



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO I**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

**DOBLE TRATAMIENTO ASFÁLTICO RECICLADO COMO SUBBASE PARA  
PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO**

**PRESENTADO POR:**

**11851075 ALBERTO ANDREÉ GUTIÉRREZ ARÉVALO**

**11811151 DAVOR RODNIERY MELGAR ARGUETA**

**ASESOR TEMÁTICO:**

**MSC. ING. JULIO CESAR LÓPEZ ZERÓN**

**ASESORA METODOLÓGICA:**

**MSC. ING. KARLA ANTONIA UCLÉS BREVÉ**

**CAMPUS TEGUCIGALPA; SEPTIEMBRE, 2023.**

## DEDICATORIA

Dedicamos este logro a nuestros queridos familiares, cuyo apoyo incondicional fue nuestra fuerza a lo largo de esta carrera. A nuestras amistades, quienes fueron un pilar de fortaleza en cada etapa del proceso. Y a nuestros maestros y asesores académicos, por compartir su valioso conocimiento y guiarnos en este camino hacia el éxito.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a SERMACO por su invaluable colaboración como empresa privada en este proyecto de investigación. Su apoyo, aportes de conocimiento y tiempo dedicado fueron esenciales para el éxito de esta tesis.

También deseamos agradecer de manera especial a la Ing. Karla Ucles por su guía y asesoramiento constante a lo largo de esta investigación. Su compromiso y orientación fueron fundamentales para alcanzar los resultados esperados.

## EPÍGRAFE

*El éxito es la suma de pequeños esfuerzos repetidos día tras día.*

*- Robert Collier*

## RESUMEN EJECUTIVO

De acuerdo con diversas fuentes consultadas, la orientación de los asesores, del ingeniero residente del proyecto Siguatepeque – Jesús de Otoro, el doble tratamiento asfáltico ha generado reconocimiento en la industria de la Ingeniería Civil debido a los beneficios y eficacia en la mejora de la calidad y durabilidad de las carreteras, estas obras de pavimentación prevalecen en las carreteras secundarias cuyo tránsito es limitado, pero al igual que cualquier obra estructural, tiene una vida útil de diseño. Está demostrado que la durabilidad está influenciada directamente por el clima del lugar donde son construidos, además se consideran otros parámetros como las propiedades de los materiales, las cargas de tránsito, incrementos en el flujo vehicular, características de la subrasante, procesos constructivos, humedad, entre otros.

Siguiendo lo anteriormente expuesto, se ha identificado un problema en la pavimentación con doble tratamiento asfáltico de la carretera Siguatepeque – Jesús de Otoro, la cual presenta con el tiempo, desde la pavimentación en 1993, desgaste, apareamiento de baches y fisuras, por lo que al ser demolida producirá residuos del pavimento asfáltico (RAP por sus siglas en inglés Reclaimed Asphalt Pavement).

El trabajo de investigación se ha desarrollado para documentar el uso del RAP como parte de la subbase para la sustitución del pavimento existente por concreto hidráulico, para lo que, se ha debido dar seguimiento al proceso de reciclaje del RAP en la construcción de la subbase con materiales selectos estabilizados con cemento. El enfoque de la investigación es mixto debido a que incluye el estado del pavimento actual, el proceso de pavimentación y características como ensayos de campo y laboratorio proporcionados por la empresa SERMACO, encargada del proyecto de pavimentación.

Palabras clave: baches, cargas de tránsito, demolición, desgaste, fisuras, flujo vehicular, residuos asfálticos.

## **ABSTRACT**

According to various consulted sources, the guidance from advisors, the on-site engineer of the Siguatepeque - Jesus de Otoro project, and knowledge gained in the field of transportation, double asphalt treatment has gained recognition in the Civil Engineering industry due to its benefits and effectiveness in enhancing the quality and durability of roads. These pavement works are prevalent on secondary roads with limited traffic, but like any structural work, they have a design service life. It is proven that durability is directly influenced by the local climate where they are constructed. Other parameters, such as material properties, traffic loads, increases in vehicular flow, subgrade characteristics, construction processes, moisture, among others, are also considered.

Building upon the aforementioned, a problem has been identified in the double asphalt treatment pavement of the Siguatepeque - Jesus de Otoro road, which, over time since its construction in 1993, has shown wear and tear, the emergence of potholes and cracks. Consequently, upon demolition, it will produce reclaimed asphalt pavement (RAP).

