



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

**VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN, VINCULACIÓN Y
POSGRADO**

DIRECCIÓN DE POSGRADO

TEMA:

Huella de Carbono en proceso de construcción vial, caso de estudio Vía
San Alfonso – Santo Domingo.

Trabajo de Titulación para optar al título de:

Magister en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la
Construcción.

Autor:

García Vallejo Erik Fabian

Tutor:

MSc. Marco Marcel Paredes Herrera

Riobamba, Ecuador. 2024

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR



Dirección de
Posgrado
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
VINCULACIÓN Y POSGRADO



CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "HUELLA DE CARBONO EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN VIAL, CASO DE ESTUDIO VÍA SAN ALFONSO - SANTO DOMINGO", ha sido elaborado por el Ingeniero Erik Fabián García Vallejo, el mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta antiplagio institucional; por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

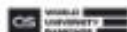
Riobamba, 09 de septiembre de 2024.



MARCO MARCEL
PAREDES HERRERA

Ing. Marco Marcel Paredes Herrera

TUTOR



Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (593-3) 373-0890, ext. 2900 - 2103 - 2277
Riobamba - Ecuador
Unach.edu.ec
UNIVERSIDAD DE CUENCA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Erik Fabian García Vallejo, con cédula de ciudadanía 0604255448, autor del trabajo de investigación titulado: Huella de Carbono en proceso de construcción vial, caso de estudio Vía San Alfonso – Santo Domingo, 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 (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 09 de septiembre de 2024.



Erik Fabian García Vallejo

C.I: 0604255448

ACTA DE SUPERACIÓN DE OBSERVACIONES



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



Riobamba, 03 de septiembre de 2024.

ACTA DE SUPERACIÓN DE OBSERVACIONES

En calidad de miembro del Tribunal designado por la comisión de Posgrado, CERTIFICO que una vez revisado el Proyecto de Investigación denominado “HUELLA DE CARBONO EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN VIAL, CASO DE ESTUDIO VÍA SAN ALFONSO – SANTO DOMINGO”, dentro de la línea de investigación Construcción, producción e Ingeniería, presentado por el maestrante GARCIA VALLEJO ERIK FABIAN, portador de la C.I 0604255448, del programa de MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN, cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo lo que podemos certificar en honor a la verdad

Atentamente,



VERIFICADO DIGITALMENTE POR:
MARCO MARCEL
PAREDES HERRERA

Mgs. Marco Marcel Paredes Herrera.

TUTOR



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



ACTA DE SUPERACIÓN DE OBSERVACIONES

Riobamba, 04 de septiembre de 2024.

ACTA DE SUPERACIÓN DE OBSERVACIONES

En calidad de miembro del Tribunal designado por la comisión de Posgrado, CERTIFICO que una vez revisado el Proyecto de Investigación denominado "HUELLA DE CARBONO EN PROCESO DE CONSTRUCCIÓN VIAL, CASO DE ESTUDIO VÍA SAN ALFONSO – SANTO DOMINGO", dentro de la línea de investigación Construcción, producción e Ingeniería, presentado por el maestrante GARCIA VALLEJO ERIK FABIAN, portador de la C.I0604255448, del programa de MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN, cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo lo que podemos certificar en honor a la verdad

Atentamente,



Escaneado con el código QR
HERNÁN VLAZMIR
PAZMIÑO CHILUIZA

Mgs. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

ACTA DE SUPERACIÓN DE OBSERVACIONES



Dirección de
Posgrado
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
VINCULACIÓN Y POSGRADO



Riobamba, 05 de septiembre de 2024

ACTA DE SUPERACIÓN DE OBSERVACIONES

En calidad de miembro de tribunal designado por la Comisión de Posgrado, CERTIFICO que una vez revisado el Proyecto de Investigación y/o desarrollo denominado "Huello de Carbono en proceso de construcción vial, caso de estudio Vía San Alfonso – Santo Domingo", dentro de la línea de investigación de *Ingeniería, Producción, Industria y Construcción*, presentado por el maestrante García Vallejo Erik Fabian, portador de la CI. 0604255448, del programa de *Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción*, cumple al 100% con los parámetros establecidos por la Dirección de Posgrado de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Es todo lo que podemos certificar en honor a la verdad.

Atentamente,





Carlos Sebastián Saldaña García
MIEMBRO DE TRIBUNAL



Campus La Dolorosa
Av. Eloy Alfaro y 10 de Agosto
Teléfono (593-3) 373-0880, ext. 2002
Riobamba - Ecuador

Unach.edu.ec
for multiplicity

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO	CERTIFICADO DE CONTENIDO DE SIMILITUD		 SGC SISTEMA DE CERTIFICACIÓN DE LA CALIDAD UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
	CÓDIGO:	VERSIÓN:	
	FECHA:		
	MACROPROCESO: PROCESO: SUBPROCESO:		

Riobamba, 09 de septiembre de 2024

CERTIFICADO

De mi consideración:

Yo **Marco Marcel Paredes Herrera**, certifico que **Erik Fabián García Vallejo** con cédula de identidad No. **060425544-8** estudiante del programa de **Maestría en Ingeniería Civil con mención en Gestión de la Construcción, cohorte Primera** presentó su trabajo de titulación bajo la modalidad de Proyecto de titulación con componente de investigación aplicada/desarrollo denominado: **HUELLA DE CARBONO EN PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN VIAL, CASO DE ESTUDIO VÍA SAN ALFONSO – SANTO DOMINGO**, el mismo que fue sometido al sistema de verificación de similitud de contenido TURNITIN identificando el nueve por ciento (9/100)

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Atentamente,



Ing. Marco Marcel Paredes Herrera

CI: 060378318-4

Adj.-

- Resultado del análisis de similitud

DEDICATORIA

A Emilia, la mujer que amo profundamente, que junto a nuestro hijo Thiago, son lo más bonito que ha llegado a mi vida, me han enseñado el verdadero significado del amor y me han hecho crecer de maneras que nunca imaginé, son mi mayor tesoro y por eso cada paso que doy es para construir un futuro mejor para ustedes y siempre serán mi refugio, mi razón y mi motor para seguir adelante.

A mi madre, por su apoyo incondicional y amor eterno, quien ha sido mi ejemplo de fortaleza y perseverancia a lo largo de mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado, en los momentos de triunfo y en los más difíciles

A mi familia, a mis amigos, y a la familia de mi esposa, que con su apoyo han sido una parte fundamental en este camino. Gracias por estar presentes, por su comprensión y por acompañarnos en cada momento.

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien siempre me ha bendecido y guiado en cada paso de mi vida, que me levanta en cada golpe de la vida y en cada triunfo siempre me acompaña.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por brindarme las herramientas necesarias para crecer tanto profesional como personalmente a lo largo de esta etapa formativa.

A mi tutor de Tesis el Msc. Marcel Paredes, mi más sincero agradecimiento por su invaluable orientación, paciencia y por guiarme con sabiduría a lo largo de este proyecto. Su dedicación y apoyo han sido claves en la culminación de este trabajo.

A los miembros revisores del trabajo de investigación y el coordinador de la maestría quienes se dieron tiempo de revisar el trabajo de investigación y darme observaciones oportunas con el fin de que el trabajo contenga los estándares de calidad propuestos.

Agradezco también a mis compañeros y amigos, quienes hicieron de este proceso una experiencia enriquecedora con su apoyo, compañerismo y valiosas aportaciones. A todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron con sus conocimientos y su tiempo para que este trabajo llegara a buen término.

A mi familia, cuyo amor y apoyo incondicional me han sostenido en cada momento de mi vida, especialmente durante los desafíos de este proceso. A mi madre, por ser siempre mi fuente de fortaleza y motivación.

A Emilia, mi esposa, y a nuestro hijo Thiago, por ser mi inspiración diaria. Ustedes son mi mayor motivación, y cada logro lo dedico a ustedes.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	
DECLARACION DE AUTORIA	
ACTA DE SUPERACIÓN DE OBSERVACIONES	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	17
1.1. ANTECEDENTES	17
1.2. PROBLEMA.....	18
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS:.....	20
1.4.1. OBJETIVO GENERAL:	20
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
2. El gas de efecto invernadero.....	22
2.1. Los gases de efecto invernadero en la construcción.	22
2.2. El impacto de la construcción en el medioambiente.....	23
2.3. Cómo hacer una carretera.	24
2.4. Mezclas asfálticas.	25
2.4.1. Componentes de la mezcla asfáltica en caliente.....	25
2.5. La huella de Carbono.	26
2.5.1. Protocolo de Gases de efecto invernadero.....	27

2.5.2.	Fórmula utilizada para el cálculo de la huella de carbono	28
2.6.	Que es el ciclo de vida.	29
2.6.1.	Análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto.....	29
2.6.2.	Análisis de costos de ciclo de vida	30
2.7.	Factores de emisión de los rubros más representativos.	30
CAPÍTULO III. METODOLOGIA.....		33
3.	Metodología de la Investigación.....	33
3.1.	Tipo de Investigación.....	33
3.2.	Diseño de Investigación.....	35
3.2.2	Técnicas de recolección de Datos.	36
3.3.	Metodología Específica de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	36
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		39
4.1	Proceso de pavimentación flexible y sus etapas.....	39
4.2	Análisis del Ciclo de la Vida.....	41
4.3	Emisión de Gases en los Proceso de Pavimentación Flexible	51
4.4	Evaluación de Impactos Ambientales en el proceso de Pavimentación Flexible	52
4.5	Valoración de Impactos Ambientales en el proceso de Pavimentación.....	54
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		58
BIBLIOGRAFÍA		60

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Tipo de cemento asfáltico según penetración.....	25
Tabla 2: Etapa 1 de producción de áreas.	31
Tabla 3: Etapa 2 polvo mineral.	31
Tabla 4: Etapa 3 ligante asfáltico.	31
Tabla 5: Etapa 4 puesta en obra de mezclas bituminosas.....	31
Tabla 6 Cálculo de emisiones de CO2 en el proceso de extracción	43
Tabla 7 Cálculo de emisiones de CO2 en el proceso de transporte.....	46
Tabla 8 Cuantificación de las emisiones de CO2	52
Tabla 9 Matriz de Leopold Evaluación del proceso de pavimento flexible	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Ubicación del proyecto.....	39
Ilustración 2 Ubicación de la zona de la extracción	42
Ilustración 3 Distancia de la mina Chaupichupa hacia la planta asfáltica (agregados grueso y fino)	44
Ilustración 4 Distancia de planta de Holcim hacia planta asfáltica (agregados de ½”).....	44
Ilustración 5 Distancia desde la mina de agregados hacia la obra de pavimentación	45
Ilustración 6 Distancia desde la planta asfáltica hacia el proyecto.....	45
Ilustración 7 Esquema del procesamiento de crudos en una refinería.....	47

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 Etapas del proceso de pavimentación flexible.....	41
Diagrama 2 Impactos de la fase de extracción	42
Diagrama 3 Inventario de emisiones en planta asfáltica	48
Diagrama 4 Proceso de pavimento flexible.....	50

RESUMEN

El sector de la construcción es actualmente uno de los más contaminantes, el 40% de la contaminación proviene directa o indirectamente de esta actividad a nivel mundial, debido a que estos procesos requieren de grandes cantidades de recursos naturales y maquinaria, lo que genera una serie de emisiones contaminantes que afectan al planeta, esto es principalmente porque los profesionales buscan completar los proyectos a cualquier costo sin analizar la sostenibilidad ni las consecuencias que deben causar los proyectos.

En el sector de la construcción existen una serie de proyectos que aportan diferentes niveles de contaminación, todo dependiendo del tipo y lugar donde se desarrollan, entre ellos tenemos la construcción de carreteras que si bien ayudan al desarrollo de las personas provocan una gran contaminación principalmente por el cambio de uso del suelo, el uso de materias primas y combustibles fósiles para el funcionamiento de la maquinaria que compone las carreteras, se estima que la construcción de una carretera causa el 32,9% de la contaminación ambiental.

Para determinar la huella de carbono de una construcción vial se puede desarrollar analizando el ciclo de vida de la misma, esto involucra los procesos que van desde la explotación de los recursos naturales, su transformación en materias primas, transporte hasta la obra y ejecución, etc. por lo que esta Se ha planteado tema de investigación de la Huella de Carbono en procesos de construcción vial, estudio de caso carretera San Alfonso - Santo Domingo.

Además, se aplicará una metodología para calcular la huella de carbono en obras de construcción de carreteras.

Palabras claves: Huella de carbono, Análisis de Ciclo de Vida, Construcción de carreteras, Contaminación, Procesos.

ABSTRACT

The construction sector is currently one of the most polluting industries; 40% of pollution comes directly or indirectly from this activity worldwide because these processes require large amounts of natural resources and machinery, which generate several polluting emissions that affect the planet. This is mainly because professionals seek to complete the projects at any cost without analyzing the sustainability or the consequences that the projects should cause. Several projects in the construction sector contribute to different pollution levels, depending on the type and place where they are developed. Among them, we have road construction that, although it helps the development of the people, causes significant pollution mainly by changing land use, the use of raw materials and fossil fuels for the operation of the machinery that makes the roads; it is estimated that the construction of a road causes 32.9% of environmental pollution. Understanding the carbon footprint of road construction requires a comprehensive analysis of its life cycle. This involves examining every stage, from the extraction of natural resources to the transformation into raw materials, transportation to the construction site, and the actual construction process. To address this complex issue, this research focuses on the Carbon Footprint in road construction processes, with a case study of the San Alfonso - Santo Domingo road. As part of this research, a methodology will be developed and applied to calculate the carbon footprint of road construction projects. This methodology aims to provide a practical tool for construction professionals to assess and mitigate the environmental impact of their projects.

