Concesión y su distancia hacia el centro urbano de Puyo (Provincia Pastaza)

Ilustración 10 . Distancia de zona de concesión minera 1C hacia el centro urbano de la ciudad de Puyo.



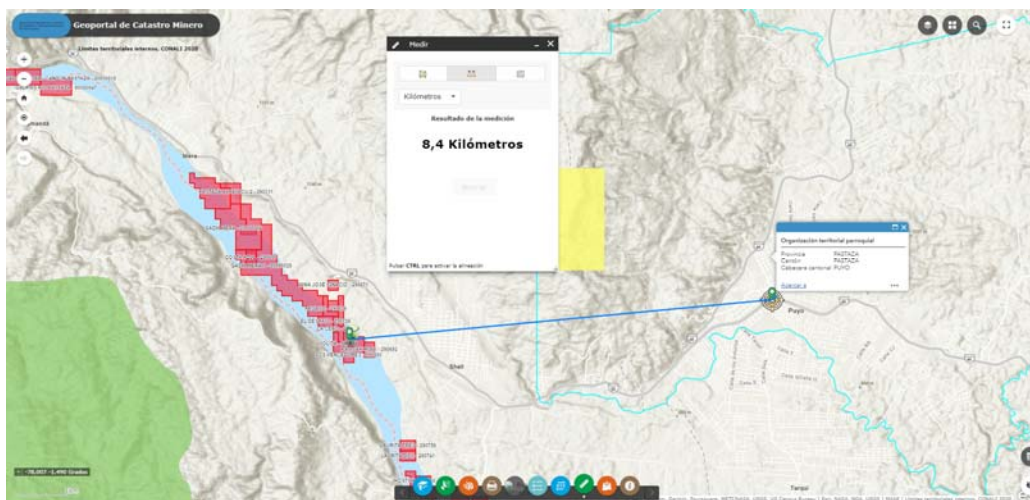
Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 7 Distancia de zona de concesión minera 1C hacia el centro urbano de la ciudad de Puyo.

ZONA CONCECIÓN MINERA 1C	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE PUYO
Fernando	7.68 Kilómetros
Aleja	
Tagua	
Madre Tierra Shell	
Canteras B&B 2	
Santa Isabel 2	
Mama Rosa	
Piedra Blanca	
Canteras B&B	
Santa Isabel	
Trópico de Capricornio	
San José	
Latarabita	

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 11. Distancia de zona de concesión minera 2C hacia el centro urbano de la ciudad de Puyo.



Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

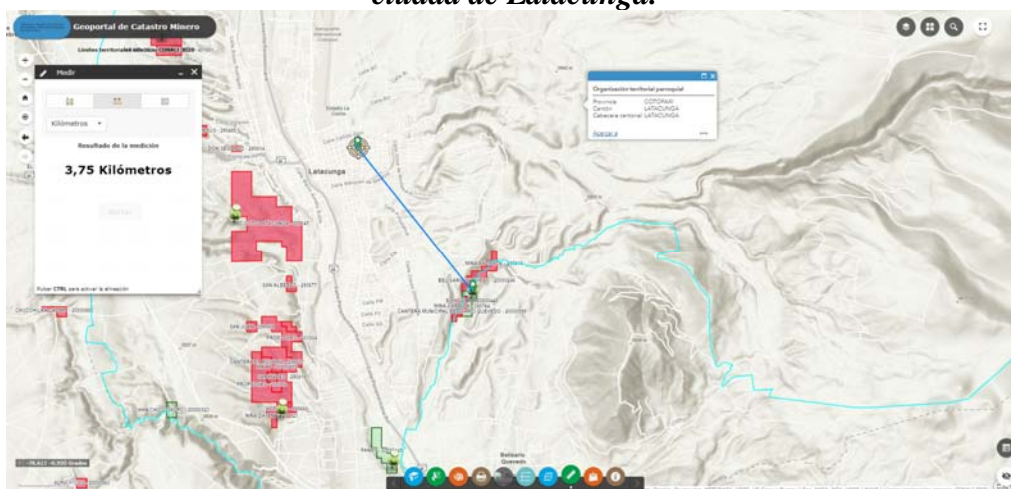
Tabla 8 Distancia de zona de concesión minera 2C hacia el centro urbano de la ciudad de Puyo.

ZONA CONCECIÓN MINERA 2C	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE PUYO
Maricela	8.40 Kilómetros

Fuente: Pérez (2024)

Zonas de Concesión y su distancia hacia el centro urbano de Latacunga (Provincia Cotopaxi)

Ilustración 12 Distancia de zona de concesión minera 1D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.



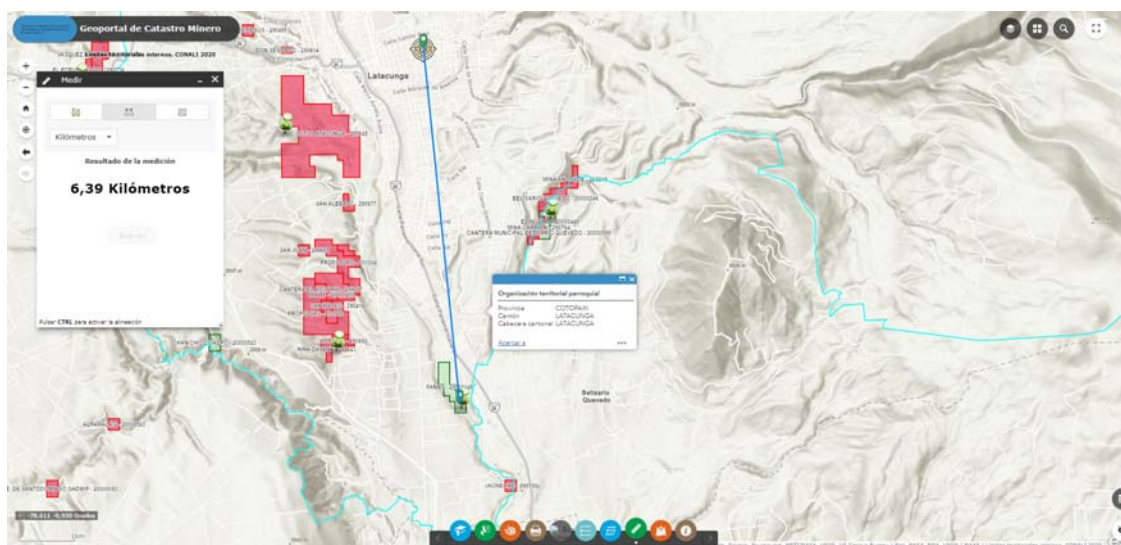
Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 9 Distancia de zona de concesión minera 1D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.

ZONA CONCECIÓN MINERA 1D	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA
El Molino	3.75 Kilómetros

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 13 Distancia de zona de concesión minera 2D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.



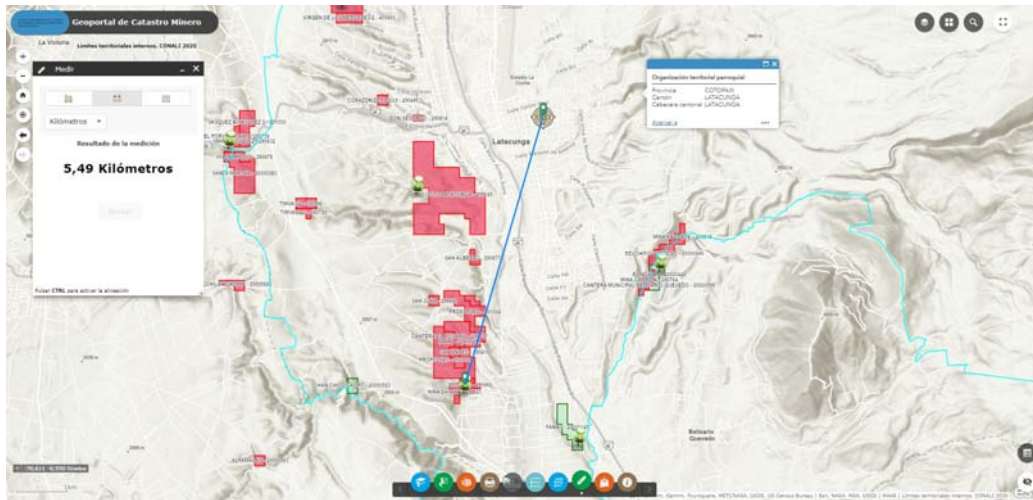
Fuente: <https://arcmneria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 10 Distancia de zona de concesión minera 2D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.

ZONA CONCECIÓN MINERA 2D	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA
Fanny	6.39 Kilómetros

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 14 Distancia de zona de concesión minera 3D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.



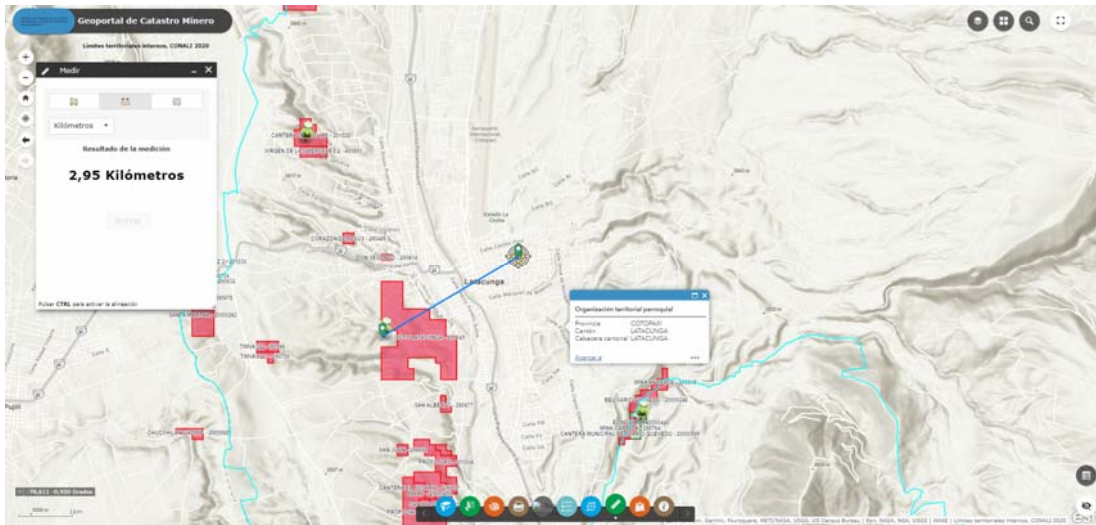
Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 11 Distancia de zona de concesión minera 3D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.

ZONA CONCECIÓN MINERA 3D	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA
Victoria	5.49 Kilómetros
Niña Mishell 2	
Propuzvas	
Rey de Reyes	
Chalito Rey	
Maite	
Profuturo	
Viviana	
San Juan	

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 15 Distancia de zona de concesión minera 4D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.