This research work has been carried out to document the use of RAP as part of the subbase for replacing the existing pavement with hydraulic concrete. This required monitoring the RAP recycling process in the construction of the subbase using select materials stabilized with cement. The research approach is mixed as it includes the assessment of the current pavement condition, the pavement process, and characteristics such as field and laboratory tests provided by SERMACO, the company responsible for the pavement project.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I	Introducción.....	1
II	Planteamiento del Problema .....	3
2.1	Precedentes del Problema .....	3
2.2	Definición del Problema.....	4
2.3	Justificación.....	4
2.4	Preguntas de Investigación.....	5
2.5	Objetivos.....	6
2.5.1	Objetivo General.....	6
2.5.2	Objetivos específicos .....	6
III	Marco Teórico.....	7
3.1	Carretera Siguatepeque – La Esperanza .....	7
3.2	Ruta Lenca .....	9
3.2.1	Etapa 1 Proyecto Ruta Lenca .....	11
3.2.2	Etapa 2 Proyecto Ruta Lenca .....	12
3.2.3	Etapa 3 Proyecto Ruta Lenca .....	12
3.3	Doble Tratamiento Asfáltico.....	13
3.3.1	Proceso constructivo del doble tratamiento superficial.....	14
3.4	Diseño de carpeta de concreto hidráulico.....	18
3.4.1	Método de diseño PCA.....	19
3.4.2	Método de diseño ASSHTO .....	20
3.4.3	Deflexiones y resultados de estudio.....	21
3.4.4	Estudio topográfico.....	22
3.4.5	Estudios para clasificación de suelos.....	26
3.4.6	Estudio de tráfico .....	35

3.4.7	Estudio de cargas.....	40
3.4.8	Estudio de estabilización de suelos .....	43
3.5	RAP (reclaimed asphalt pavement).....	45
3.5.1	Concreto Hidráulico Utilizando RAP.....	46
3.6	Efectos del residuo de concreto asfáltico en el medio ambiente .....	49
IV	Metodología .....	51
4.1	Enfoque .....	51
4.2	Variables de Investigación.....	51
4.2.1	Pavimento concreto hidráulico .....	52
4.2.2	Durabilidad del pavimento.....	53
4.2.3	Documentación del proceso.....	53
4.3	Técnicas E Instrumentos Aplicados.....	54
4.4	Herramientas y Equipo Tecnológicos .....	55
4.5	Metodología del Estudio .....	56
4.5.1	Proceso del pavimento de concreto hidráulico con uso del RAP como elemento de la subbase.....	56
4.5.2	Levantamiento de información para los análisis previos.....	56
4.5.3	Levantamiento de información del proceso escarificado del material existente ....	64
4.5.1	Levantamiento de información para el análisis de la prueba de carga.....	65
4.5.2	Levantamiento de información para la mezcla del RAP con suelo estabilizado con cemento.....	66
4.5.3	Levantamiento de información para el afinamiento de la subbase.....	68
4.5.4	Levantamiento de información para las pruebas de compactación y verificación del contenido de humedad de diseño .....	70
4.5.5	Levantamiento de información para el proceso de imprimación.....	71
4.5.6	Carpeta de concreto hidráulico .....	73

V	Resultados y análisis .....	77
5.1	Efecto que provocan los residuos de concreto asfáltico en el medio ambiente.....	77
5.2	Uso del RAP como elemento de la subbase para pavimentos de concreto hidráulico...78	
5.3	Factores para tomar en cuenta para sustituir el doble tratamiento asfáltico por pavimento de concreto hidráulico.....	79
5.4	Proceso constructivo al utilizar el RAP como elemento de la subbase para pavimentos de concreto hidráulico.....	80
5.5	Análisis de campo y laboratorio para verificar la calidad de la subbase con RAP para pavimento de concreto hidráulico.....	81
5.6	Ventajas y desventajas al utilizar el residuo asfáltico en la subbase para un pavimento de concreto hidráulico.....	83
VI	Conclusiones.....	86
VII	Recomendaciones.....	88

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1	Reciclaje de doble tratamiento asfáltico .....	1
Ilustración 2.	Placa histórica en sitio del proyecto .....	4
Ilustración 3	Carretera Siguatepeque - La Esperanza .....	8
Ilustración 4	Ubicación Carretera Siguatepeque - La Esperanza .....	9
Ilustración 5	Ubicación etapa 1, Proyecto Ruta Lenca.....	11
Ilustración 6	Ubicación etapa 2, Proyecto Ruta Lenca.....	12
Ilustración 7	Ubicación etapa 3, Proyecto Ruta Lenca.....	13
Ilustración 8	Doble tratamiento asfáltico.....	14
Ilustración 9	Base y subbase.....	15
Ilustración 10	Capa de base.....	16
Ilustración 11	Imprimación.....	16