Keywords: carbon footprint, life cycle, road construction, pollution, processes.

Abstract translation reviewed by



Dr. Narcisca Fuentes, PhD.

CC: 1002091161

Professor at Competencias Lingüísticas UNACH

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.1. ANTECEDENTES

El sector de la construcción es uno de los más importantes para el desarrollo de las ciudades y del mundo, pero al mismo tiempo es uno de los más contaminantes, se estima que el 40% de contaminación están relacionados directa o indirectamente en las obras de construcción civil, además también consume un 50% de recursos naturales y un 40% de energía, estos porcentajes pueden variar dependiendo del lugar, tipo de suelo o construcción, debido a esto se provoca un deterioro ambiental a corto o largo plazo (G. Delgado, 2017).

Los países con economías emergentes como América Latina, en el sector de la construcción aporta con un 5% de gases de efecto invernadero que afectan al ambiente, este sector además se relaciona con otros, como el transporte que es utilizado al momento de transportar las maquinarias y materiales, así como también en el sector de la industria que refina y elabora los implementos y materiales para las construcciones, todo esto aumenta más la contaminación, esta triste realidad se debe principalmente a que los inversionistas, constructores e ingenieros no toman en cuenta al ambiente, sino que simplemente se enfocan en terminar la obra a como de lugar sin importar los medios o recursos que se vean afectados (Eduardo & Vila, 2023).

Estos temas hacen que muchos países analicen las posibilidades de reducción de la huella de carbono en el sector de construcción, las cifras alarmantes de contaminación de este sector fueron presentadas en Ecuador en el encuentro de Net Zero latitud 0°, para lo cual el Consejo Ecuatoriano de Edificación Sustentable (CEES), dicto capacitaciones a los profesionales de estas interrogantes y estableció metas con estrategias para tratar de mitigar este problema (Ramón, 2022).

La estimación de la huella de carbono es una ventaja para el estado y las empresas dedicadas a la construcción, ya que mediante el cálculo se determina los consumos para el ciclo de vida de este sector, que implica desde el procesamiento de los recursos naturales pasando por la fabricación, transporte e instalación de los materiales y productos, todas estas fases son consideradas dentro del ciclo.

1.2. PROBLEMA

En los últimos años el sector de la construcción en el Ecuador tiende a crecer positivamente, convirtiéndose en el quinto sector más importante de la economía del país, de acuerdo al Banco Central del Ecuador en el año 2022 presento un PIB (Producto Interno Bruto) del 6.01%, lo que genero un desarrollo importante en la economía que da trabajo a millones de personas, este sector está en auge por la demanda de construcciones de edificaciones y vías que crece día a día (Quito, 2023).

La construcción de vías se debe principalmente a que los pueblos y comunidades necesitan comunicarse con las ciudades principales, tanto para sacar sus productos y para venderlos, necesitan también transportarse a otra ciudad para buscar trabajo o realizar algún trámite, esto sumando a la migración de la población en las ciudades que causa la invasión de zonas periféricas, obligando a los municipios a reestructurar sus planes de ordenamiento territorial e invertir en el desarrollo de viviendas y vías (Isabel & Mero, 2018).

Muchos de estos proyectos de construcción vial no cuentan con estudios adecuados para su correcto desarrollo y se realizan sin prácticas sostenibles que afecta al ambiente, degradando el paisaje que con lleva a la pérdida de biodiversidad, además dejando residuos de construcción, que no son depositados en vertederos, quebradas o a un lado de las mismas vías, generando contaminación al agua y aire, por ello se incrementa demasiado polvo al construir una vía.

Todo lo antes mencionado es lo que pone a los proyectos de construcción de vías entre uno de los más contaminantes, se estima que es responsable del 39.2% de las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan a la capa de ozono, esto se debe a que también otros sectores están involucrados directa o indirectamente como el transporte, para la movilización de la maquinaria, personal, material de construcción, otro sector es el de la minería por la explotación de canteras para la obtención de materias primas para la elaboración de los principales materiales que se utilizan en las vías, todos estos factores son los que causan que este sector no tenga un desarrollo sostenible (Beltrán Castro et al., 2021).

El desarrollo sostenible trata de proponer el uso de materiales limitados de una forma eficiente para reducir el consumo de los mismos, además de reutilizar los materiales en la fase de construcción vial como en la de operación y mantenimiento de la misma, todo esto

ayudara a reducir las emanaciones de gases de efecto invernadero. Con el cálculo de la huella de carbono mediante el ciclo de vida de los proyectos de construcción vial proporciona un diagnóstico y un punto de partida en la reducción, el aprovechamiento de los recursos y la generación de nuevas estrategias de reducción de gases de efecto invernadero, cumpliendo con el objetivo de la investigación.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El aumento de las actividades antropogénicas propias del desarrollo humano causan el aumento de los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático, muchas de estas actividades están ligadas directamente a la construcción, que es el sector que presenta un incremento significativo en los últimos años y al mismo tiempo uno de los que aporta gran parte de los gases de efecto invernadero por sus diferentes procesos, que van desde los estudios de factibilidad, cotización de materias y equipos, traslado de la maquinaria a sitio de la obra, compra de materias primas y construcción del proyecto en sí, entre otros.

La actividad constructiva está estrechamente relacionada con el transporte y la minería, todos estos sectores además utilizan combustibles fósiles para que sus maquinarias puedan funcionar, lo que aumenta la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, esto sumado al consumo excesivo de los recursos no renovables de la litosfera, lo que genera más contaminación y deterioro del ambiente según pasan los años, (P. Delgado, 2019).

Dentro del sector de la construcción está la de edificación y carreteras estas últimas ayudan a conectar ciudades para que puedan seguir desarrollándose, pero al mismo tiempo genera una contaminación que afecta el componente abiótico de los ecosistemas, es decir, el suelo, el aire y el agua. Todos estos factores hacen que las empresas estén adoptando cada vez más prácticas sostenibles y transparentes, y el cálculo de la huella de carbono se convierte en parte integral de la responsabilidad social corporativa.

El término "Huella de Carbono" (HC) se refiere a la medida que cuantifica el impacto total de las actividades humanas en términos de emisiones de carbono. Esta medida se expresa en toneladas equivalentes de carbono y se utiliza como una herramienta para evaluar y gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con una actividad específica u organización.

La Huella de Carbono se calcula teniendo en cuenta los factores de emisión de las entradas y salidas de los diferentes procesos involucrados en esa actividad. Los factores de emisión son tasas representativas de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con una unidad específica de actividad o producción. Estos factores se aplican a las cantidades de insumos y productos involucrados en el proceso para determinar la cantidad total de emisiones de carbono asociadas.

La cuantificación de la huella de carbono implica evaluar y calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, servicio o proceso. Esto se logra mediante el análisis de ciclo de vida (ACV), que es una metodología que permite realizar un inventario detallado de todas las entradas y salidas relevantes del sistema en cuestión.

El ACV considera todas las etapas del ciclo de vida de un producto, desde la extracción de materias primas, pasando por la producción, distribución, uso y disposición final. Para cada una de estas etapas, se identifican y cuantifican las emisiones de GEI asociadas.

La problemática descrita hace que se proponga este tema de final de maestría Huella de Carbono en proceso de construcción vial, caso de estudio Vía San Alfonso – Santo Domingo, el cual nos permitirá tener una idea de la cantidad promedio de gases de efecto invernadero emite la construcción de una carretera.

1.4. OBJETIVOS:

1.4.1. OBJETIVO GENERAL:

- Analizar la huella de carbono en procesos de construcción vial, caso de estudio vía San Alfonso – Santo Domingo.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Definir el objetivo y alcance del análisis de ciclo de vida en la construcción de una vía San Alfonso – Santo Domingo.
- Realizar el inventario del ciclo de vida de la vía San Alfonso – Santo Domingo.

- Evaluar los impactos ambientales del ciclo de vida de la vía San Alfonso – Santo Domingo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2. El gas de efecto invernadero.

El efecto invernadero se origina porque la energía que llega del sol está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera, sin mucha resistencia. La energía remitida hacia el exterior, desde la Tierra está formada por ondas de frecuencias más bajas, y es absorbida por los gases, produciendo el efecto invernadero. Esta retención de la energía hace que la temperatura aumente. En forma simple el efecto invernadero provoca que la energía que llega a la Tierra sea devuelta más lentamente, por lo que es mantenida más tiempo junto a la superficie elevando la temperatura. El rápido incremento de la temperatura global es producto del "efecto invernadero, debido a la liberación de GEI de origen antropogénico a la atmósfera. No todos los GEI tienen la misma capacidad de provocar calentamiento global, pero su intensidad depende de su poder de radiación y el tiempo promedio que la molécula del gas permanece en la atmósfera (Espíndola & Valderrama, 2012).

2.1. Los gases de efecto invernadero en la construcción.

Según un informe de la Organización de Naciones Unidas (ONU) la operación y construcción de edificios genera el 38% de todas las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía; además, la revista Nature señala que el 8% de los gases de efecto invernadero emitidos en todo el mundo provienen del turismo, gran parte de estos relacionados a la actividad operativa, materiales, infraestructura y mantenimiento. No obstante, se estima que entre el 40% y el 50% de las emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera tienen su origen en la construcción y uso de los edificios. La conciencia ambiental y la demanda de un modelo de edificación sostenible ha ido creciendo en los últimos años alrededor del mundo y Ecuador no es la excepción (Quito, 2021).

2.1.1 NOX

El óxido nítrico (NO) se forma a partir de la combinación de nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂). La oxidación del NO produce dióxido de nitrógeno (NO₂), un gas reactivo, irritante y tóxico a altas concentraciones, que resulta de la combustión y oxidación del nitrógeno presente en los combustibles. En altos niveles de concentración, puede causar

problemas en el sistema respiratorio. El término "óxidos de nitrógeno" (NOx) se refiere a la combinación de NO y NO₂, y también implica la formación de ácido nítrico (HNO₃), que puede desplazarse con la lluvia o por gravedad, contribuyendo a la lluvia ácida. Este texto destaca la importancia del impacto de las emisiones contaminantes en la salud humana y el cambio climático. (Morales & Rodríguez, 2020, p. 19)

2.1.2 CO

Este gas se produce por la combustión incompleta de cualquier compuesto orgánico que contenga carbono (como carbón, madera, papel, lana, algodón, cloruro de polivinilo, aceite, gasolina y otros hidrocarburos). También puede encontrarse en estado líquido en procesos industriales de minería, metalurgia y conservación de alimentos, entre otros. El monóxido de carbono es inodoro, incoloro e insípido. (Morales & Rodríguez, 2020, P. 2)

2.1.3 Materiales particulados

El material particulado (MP) consiste en una combinación de partículas sólidas y líquidas que se emiten directamente al aire, como el hollín del diésel, el polvo de las vías, el polvo agrícola y las partículas generadas en procesos productivos. Estas partículas en suspensión (MP) son una mezcla compleja de productos químicos y elementos biológicos, incluyendo metales, sales, materiales carbonosos, orgánicos volátiles, compuestos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y endotoxinas, que pueden interactuar entre sí formando nuevos compuestos. (Arciniégas, 2012, p. 196)

2.2. El impacto de la construcción en el medioambiente.

Cualquier proyecto de desarrollo para mejorar la calidad de vida conlleva impactos positivos y negativos. Los proyectos de desarrollo deberían planificarse de manera que produzcan la mayor cantidad de impactos positivos y un mínimo de impactos negativos sobre el medioambiente (Kaur, 2012). La predicción de los impactos medioambientales causados por la construcción en las primeras etapas del proyecto puede conducir al mejoramiento del comportamiento medioambiental de los proyectos y obras de construcción (Gangolells et al., 2011). Se espera que la construcción produzca daños en el frágil medioambiente debido a los impactos adversos de la construcción, entre los que se encuentran el agotamiento de los recursos, pérdida de la diversidad biológica debido a la extracción de materias primas,

vertido de residuos, menor productividad laboral, efectos adversos para la salud humana debido a la mala calidad del aire interior, calentamiento global, lluvia ácida y smog causado por las emisiones generadas por la fabricación de productos para la construcción y el transporte que consume energía (Enshassi et al., 2014).

2.3. Cómo hacer una carretera.

Construir una carretera es un proceso constituido por varios pasos:

- 1) Se limpia el terreno, se quita la vegetación, se hacen excavaciones y se prepara el terreno para la compactación.
- 2) Se coloca el sistema de alcantarillado pluvial, que está constituido por una red de diferentes tipos de subdrenes, que sirven para controlar el flujo del agua (de la lluvia y del subsuelo) y así evitar daños en los cimientos de la carretera.
- 3) Se forma el terraplén, el cual se coloca entre la terracería natural y las capas del pavimento. Esta base se realiza con fragmentos de roca y con el trabajo de compactación, el cual mejora las características del suelo, reduciendo el espacio poroso conformado de agua y aire.
- 4) Se coloca el cimiento de la estructura del pavimento, que es una capa también llamada subrasante. Sus funciones principales son: equilibrar y distribuir el peso de las cargas del tránsito al cuerpo del terraplén; así como, evitar que los materiales del mismo o de la terracería (según el tipo de pavimento) contaminen el firme.
- 5) Se lleva a cabo la pavimentación, la cual puede llevar una o varias capas dependiendo de las características de la carretera. Por lo regular, la estructura del pavimento está constituida por una carpeta en la superficie de rodamiento y dos capas de refuerzo y protección: una base y una sub-base.
 - La sub-base brinda más espesor y evita filtraciones de materiales de la subrasante. La capa base se forma con materiales de mejor calidad porque es el primer control de resistencia y de protección contra las cargas y los elementos climáticos.
 - La carpeta de la superficie generalmente se hace con una mezcla de asfalto (concreto o cemento asfáltico) y otros materiales, pero también de concreto hidráulico. Además de ser resistentes e impermeables, deben tener textura para que los vehículos tengan mejor agarre.