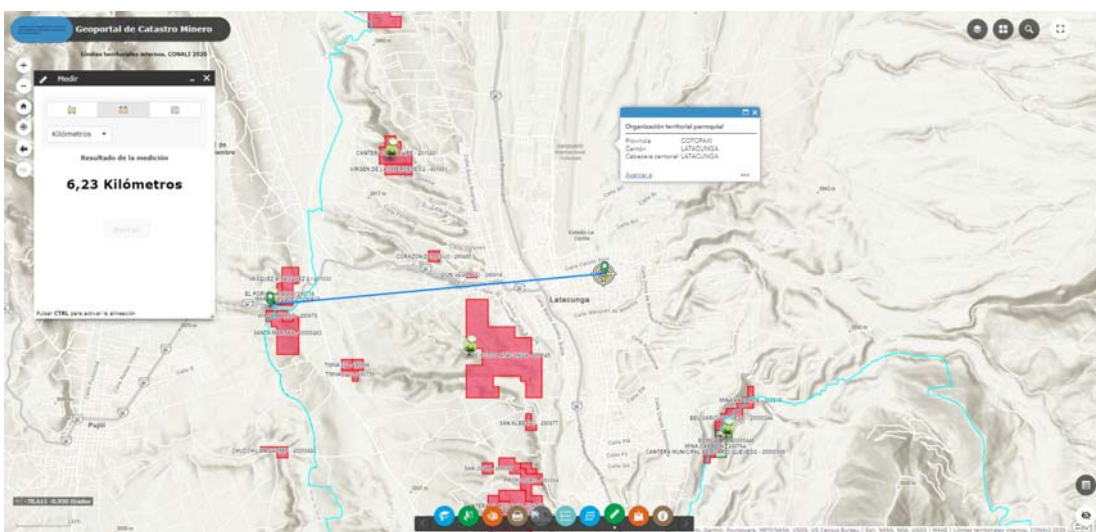
Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 12 Distancia de zona de concesión minera 4D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.

ZONA CONCECIÓN MINERA 4D	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA
C Coto Latacunga	2.95 Kilómetros

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 16 Distancia de zona de concesión minera 5D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.



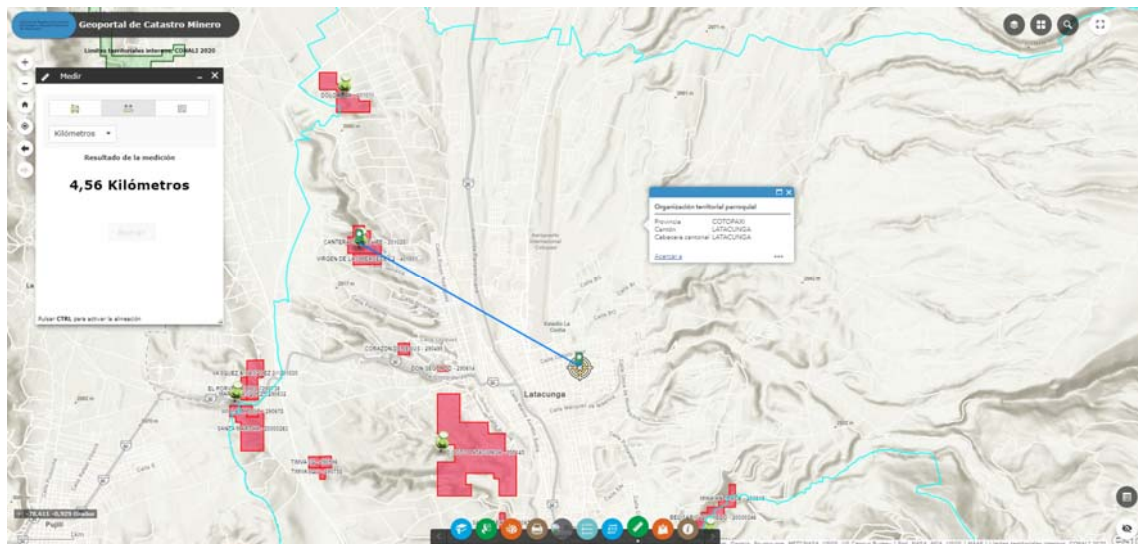
Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 13 Distancia de zona de concesión minera 5D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.

ZONA CONCECIÓN MINERA 5D	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA
Santa Martha	6.23 Kilómetros
Willam Muso	
Vasquez & Vasquez 2	

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 17 . Distancia de zona de concesión minera 6D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.



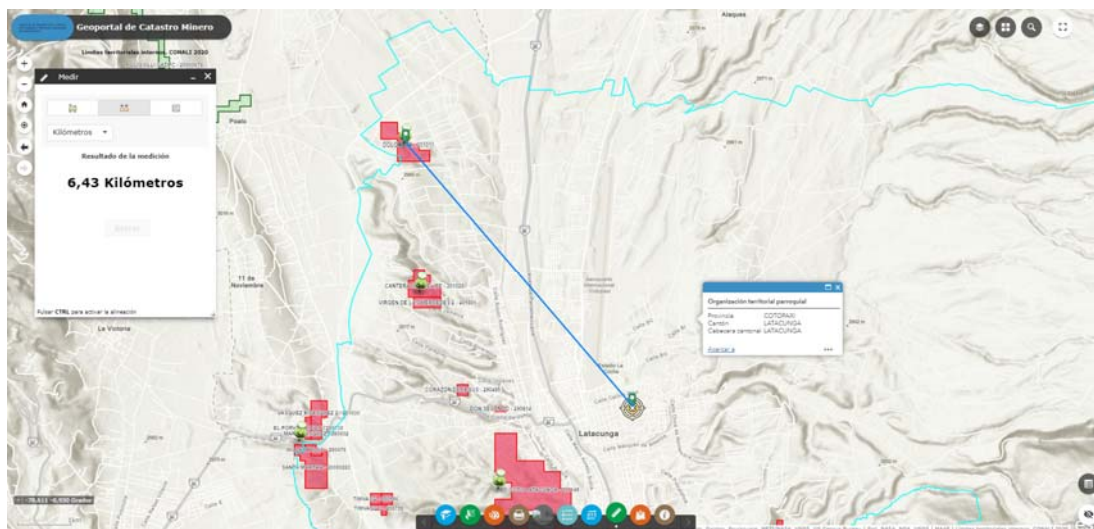
Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 14 Distancia de zona de concesión minera 6D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.

ZONA CONCECIÓN MINERA 6D	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA
Virgen de las Mercedes 2	4.56 Kilómetros
Cantera San Felipe	

Fuente: Pérez (2024)

Ilustración 18 Distancia de zona de concesión minera 7D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.



Fuente: <https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>

Tabla 15 Distancia de zona de concesión minera 7D hacia el centro urbano de la ciudad de Latacunga.

ZONA CONCECIÓN MINERA 7D	DISTANCIA PROMEDIO A CENTRO URBANO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA
Dolorosa	6.43 Kilómetros

Fuente: Pérez (2024)

Tabla 16 Resultado de litros de combustible consumido en la ruta

N*	Lugar	Zona de concesión	Distancia Promedio en Km	Consumo promedio de litro de diésel por Km recorrido	Resultado de litros de combustible consumido en la ruta
1	Riobamba, Chimborazo	1A	4.64	0.3-0.4	1.85
2	Riobamba, Chimborazo	2A	3.71	0.3-0.4	1.48
3	Riobamba, Chimborazo	3A	8.04	0.3-0.4	3.21

4	Ambato, Tungurahua	1B	6.27	0.3-0.4	2.50
5	Ambato, Tungurahua	2B	7.68	0.3-0.4	3.07
6	Puyo, Pastaza	1C	7.68	0.3-0.4	3.07
7	Puyo, Pastaza	2C	8.40	0.3-0.4	3.36
8	Latacunga, Cotopaxi	1D	3.75	0.3-0.4	1.5
9	Latacunga, Cotopaxi	2D	6.39	0.3-0.4	2.55
10	Latacunga, Cotopaxi	3D	5.49	0.3-0.4	2.19
11	Latacunga, Cotopaxi	4D	2.95	0.3-0.4	1.18
12	Latacunga, Cotopaxi	5D	6.23	0.3-0.4	2.49
13	Latacunga, Cotopaxi	6D	4.56	0.3-0.4	1.82
14	Latacunga, Cotopaxi	7D	6.43	0.3-0.4	2.57

Fuente: Pérez (2024)

El consumo de combustible utilizado en el transporte de material pétreo hacia las obras, y en el caso del presente análisis, se evalúa en primera instancia la distancia recorrida en kilómetros por los vehículos, para así obtener la cantidad promedio de combustible que se usa en esos trayectos, ya que estos datos ayudarán a cuantificar las necesidades y las afectaciones que las mismas generarán en el proceso.

Tabla 17 Resultado de Kg de CO2/ litro de combustible quemado en la ruta

N*	Lugar	Zona de concesión	Distancia Promedio en Km	Emisión de Kg de CO2/ litro de combustible quemado	Resultado de Kg de CO2/ litro de combustible quemado en la ruta
1	Riobamba, Chimborazo	1A	4.64	2.5	11.6
2	Riobamba, Chimborazo	2A	3.71	2.5	9.27
3	Riobamba, Chimborazo	3A	8.04	2.5	20.1
4	Ambato, Tungurahua	1B	6.27	2.5	15.67
5	Ambato, Tungurahua	2B	7.68	2.5	19.2
6	Puyo, Pastaza	1C	7.68	2.5	19.2
7	Puyo, Pastaza	2C	8.40	2.5	21
8	Latacunga, Cotopaxi	1D	3.75	2.5	9.37
9	Latacunga, Cotopaxi	2D	6.39	2.5	15.97
10	Latacunga, Cotopaxi	3D	5.49	2.5	13.72
11	Latacunga, Cotopaxi	4D	2.95	2.5	7.37
12	Latacunga, Cotopaxi	5D	6.23	2.5	15.57
13	Latacunga, Cotopaxi	6D	4.56	2.5	11.4
14	Latacunga, Cotopaxi	7D	6.43	2.5	16.07

Fuente: Pérez (2024)

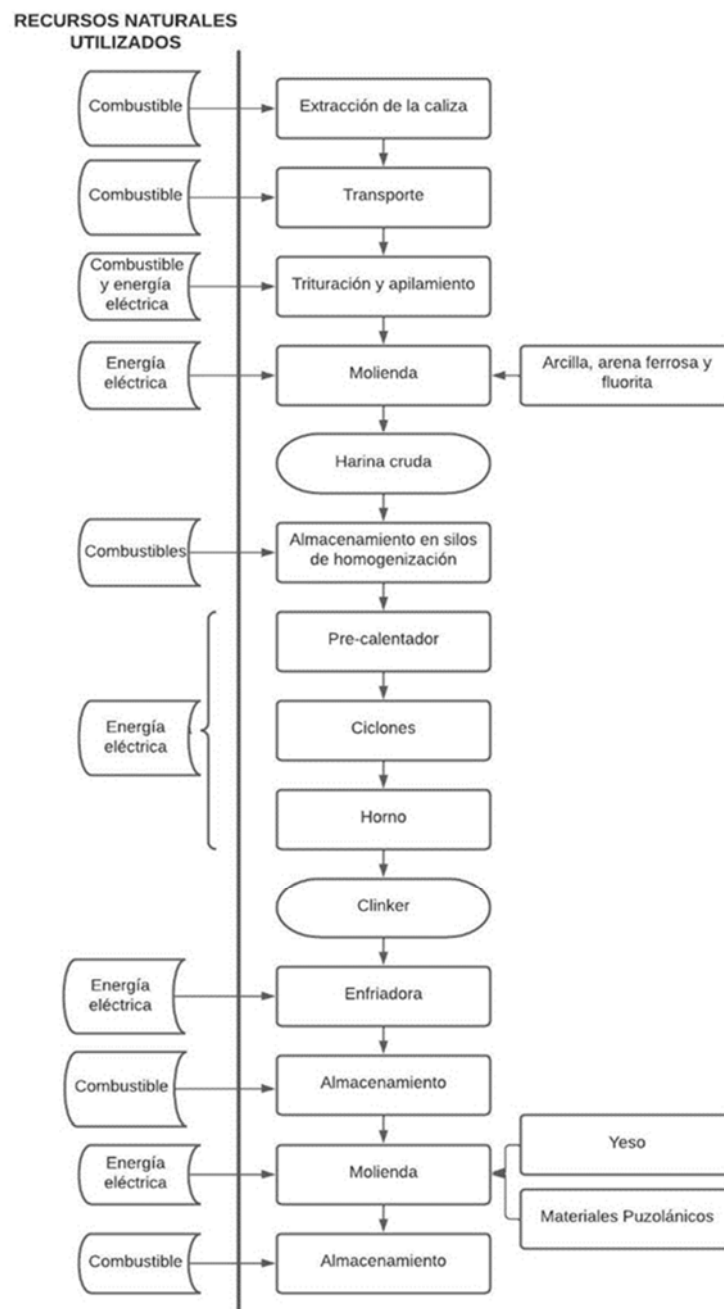
Después de obtener el dato real de combustible utilizado, es importante cuantificar los niveles de CO² quemado por los mismos y expulsados hacia el ambiente, en este sentido se pueden tomar medidas para mitigar estos efectos, como por ejemplo buscar concesiones mineras más cercanas a la ejecución de obra; de tal manera menorar el consumos de combustible y por ende los efectos negativos que se generan en el proceso, esto es de vital

importancia en el ACV como profesionales comprometidos con el cumplimiento de las normas de protección ambiental.