Ilustración 12 Preparación de superficie.....	18
Ilustración 13 Carpeta de concreto hidráulico.....	19
Ilustración 14 Relación esfuerzo profundidad .....	20
Ilustración 15 Estudio de topografía.....	23
Ilustración 16 Ejemplo de un MTD.....	24
Ilustración 17 Ejemplo de fotogrametría .....	24
Ilustración 18 Ejemplo de un UAV .....	25
Ilustración 21 Diagrama hipotético de los componentes del suelo.....	26
Ilustración 22 Tamizadora eléctrica .....	27
Ilustración 23 Curva granulométrica de un suelo.....	28
Ilustración 24 Clasificación de suelos en función de la granulometría.....	28
Ilustración 25 Límites de Atterberg.....	29
Ilustración 26 Cuchara de Casagrande y acanaladores .....	30
Ilustración 27 Clasificación de la consistencia a partir del índice líquido.....	31
Ilustración 28 Estado del suelo a partir del índice de consistencia.....	32
Ilustración 29 Clasificación suelos granulares.....	32
Ilustración 30 Clasificación suelos tipo arcilla y limo .....	33
Ilustración 31 Flujo vehicular .....	36
Ilustración 32 Velocidad km/hr.....	37
Ilustración 33 Volumen de tránsito .....	39
Ilustración 34 Componentes de una estación móvil de pesaje dinámico (WIM) .....	41
Ilustración 35 Espectros de carga .....	42
Ilustración 36 Deformaciones por cargas .....	42
Ilustración 37 Espectros de daño.....	43
Ilustración 38 Estabilización de suelos con cemento .....	44
Ilustración 39 Obtención del RAP por fresado. ....	46

Ilustración 40. Obtención del RAP por reciclado.....	46
Ilustración 41 Simbología de reciclaje de materiales asfálticos .....	50
Ilustración 42 Deterioro de la carretera Siguatepeque - La Esperanza .....	58
Ilustración 43 Carpeta de concreto hidráulico sobre residuo de doble tratamiento asfáltico....	64
Ilustración 44 Maquinaria de escarificar, mezclado y reciclado.....	65
Ilustración 45 Prueba de carga con volqueta.....	65
Ilustración 46 Colocación de cemento en bolsas .....	67
Ilustración 47 Marcado de niveles mediante topografía .....	67
Ilustración 48 Tendido de cemento utilizando motoniveladora .....	68
Ilustración 49 Mezcla de residuo de asfalto y suelo estabilizado con cemento por medio de recicladora anclada a camión cisterna .....	68
Ilustración 50 Motoniveladora en proceso de afinamiento.....	69
Ilustración 51 Compactador neumático en proceso de compactación.....	69
Ilustración 52 Camión cisterna en proceso de humidificación.....	69
Ilustración 53 Porcentaje de compactación .....	70
Ilustración 54 Densímetro.....	71
Ilustración 55 Imprimación.....	71
Ilustración 56 Aplicación de capa de arena sobre imprimación .....	72
Ilustración 57 Capa de arena sobre la imprimación .....	72
Ilustración 58 Pavimentadora.....	74
Ilustración 59 Vertido de concreto .....	75
Ilustración 60 Esparcimiento y vibrado del concreto .....	75
Ilustración 61 Carpeta de concreto hidráulico.....	76
Ilustración 62 Uso del RAP como elemento de la subbase .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados BLI, MLI, LLI.....	21
----------------------------------------	----

Tabla 2 Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Granular).....	34
Tabla 3 Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Limo-Arcilloso) .....	35
Tabla 4. Carga de ejes .....	40
Tabla 5 Cantidad de cemento para el ensayo de compactación .....	45
Tabla 6. Resumen de estudios realizados de concreto con RAP. ....	48
Tabla 7 Resultados en toneladas de-BMI, MLI, LLI.....	58
Tabla 8 Factor equivalente de carga .....	59

### **ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1 Contenido de humedad.....	26
Ecuación 2 Índice de Plasticidad del suelo.....	30
Ecuación 3 Índice Líquido del suelo.....	30
Ecuación 4 Índice de consistencia del suelo.....	31
Ecuación 5 Índice para clasificación de grupo.....	33
Ecuación 6 Gráfico del rango del Límite Líquido y el Índice de Plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 Y A-7.....	34
Ecuación 7 Velocidad media temporal.....	37
Ecuación 8 Velocidad media espacial.....	38
Ecuación 9 Calculo de densidad.....	38

### **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Asesoría temática 1 .....	133
Anexo 2 Entrevista 1 .....	134
Anexo 3 Planos de juntas.....	135
Anexo 4 Plano sección típica .....	136
Anexo 5 Herramientas y equipos utilizados por SERMACO.....	137
Anexo 6 Resultados análisis del tráfico vehicular Ruta 22, Siguatepeque - La Esperanza .....	142

Anexo 7 Resultados análisis del tráfico vehicular Ruta 22, Siguatepeque – La Esperanza.....	143
---------------------------------------------------------------------------------------------	-----