- 6) Se colocan las estructuras de los puentes o de los túneles y también las señalizaciones, como los postes y tableros reflejantes o las líneas sobre el pavimento hechas con pintura termoplástica (Chávez, 2022).

2.4. Mezclas asfálticas.

Es una combinación de agregados minerales pétreos mediante un ligante asfáltico bajo proporciones exactas, a fin que los agregados queden cubiertos por una capa uniforme de asfalto; las propiedades de cada material componente determinan las propiedades físicas y el comportamiento funcional de la mezcla asfáltica, su empleo es en la construcción de carreteras, ya sea como capa de rodadura o en capas inferiores, su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica, facilitando la circulación de los vehículos además de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a las capas inferiores para su soporte (Ruiz Davila, 2020).

2.4.1. Componentes de la mezcla asfáltica en caliente.

- a. **Cemento asfáltico:** Es un material bituminoso aglomerante de consistencia sólida, del cual se dispone de cinco grados acorde a la temperatura, siendo: PEN 40-50, PEN 60-70, PEN 85-100, PEN 120-150, PEN 200-300.

Tabla 1: Tipo de cemento asfáltico según penetración.

Temperatura media anual			
24°C o más	24 - 15°C	15°C – 5°C	Menos de 5°C
40 - 50 ó 60 - 70 ó Modificado	60 - 70	89 – 100 120 - 150	Asfalto modificado

Fuente: (Ruiz Davila, 2020).

- b. **Agregados:** los agregados pétreos empleados para la producción de la mezcla asfáltica deben ser tal que, al aplicar una capa del material asfáltico no se desprenda por acción del agua ni del tránsito. Además, señala que este agregado estará compuesto por granos gruesos, finos y un relleno mineral (filler), cumpliendo con granulometrías adecuadas:

- Agregado grueso: Constituidos por piedras, grava fracturada ya sea natural o artificial y de forma eventual por materiales naturales fracturados o muy angulosos y con textura superficial rugosa, quedan retenidos en la malla N° 04 y deben ser limpios; es decir, sin recubrimiento de arcilla u otros agregados de material fino.
- Agregado fino: Es aquel material que pasa la malla N° 04, debe ser obtenido por la trituración de piedras, gravas o arenas naturales de granos angulosos. Al igual, debe estar limpio, cuyas partículas no estén cubiertas de arcilla limosa ni otras sustancias perjudiciales; además, no debe contener aglutinaciones de arcilla u otros de material fino, lo cual impedirá la no adhesión del asfalto.
- Relleno mineral o filler: Proviene de los procesos de trituración de los agregados pétreos, pudiendo ser de aporte de productos comerciales, como cal hidratada o cemento Pórtland, partículas muy finas de caliza u otra sustancia mineral no plástica, las cuales deben estar secas y sin aglutinaciones (Ruiz Davila, 2020).

2.5. La huella de Carbono.

La huella de carbono se refiere a la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por una persona, organización, evento o producto. Los GEI incluyen gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x) y otros, los cuales contribuyen al calentamiento global y al cambio climático.

La medición de la huella de carbono se realiza generalmente en términos de masa equivalente de dióxido de carbono (CO₂), ya que se utiliza como una unidad estándar para expresar la contribución relativa de diferentes gases de efecto invernadero a la intensificación del efecto invernadero. El dióxido de carbono se elige como referencia porque es el gas que tiene una capacidad relativamente baja para captar rayos infrarrojos en comparación con otros GEI, pero es uno de los más abundantes en las emisiones humanas.

La huella de carbono de organización consiste en realizar un inventario, anual o en cierto periodo, de emisiones GEI provocados por una organización, utiliza los estándares GHG Protocol e ISO 14064-1.

La huella de carbono de producto analiza las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en el ciclo de vida del producto o servicio, utiliza los estándares PAS 2050, ISO/TS 14067.

Para las organizaciones se diferencian tres tipos de emisiones, los Inventarios de análisis de GEI (Gases de Efecto Invernadero) se debe tomar en cuenta mínimo las emisiones establecidas en el alcance 1 y 2, a continuación, se detallan los tipos de alcance:

- **Alcance 1:** corresponde a las emisiones directas, en parte causadas por el uso de combustibles en maquinaria o vehículos pertenecientes a la empresa, también a las reacciones químicas de procesos productivos ejecutados y pérdida de gases refrigerantes.
- **Alcance 2:** corresponde a las emisiones indirectas por energía, causadas por el productor de energía que se ocupa en la empresa.
- **Alcance 3:** corresponde a otras emisiones indirectas, debido a las adquisiciones de servicios y productos que también generan emisiones previamente a su producción. En un inventario de emisiones se cuantifica por separado las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) si corresponde directamente a una actividad de la empresa, para la compensación de emisiones se elabora un informe aparte (Barriga, 2019).

2.5.1. Protocolo de Gases de efecto invernadero

La metodología de este protocolo a pesar de su complejidad pone a disposición guías y hojas electrónicas para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero para industrias y fuentes específicas, y consta de los siguientes principios:

- **Relevancia:** el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero debe ser elaborado adecuadamente y favorecer a la toma de decisiones del público interno y externo a la empresa. El inventario debe ser delimitado correctamente según las características de la empresa, propósito del informe y necesidades de los beneficiarios, se debe considerar además los siguientes factores:
 - *Estructuras organizacionales:* organización legal, asociaciones, dirección financiera.
 - *Límites operacionales:* funciones al interior o exterior de la empresa, servicios e impactos.

- *Contexto de la empresa:* ubicación, sector, objetivos y usuarios de la información y actividades propias.
- **Integridad:** realizar el informe de emisiones incluyendo las fuentes de emisión y actividades detalladas en el inventario, de igual forma si se realiza excepciones se las debe justificar apropiadamente. Si las emisiones no son tomadas en cuenta o si no se las detalla con la importancia necesaria, se debe documentar su justificación transparentemente, el o los verificadores evaluarán el caso de omisión o falta de detalle.
- **Consistencia:** las metodologías utilizadas deben permitir comparar las emisiones con el paso del tiempo, cualquier cambio en algún factor considerado relevante debe ser documentado. El informe contribuirá para dar seguimiento a la evolución y desempeño de la empresa.
- **Transparencia:** la información debe proceder de documentación bibliográfica sólida y creíble para los supervisores internos y verificadores externos a la empresa. Si se excluye o incluye información, se debe referenciar la metodología utilizada para que terceras personas puedan llegar a un mismo resultado con la fuente proporcionada.
- **Precisión:** Se debe reducir el grado de incertidumbre lo máximo posible aumentando el grado de confiabilidad, los datos obtenidos deben contribuir a la toma de decisiones de los usuarios de la empresa. El cálculo de emisiones no debe presentar errores sistemáticos respecto al valor de las emisiones reales (Arantzazu, 2014).

2.5.2. Fórmula utilizada para el cálculo de la huella de carbono

Para el cálculo de la huella de carbono de cada actividad de construcción, se sigue la metodología de inventario de emisiones de CO₂ (Dióxido de carbono) equivalente para empresas y organizaciones, utilizando los estándares GHG Protocol e ISO 14064 (Barriga, 2019).

Una vez identificadas las actividades o rubros y los edificios tipo, se procede al cálculo de emisiones mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1: Huella de carbono

$$\text{Huella de Carbono} = \sum (\text{Dato de actividad} * \text{Factor de Emisión})$$

El dato de actividad corresponde a la cantidad de obra ejecutada por cada rubro establecido, el factor de emisión es la cantidad de Kg (kilogramos) o T (toneladas) de Co_{2e} (dióxido de carbono equivalente), la sumatoria dará como resultado a la cantidad de CO_{2e} producido al momento de construir una edificación con los factores de emisión investigados para cada rubro (Barriga, 2019).

2.6. Que es el ciclo de vida.

El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de cómo se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Por tal motivo, la conservación de recursos privilegia la reducción de la cantidad de residuos generados (a través del producto), pero ya que éstos se seguirán produciendo, el ACV plantea manejar los residuos en una forma sustentable minimizando todos los impactos asociados con el sistema de manejo (Romero, 2003).

La principal función del ACV es brindar soporte para tomar las decisiones que se relacionan con productos o servicios; y más específicamente, la de conocer las posibles consecuencias ambientales relacionadas con el uso de un producto o con la configuración y utilización de un servicio. Por supuesto, diferentes tipos de decisiones requieren diferentes herramientas de decisión. Por ejemplo, seleccionar un lugar idóneo para construir una determinada planta industrial es una decisión que se basa en los estudios de evaluación del impacto ambiental (EIA), mientras que para el diseño de ecoproductos se utiliza el ACV (Romero, 2003).

2.6.1. Análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto

Consiste en la recopilación y análisis de entradas y salidas del sistema para obtener resultados de impactos ambientales potenciales y así buscar una metodología adecuada para la reducción de los mismos.

El ACV tiene cuatro fases:

1. Definición de objetivos y alcance.
2. Desarrollo del inventario del ciclo de vida – ICV.
3. Evaluación del impacto del ciclo de vida – EICV.
4. Interpretación

Se tiene como entrada principal los recursos y materias primas, productos, transporte y electricidad, utilizados para el proceso de producción, la salida corresponde a las emisiones de aire, agua, suelo y residuos generados en cada fase de producción (Barriga, 2019).

2.6.2. Análisis de costos de ciclo de vida

Según Torres (2013) en su investigación titulada Cuantificación del efecto del período de diseño en el costo de ciclo de vida de pavimentos rígidos y flexibles, hace referencia a la definición del análisis de costos del ciclo de vida (LCCA) y dice que es una herramienta que se basa en principios económicos consolidados y permite elegir, entre varias opciones, aquella que presenta el menor valor presente neto de los costos totales proyectados durante el período de análisis. Esta herramienta no solo considera los costos iniciales, sino también los relacionados con el mantenimiento, rehabilitación, costos para los usuarios, impactos socioambientales y el valor residual de la estructura, lo que la convierte en una herramienta útil para tomar decisiones más informadas sobre la alternativa más adecuada. (p. 7)

2.7. Factores de emisión de los rubros más representativos.

El factor de emisión es una medida que representa la cantidad de contaminante emitida a la atmósfera por una actividad específica, y se expresa como la masa del contaminante producido dividido entre una unidad de peso, distancia, duración o volumen. En el contexto de la construcción de vías, los factores de emisión se utilizan para evaluar y cuantificar las emisiones de contaminantes atmosféricos asociados con las diversas etapas de una obra, desde la creación de materiales hasta la construcción de vías y el transporte.

Cuando se obtienen factores de emisión para diferentes rubros de la construcción de vías mediante información bibliográfica, se considera la totalidad de la actividad de obra, desde la fabricación de los materiales, el transporte de los mismos y su utilización en la construcción. Cada actividad específica dentro de este proceso contribuye a las emisiones

totales, y se tiene en cuenta tanto la fase de producción como las emisiones generadas durante la construcción en sus diferentes etapas, considerando en si también la maquinaria.

Tabla 2: *Etapa 1 de producción de áreas.*

Etapas	Áridos Machaqueo
	kg CO2e/t
Extracción	3,00
Retroexcavadora	0,28
Dúmper	0,23
Planta de clasificación	2,12
Pala alimentación	0,13

Fuente: (Sampedro Rodríguez, 2019)

Tabla 3: *Etapa 2 polvo mineral.*

Polvo mineral empleado	Kg CO2e/t
Polvo mineral de recuperación	3,25%
Polvo mineral de aportación	0,00%
Cemento Portland	1,53%
Cal Hidratada	0,00%

Fuente: (Sampedro Rodríguez, 2019)

Tabla 4: *Etapa 3 ligante asfáltico.*

Ligante empleado	Kg CO2e/t
Betún asfáltico	244,142
Betún modificado	376,141
Aditivos (SBS)	130,044
Emulsión bituminosa	274,769

Fuente: (Sampedro Rodríguez, 2019)

Tabla 5: *Etapa 4 puesta en obra de mezclas bituminosas.*

Equipos	Nº Equipos	Kg CO2e/t	Kg CO2e/t
Fresadora	1	0,129	0,13
Cisterna de Emulsión	1	0,185	0,19

Silo de Transferencia	1	0,039	0,04
Extendedora	1	0,554	0,55
Compactador de Rodillos	1	0,277	0,28
Compactador de Neumáticos	1	0,219	0,22
Barredora	1	0,083	0,08

Fuente: (Sampedro Rodríguez, 2019)

CAPÍTULO III. METODOLOGIA.

3. Metodología de la Investigación

3.1. Tipo de Investigación

La investigación que se realiza es de tipo aplicada, ésta se centra en utilizar el conocimiento existente para abordar problemas concretos y aplicar soluciones a situaciones de la construcción de vías, en esta investigación se utilizará el conocimiento previo para abordar un evento práctico en el campo de la ingeniería de carreteras o infraestructura vial y dar solución a un problema o incógnita en materia ambiental.