4.2.3 Producción

La transformación de materias primas hacia el producto final es un punto importante para el proceso, es aquí en donde por medio de maquinaria y diferentes reacciones tanto físicas y químicas se obtendrá el producto final.

Diagrama 1 Recursos Naturales Utilizados



Fuente: León & Segura (2022)

Se estima que las emisiones de CO₂ en la producción de Clinker rondan los 522 a 529 kg de CO₂ por cada tonelada de Clinker producido (MITECO, 2016).

Según León & Segura (2022) una vez se empieza el proceso de producción cuando se obtiene el Clinker empieza la adición de yeso y puzolanas para obtener el cemento, sin embargo, las proporciones que se agregan son variables de acuerdo al tipo de cemento que se va a producir y finalmente de almacena o embarca para sus diferentes destinos como la venta o material directo en una nueva planta (p. 40)

El consumo de energía eléctrica que se utiliza para mantener encendidas las maquinarias de los procesos productivos para la producción del hormigón tiene un valor estimado de energía consumida que ronda los 2000 KW/h.

Por otro lado, el de menor impacto son los combustibles fósiles que son utilizados únicamente para maquinaria de transporte ligero dentro de la planta.

El recurso hídrico es utilizado principalmente para dos funciones, como parte de la mezcla para la fabricación de hormigón y la limpieza de las instalaciones, equipos y maquinarias.

Una vez que el producto sale de la fábrica antes de ser preparado para su futura utilización es el proceso de pavimentación el mismo debe ser preparado para lo cual se utilizan las siguientes dosificaciones para los diferentes tipos de pavimentos:

Para calcular la cantidad de material que se requiere para un kilómetro de pavimento considerando una carpeta de 2 pulgadas y un aumento de volumen del 20 % se consideran los siguientes cálculos:

$$1 \text{ Km} = 1000 \text{ m}$$

$$1000 \text{ m} * 8 = 8000 \text{ m}^2$$

$$8000 \text{ m}^2 * (2 * 2.54) \text{ m} = 40640 \text{ m}^3$$

$$40640 \text{ m}^3 * 0.20 = 8128 \text{ m}^3$$

$$40640 \text{ m}^3 + 8128 \text{ m}^3 = 48768 \text{ m}^3$$

Para 1 km de pavimento flexible se requiere 48768 m³ de material.

Pavimento Flexible

La dosificación de los materiales en planta asfáltica para esta preparación se desglosa a continuación:

Agregado de 3/4" = 18.80 %

Agregado de 3/8" = 65.60 %

Arena = 9.40 %

Asfalto = 6.20 %

TOTAL = 100 %

(MECASFALTOSlab, 2024)

Pavimento Rígido

La dosificación de los materiales en planta asfáltica para esta preparación se desglosa a continuación:

Cemento = 14.59 %

Agua = 7.27 %

Arena = 34.76 %

Ripio = 43.37 %

TOTAL = 100 %

(Pilicita & Puluche, 2022)

Pavimento Articulado

La dosificación de los materiales en fabrica para 50 unidades de adoquín de 23 cm de largo por 17 cm de ancho y 8.5 cm de alto se desglosa a continuación:

Cemento = 50 Kg

Graba = 91 Kg

Arena = 91 Kg

Agua = 21 lts

TOTAL = 100 %

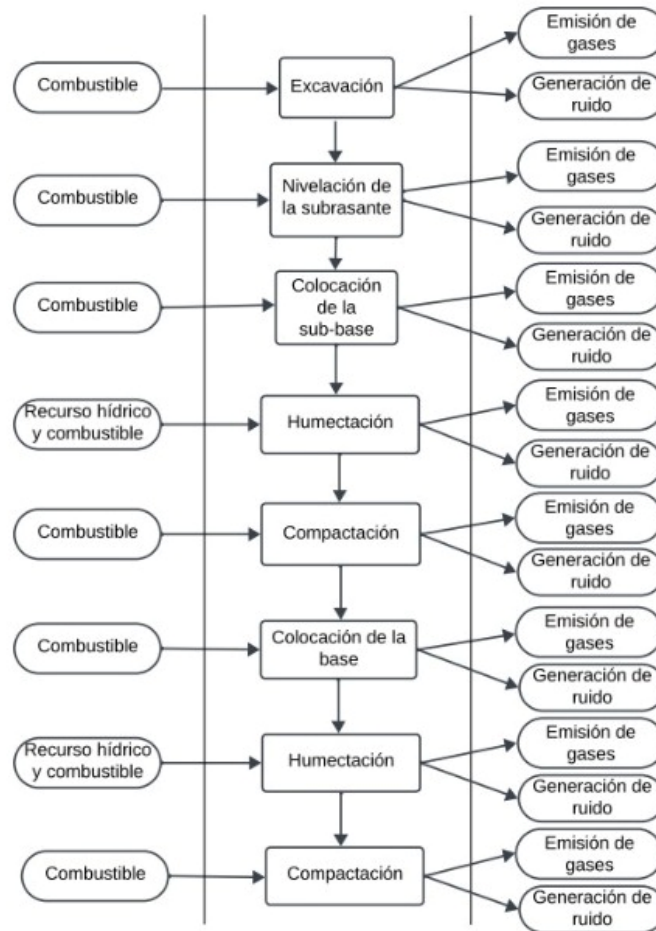
(Colcha & López, 2018)

4.2.4 Pavimentación

4.2.4.1 Fase de inicio de pavimentación, preparación del terreno

Inicia el proceso de pavimentación con la excavación y preparación del área de trabajo, dicho proceso se lo lleva a cabo en los tres tipos de pavimento y se lo hace de la siguiente manera:

Diagrama 2 Entradas y salidas en Preparación del terreno



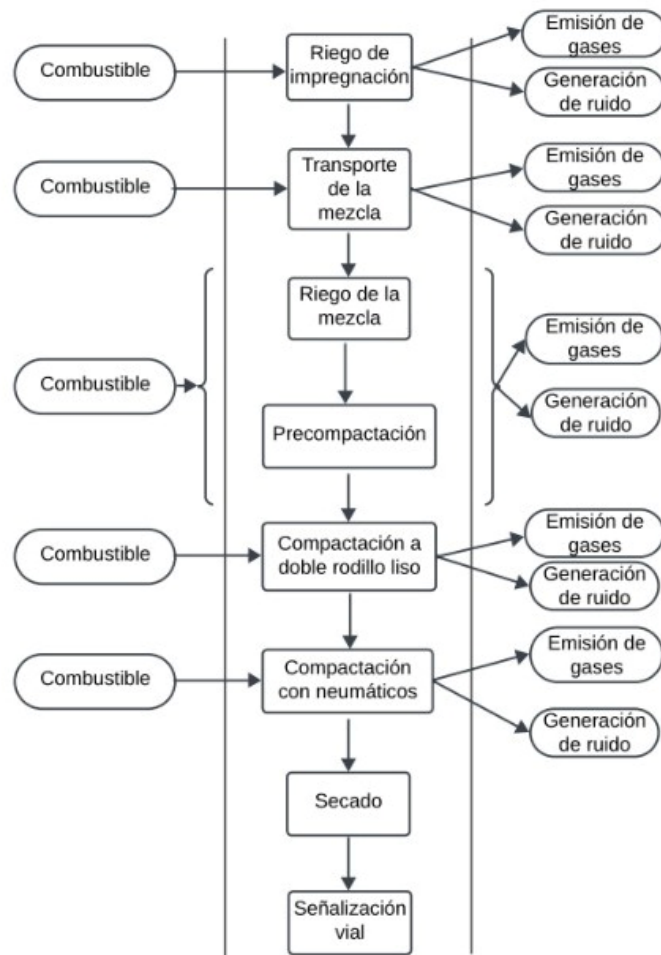
Fuente: Pérez (2024)

La excavación es el primer paso dentro del proceso de preparación del terreno, en esta etapa se utiliza como maquinaria la retroexcavadora; para la nivelación de la subrasante se utiliza un vehículo de rodillo compactador; para colocar la sub-base se usan volquetas para regar el material in situ; posterior se procede a humectar la sub-base con la utilización de un vehículo rociador de agua; seguido de una compactación con el rodillo compactador; se coloca la base con una volqueta; se humecta nuevamente con el vehículo rociador; y la respectiva compactación con el vehículo rodillo, todos estos vehículos funcionan con el uso de combustible que emiten gases y a su vez generan ruido.

4.2.4.2 Pavimento Flexible

La pavimentación con material flexible es la que se la realiza con lo que comúnmente se llama asfalto y para detallar cada etapa del proceso y sus implicaciones ambientales se lo hace de la siguiente manera:

Diagrama 3 Entradas y salidas en Pavimento Flexible



Fuente: Pérez (2024)

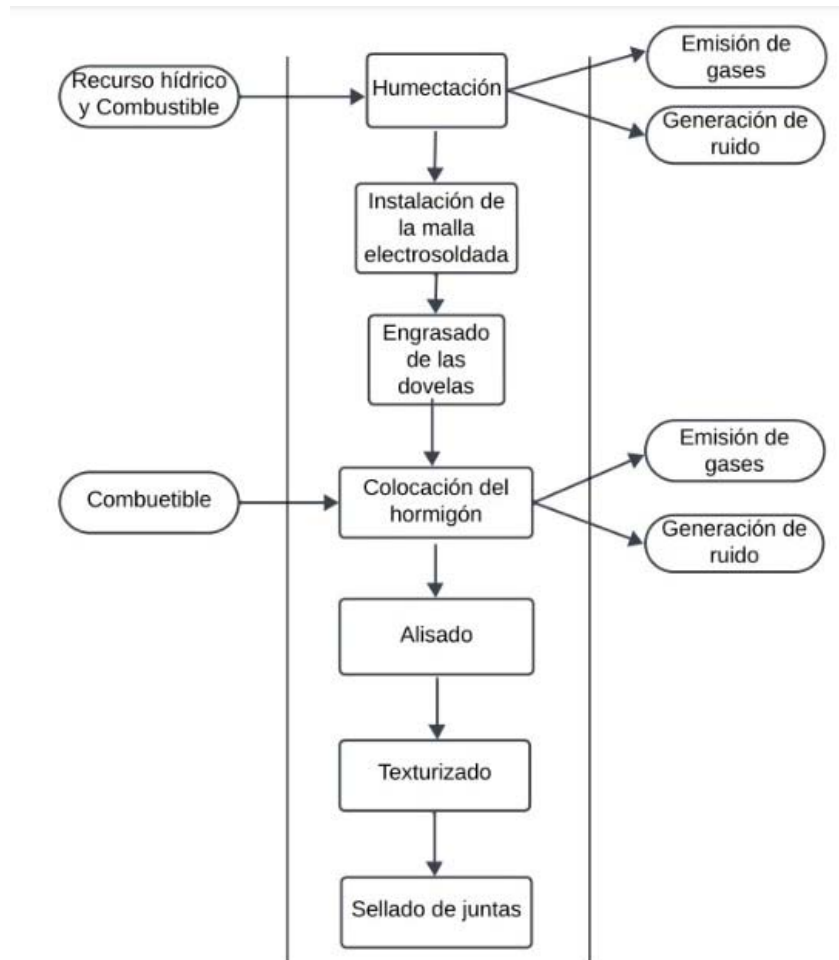
Se da inicio con el riego de impregnación para el cual se utiliza un vehículo petrolizador que coloca la emulsión asfáltica o breá; se transporta el material asfáltico en volquetas; para seguido colocarlo y distribuirlo con un vehículo pavimentador que lo distribuye uniformemente en el tramo trabajado, realizando a su vez una pre - compactación; el proceso continua con una compactación con vehículo doble rodillo liso; se realiza una nueva compactación pero en esta ocasión con un vehículo compactador con neumáticos; finalmente se espera el secado del asfalto para posterior realizar la pintura de señalización

vial en asfalto según especificaciones, estos vehículos utilizados en el procesos funcionan con combustibles mismos que emiten gases al aire y generan ruido.