En este estudio se realizará una investigación de naturaleza mixta, la misma que tendrá un enfoque cuantitativo, con este proceso se determinará la huella de carbono que dejan los procesos de pavimentación vial. El enfoque cualitativo también se requiere, pues se busca evaluar detalladamente cada uno de los procesos y recursos empleados en los procesos de pavimentación vial, este resultado permitirá obtener un informe detallado de cada uno de los recursos de los recursos utilizados con sus respectivos análisis y ponderaciones llegando a concluir con la huella de carbono que dejan los mismos.

Realizar una investigación documental es necesaria, ya que de esta forma se recopila la información bibliográfica, la misma que proporciona datos relevantes y sobre todo válidos, esto se lo obtiene de entes y autoridades gubernamentales, además de profesionales investigadores y sus trabajos.

3.1.1 Investigación Cuantitativa

La investigación cuantitativa aborda preguntas como ¿Cómo?, ¿Cuánto?, ¿Hasta qué punto?, ¿Existe alguna relación?, entre otras. Este tipo de investigación se basa en variables independientes y dependientes, también conocidas como causa y efecto. Los expertos han definido seis pasos en el método científico: observación, formulación de preguntas, formulación de hipótesis, experimentación, análisis de resultados y redacción de conclusiones. (Calle, 2023, p. 1875)

En esta investigación se buscará llegar a concluir el factor huella de carbono y para ello se requieren mediciones cuantificadas de varios aspectos que intervienen en la

construcción vial y con lo que se logrará un análisis exacto de la emisión de gases y por ende la huella de carbono que queda detrás de estos procesos.

3.1.2 Investigación Cualitativa

Calle (2023), menciona que debido a su naturaleza interpretativa y de comprensión de fenómenos mediante procesos, el diseño de una investigación cualitativa no es lineal ni cíclico y no requiere seguir una secuencia específica. Sin embargo, para organizar el trabajo de un investigador que se enfoca en este tipo de características, puede ser útil establecer algún orden. (p. 1868)

Al clasificar escalas de impacto, se lleva a cabo una investigación cualitativa, en este proceso se logra definir y delimitar dichas escalas, todo esto se lo hace a partir de un diagnóstico de procesos y de una correcta evaluación de los efectos adversos que se ven relacionados con la construcción vial.

3.1.3 Investigación Documental

Para llevar a cabo una investigación bibliográfica, es fundamental disponer de materiales informativos como libros, revistas de divulgación o de investigación científica, sitios web y otros recursos necesarios para comenzar la búsqueda, también las tesis, que son documentos publicados como resultado de trabajos de investigación de maestría y/o doctorado, representan una fuente valiosa de ideas actuales y contienen numerosas referencias bibliográficas útiles. (Gómez et al., 2017, p. 160)

La búsqueda de bibliografía apropiada que aporte esta investigación es esencial para llevar de mejor manera la misma; ya que aportes de otros autores mostrarán el camino a seguir en el camino de una investigación objetiva, real y exitosa.

3.1.4 Investigación Explicativa

Para Ramos (2020) el ámbito de esta investigación, busca explicar y determinar los fenómenos, en un contexto cuantitativo, es posible aplicar estudios predictivos que establezcan una relación causal entre diversas variables. Por ejemplo, se pueden realizar estudios con modelos explicativos basados en ecuaciones estructurales que propongan una teoría para comprender un fenómeno. Por otro lado, los estudios experimentales, que

permiten la manipulación intencionada de la variable independiente, pueden ayudar a comprobar hipótesis que expliquen el comportamiento de un determinado fenómeno. (p. 3)

Este tipo de investigación buscará explicar las consecuencias ambientales que generan cada uno de los procesos que se llevan a cabo en la construcción de vías, el uso de recursos y maquinarias que se utilizan, cuantificando estos efectos ya sean positivos o negativos haciendo posible un Análisis del Ciclo de Vida que promueva una corrección y mitigación de daños potenciales.

3.2. Diseño de Investigación

El objetivo de esta investigación es evaluar la relación la construcción vial y la huella de carbono que son consecuencia de estos procesos, para así determinar las afectaciones al entorno, para esto se recopilará y sintetizará la información sobre los impactos ambientales derivados en cada fase constructiva, para luego emitir recomendaciones que logren minimizar y mitigar sus efectos negativos.

3.2.1 Investigación Aplicada

Según Nieto (2011) Este tipo de investigaciones están enfocadas en mejorar, perfeccionar u optimizar el funcionamiento de los sistemas, procedimientos, normas y reglas tecnológicas actuales, a la luz de los avances científicos y tecnológicos. Por lo tanto, no se califican como verdaderas, falsas o probables, sino como eficientes, deficientes, ineficientes, eficaces o ineficaces. (p. 3)

Esta metodología no solo permite demostrar los conocimientos previos, sino llevarlos a la práctica y dejar plasmados resultados que podrían en un futuro servir como referencia a futuras investigaciones. Durante la realización de este proyecto se han aplicado los conocimientos adquiridos sobre construcción en vías y enlazándolos al Análisis de Ciclo de Vida.

3.2.2 Investigación de Diseño No Experimental

Este tipo de investigación se realiza sin intervenir deliberadamente en las variables. Se basa principalmente en la observación de fenómenos tal como ocurren en su entorno natural para luego analizarlos. (Dzul, 2017, p. 2)

3.2.2 Técnicas de recolección de Datos.

Esta investigación utilizará técnicas e instrumentos de recolección de datos, según su propósito y análisis:

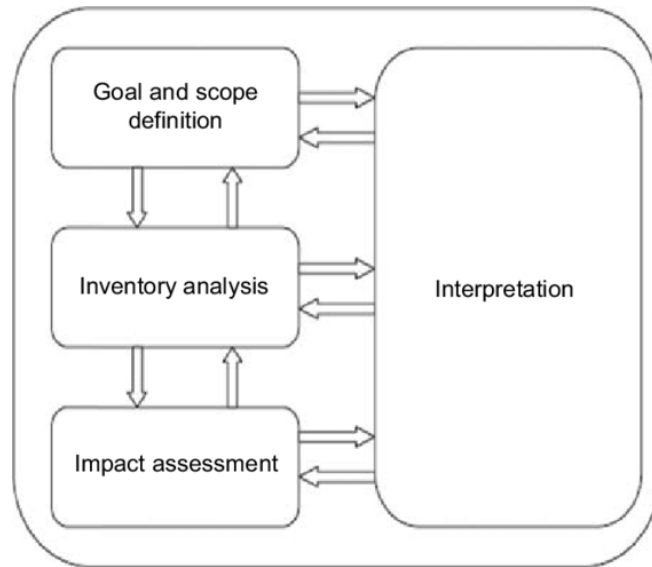
- ✓ Se realizará la consulta de diferentes fuentes bibliográficas relacionadas a construcción de vías, los elementos, componentes, materiales y todo tipo de recurso que sea utilizado, así como también el uso de maquinaria y las emisiones que producen y aportan a la huella de carbono.
- ✓ Recolección de información de Análisis de Ciclo de Vida y la consecuente determinación y relación con la huella de carbono, con el propósito de determinar las mejores recomendaciones y procesos a la hora de cuidar el medio ambiente.

3.3. Metodología Específica de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El análisis de ciclo de vida (ACV) es un método estructurado y sistemático que se utiliza para evaluar los impactos ambientales asociados con todas las etapas de la vida de un producto o servicio, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final (ISO, 2006). Este método comprende varias fases esenciales:

1. **Definición de objetivos y alcance:** En esta etapa inicial, se establecen claramente los objetivos del estudio y se delimitan los límites del sistema. Esto incluye definir qué se va a analizar, por qué se realiza el estudio y cómo se utilizarán los resultados obtenidos (Finnveden et al., 2009).
2. **Inventario del ciclo de vida (ICV):** Esta fase implica la recopilación y cuantificación de todos los insumos y emisiones asociados con el producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida. Esto abarca la energía y los materiales utilizados, así como las emisiones al aire, agua y suelo (Guinée et al., 2011).
3. **Evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV):** Los datos del inventario se interpretan para evaluar los posibles impactos ambientales, agrupando los resultados en categorías como cambio climático, agotamiento de recursos y ecotoxicidad (Pennington et al., 2004).
4. **Interpretación:** En esta última fase, se analizan los resultados de la evaluación de impacto para extraer conclusiones significativas, identificando las áreas críticas de impacto ambiental y proponiendo recomendaciones para mejorar el desempeño ambiental del producto o servicio (Heijungs & Guinée, 2012).

Imagen #. Análisis de ciclo de vida



Fuente: (Heijungs & Guinée, 2012).

El ACV es una herramienta fundamental para la gestión ambiental, ya que ofrece una visión integral de los impactos y facilita la toma de decisiones informadas para mejorar la sostenibilidad (Rebitzer et al., 2004).

Cálculo de Huella de Carbono

El cálculo de la huella de carbono es un enfoque metodológico que permite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a una actividad, producto o servicio específico, a lo largo de su ciclo de vida. Este proceso se desarrolla en varias etapas fundamentales:

1. **Recopilación de datos de actividad:** Se reúnen datos precisos sobre las actividades que generan emisiones, como el consumo de energía, el uso de combustibles, el transporte y los procesos industriales. Esta información es esencial para calcular las emisiones de GEI (IPCC, 2006).
2. **Cálculo de las emisiones:** Utilizando factores de emisión específicos, se calculan las emisiones de GEI. Los factores de emisión relacionan la cantidad de un contaminante emitido con una unidad de actividad, permitiendo convertir datos de actividad en emisiones de carbono equivalente (IPCC, 2006).
3. **Evaluación y reporte de resultados:** Se analizan los resultados obtenidos para identificar las principales fuentes de emisiones y se preparan informes que detallan las emisiones totales y por categoría. Este análisis permite comprender mejor las áreas críticas y desarrollar estrategias para reducir la huella de carbono (ISO, 2018).

Imagen #. Huella de Carbono



Fuente: (Galli et al., 2012).

El cálculo de la huella de carbono es crucial para las estrategias de sostenibilidad, ya que proporciona una base cuantitativa para identificar y reducir las emisiones de GEI, contribuyendo a mitigar el cambio climático (Galli et al., 2012).

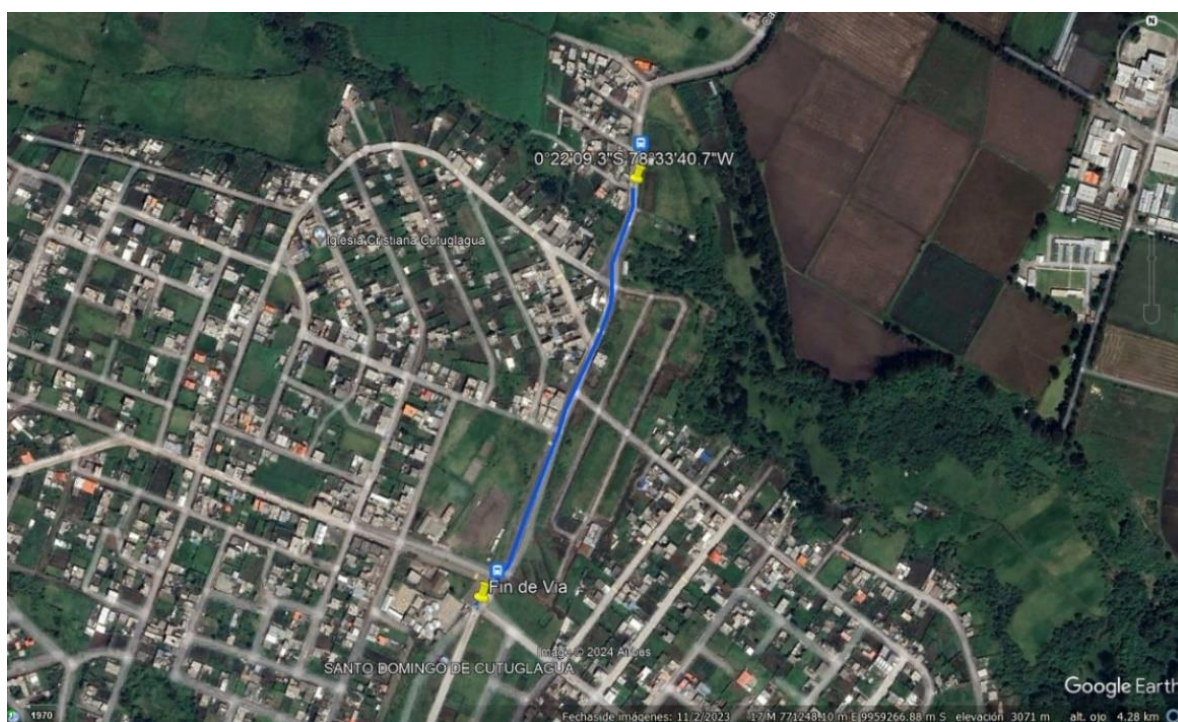
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Proceso de pavimentación flexible y sus etapas

4.1.1 Ubicación del proyecto

El presente trabajo de investigación se lo realiza considerando un tramo de 500 m de construcción vial de pavimento flexible de la vía San Alfonso – Santo Domingo, barrio San Alfonso-Santo Domingo ubicada en la Parroquia Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

Ilustración 1 Ubicación del proyecto



Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1081339,-78.4699519,18z?hl=es>

4.1.2 Objetivo y Alcance del Análisis de Ciclo de Vida

Objetivo:

El objetivo del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es evaluar de manera integral los impactos ambientales asociados con todas las etapas de la vida de un producto o servicio, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Este análisis tiene como fin identificar oportunidades de mejora en términos de sostenibilidad, permitiendo a las organizaciones tomar decisiones informadas que reduzcan su huella ambiental.

Alcance:

El alcance del análisis del ciclo de vida de un proceso define los límites del sistema a estudiar, incluyendo las fases del ciclo de vida que serán consideradas para lograr el objetivo planteado, así como también la adquisición de materias primas, la producción de materiales, su distribución, uso, y fin de vida del producto.

También se especifican las categorías de los impactos ambientales a evaluar, como emisiones de gases de efecto invernadero, consumo de recursos, contaminación del aire y agua, entre otros.

Además, se detallan las hipótesis y limitaciones del estudio, así como las unidades funcionales y los métodos de evaluación que serán utilizados para garantizar la coherencia y comparabilidad de los resultados obtenidos; siempre buscando plantear medidas de mitigación y minimización reales, que en un momento dado aporten de manera objetiva y positiva en proyectos constructivos, siguiendo una línea de acción que permita al constructor tener herramientas que aporten a una buena y responsable ejecución de su labor profesional.

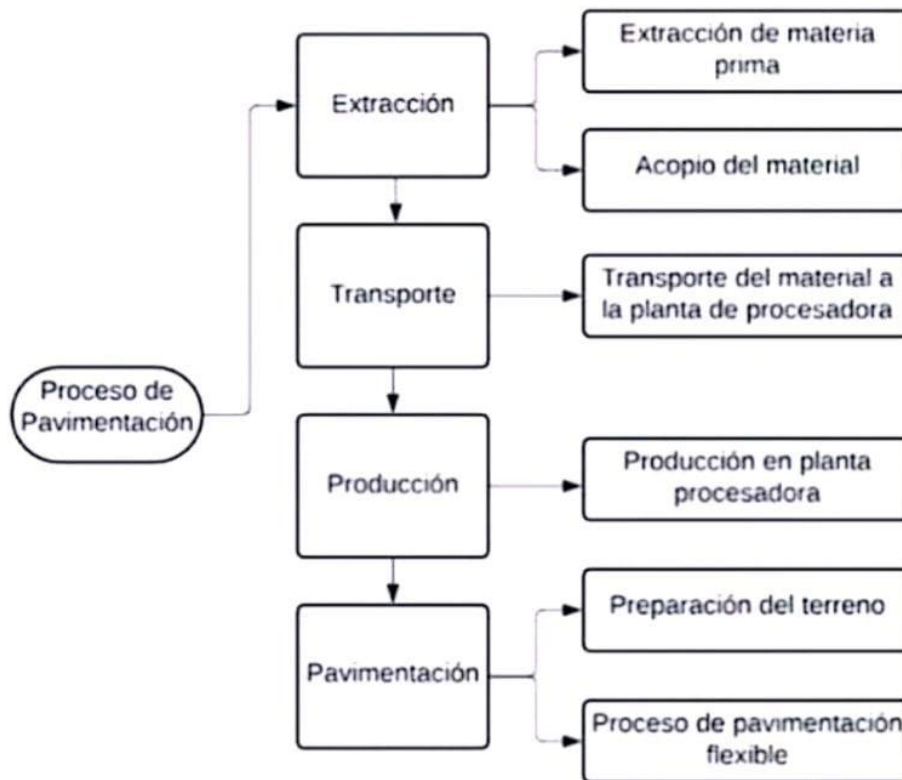
4.1.2 Tipo de sistema de pavimentación del proyecto

El tramo de 500 m de construcción de la vía San Alfonso – Santo Domingo, barrio San Alfonso-Santo Domingo ubicada en la Parroquia Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha, que se analizará en el estudio se lo realizó con pavimento flexible, que es un sistema en el cual se utiliza como materia prima la emulsión asfáltica y el asfalto que mediante un proceso de análisis de ciclo de vida será evaluado para obtener una matriz de impactos.

4.1.3 Etapas del proceso de pavimentación flexible

En el siguiente diagrama se pueden observar las etapas del proceso de pavimentación flexible que serán considerados en el análisis; esto se lo hará tomando en cuenta los procesos desde la obtención de la materia prima, transporte, su producción y proceso de asfaltado de un tramo de 500 m de construcción vial de pavimento flexible de la vía San Alfonso – Santo Domingo, barrio San Alfonso-Santo Domingo ubicada en la Parroquia Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

Diagrama 1 Etapas del proceso de pavimentación flexible



4.2 Análisis del Ciclo de la Vida

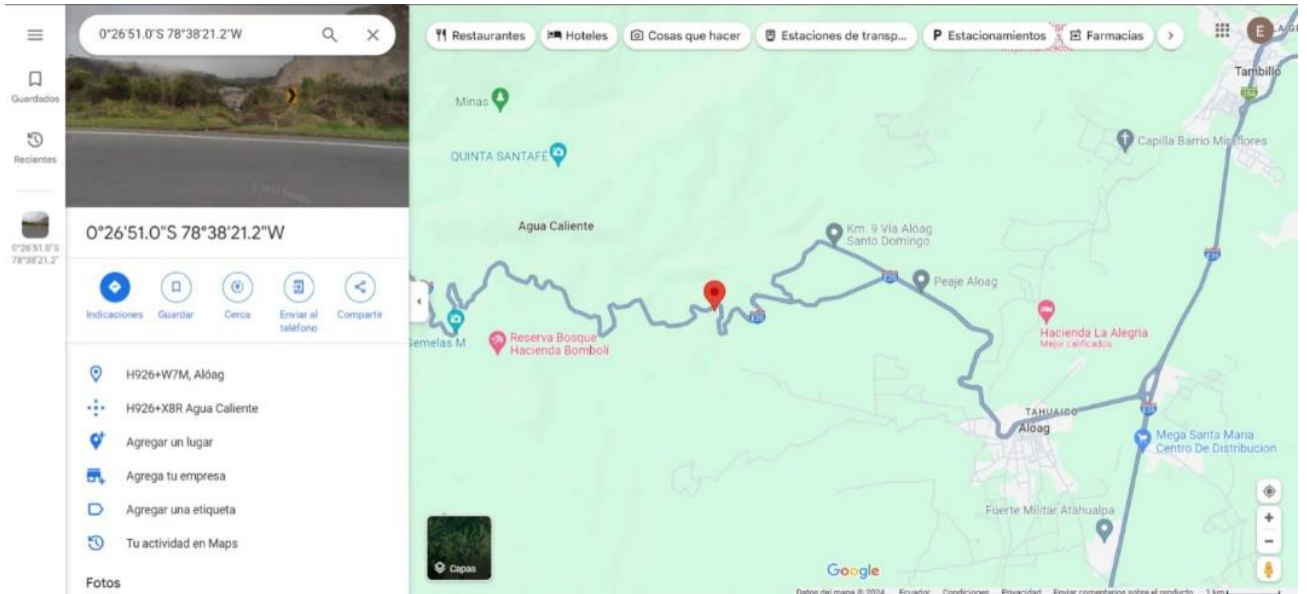
El análisis del ciclo de vida que se realiza al tramo de estudio pretende plantear una evaluación exhaustiva de cada una de las etapas del proceso de pavimentación con material flexible, esto tanto de los materiales y procesos utilizados hasta el final del asfaltado; determinar impactos en dichos procesos y materiales y exponer así mecanismos de mitigación de efectos negativos y contaminantes al ambiente.

La construcción de un sistema vial utilizando pavimento flexible se lo realiza en fases las cuales se detalla y evalúan a continuación de forma ordenada y cronológica, en los siguientes apartados.

4.2.1 Fase de extracción

La fase de extracción de materiales es aquella en la cual se obtienen los recursos pétreos de las minas, para ello se ha identificado la mina más cercana a la ubicación de la fábrica asfáltica.

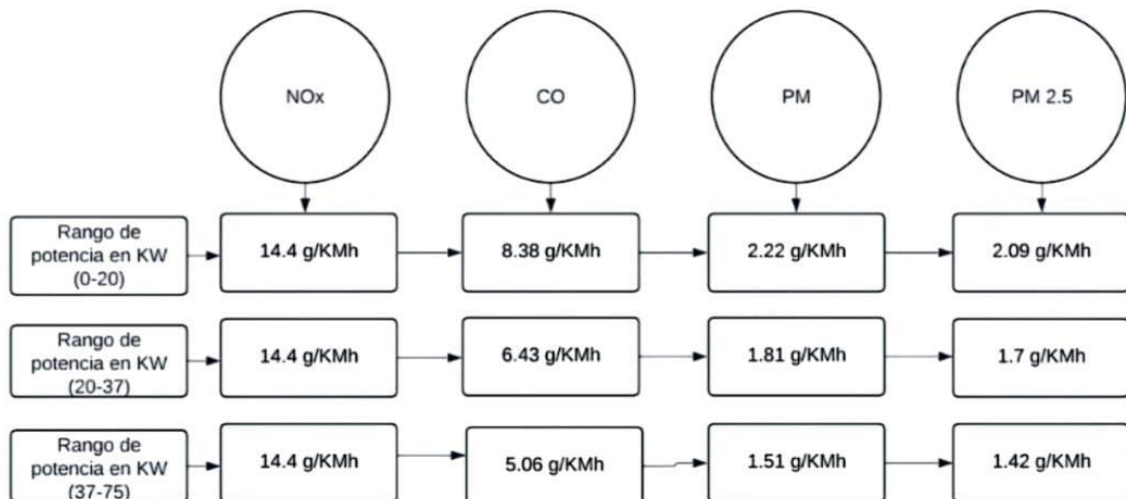
Ilustración 2 Ubicación de la zona de la extracción



Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1081339,-78.4699519,18z?hl=es>

Los contaminantes que genera la extracción in situ son: (NO_x, CO y material particulado)

Diagrama 2 Impactos de la fase de extracción



Emisiones de CO₂: La extracción de materiales como grava y arena requiere el uso de maquinaria pesada, que funciona principalmente con combustibles fósiles. Las emisiones de CO₂ pueden variar según la eficiencia del equipo y la distancia al sitio de la obra.

Aproximadamente, se puede estimar que la extracción de un metro cúbico de agregado puede generar aproximadamente 2 kg de CO₂.

Se necesitarían aproximadamente 7372 m³ de agregados para pavimentar 1 kilómetro de carretera asfaltada, considerando las capas de base, subbase, y la capa de asfalto.

Tabla 6 Cálculo de emisiones de CO₂ en el proceso de extracción

	Volumen de material extraído (m³)	Factor de emisión CO₂	Kg de CO₂.
Mina Chaupichupa	889.56	2	1779.12
Planta de Holcim	332.44	2	664.88
Mina	6150	2	12300
TOTAL	7372		14744

Para el tramo estudiado en la presente investigación de 500 metros de vía se calcula que se generan 14744 Kg de CO₂.

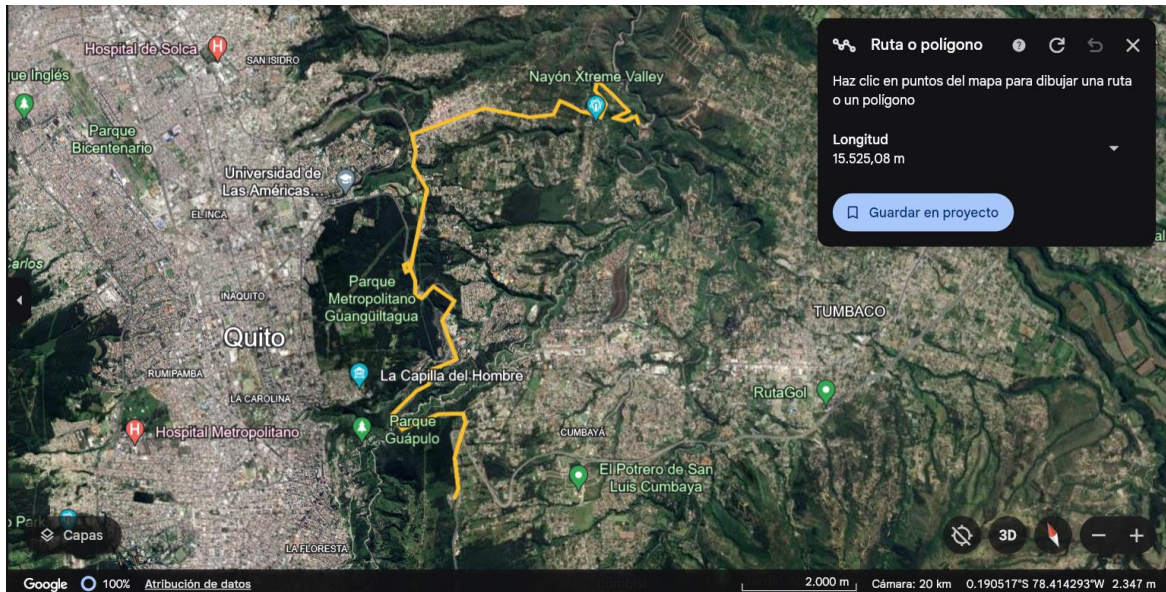
4.2.2 Transporte

Después de la extracción de los materiales pétreos, hay que trasladarlos a fábrica para el proceso de elaboración de asfalto, este traslado se lo realiza en volquetas cuyas emisiones de CO₂ son el impacto de este proceso y cuya valoración y análisis se lo hará en relación con los kilómetros recorridos por las maquinarias.