4.2.4.3 Pavimento Rígido

El pavimento rígido se lo realiza en etapas las cuales utilizan recursos y generan salidas durante el proceso que se las detalla a continuación:

Diagrama 4 Entradas y salidas en Pavimento Rígido



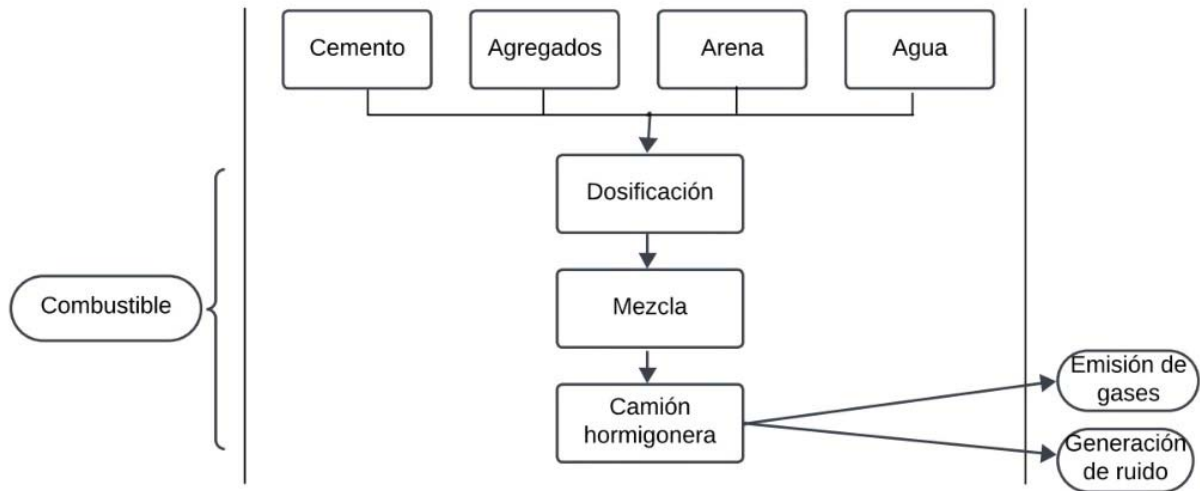
Fuente: Pérez (2024)

Inicialmente se procede a realizar la humectación del terreno donde se va a colocar el pavimento rígido por medio de un vehículo rociador; se coloca la malla electrosoldada; adicional se colocan las dovelas engrasadas; seguido se distribuye el hormigón que fue debidamente transportado en un camión hormigonera, esto se lo efectúa por tramos; se realiza un alisado de este hormigón con herramienta menor, de igual forma el texturizado; en la utilización de vehículos que colaboran en el proceso que funcionan con combustible la

emisión de gases es el factor ambiental que se consideran como salidas, además de la generación de ruido.

Es importante detallar el proceso de elaboración del hormigón utilizado en la pavimentación rígida, pues es el material que predomina en el mismo.

Diagrama 5 Entradas y salidas en Elaboración del Hormigón



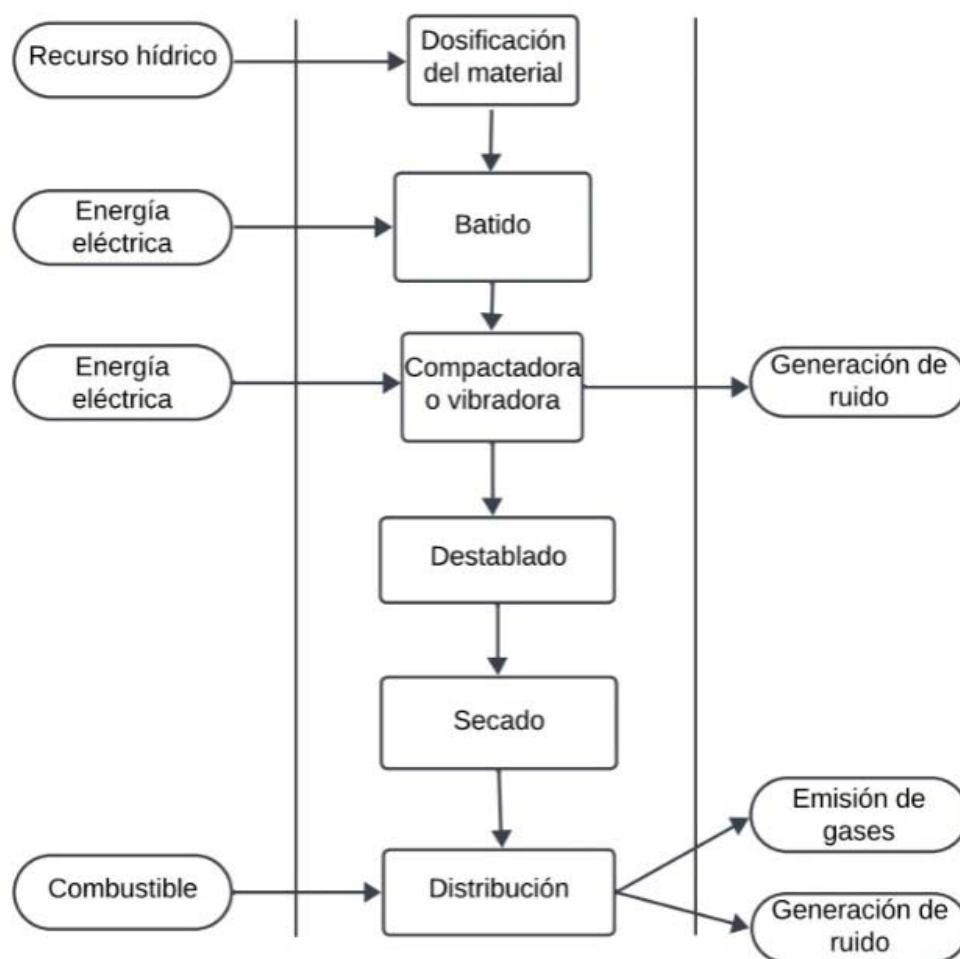
Fuente: Pérez (2024)

Para elaborar el hormigón se requieren los siguientes agregados: cemento, agregados finos, gruesos, arena y agua en dosificaciones específicas según la resistencia que se desea para el proceso en el caso de vías se requiere que sea de 30MPa, estos materiales son trasladados y mezclados en un camión hormigonera, cuyo combustible emite gases como residuo de salida y genera ruido.

4.2.4.4 Pavimento Articulado

Para ampliar el proceso se detalla adelante como se lleva a cabo la fabricación de los adoquines.

Diagrama 6 Entradas y salidas en Fabricación de adoquines

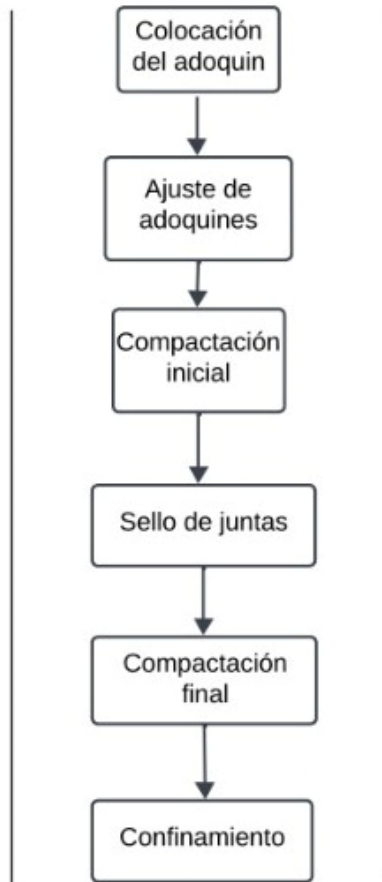


Fuente: Pérez (2024)

La elaboración del adoquín es un proceso en el cual se pueden detallar las siguientes entradas y salidas en cuanto a los recursos, en primer lugar se realiza el dosificado del material para lo que se utiliza agua (recurso hídrico); se procede a un proceso de batido por medio de un equipo eléctrico; a continuación se realiza la compactación el cual también utiliza energía eléctrica; posterior se realiza un destablado manual y el secado de los adoquines, hasta este momento del proceso no genera salidas de recursos o residuos; finalmente se distribuyen los adoquines, en esta etapa se utilizan vehículos de distribución mismos que utilizan combustible y generan ruido y emisiones de gases.

En el proceso de pavimento articulado se puede determinar un análisis de procesos el cual se detalla a continuación:

Diagrama 7 Entradas y salidas en Pavimento Articulado



Fuente: Pérez (2024)

El proceso inicia con la colocación del adoquín; se realiza el ajuste de los mismos; seguido por una compactación inicial la cual se la realiza don arena para el sellado de juntas; se realiza una compactación final y el confinamiento que evitará el desplazamiento de los adoquines, todos estos procesos se los realiza con mano de obra y herramienta menor, no intervienen vehículos ni maquinarias que utilicen combustibles, es decir no existe emisión de gases, ni salida de recursos que afecten al ambiente.

4.3 Identificación de los Indicadores de Impacto Ambiental

Para un Análisis efectivo del ciclo de vida es importante no solo identificar los recursos involucrados y afectados no solo de manera negativa o positiva, sino también los procesos en los que cada uno interviene.

4.3.1 Indicadores de Impacto en Pavimentos Flexibles

Tabla 18 Matriz de Indicadores de Impacto Ambiental del Proceso para Pavimento Flexible

MATRIZ DE INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROCESO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE																
FACTORES AMBIENTALES	ACCIONES DEL PROYECTO		OBTENCIÓN DEL MATERIAL			PRODUCCIÓN				ASENTAMIENTO			PAVIMENTACIÓN		ABANDONO	
			EXCAVACIÓN DE LA ZONA	EXTRACCIÓN DEL MATERIAL	TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA	TRITURACIÓN	PRE HOMOGENIZACIÓN	OBTENCIÓN DEL CLINKER	ENVASADO	REMOCIÓN DEL SUELO	PREPARACIÓN DEL SUELO	ASENTAMIENTO DE EQUIPOS	RIEGO DEL MATERIAL	COMPACTACIÓN	SECADO	LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS
FÍSICO	SUELO	EROSIÓN	X	X	X	X					X	X	X		X	X
	AIRE	CALIDAD	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	AGUA	CONSUMO						X			X	X				
	ENERGÉTICO	CONSUMO				X	X	X	X							
BIOLÓGICO	FLORA	HABITAT	X	X	X	X	X				X					
	FAUNA	HABITAT	X	X	X	X	X	X			X					
SOCIOECONÓMICO	POBLACIÓN	MIGRACIÓN	X								X					
	ECONOMÍA	EMPLEO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X

Fuente: Pérez (2024)

En el proceso constructivo de un pavimento flexible existen diferentes etapas que se deben cumplir cada una de ellas genera un impacto en los diferentes recursos intervinientes, esta afectación puede ser negativa o positiva como es el caso de la generación de empleo que en el área socioeconómica aporta a su crecimiento.

4.3.2 Indicadores de Impacto en Pavimentos Rígidos

Tabla 19 Matriz de Indicadores de Impactos Ambientales del Proceso para Pavimento Rígido

MATRIZ DE INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROCESO PARA PAVIMENTO RÍGIDO																		
FACTORES AMBIENTALES	ACCIONES DEL PROYECTO		OBTENCIÓN DEL MATERIAL			PRODUCCIÓN				ASENTAMIENTO			PAVIMENTACIÓN				ABANDONO	
			EXCAVACIÓN DE LA ZONA	EXTRACCIÓN DEL MATERIAL	TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA	TRITURACIÓN	PRE HOMOGENIZACIÓN	OBTENCIÓN DEL CLINKER	ENVASADO	REMOCIÓN DEL SUELO	PREPARACIÓN DEL SUELO	ASENTAMIENTO DE EQUIPOS	HUMECTACIÓN	INSTALACIÓN	COLOCACIÓN DEL HORVIGÓN	ALISADO	TEXTURIZADO	SELLADO DE JUNTAS
FÍSICO	SUELO	EROSIÓN	X	X	X	X				X	X	X	X				X	X
	AIRE	CALIDAD	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X
	AGUA	CONSUMO						X		X	X			X				
	ENERGÉTICO	CONSUMO				X	X	X	X									
BIOLÓGICO	FLORA	HABITAT	X	X	X	X	X			X								
	FAUNA	HABITAT	X	X	X	X	X	X		X								
SOCIOECONÓMICO	POBLACIÓN	MIGRACIÓN	X							X								
	ECONOMÍA	EMPLEO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Pérez (2024)

Los procesos que son parte de la construcción de un pavimento rígido conllevan impactos en los recursos, estos recursos pueden ser afectados de manera positiva o negativa en el cumplimiento de estas actividades; es por ellos que identificar estos impactos es importante para un buen análisis de ciclo de vida.

4.3.3 Indicador de Impactos en Pavimentos Articulado

Tabla 20 Matriz de Indicadores de Impactos Ambientales del Proceso para Pavimento Articulado

FACTORES AMBIENTALES		ACCIONES DEL PROYECTO	OBTENCION DEL MATERIAL			ASENTAMIENTO			FABRICACIÓN			PAVIMENTACIÓN			ABANDONO	
			EXCAVACIÓN DE LA ZONA	EXTRACCIÓN DEL MATERIAL	TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA	REMOCIÓN DEL SUELO	PREPARACIÓN DEL SUELO	ASENTAMIENTO DE EQUIPOS	DOSEIFICACIÓN	BATIDO Y COMPACTACIÓN	SECADO	DISTRIBUCIÓN	COLOCACIÓN Y AJUSTE DEL ADOQUIN	COMPACTACIÓN	SELLO DE JUNTAS	COMPACTACIÓN FINAL
FÍSICO	SUELO	EROSIÓN	X	X	X	X	X	X			X		X		X	
	AIRE	CALIDAD	X	X	X	X	X	X				X				X
	AGUA	CONSUMO					X	X		X						
	ENERGÉTICO	CONSUMO							X	X						
BIOLÓGICO	FLORA	HABITAT	X	X	X	X										
	FAUNA	HABITAT	X	X	X	X										
SOCIOECONÓMICO	POBLACIÓN	MIGRACIÓN	X			X										
	ECONOMÍA	EMPLEO	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X

Fuente: Pérez (2024)

Durante la ejecución de un proyecto de pavimento articulado existen varias etapas y procesos que se llevan a cabo por parte de los profesionales a cargo, las actividades que se realizan provocan inevitablemente impactos en los recursos, dichos impactos son evaluados como negativos o positivos según sea el caso y esta valoración permite una valoración más objetiva del análisis de ciclo de vida.

4.3.4 Identificación de los Impactos Ambientales

Tabla 21 Identificación de los Impactos Ambientales

FASE	ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIO AFECTADO
OBTENCION DEL MATERIAL	Excavación de la Zona	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido • Afectación al recurso suelo y aire • Afectación a la flora y 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Biológico • Socioeconómico

		fauna de la zona <ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	
	Extracción del Material	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido • Afectación al recurso suelo y aire • Afectación a la flora y fauna de la zona • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Biológico • Socioeconómico
	Transporte de Materia Prima	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido • Afectación al recurso suelo y aire • Afectación a la flora y fauna de la zona • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Biológico • Socioeconómico
ASENTAMIENTO	Remoción del Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido por maquinaria pesada • Emisión de gases por maquinaria • Migración de la población • Remoción de flora y fauna de la zona • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Biológico • Socioeconómico
	Preparación del Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido por maquinaria pesada 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico

		<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases por maquinaria • Generación de empleo • Consumo del recurso hídrico 	
	Asentamiento de Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido por maquinaria pesada • Emisión de gases por maquinaria • Generación de empleo • Consumo del recurso hídrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico
PAVIMENTO FLEXIBLE	Riego del Material	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido por maquinaria pesada • Afectación al suelo • Emisión de gases por maquinaria • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico
	Compactación	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido por maquinaria pesada • Afectación al suelo • Emisión de gases por maquinaria • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico
	Secado	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido por maquinaria pesada 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico

		<ul style="list-style-type: none"> • Afectación al suelo • Emisión de gases por maquinaria 	
PAVIMENTO RÍGIDO	Humectación	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación al suelo • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico
	Instalación	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Socioeconómico
	Colocación del Hormigón	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido por maquinaria pesada • Consumo del recurso hídrico • Emisión de gases por maquinaria • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico
	Alisado	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Socioeconómico
	Texturizado	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Socioeconómico
	Sellado de Juntas	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Socioeconómico
PAVIMENTO ARTICULADO	Dosificación	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico
	Batido y Compactación	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo energético • Consumo del recurso hídrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico
	Secado	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación al suelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico
	Distribución	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de gases por maquinaria • Generación de ruido por maquinaria pesada • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico

	Colocación y Ajuste del Adoquín	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Socioeconómico
	Compactación	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Socioeconómico
	Sello de Juntas	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Socioeconómico
	Compactación Final	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Socioeconómico
ABANDONO	Levantamiento de Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Afectación a la calidad del aire • Generación de empleo 	<ul style="list-style-type: none"> • Físico • Socioeconómico

Fuente: Pérez (2024)

4.4 Valoración de impactos ambientales

Con toda la información obtenida durante el análisis de ciclo de vida (ACV) se pueden definir los procesos y factores ambientales que intervienen en el cada tipo de pavimentación tanto flexible, rígido o articulado.

La matriz de Leopold nos ayudará en el presente proyecto de investigación a cuantificar la afectación ambiental que se producen en el proceso de pavimentación, la finalidad es, poder comparar los valores y clasificar a los pavimentos desde el más contaminante hasta el menos contaminante y así llegar a una valoración que permita técnicamente determinar cuál de estos es el más amigable con el ambiente en este tipo de procesos constructivos.

4.4.1 Pavimentos flexibles

Tabla 22 Matriz de Leopold Evaluación del proceso para Pavimento Flexible

FACTORES AMBIENTALES		ACCIONES DEL PROYECTO		MATRIZ DE LEOPOLD - EVALUACIÓN DEL PROCESO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE																PROMEDIOS POSITIVOS	PROMEDIOS NEGATIVOS	IMPACTO SUBCOMPONENTE	IMPACTO POR COMPONENTE	IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO
				OBTENCIÓN DEL MATERIAL				PRODUCCIÓN				ASENTAMIENTO			PAVIMENTACIÓN			ABANDONO						
				EXCAVACIÓN DE LA ZONA	EXTRACCIÓN DEL MATERIAL	TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA	TRITURACIÓN	PRE HOMOGENIZACIÓN	OBTENCIÓN DEL CLINKER	ENVASADO	REMOCIÓN DEL SUELO	PREPARACIÓN DEL SUELO	ASENTAMIENTO DE EQUIPOS	RIEGO DEL MATERIAL	COMPACTACIÓN	SECADO	LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS							
FÍSICO	SUELO	EROSIÓN	-5 3	-8 3	-3 3	-2 4				-8 6	-6 3	-1 1		-1 1	-1 2	-1 2	0	9	-128	-473	-492			
	AIRE	CALIDAD	-5 3	-8 5	-5 5	-2 4	-5 3	-6 3	-5 3	-2 5	-2 5	-1 2	-5 5	-5 5	-1 1	-5 2	0	10	-219					
	AGUA	CONSUMO				-6 3	-6 3	-9 3	-5 3		-4 1	-4 1					0	2	-48					
	ENERGÉTICO	CONSUMO															0	0	-78					
BIOLÓGICO	FLORA	HABITAT	-5 3	-5 5	-1 1	-6 3	-6 3			-5 3							0	4	-92	-133				
	FAUNA	HABITAT	-5 3	-5 3	-1 1	-1 3	-1 3			-1 1							0	4	-41					
SOCIOECONÓMICO	POBLACIÓN	MIGRACIÓN	-2 2							-1 1							0	2	-5	114				
	ECONOMÍA	EMPLEO	3 1	3 1	5 1	5 3	5 3	5 3	5 3	5 1	5 1	5 1	5 3	5 3	3 1	3 1	9	0	119					
PROMEDIO POSITIVO			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2								
PROMEDIO NEGATIVO			5	4	4	5	4	4	2	5	3	3	1	2	1	1								
PROMEDIO ARITMETICO			-61	-101	-31	-40	-39	-73	-15	-70	-27	-2	-10	-11	-3	-9					-492			

Fuente: Pérez (2024)