En el trabajo de investigación titulado Recursos Naturales como Factores de Rendimiento en Certificaciones Energéticas Ambientales para Viviendas Prefabricadas de Hormigón de León & Segura (2022) se analizan los valores haciendo referencia a la cantidad de combustible (diésel) que utiliza la maquinaria y relacionándolo a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) asociadas a este tipo de actividad. La capacidad de las volquetas que se emplean en el transporte de materias primas, son de 8 m³, lo que requiere un consumo de 0.3 lt de diesel por kilómetro recorrido en promedio por cada una de las volquetas que se emplean en el traslado de los materiales.

Según Bórquez & Ramis (2017) la producción de CO₂ fue de 2.5Kg de CO₂ por litro de combustible quemado en el proceso de transporte.

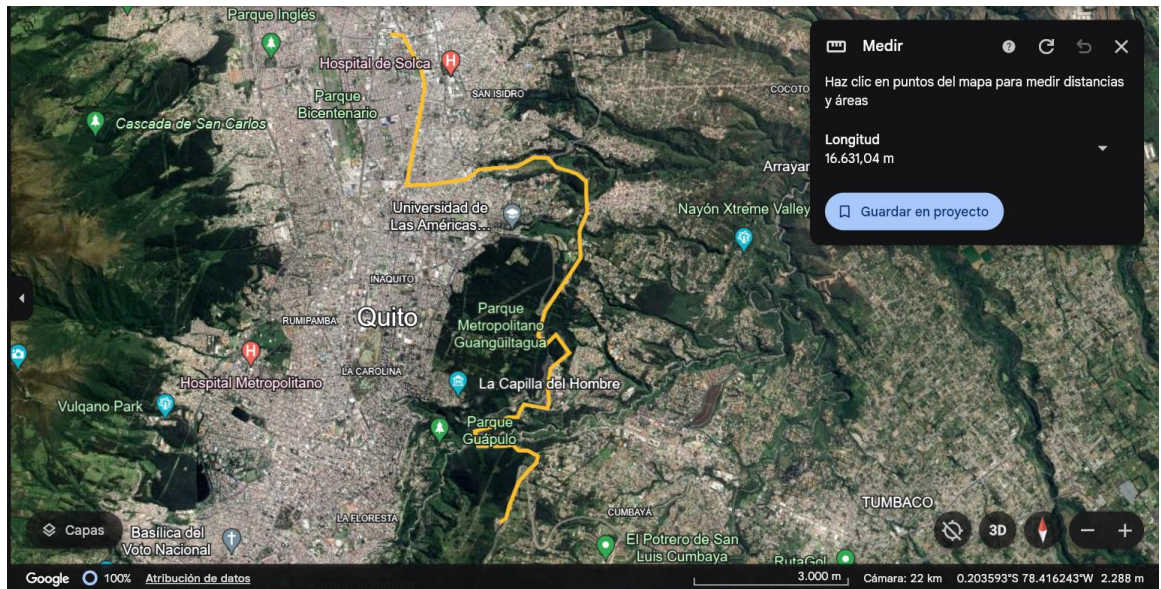
Ilustración 3 Distancia de la mina Chaupichupa hacia la planta asfáltica (agregados grueso y fino)



Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1081339,-78.4699519,18z?hl=es>

La distancia que se recorre de la mina Chaupichupa (Nayón) hacia la planta asfáltica transportando agregados grueso y fino, es de 15524.08 m.

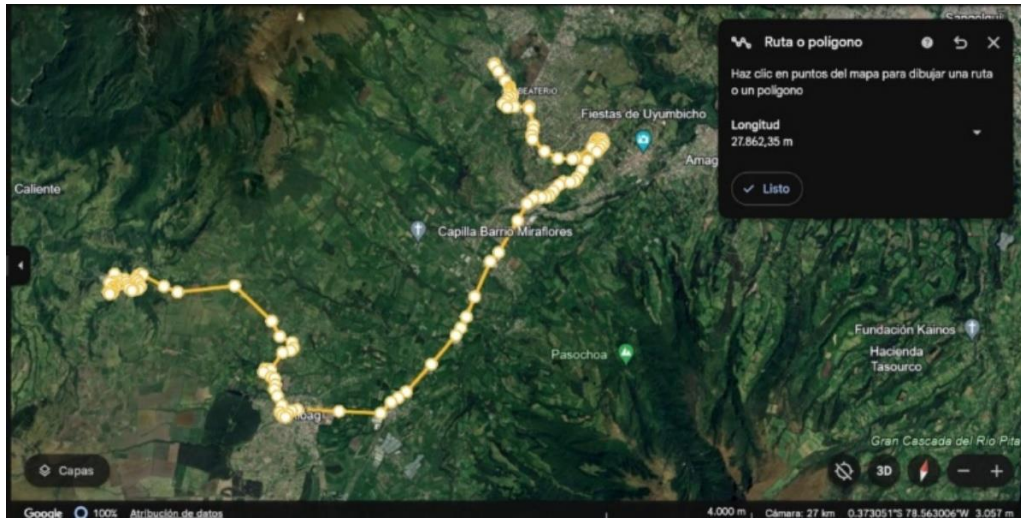
Ilustración 4 Distancia de planta de Holcim hacia planta asfáltica (agregados de ½”)



Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1081339,-78.4699519,18z?hl=es>

La distancia recorrida desde la planta de Holcim hacia la planta asfáltica llevando agregados de ½” es de 16631.04 m.

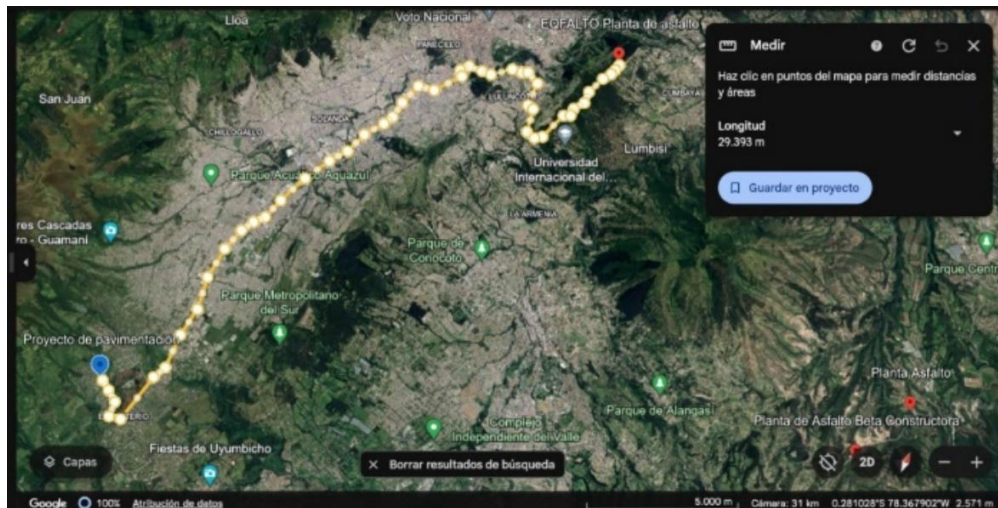
Ilustración 5 Distancia desde la mina de agregados hacia la obra de pavimentación



Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1081339,-78.4699519,18z?hl=es>

La distancia que existe desde la mina es de 27862.35 m, transportando agregados necesarios para la preparación de la base y sub-base en el tramo a construir es decir hacia la obra de pavimentación.

Ilustración 6 Distancia desde la planta asfáltica hacia el proyecto



Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/@-0.1081339,-78.4699519,18z?hl=es>

Existe una distancia de 29393 m desde la planta asfáltica hacia el proyecto donde se realiza la construcción vial con pavimento flexible, desde esta planta se traslada tanto el líquido de imprimación como el material asfáltico.

En la siguiente tabla se calcula la emisión de CO₂ que resulta en relación con la distancia recorrida por la maquinaria utilizada en el proyecto, el consumo de combustible en el mismo y dicha emisión.

Tabla 7 Cálculo de emisiones de CO2 en el proceso de transporte

	KM por viaje	Factor de Lt combustible consumido	Factor de Kg CO2/Lt combustible quemado	Volumen m3 de material	Volumen de volqueta 8 m3	Número de viajes	Total viajes IDA Y VUELTA	Total de KM	Total de Lt combustible consumido	Total Kg CO2/Lt combustible quemado
Mina Chaupichupa - Planta Asfáltica	15.5240	0.3	2.5	889.56	8	111.195	222.39	3452.3824	1035.71471	2589.28677
Planta de Holcim - Planta Asfáltica	16.6310	0.3	2.5	332.44	8	41.555	83.11	1382.2024	414.660723	1036.65181
Mina - Obra de pavimentación	27.8623	0.3	2.5	6150	8	768.75	1537.5	42838.286	12851.4859	32128.7147
Planta Asfáltica – Obra de pavimentación	29.3930	0.3	2.5	1212	8	151.5	303	8906.079	2671.8237	6679.55925
TOTAL									16973.685	42434.213

El total de emisión de CO₂ resultante por litro de combustible quemado es de 42434.21 kg de CO₂ en el total de las rutas recorridas para la ejecución del proyecto de construcción vial de pavimento flexible de la vía San Alfonso – Santo Domingo, barrio San Alfonso-Santo Domingo ubicada en la Parroquia Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

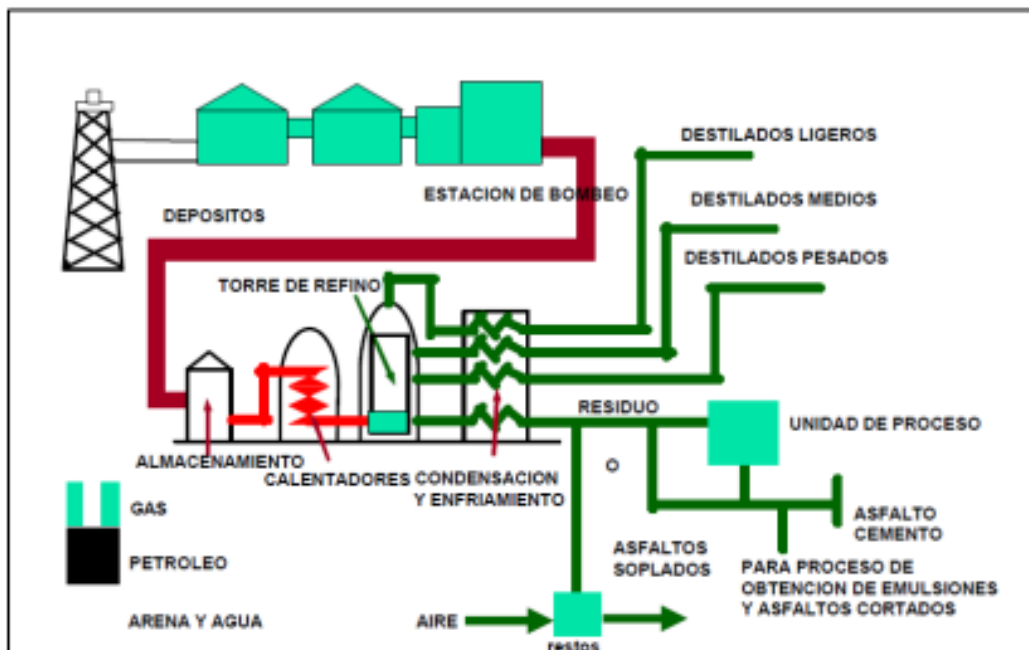
4.2.3 Producción

En la fase de producción intervienen una serie de materias primas que son aquellas que fueron recolectadas en minas, entre estos materiales se mencionan (agregado fino, agregado de 3/4”, agregado de 3/8” y asfalto).

De estos materiales utilizados, el asfalto es un material que se utiliza para producir el cemento asfáltico que a su vez es uno de los elementos que intervienen en el proceso de pavimentos flexibles, en el Ecuador se construyen las vías únicamente con asfalto tipo AC-20, que es producido en la Refinería Estatal de Esmeraldas.

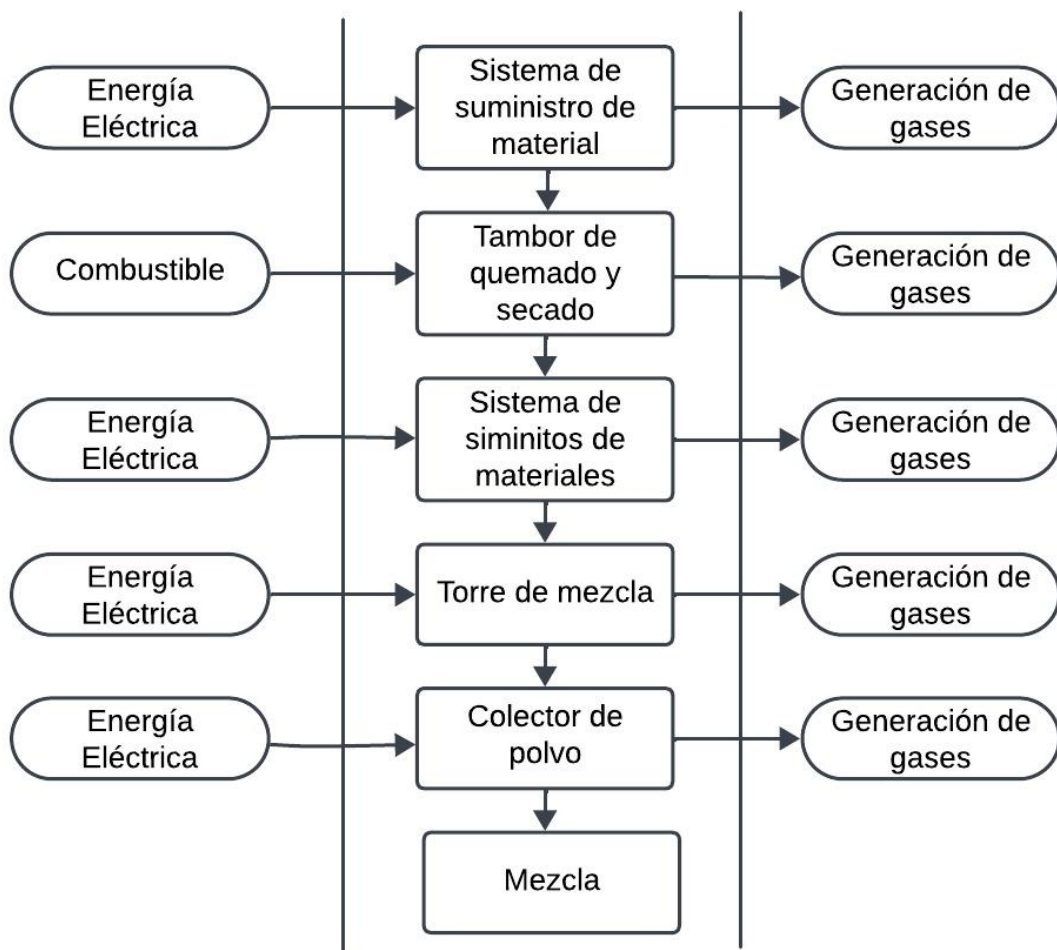
El proceso de asfalto caliente requiere de este material cuyo proceso se lo detalla en el esquema que se lo encuentra a continuación.