4.4.2 Pavimentos rígidos

Tabla 23 Matriz de Leopold Evaluación del proceso para Pavimento Rígido

FACTORES AMBIENTALES		ACCIONES DEL PROYECTO		MATRIZ DE LEOPOLD - EVALUACIÓN DEL PROCESO PARA PAVIMENTO RÍGIDO																						
				OBTENCIÓN DEL MATERIAL			PRODUCCIÓN			ASENTAMIENTO			PAVIMENTACIÓN					ABANDONO		PROMEDIOS POSITIVOS	PROMEDIOS NEGATIVOS	IMPACTO SUBCOMPONENTE	IMPACTO POR COMPONENTE	IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO		
				EXCAVACIÓN DE LA ZONA	EXTRACCIÓN DEL MATERIAL	TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA	TRITURACIÓN	PRE HOMOGENIZACIÓN	OBTENCIÓN DEL CLINKER	ENVASADO	REMOCIÓN DEL SUELO	PREPARACIÓN DEL SUELO	ASENTAMIENTO DE EQUIPOS	HUMECTACIÓN	INSTALACIÓN	COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN	ALISADO	TEXTURIZADO	SELLADO DE JUNTAS						LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS	
FÍSICO	SUELO	EROSIÓN	-5	-8	-3	-2	4				-8	-6	-1	-1				-1	-1	2	0	9	-127	-443	-468	
	AIRE	CALIDAD	-5	-8	-5	-2	-5	-6	-5	-2	-2	-1						-5		2	0	8	-183			
	AGUA	CONSUMO																				0	4			-55
	ENERGÉTICO	CONSUMO																				0	0			-78
BIOLOGICO	FLORA	HABITAT	-5	-5	-1	-6	-6	-6	-9	-5												0	4	-92		
	FAUNA	HABITAT	-5	-5	-1	-1	-1	-1	-1													0	4	-41		
SOCIOECONOMICO	POBLACIÓN	MIGRACIÓN	-2																			0	2	-5		
	ECONOMÍA	EMPLEO	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	3	3					108		
PROMEDIO POSITIVO			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2								
PROMEDIO NEGATIVO			5	4	4	5	4	4	2	5	3	3	2	0	2	0	0	1	1							
PROMEDIO ARITMETICO			-61	-101	-31	-40	-39	-73	-15	-70	-27	-2	-2	5	-15	5	5	2	-9							

Fuente: Pérez (2024)

4.4.3 Pavimentos articulados

Tabla 24 Matriz de Leopold Evaluación del proceso para Pavimento Articulado

FACTORES AMBIENTALES			MATRIZ DE LEOPOLD - EVALUACIÓN DEL PROCESO PARA PAVIMENTO ARTICULADO															PROMEDIOS POSITIVOS	PROMEDIOS NEGATIVOS	IMPACTO SUBCOMPONENTE	IMPACTO POR COMPONENTE	IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO	
			ACCIONES DEL PROYECTO			OBTENCIÓN DEL MATERIAL			ASENTAMIENTO			FABRICACIÓN			PAVIMENTACIÓN								ABANDONO
			EXCAVACIÓN DE LA ZONA	EXTRACCIÓN DEL MATERIAL	TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA	REMOCIÓN DEL SUELO	PREPARACIÓN DEL SUELO	ASENTAMIENTO DE EQUIPOS	DOSIFICACIÓN	BATIDO Y COMPACTACIÓN	SECADO	DISTRIBUCIÓN	COLOCACIÓN Y AJUSTE DEL ADOQUIN	COMPACTACIÓN	SELLO DE JUNTAS	COMPACTACIÓN FINAL	LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS						
FÍSICO	SUELO	EROSIÓN	-5 3	-8 3	-3 3	-8 6	-6 3	-1 1			-2 1				-1 1	-1 1		0	9	-119	-285	-328	
	AIRE	CALIDAD	-5 3	-8 5	-5 5	-2 5	-2 5	-1 2				-5 3					-3 1	0	8	-120			
	AGUA	CONSUMO						-4 1	-4 1		-5 3							0	3	-23			
	ENERGÉTICO	CONSUMO								-4 2	-5 3							0	2	-23			
BIOLÓGICO	FLORA	HABITAT	-5 3	-5 5	-1 1	-5 3												0	4	-56	-88		
	FAUNA	HABITAT	-5 3	-5 3	-1 1	-1 1												0	4	-32			
SOCIOECON	POBLACIÓN	MIGRACIÓN	-2 2			-1 1												0	2	-5	45		
	ECONOMÍA	EMPLEO	3 1	3 1	5 1	5 1	5 1	5 1	2 1	2 1		2 1	5 2	3 1	3 1	3 1	1 1	13	0	50			
PROMEDIO POSITIVO			1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1						
PROMEDIO NEGATIVO			5	4	4	5	3	3	1	2	1	1	0	1	1	1	1						
PROMEDIO ARITMETICO			-61	-101	-31	-70	-27	-2	-6	-30	-2	-13	10	2	3	2	-2					-328	

Fuente: Pérez (2024)

En el pavimento flexible se puede observar que el recurso más afectado es el suelo y el aire en los procesos de obtención de material y asentamiento, es importante mencionar el impacto positivo que este tipo de trabajos genera en la población en el ámbito económico, social y de movilidad.

El valor que se obtiene en la valoración de impactos con respecto a pavimentos flexibles en la matriz de Leopold es de -492.

El análisis del pavimento rígido arroja como resultado que el recurso más afectado es el aire seguido del suelo, esto se debe a todas las emisiones de gases y remoción de suelos que generan las máquinas tanto en los procesos de obtención de material como de asentamiento, es menester indicar que el impacto positivo de estos trabajos genera una gran aceptación en la población gracias a las repercusiones en el ámbito económico, de movilidad y social.

La valoración de impactos que se obtiene utilizando como herramienta la matriz de Leopold indica un valor de -468.

Durante la evaluación del pavimento articulado se ha podido determinar que el recurso más afectado es el aire y el suelo; esto provocado por las emisiones de gases y remoción de suelo que generan y realizan las máquinas durante la obtención de material y el respectivo asentamiento, un recurso nuevo que se toma en cuenta en este tipo de pavimentación es el consumo energético, ya que los adoquines se los realiza en fábrica y son transportados posteriormente al sitio donde se vaya a realizar la obra, es de gran interés para la población la realización de estos proyectos por el desarrollo que brinda a los diferentes sectores y el impacto positivo que aporta en el ámbito social, económico y de movilidad.

Con respecto a la valoración de impactos que se la realizó por medio de la matriz de Leopold se obtuvo un valor de -328

Como se puede observar, si se comparan las tres valoraciones existe una diferencia entre los valores resultantes del análisis de ciclo de vida de los pavimentos flexibles, rígidos y articulados con valores que van de -492, -468 y -328 respectivamente, de esta manera se llega a la conclusión que el pavimento que genera mayor contaminación es el pavimento flexible con -492, seguido del pavimento rígido con un valor de -468 y finalmente el pavimento articulado con valores de -328 de impacto.

4.5 Cuantificación de las Emisiones en los Proceso de Pavimentación Flexible, Rígido y Articulado

Las emisiones generadas por los vehículos que intervienen en los procesos constructivos de pavimentación, tanto en pavimento flexible, rígido y articulado con su respectiva preparación de terreno reflejan resultados que de alguna manera ayudan a considerar y tomar acciones y decisiones para minimizar las afectaciones que se generarían con su utilización.

4.5.1 Emisión de Gases en los Proceso de Pavimentación Flexible, Rígido y Articulado

Las emisiones generadas en el proceso de pavimentación está dada por el uso de vehículos de carga pesada, estos en su funcionamiento emiten diversos gases como óxido de nitrógeno (Nox) sus valores oscilan entre 5 y 15 gr/km; las emisiones de monóxido de carbono CO varían entre 3 y 7 gr/lit de combustible; el dióxido de carbono (CO₂) va en un rango de 2 a 5 kg/lit de combustible consumido; en cuanto a partículas en suspensión (PM) estas pueden variar dependiendo del tipo de motor con el que trabajen, los motores a diésel de mayor antigüedad generan mayores emisiones de partículas en suspensión a diferencia de los motores a diésel más recientes que son equipados con sistemas de filtración de partículas, estos valores típicos de emisiones de PM pueden oscilar entre 0.1 y 0.5 gr/ km. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002, P. 6)

4.5.2 Emisión de Ruido en los Proceso de Pavimentación Flexible, Rígido y Articulado

Las etapas principales en la construcción de un pavimento mostradas en la Tabla 6, están limitadas a una jornada laboral de 8 horas de trabajo diario. Se observa que los niveles de presión sonora en promedio van de un valor mínimo de 65.15 dBA en la etapa de elaboración de mezcla de concreto en planta hasta un máximo de 89.12 dBA en la etapa de corte de concreto en pavimento; en cuanto al nivel de exposición al ruido ponderado se maneja un nivel de exposición mínimo de 71.99 dBA en la etapa de pintado en pavimento hasta un nivel de exposición máximo de 87.88 dBA en la etapa de corte de concreto en pavimento, esto supera los niveles máximos permisibles que son de 85 dBA. (Huaquisto & Chambilla, 2021)

4.6 Discusión

Archila & Aparicio (2018) se refiere a aspectos ambientales en la etapa de pavimentación en la construcción de vías a todos los insumos que ingresan al sistema en

evaluación. Todo lo que se consume o utiliza afecta principalmente la generación de salidas, por lo que es necesario considerar no solo los materiales empleados en el proceso, sino también la demanda de recursos naturales y el uso de maquinaria. (p. 30)

En el mismo contexto Hernández et al. (2001) en su investigación titulada Impacto Ambiental de Proyectos Carreteros efectos por la construcción y conservación de superficies de rodamiento manifiestan la importancia de conocer las leyes, reglamentos y normas aplicables a los estudios de impacto ambiental, especialmente cuando se reconoce que el deterioro ambiental a menudo se debe a deficiencias en la aplicación de los controles normativos, que son incompletos y, en ocasiones, ineficaces, dadas las condiciones reales del país. (p. 47)

De la misma manera empresas como SIKA (2024) comprometida con la protección ambiental y cumplimiento de normativas legales ha emitido el artículo Pavimentos Soluciones Sostenibles más valor, menor impacto, donde observa la importancia de la implementación de ACV ya que propone el Análisis de Ciclo de Vida como un método estandarizado que permite evaluar y comparar las entradas, salidas y posibles impactos ambientales de productos y servicios a lo largo de su ciclo de vida. Cada vez más, los ACV son reconocidos como la mejor herramienta para evaluar la sostenibilidad de productos y sistemas. (p. 4)

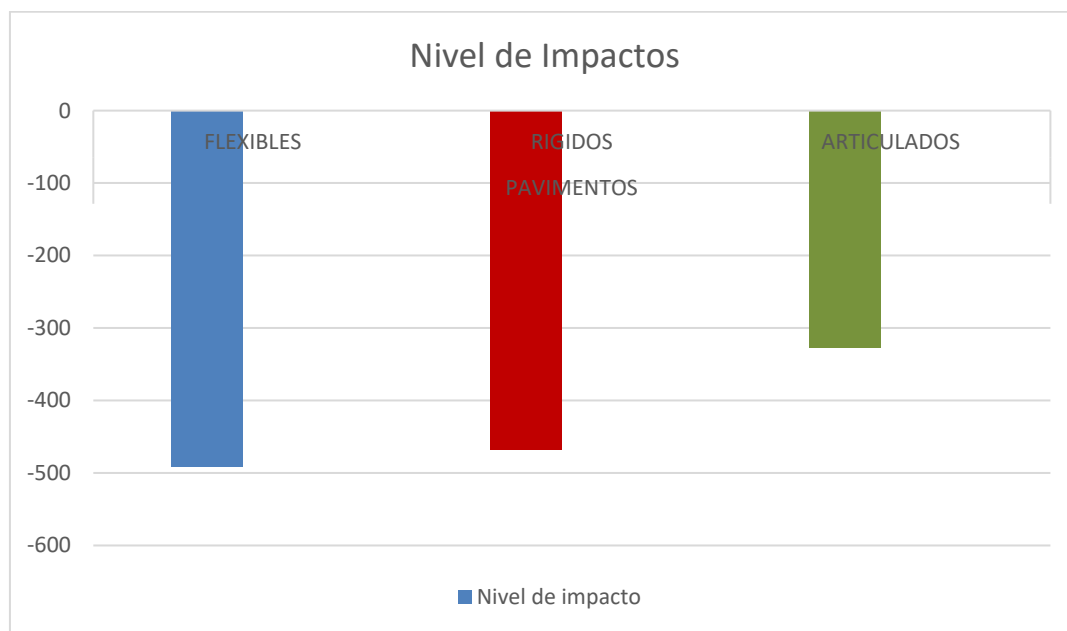
Para efectos de determinar la mejor opción en cuanto a sostenibilidad ambiental hay que evaluar los impactos ambientales que genera cada tipo de proceso de pavimentación, tanto flexible, rígido o articulado y considerar la duración en el tiempo de los mismos para así dar un criterio técnico sostenible basado en la mitigación de efectos adversos con respecto a la obra a realizar.

Tabla 25 Comparación de Impactos en los diferentes tipos de pavimento

	PAVIMENTOS		
	FLEXIBLES	RIGIDOS	ARTICULADOS
Nivel de impacto	-492	-468	-328

Fuente: Pérez (2024)

Gráfico 1 Nivel de Impactos Ambientales en Pavimento Flexible, Rígido y Articulado



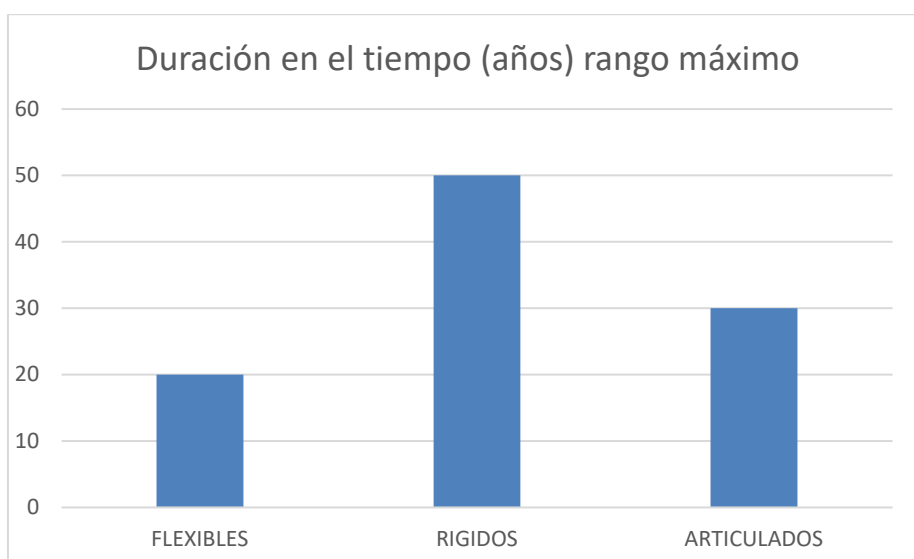
Fuente: Pérez (2024)

Tabla 26 Duración den el Tiempo de los Pavimentos Flexible, Rígido y Articulado

	PAVIMENTOS		
	FLEXIBLES	RIGIDOS	ARTICULADOS
Duración en el tiempo (años) rango máximo	20	50	30

Fuente: Pérez (2024)

Gráfico 2 Duración den el Tiempo de los Pavimentos Flexible, Rígido y Articulado



Fuente: Pérez (2024)

Los procesos de pavimentación generan una serie de impactos físicos, biológicos y socioeconómicos que se miden en rangos que según el criterio técnico profesional se evalúan con valores que dan una media ponderada a cada uno, lo cual se lo puede encontrar en el Capítulo IV, apartado 4.4 Valoración de Impactos y de los cuales se desprende la presente información objeto de discusión.

El pavimento flexible se mide con un impacto de -492 con una duración de obra de 15 a 30 años.

El proceso que se requiere para culminar con la pavimentación rígida arroja un impacto de -468 y una duración de 30 a 50 años de la obra descrita.

En cambio, en el proceso de pavimentación con el sistema articulado se puede evidenciar un -328 de impactos y una duración del proyecto de 20 a 30 años.

Con este análisis comparativo se puede formular la teoría de que, el uso de pavimentos articulados brinda una generación de impactos menor en relación a los otros procesos además de dar una buena duración del proyecto con respecto a su vida útil.

Es importante mencionar que este estudio se lo hace en relación a obras de pavimentación en la Zona 3, y que sirve como referencia para diferentes investigaciones o estudios de otras zonas, siempre tomando en cuenta las distancias donde se requeriría implementarlo y evaluar los kilómetros, tiempos y recursos que generaría específicamente según los procesos.

Esto no quiere decir que no sea factible la ejecución de proyectos como el pavimento flexible o rígidos; ya que en todos los procesos se pueden realizar acciones que ayuden a mitigar o minimizar efectos negativos en materia ambiental.

Como por ejemplo para el recurso suelo se podrían plantear las siguientes acciones:

- ✓ Considerar la ejecución de un plan de reforestación después de concluir todas las operaciones en la zona de extracción de material pétreo.
- ✓ Establecer iniciativas de reciclaje con el objetivo de reducir la necesidad de extraer nuevos materiales.

Se puede a su vez recomendar para mitigar posibles impactos ambientales en el recurso hídrico las siguientes:

- ✓ Utilizar aguas tratadas para minimizar el consumo del recurso hídrico.

- ✓ Implementar un sistema de recirculación para reutilizar el agua tratada nuevamente a la planta de adoquines.

Como posibles soluciones se plantean para el recurso aire:

- ✓ Utilizar herramientas manuales que sustituyan a la maquinaria dentro de lo que sea posible para minimizar las emisiones de gases y reducir el ruido que los mismos producen.
- ✓ Colocar filtros de carbón activado en los vehículos usados en el proceso de pavimentación para minimizar la emisión de gases hacia la atmósfera.

Para el recurso energético

- ✓ Se propone la adopción de energías renovables como una medida para reducir el impacto ambiental causado por el consumo de energía. Se requiere realizar un estudio técnico adicional para identificar las potenciales fuentes de energía alternativa viables para cada proyecto.

La presente investigación busca dar un soporte tanto a las entidades públicas como privadas y a cualquier persona o profesional en cuanto a soluciones y alternativas sobre mejores prácticas sostenibles dentro de procesos de pavimentación con el único objetivo de llegar a neutralizar la huella de carbono en este tipo de ejecuciones, que como es de conocimiento, en la actualidad busca llevar de la mano las prácticas convencionales en temas de construcción con la parte ambiental para vislumbrar un mañana más responsable para con las futuras generaciones.

Esta metodología se la puede llevar a la práctica en cualquier tipo de actividad y así disminuir la huella de carbono que se genera en la actualidad y que afecta al ambiente y a la salud y que hoy en día es de vital importancia considerarla, al punto de ser normada en la Constitución del Ecuador buscando delimitar derechos y obligaciones de los ciudadanos para con la naturaleza.

5. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones:

- ✓ La presente investigación siguiendo los parámetros que se mencionan en las metodologías utilizadas ha obtenido un resultado de impactos ambientales tanto para los pavimentos flexible, rígido y articulado con valores de -492, -468 y -328 respectivamente, con esta información se puede decir que los impactos ambientales que generan dichos pavimentos son relativamente moderados; sin embargo siempre se puede reducir el impacto que se genera al ambiente, por eso se proponen alternativas sostenibles para mejorar este tipo de procesos de construcción en el área de protección ambiental.
- ✓ El análisis de ciclo de vida de cada tipo de pavimento es fundamental para comprender sus impactos ambientales y tomar decisiones informadas, técnicamente sustentadas sobre la selección y diseño en futuros proyectos de pavimentación.
- ✓ La colocación de cualquier tipo de pavimento en zonas urbanas en la capa de rodadura en la Zona 3, da como resultado la identificación de variables que se consideran para una mejor medición de impactos y establecer la opción más óptima a ser implementada.
- ✓ La investigación destaca la importancia de considerar soluciones que minimicen el impacto ambiental de las obras civiles como lo es la pavimentación y las que más relevancia tendrían son la implementación de energías alternativas, programas de reforestación y prácticas de reciclaje que en conjunto van a sumar pequeñas acciones que resulten en que el proceso de pavimentación sea una práctica mucho más amigable con el ambiente.

5.2 Recomendaciones:

- ✓ Realizar análisis de ciclo de vida detallados para cada proyecto de pavimentación, considerando factores como el transporte de materiales, el consumo de energía y la generación de residuos, para identificar oportunidades de mejora en términos de sostenibilidad ambiental.
- ✓ Priorizar la selección de pavimentos que minimicen el uso de recursos naturales y reduzcan el impacto ambiental en todas las etapas de su ciclo de vida, incluyendo su fabricación, transporte e instalación.

- ✓ Implementar medidas de mitigación ambiental durante la construcción y mantenimiento de pavimentos, como la reforestación de áreas afectadas y programas de reciclaje para reducir la extracción de nuevos materiales y la generación de residuos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2020). *Normas resistentes al clima para el diseño, la construcción y el mantenimiento de carreteras*. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/climate-proofed-standards-for-road-design-construction-and-maintenance>
- Archila, A., & Aparicio, M. (2018). Impactos ambientales derivados del proceso de pavimentación de vías de transporte en Colombia. *Universidad Nacional Abierta y/a Distancia*, 69.
- Arena, A., Correa, E., & DelaRosa, C. (2001). *Estudio de las implicancias ambientales relacionadas con la construcción y uso de distintos pavimentos utilizados en calles residenciales de la ciudad de Mendoza*. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79662>
- Argilaga, T. (2011). La Investigación Cualitativa. *Educación*, 10, 23–50.
- Babativa, C. (2017). *Investigación cuantitativa*.
- Baena, G. (2014). Metodología de la investigación. En *Pearson* (Vol. 4). https://www.academia.edu/44228601/Metodologia_De_La_Investigacion_Bernal_4ta_edicion
- Bórquez, D., & Ramis, F. (2017). *Cálculo Del Consumo De Combustible Y Emisiones De Co2 De Camiones Mineros, Mediante Simulación Discreta Fuel Consumption and Co2 Emissions Measurement of Mining Trucks, Using Discrete Simulation*. 151–168. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2017.10>
- Centro Universitario Interamericano. (2016). *Investigación Correlacional Diseño de Investigación : Diferencias entre explicativo , descriptivo y correlacional*. 1–4.
- Cuervo, S. C. (2018). *Análisis De La Influencia De Su Selección Al Hacer Ciudad Pavimentos*. 69. http://oa.upm.es/50279/1/TFG_Cuervo_Cuervo_Sonia.pdf
- Díaz, I., Larrea, K., & Barros, J. (2023). El sector de la construcción en la economía ecuatoriana, importancia y perspectivas. *Ciencias Sociales y Económicas*, 6(2), 58–69. <https://doi.org/10.18779/csye.v6i2.598>
- Dzul, M. (2017). *Diseño No - Experimental*.
- Eurostat. (2016). *Economy Wide Material Flow Accounts*. 2016.
- Ferreira, A., Santos, J., & Flintsch, G. (2014). *Un modelo de evaluación del ciclo de vida para la gestión de pavimentos: metodología y marco computacional*.
- Fraguell, R. M., Martí, C., & Pintó, J. (2017). *Las certificaciones ambientales como sistemas de gestión de los usos recreativos en las playas*. 15–29.