Ilustración 7 Esquema del procesamiento de crudos en una refinería



La fábrica de asfalto posterior a obtener la materia prima realiza la elaboración del cemento asfáltico o asfalto caliente, el mismo que requiere de un proceso en el cual intervienen recursos que los llamamos entradas, en este caso los recursos son la energía eléctrica y combustible, estos actúan durante el sistema de suministro de materiales, durante el quemado y secado en tambor, en la torre de mezcla, el colector de polvo y mezcla final; los mismos que a su vez eliminan gases y ruido a los cuales los llamaremos salidas.

Diagrama 3 Inventario de emisiones en planta asfáltica



Según Wirtgen Group (2024) en la producción de mezclas asfálticas tradicionales, la emisión de CO₂ puede ser considerable, alcanzando hasta 6,000 kg de CO₂ por cada 2,000 toneladas de asfalto producido. Esto implica que, para un kilómetro de pavimento, dependiendo del espesor y la cantidad de asfalto utilizado, las emisiones pueden ser proporcionales a la cantidad de mezcla necesaria.

Para la investigación que se realiza se ocupan 1212 m³ de asfalto AC-20, a continuación, se detalla el cálculo de emisiones de kg de CO₂ para los 500 metros de vía asfaltada.

$$x = \frac{1212 \text{ m}^3 * 6000 \text{ kg CO}_2}{909.09 \text{ m}^3}$$

$$x = \frac{7272000 \text{ m}^3 * \text{kg CO}_2}{909.09 \text{ m}^3}$$

$$x = 7999.20 \text{ kg CO}_2$$

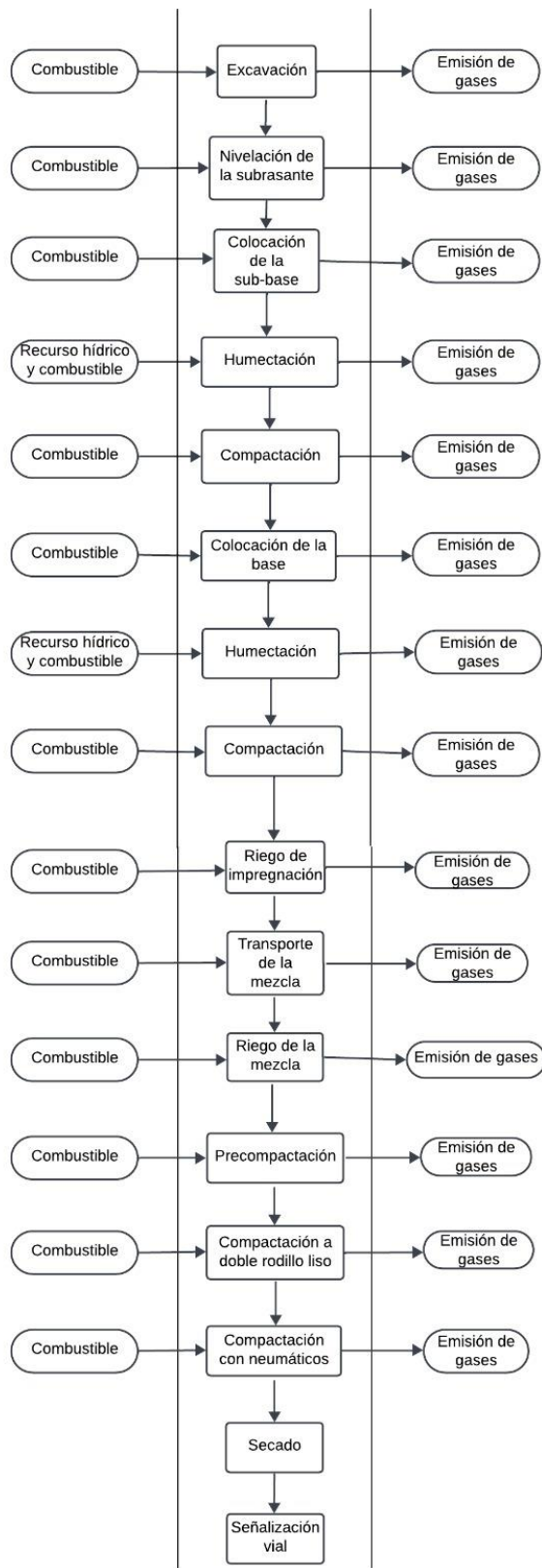
Las emisiones que se generan en el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica son de 7999.20 kg de CO₂.

4.2.4 Pavimentación

El proceso de pavimentación utilizando pavimento flexible emplea recursos que son equivalentes a las entradas en el análisis de ciclo de vida y la generación o emisión de gases y ruido que son los llamados salidas que no son otra cosa que las implicaciones ambientales que genera.

Se da comienzo a los trabajos realizando la respectiva excavación y preparación del terreno; el primer paso es la excavación, aquí se utiliza una retroexcavadora; a continuación se nivela la subrasante y se lo hace con un vehículo de rodillo compactador; se coloca la sub-base con volquetas que riegan el material; aquí se procede a humedecer la sub-base por medio de un vehículo rociador de agua; con un rodillo compactador se compacto el suelo; una volqueta ayuda a colocar la base; la que se humecta nuevamente con el vehículo rociador de agua; seguido de la respectiva compactación con el vehículo de rodillo, estos vehículos requieren de combustible para su funcionamiento por lo que emiten gases y generan ruido.

Diagrama 4 Proceso de pavimento flexible



Cuando el terreno está preparado se realiza el riego de impregnación en el que interviene un vehículo conocido como petrolizador, el cual coloca la emulsión asfáltica en la base replanteada con anterioridad; el material asfáltico es transportado al sitio de obra en volquetas; después es colocado y distribuido utilizando un vehículo pavimentador, el mismo que se encarga de colocarlo de forma uniforme en el tramo a pavimentar, este vehículo a su vez realiza una pre-compactación del material; a continua se compacta con vehículo doble rodillo liso; luego de esto se realiza nuevamente una compactación con un vehículo compactador con neumáticos; para finalizar se espera al secado y se continua con la pintura de señalización vial para asfalto según especificaciones técnicas de las mismas, los vehículos que operan en el proceso utilizan combustibles por lo que emiten gases contaminantes que son los componentes que serán analizados para determinar la huella de carbono.

El proceso en sitio, que incluye la colocación, nivelación y compactación del asfalto, genera emisiones adicionales debido al uso de maquinaria pesada como apisonadoras y pavimentadoras. Las emisiones aquí pueden variar, pero una apisonadora típica puede emitir entre 5 kg de CO₂ por hora de operación (For Construction, 2024).

Para determinar la cantidad de CO₂ generado en el proceso de tendido de pavimento flexible se realizó el siguiente cálculo, considerando que se trabajó 90 días en una jornada de 8 horas diarias para la entrega de la obra, se estima que el total de horas trabajadas es de 1204.83.

$$Kg \text{ de } CO_2 = (5)kg \text{ de } CO_2 * 1204.83 \text{ horas}$$

$$Kg \text{ de } CO_2 = 6024.15 \text{ kg de } CO_2.$$

En promedio el valor de emisiones de CO₂ en el proceso de tendido es de 6024.15 kg de CO₂.

4.3 Emisión de Gases en los Proceso de Pavimentación Flexible

El análisis para el desarrollo del presente trabajo de investigación hace mención a una obra de pavimento asfáltico que cubre 500 metros de vía y tuvo una duración de 90 días para la entrega de la obra, considerando todos estos datos se estudia el proceso a detalle y se clasifica en etapas para ser analizadas y determinar valores de emisiones en cada una de ellas.

Tabla 8 Cuantificación de las emisiones de CO2

N*	Proceso	Cantidad de Kg de CO₂
1	Extracción de materiales	14744
2	Transporte	42434.21
3	Producción	7999.20
4	Pavimentación	6024.15
TOTAL		71201.56

4.4 Evaluación de Impactos Ambientales en el proceso de Pavimentación Flexible

El presente listado corresponde a cada una de las actividades que se realizan para lograr pavimentar el tramo de vía que se analiza en el presente trabajo de investigación, con dos subclasificaciones; el proceso que interviene en cada actividad y el impacto que genera en el ambiente.

OBTENCIÓN DEL MATERIAL

- Excavación de la Zona
 - Generación de ruido
 - Afectación al recurso suelo y aire
 - Afectación a la flora y fauna de la zona
 - Generación de empleo
- Extracción del Material
 - Generación de ruido
 - Afectación al recurso suelo y aire
 - Afectación a la flora y fauna de la zona
 - Generación de empleo
- Transporte de Materia Prima
 - Generación de ruido
 - Afectación al recurso suelo y aire
 - Afectación a la flora y fauna de la zona
 - Generación de empleo

PRUDUCCIÓN

- Suministro
 - Afectación al recurso suelo y aire

- Afectación a la flora y fauna de la zona
- Generación de ruido
- Consumo energético
- Generación de empleo
- Secado
 - Afectación al recurso aire
 - Consumo energético
 - Generación de empleo
- Mezclado
 - Consumo del recurso hídrico
 - Consumo energético
 - Generación de empleo

ASENTAMIENTO

- Remoción del Suelo
 - 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
- Preparación del Suelo
 - Generación de ruido por maquinaria pesada
 - Emisión de gases por maquinaria
 - Generación de empleo
 - Consumo del recurso hídrico
- Asentamiento de Equipos
 - Generación de ruido por maquinaria pesada
 - Emisión de gases por maquinaria
 - Generación de empleo
 - Consumo del recurso hídrico

PAVIMENTO

- Riego del Material
 - Generación de ruido por maquinaria pesada

- Afectación al suelo
- Emisión de gases por maquinaria
- Generación de empleo
- Compactación
 - Generación de ruido por maquinaria pesada
 - Afectación al suelo
 - Emisión de gases por maquinaria
 - Generación de empleo
- Secado
 - Generación de ruido por maquinaria pesada
 - Afectación al suelo
 - Emisión de gases por maquinaria

ABANDONO

- Levantamiento de Equipos
 - Afectación a la calidad del aire
 - Generación de empleo

4.5 Valoración de Impactos Ambientales en el proceso de Pavimentación

Con la información que se ha logrado recopilar en la evaluación de impactos ambientales se ha logrado identificar específicamente todos los recursos y procesos que intervienen en la construcción vial con pavimento flexible, de aquí en adelante esto servirá para valorar de forma cuantitativa cada uno de ellos y analizar la magnitud de los impactos y las implicaciones que estos generan al ambiente.

Esto se lo hace utilizando la matriz de Leopold la misma que colaborará en dicha valoración para acto seguido interpretar de forma correcta los resultados obtenidos, cumpliendo así el Análisis de Ciclo de Vida de este proyecto.

Tabla 9 Matriz de Leopold Evaluación del proceso de 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	SUMINISTRO DEL MATERIAL	TAMBOR DE SECADO	INCORPORACIÓN Y MEZCLADO	OBTENCIÓN DEL PRODUCTO Y ENVASADO	REMOCIÓN DEL SUELO	PREPARACIÓN DEL SUELO	ASENTAMIENTO DE EQUIPOS	RIEGO DEL MATERIAL	COMPACTACIÓN	SECADO	LEVANTAMIENTO DE EQUIPOS							
FÍSICO	SUELO	EROSIÓN	-6	-7	-4	-5	-4	-4	-2	-2	-2	-1	-2	-1	-1	-1	2	0	11	-159	-456	-455		
	AIRE	CALIDAD	-4	-8	-5	-4	-4	-8	-2	-2	-2	-1	-5	-5	-1	-5	2	0	13	-180				
	AGUA	CONSUMO						-8	5		-3	-3						0	3	-46				
	ENERGÉTICO	CONSUMO				-5	-5	-8	-3	3								0	4	-71				
BIOLÓGICO	FLORA	HABITAT	-5	-5	-1	-5					-5							0	5	-61	-96			
	FAUNA	HABITAT	-5	-5	-1	-1					-1							0	5	-35				
SOCIOECONÓMICO	POBLACIÓN	MIGRACIÓN																0	0	0	97			
	ECONOMÍA	EMPLEO	4	4	6	6	1	1	5	5	5	5	5	5	5	3	3	1	13	0		97		
PROMEDIO POSITIVO			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	13						
PROMEDIO NEGATIVO			4	4	4	5	2	2	2	4	3	3	2	2	2		2		41					
PROMEDIO ARITMETICO			-62	-79	-33	-47	-26	-71	2	-69	-32	-1	-14	-11	-3	-9						-455		

Según los datos que arroja la Matriz de Leopold se puede evidenciar que de los factores ambientales físicos el más afectado es el aire con un valor de -180 en este subcomponente, seguido del suelo con un valor de -159 y el consumo de energía eléctrica con -71 por último el consumo de agua con un -45.