- García, I. (2019). Investigación exploratoria, descriptiva, explicativa y correlacional. *Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma del Estado de México*, 32. http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108148/secme-1623_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Giordane, C., & Leone, D. (2010). Pavimento. *Universidad Tecnológica Nacional, I(encofrado)*, 1–6. https://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC-I-Pavimentos.pdf
- Gobierno de España, Ministerio de Trabajo, M. y S. S. (2010). *Base de datos de sustancias tóxicas y peligrosas RISCTOX*. <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=620>
- Gómez, P. (2018). “Análisis De Ciclo De Vida De Los Pavimentos Urbanos En Arequipa Aplicando La Metodología Iso 14040”. 1–94.
- Gómez, P. A. T. (2018). “Análisis De Ciclo De Vida De Los Pavimentos Urbanos En Arequipa Aplicando La Metodología Iso 14040”. 1–94. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8469>
- Hernández, J., Sánchez, V., Castillo, I., Damián, S., & Téllez, R. (2001). *CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO: I PAVIMENTOS FLEXIBLES*. 163.
- Huaquisto, S., & Chambilla, I. (2021). *ESTUDIO DEL RUIDO GENERADO POR LA MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312021000100007
- Inés, A., & Ordóñez, G. (2018). *Las certificaciones ambientales ecuatorianas en la competitividad de las empresas Ecuatorian environmental certifications in the competitiveness of companies*. 3(10), 55–67.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). *NORMA TECNICA: GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL. Primera. 2002*.
- Játiva, F. W. (2014). *Desarrollo De Hormigones Permeables Enfocado Al Diseño De Mezclas, Construcción De Obras Y a La Protección Ambiental, Basado En Las Normas Aci, Astm E Inen*. 125.
- Leiva, E. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida*. 43. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2207.3689>
- León, S., & Segura, P. (2022). *RECURSOS NATURALES COMO FACTORES DE*

RENDIMIENTO EN CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS AMBIENTALES PARA VIVIENDAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN.


- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2013). *Clasificación de carreteras*.
- MITECO. (2016). *Fabricación de cemento (proceso de descarbonatación)*. 1–8.
- Miyara, F. (2001). *Acústica integral: El sonido, la música y el ruido*. 1–5.
<https://www.acusticaintegral.com/es/1-el-sonido-y-el-ruido/#None>
- Online Browsing Platform (OBP). (2006). *ISO 14040:2006(es) Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- Online Browsing Platform (OBP). (2006). *ISO 14040, 2006*.
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- Romero Gil. (2019). *Efectos ambientales en la fase de construcción*. 1–10.
<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/118400/Romero - Efectos ambientales en fase de construcción.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, X. (2003). *Diseño de Pavimentos Articulados para tráfico medio y alto*. 1116/MENKE(4), 1–22. <https://www.jstor.org/stable/40971965> REFERENCES
- Secretaría Nacional de Planificación. (2023). *Agencia de Coordinación Zonal 3*.
<https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/09/AgendaZ3.pdf>
- SIKA. (2024). *PAVIMENTOS SOLUCIONES SOSTENIBLES MAS VALOR MENOR IMPACTO*. 1–24.
- Torrado, M., & Reguant, M. (2016). El Método Delphi. *REIRE Revista de Innovación e Investigación en Educación*, 9(9 (1)), 0–2. <https://doi.org/10.1344/reire2016.9.1916>
- Universidad de Guanajuato. (2024). *Buenas Prácticas Ambientales*.
<https://www3.ugto.mx/ugsustentable/buenas-practicas-ambientales#:~:text=Son un conjunto de acciones,cotidianas en el medio ambiente.>
- Vargas, Z. (2009). *LA INVESTIGACIÓN APLICADA: UNA FORMA DE CONOCER LAS REALIDADES CON EVIDENCIA CIENTÍFICA*.
- Villacís, W. (2014). *Manual Práctico de Optimización Para la Revisión de Estudio de Diseño de Pavimentos*. 132. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2220>
- Zarta, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, 1(1), 411–423.

ANEXOS



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE POSGRADOS**



El presente documento expresa lo resultante del trabajo de investigación "ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) DE PAVIMENTOS URBANOS EN LA ZONA DE PLANIFICACIÓN 3 DEL ECUADOR", dando cumplimiento al tercer objetivo específico que establece "Evaluar los impactos obtenidos de los pavimentos urbanos, para determinar cuál es la mejor opción desde una perspectiva ambiental, sostenible y huella de carbono neutro". El texto menciona el uso de la metodología DELPHI para validar soluciones propuestas por expertos en los procesos para pavimentos flexibles, rígidos y articulados. Destaca que este proceso conlleva una serie de actividades que pueden afectar los ecosistemas, como la extracción de materias primas, su transporte y el proceso de pavimentación. A continuación, se describirán los recursos más impactados por estos procesos:

RECURSO	IMPACTO	SOLUCIÓN
Suelo 	Se encontraron alteraciones en el suelo debido a la extracción de materias primas para los distintos procesos productivos, causando erosión o degradación de este recurso.	Como posibles soluciones se plantean: <ul style="list-style-type: none"> • Considerar la ejecución de un plan de reforestación después de concluir todas las operaciones en la zona de extracción de material pétreo. • Establecer iniciativas de reciclaje con el objetivo de reducir la necesidad de extraer nuevos materiales.



Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (033-5) 373-0980, ext. 2100 - 2103 - 2217
Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec




		<ul style="list-style-type: none"> • Estabilizar los suelos mediante cemento hidráulico con el fin de disminuir el impacto ambiental por la explotación de fuentes de materiales.
Hídrico 	El recurso hídrico es utilizado en este tipo de procesos en mayores cantidades para la humectación del pavimento y dosificación de las mezclas para la obtención de los recursos necesarios para el proceso de pavimentación.	La recomendación que se plantea para mitigar los posibles impactos son las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar aguas tratadas para minimizar el consumo del recurso hídrico. • Implementar un sistema de recirculación para reutilizar el agua tratada nuevamente a la planta de adoquines.
Aire 	Generación de emisiones y de ruido por parte de la maquinaria pesada utilizada en el proceso de pavimentación flexible, rígido y articulado.	Como posibles soluciones se plantean: <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar herramientas manuales que sustituyan a la maquinaria dentro de lo que sea posible para minimizar las emisiones de gases y



Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (033-5) 373-0980, ext. 2100 - 2103 - 2217
Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec



	Los vehículos pesados emiten distintos gases y sonidos considerados como contaminación al ambiente.	reducir el ruido que los mismos producen. <ul style="list-style-type: none"> Colocar filtros de carbón activado en los vehículos usados en el proceso de pavimentación para minimizar la emisión de gases hacia la atmósfera.
Energético 	Este recurso solo se utiliza para el proceso del pavimento articulado en la elaboración de los adoquines en fábrica en el proceso de vibración y compactación del adoquín.	Se propone la adopción de energías renovables como una medida para reducir el impacto ambiental causado por el consumo de energía. Se requiere realizar un estudio técnico adicional para identificar las potenciales fuentes de energía alternativa viables para este proyecto.



Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
 Teléfono (593-3) 375-0880, ext. 2100 - 2103 - 2217
 Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec
 unach.edu.ec



OBSERVACIONES PRIMER EXPERTO	OBSERVACIONES SEGUNDO EXPERTO	OBSERVACIONES TERCER EXPERTO
En los impactos especificar el tipo de pavimento que utiliza, por ejemplo, en el factor agua se menciona el uso de este recurso para hidratar el pavimento, pero este proceso se aplica solo a pavimentos de hormigón y adoquines. La solución al impacto del suelo, además del plan de reforestación, se puede pensar además en planes urbanísticos (urbanización, áreas verdes, parques) conforme a la expansión de las ciudades. La estabilización de suelos mediante cualquier agente estabilizador debe ser analizado desde el punto de vista ambiental y costos para encontrar la factibilidad de implementación. Considerar que el uso de equipo manual perjudica la productividad, sobre todo en infraestructura vial por su naturaleza es indispensable el uso de este recurso. Tomar en cuenta además que es responsabilidad de Fiscalización revisar que el equipo empleado en obra esté en buen estado y por otro lado existe el filtro (por así decirlo) de la matriculación del equipo caminero. En lugar de ello se puede añadir mejorar los procesos de matriculación e incluso se puede optar por cambiar las	Investiga y promueve el uso de materiales y técnicas de construcción sostenibles para pavimentos. Esto podría incluir el uso de materiales reciclados o de bajo impacto ambiental en la fabricación de pavimentos, así como la adopción de prácticas de construcción que minimicen el consumo de recursos naturales y la generación de residuos. Considera también la implementación de pavimentos permeables que permitan la infiltración de agua y reduzcan el efecto de isla de calor urbano. Promueve la colaboración interdisciplinaria entre ingenieros civiles, expertos ambientales y profesionales de otras disciplinas relevantes para desarrollar soluciones integradas y holísticas para pavimentos sostenibles. Esto puede implicar la realización de estudios conjuntos que integren consideraciones técnicas, ambientales, económicas y sociales en la selección y diseño de pavimentos, así como la participación de partes interesadas clave en el proceso de toma de decisiones.	Considera la optimización del diseño y la construcción de pavimentos para maximizar su vida útil y minimizar los impactos ambientales. Esto podría incluir técnicas de diseño estructural más eficientes, como el uso de capas de base estabilizadas con cemento, así como prácticas de construcción sostenible que reduzcan el consumo de energía y los residuos generados durante el proceso de pavimentación. Se recomienda la implementación de programas de mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil de los pavimentos existentes y reducir la necesidad de reconstrucciones frecuentes. Esto puede incluir actividades como el sellado de grietas, el reciclaje in situ de pavimentos deteriorados y la aplicación de tratamientos superficiales para mejorar la resistencia a la abrasión y la fatiga.



Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
 Teléfono (593-3) 375-0880, ext. 2100 - 2103 - 2217
 Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec
 unach.edu.ec



FIRMA ELECTRÓNICA DE PRIMER EXPERTO

Nombres completos: Carlos Sebastián Saldaña García

Cédula de identidad: 0301496584

Área de Experticia: AMBIENTAL VIAL



FIRMA ELECTRÓNICA DE SEGUNDO EXPERTO

Nombres completos: Susana Estefanía León Chávez

Cédula de identidad: 1721905915

Área de Experticia: AMBIENTAL VIAL



FIRMA ELECTRÓNICA DE TERCER EXPERTO

Nombres completos: WASHINGTON OSWALDO PÉREZ SANCHEZ

Cédula de identidad: 1802650216

Área de Experticia: AMBIENTAL VIAL



Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (593-5) 375-0850, ext. 2100 - 2105 - 2217
Shibamoto - Ecuador
Unach.edu.ec

Diagrama de recorrido para pavimentación

1

Extracción de materias primas para la fabricación del cemento y hormigón.



La maquinaria usada en esta actividad consume entre 30 y 40 litros de Diesel al día y producen emisión de gases y daño al suelo.

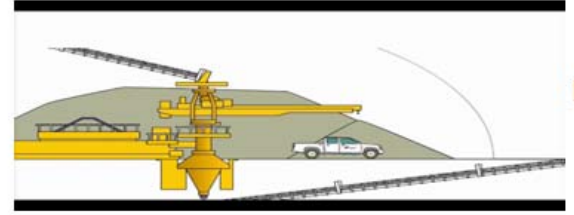
2



Se consume alrededor de 0.3 a 0.4 litros por cada kilómetro recorrido, provoca alrededor de 2.5 Kg de CO2 por cada litro de combustible consumido.

3

Preparación de las materias primas



4

Almacenamiento y distribución



5 PAVIMENTACIÓN



LEYENDA

-  Almacenamiento
-  Transporte
-  Operación

-  Proceso de Pavimento Rígido
-  Proceso de Pavimento Flexible
-  Proceso de Pavimento Articulado