De los factores biológicos el más afectado es la flora con -61 y la fauna un -35 en estos subcomponentes.

Es importante considerar que de los factores sociales el subcomponente empleo es afectado de forma positiva con un 97, aportando de esta forma a la economía del sector.

Todos estos factores se ponderan de tal manera que como resultado final se obtiene un -455 como valoración de impactos en el proceso de pavimentación flexible en la construcción vial con pavimento flexible de la vía San Alfonso – Santo Domingo, parroquia Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

4.5 Cuantificación de las Emisiones en los Proceso de Pavimentación

Las emisiones que son producidas por los vehículos que realizan el traslado de los materiales que intervienen en el desarrollo de los trabajos de pavimentación flexible, apuntan a buscar mecanismos de acción para mitigar y minimizar los efectos adversos que por la naturaleza de los procesos generan y emiten al ambiente.

4.6 Discusión

Según Chen et al. (2021), explica que el calentamiento de las temperaturas provocaría un deterioro estructural mucho más rápido del pavimento, lo que haría necesaria la intervención de un mantenimiento prematuro en las vías, los tratamientos de rehabilitación del pavimento generan mayores emisiones de CO₂ en las fases que involucran al material y la construcción, sin embargo, causan una reducción de emisión de CO₂ en la fase de uso del pavimento. Al realizar el análisis de ciclo de vida en estos procesos se muestran como resultado que el cambio climático genera una mayor carga de emisiones de CO₂ a lo largo de los años. (p. 5)

En el artículo titulado Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de Pavimentos Urbanos en la Zona de Planificación 3 del Ecuador de Pérez (2024), realiza una comparación de impactos entre los tres tipos de pavimentos, flexible, rígido y articulado, los resultados que se desprenden de su estudio utilizando la Matriz de Leopold, reflejan que el proceso de pavimentación flexible tiene una incidencia negativa de -492 considerando la afectación a los distintos factores ambientales. (p. 70)

Para realizar un análisis de los resultados de la presente investigación fue necesario considerar en el análisis de ciclo de vida, los factores biológico, físico y socioeconómico; dentro de los que se encuentra la generación de empleo como un impacto positivo, mientras que los factores restantes se encuentran en negativo, el recurso hídrico, energético, flora y fauna tiene una afectación mínima dentro del proceso de pavimentación.

Mientras que los recursos más afectados son el suelo y el aire, los cuales requieren en consecuencia una mayor atención en relación con procesos de mitigación y minimización de impactos.

La emisión de CO₂ es el principal aporte a la carga de huella de carbono, motivo principal de esta investigación, por ello se realiza un análisis exhaustivo del mismo, sus efectos e implicaciones para acto seguido colaborar con estrategias favorables al ambiente.

Tabla 9 Minimización y Mitigación de Impactos en los Recursos

MINIMIZACIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS EN LOS RECURSOS			
RECURSO SUELO	RECURSO HÍDRICO	RECURSO AIRE	RECURSO ENERGÉTICO
Implementar un plan de reforestación posterior a las operaciones en la zona de extracción de material pétreo.	Utilizar aguas tratadas para minimizar el consumo del recurso hídrico.	Compensar el uso de maquinaria mayor con herramienta menor, en lo que sea posible, para menorar la emisión de gases por el trabajo realizado.	Se recomienda el uso de energías renovables para reducir el impacto ambiental.
Reducir la necesidad de extraer nuevos materiales, basándose en iniciativas de reciclaje.		Utilizar filtros de carbón activado en los vehículos que intervienen en el proceso de pavimentación para minimizar la emisión de gases hacia el ambiente.	

El objetivo de este trabajo de investigación es brindar un aporte positivo y viable en proyectos constructivos, encaminar la ejecución de los mismos con mecanismos alternativos que puedan bajar el índice de contaminación de los mismos y mitigar las afectaciones negativas al ambiente; como por ejemplo menorar la emisión de gases, neutralizando así de algún modo la huella de carbono que estos proyectos deja posterior a su ejecución. Es de gran importancia en la actualidad considerar este tema ya que el cuidado ambiental y la protección de la naturaleza es un problema que compete a todos los sectores de la sociedad y a las autoridades que son las encargadas de implementar buenas prácticas ambientales en el día a día y más aún en trabajos de orden territorial y a escala nacional.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

Estas conclusiones y recomendaciones destacan la importancia de tomar medidas inmediatas para reducir la huella de carbono en proyectos de construcción vial, contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático y promoviendo prácticas más sostenibles en la infraestructura vial.

5.1 Conclusiones

- ✓ El proceso de pavimentación de la vía San Alfonso – Santo Domingo, al ser evaluado desde la extracción de materiales hasta el tendido del pavimento, evidencia un impacto ambiental considerable. La huella de carbono asociada a estas actividades contribuye al calentamiento global debido a la liberación de gases de efecto invernadero (GEI) en cada etapa del proceso, desde la minería de agregados hasta el uso de maquinaria pesada en la obra, el valor total de las emisiones de CO₂ para todo el proceso estudiado es de 71201.56 Kg de CO₂.
- ✓ Los resultados del estudio demuestran que el transporte de materiales es la principal fuente de emisiones de CO₂ en la construcción vial, aportando con 42434.21 de kg de CO₂ al ambiente; seguida de la extracción de materias primas con 14744 Kg de CO₂, la producción en planta arroja un 7999.20 kg de CO₂ y finalmente el tendido del pavimento que colabora a la contaminación con un 6024.15 kg de CO₂. Estas emisiones no solo provienen de la quema de combustibles fósiles en la maquinaria utilizada, sino también de la energía requerida en la producción de asfalto.
- ✓ La construcción vial, como la pavimentación de la vía San Alfonso – Santo Domingo, subraya la necesidad urgente de adoptar alternativas más sostenibles. El uso de tecnologías más limpias, materiales reciclados, y técnicas de pavimentación de menor impacto son esenciales para reducir la huella de carbono y mitigar los efectos negativos en el medio ambiente que provocan una escalada de afectaciones y que van no solo desde la naturaleza sino al daño a las comunidades cercanas a las obras en mención, desencadenando una alteración como el calentamiento global y problemas de salud que a largo plazo se develarán en sus habitantes.

Recomendaciones

- ✓ Se recomienda la adopción de tecnologías de asfalto de mezcla tibia (WMA) en lugar de las tradicionales mezclas calientes. Esta tecnología reduce la temperatura de

producción, lo que disminuye el consumo de combustible y, por ende, las emisiones de CO₂ durante el proceso de pavimentación.

- ✓ Fomentar el uso de materiales reciclados en la producción de asfalto, como el asfalto reciclado (RAP), puede reducir significativamente la necesidad de extraer nuevos agregados y disminuir la huella de carbono asociada al proceso. Además, se puede aprovechar el uso de aditivos que mejoren la durabilidad del pavimento, reduciendo la frecuencia de reparaciones y el impacto ambiental a largo plazo.
- ✓ Mejorar la eficiencia en la logística y transporte de materiales puede reducir considerablemente las emisiones de CO₂. Se sugiere planificar rutas de transporte más cortas y eficientes, así como utilizar vehículos de menor consumo energético o incluso eléctricos para reducir el impacto durante la fase de transporte de los materiales necesarios para la pavimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- Arantzazu, H. (2014). *Huella de Carbono en la Universidad Politécnica de Cartagena: En Busca de la Ecoeficiencia*. 75.
- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico Y Control De Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales Y Fracción Respirable Pm10. *Luna Azul*, 34, 195–213. <https://doi.org/10.17151/luaz.2012.34.12>
- Barriga, C. G. N. (2019). “Cálculo De La Huella de Carbono de las estructuras tipo de la Zona Céntrica de la ciudad de Ambato”. *Rabit : Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab*, 1(1), 2019.
- Beltrán Castro, P. E., García Molina, K. B., & Cordero Cabrera, C. J. (2021). Análisis de la huella de carbono en vías de pavimento flexible (asfalto): Vías de segundo orden en la provincia del Azuay. *ConcienciaDigital*, 4(4.1), 81–95. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i4.1.1927>
- 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>
- Calle, E. (2023). *Diseños de investigación cualitativa y cuantitativa*. 1865–1879.
- Chávez, L. (2022). *Procesos de la construcción de una carretera*.
- Chen, X., Wang, H., Horton, R., & DeFlorio, J. (2021). *Evaluación del ciclo de vida del impacto del cambio climático en la huella de carbono dependiente del tiempo del pavimento asfáltico*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920921000031>
- Delgado, G. (2017). *Ecología y Ambiente. Diseño y Sustentabilidad en Construcciones con caña guadúa*.
- Delgado, P. (2019). Estudio Ambiental del acceso vial desde el Auditorio hasta el Tanque La Mona del Cantón Jipijapa. *Rabit : Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab*, 1(1), 2019.
- Dzul, M. (2017). *Diseño No - Experimental*.
- Eduardo, J., & Vila, B. (2023). *Estimación de la huella de carbono en el sector de infraestructura vial : Caso de estudio para un corredor vial de 190 Km en la fase de operación y mantenimiento , Colombia Estimation of the carbon footprint in the road*

infrastructure sector : A case stud. 2.

- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3), 234–254. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732014000300002>
- Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas. *Informacion Tecnologica*, 23(1), 163–176. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- For Construction. (2024). *Cómo mejorar las emisiones y la eficiencia de las plantas de asfalto*.
<https://www.forconstructionpros.com/asphalt/plants/article/22631183/technology-to-improve-asphalt-plant-emissions-and-efficiency>
- Gangoellis, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X., & Fuertes, A. (2011). Assessing concerns of interested parties when predicting the significance of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Building and Environment*, 46(5), 1023–1037. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.11.004>
- Gómez, E., Navas, D., Aponte, G., & Betancourt, L. (2017). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *Spine Journal*, 17(8), 1200. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2017.04.017>
- Isabel, C. P. A., & Mero, C. (2018). *Construcción En Ecuador Sobre El Producto Interno Bruto Pib Periodo 2010-2016*.
- Kaur, M. (2012). Environment Impact Assessment and Environment Management Studies for an Upcoming Multiplex - A Case Study. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 1(4), 22–30. <https://doi.org/10.9790/1684-0142230>
- León, S., & Segura, P. (2022). *RECURSOS NATURALES COMO FACTORES DE RENDIMIENTO EN CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS AMBIENTALES PARA VIVIENDAS PREFABRICADAS DE HORMIGÓN*.
- Morales, J., & Rodríguez, G. (2020). *“ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE NOX DURANTE EL ARRANQUE SOBRE PENDIENTES MEDIANTE EL ESTUDIO DE SEÑALES PID’S EN UN CHEVROLET AVEO FAMILY 1.5L PARA LA DETERMINACIÓN DE SU INFLUENCIA EN LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE CUENCA”*.




- Nieto, N. (2011). *Equipo De Investigación*. 1–4.
https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=gskIDR8A AAAJ&pagesize=100&citation_for_view=gskIDR8AAAAJ:738O_yMBCRsC
- Pérez, G. (2024). *Análisis De Ciclo De Vida (ACV) De Pavimentos Urbanos En La Zona De Planificación 3 Del Ecuador*.
- Quito, C. de C. de. (2021). *La construcción y operación genera el 38% de gases de efecto invernadero a nivel mundial*.
- Quito, C. de C. de. (2023). *La construcción y operación genera el 38% de gases de efecto invernadero a nivel mundial*.
- Ramón, F. (2022). *40 % de emisiones de CO2 son del sector de la construcción*.
- Ramos, C. (2020). Alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–6.
<https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Romero, B. (2003). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. *Boletín iiE*, 91–97.
- Ruiz Davila, R. del P. (2020). Análisis Técnico – Económico de mezclas asfálticas con Tereftalato de Polietileno Reciclado para la Construcción de Carreteras Asfaltadas. *Universidad Peruana Los Andes*, 1–20.
- Sampedro Rodríguez, Á. (2019). *Determinación de la huella de carbono de las mezclas asfálticas en caliente y sus técnicas sostenibles*. 225.
- Torres, S. (2013). *Proyecto de Grado Ingeniería Civil Cuantificación del efecto del período de diseño en el costo de ciclo de vida de pavimentos rígidos y flexibles , aplicado al caso Samuel Fernando Torres Rincón Asesor : Silvia Caro Spinel Universidad de los Andes Faculta*.
- Wirtgen Group. (2024). *Reducción de la huella de CO₂ en la producción de asfalto*.
<https://www.wirtgen-group.com/es-ec/noticias-y-medios/benninghoven/sostenibilidad-en-la-produccion-de-asfalto/>

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama final del proceso de pavimento.



LEYENDA

-  Orden del proceso
-  Proceso
-  Detalle del proceso