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Beneficios del proyecto Ruta Lenca.....	10
Gráfico 2 Concreto hidráulico utilizando RAP.....	48
Gráfico 3 Pavimento de concreto hidráulico .....	52
Gráfico 4 Durabilidad del pavimento .....	53
Gráfico 5 Eficiencia del proceso.....	53
Gráfico 6 Técnicas e instrumentos aplicados.....	54
Gráfico 7 Herramientas y equipo tecnológico .....	55
Gráfico 8 Proceso constructivo .....	56
Gráfico 9 Etapas del levantamiento de información geotécnica .....	61
Gráfico 10 Etapas en el levantamiento de información para el análisis de materiales .....	62
Gráfico 11 Regulaciones y disposiciones ambientales.....	63
Gráfico 12 Mezcla del RAP con suelo estabilizado con cemento.....	66
Gráfico 13 Procesos para la colocación del concreto hidráulico .....	73
Gráfico 14 Etapas para la colocación del concreto hidráulico 1 .....	73
Gráfico 15 Etapas para la colocación del concreto hidráulico 2 .....	73
Gráfico 17 Efectos de los residuos asfálticos al medio ambiente.....	77
Gráfico 16 Factores a considerar para la sustitución de doble tratamiento asfáltico por concreto hidráulico .....	79
Gráfico 18 Proceso constructivo ilustrado.....	80
Gráfico 19 Comparación entre método cono de arena y densímetro.....	82
Gráfico 20 Prueba de carga con volqueta .....	83
Gráfico 21 Ventajas al utilizar residuo asfáltico como subbase para un concreto hidráulico.....	84
Gráfico 22 Desventajas al utilizar residuo asfáltico como subbase para un concreto.....	85

## SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
BCI	Base Curvature Index (Índice de Curvatura de la Base)
BDI	Base Damage Index (Índice de Daño de la Base)
BLI	Base Layer Index (Índice de la Capa de Base)
CCR	Concreto Compactado con Rodillos
DTS	Doble Tratamiento Superficial
HMA	Hot Mix Asphalt
IP	Índice Plástico
LL	Límite Líquido
LLI	Lower Layers Index (Índice de las Capas Inferiores)
LP	Límite Plástico
MDT	Modelos Digitales de Terreno
MLI	Medium Layer Index (Índice de la Capa Media)
PCA	Portland Cement Association
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement
SAAP	Superintendencia de Alianza Público Privada
SCI	Surface Curvature Index (Índice de Curvatura Superficial)
SEICA	Secretaría General del Sistema de la Integración Centroamericana
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Vehículo Aéreo No Tripulado)

## GLOSARIO

**Base:** "Es una capa estructural de material que va sobre la Sub-Base destinada a sustentar la estructura del pavimento, es la que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos" (Orrego, 2014).

**Carpeta asfáltica:** "Es un material compuesto por asfalto y otros minerales (arena, grava, agua.) de 5 cm o más de espesor, para cubrir superficie de carreteras" (Suárez, 2019).

**Densímetro nuclear:** "Herramienta que permite calcular la densidad in - situ de suelos agregados de tres maneras por retrodispersión, por transmisión directa o por retrodispersión/proporción de vacíos de aire" (Cano, 2014).

**Doble tratamiento superficial:** "Es una serie de tratamientos superficiales simples en donde el tamaño máximo del agregado del tratamiento sucesivo es usualmente la mitad del anterior" (Rosada, 2000).

**Índice de Plasticidad:** "Es un valor que indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica" (Santín, 2005).

**Imprimación asfáltica:** "La imprimación es la incorporación inicial del asfalto en la superficie de capa de base sin asfaltar con el propósito de impermeabilizar la superficie de base y llenar los vacíos capilares" (Rosada, 2000).

**Mezcla bituminosa:** "Se entiende por mezcla bituminosa a la mezcla de áridos y un ligante hidrocarbonado, de tal manera que las partículas queden cubiertas por una película continua de este último" (Haydée, 2000).

**Pavimento:** "Son estructuras compuestas por capas de diferentes materiales, construidas sobre un terreno natural" (Reyes & Rondon, 2015).

**Pavimento hidráulico:** “Es un material compuesto por arena, grava, cemento, agua y reforzado con hierro” (Reyes & Rondon, 2015).

**Residuo asfáltico:** “Los materiales RAP se generan cuando se retiran los pavimentos asfálticos para repavimentarlos, reconstruirlos o acceder a servicios públicos enterrados” (Constructor, 2021).

**Subbase:** “Es una capa de material que se coloca debajo de la capa superior de una carretera, camino, pista de aeropuerto u otra superficie pavimentada” (Collantes, 2012).

## I INTRODUCCIÓN

El reciclaje del doble tratamiento asfáltico es una técnica innovadora dentro del ámbito de la Ingeniería Civil, que busca aumentar la eficiencia en la reutilización de materiales asfálticos e implementar la sostenibilidad en la construcción y rehabilitación de carreteras. La metodología permite realizar en un solo proceso de reciclaje con la combinación de dos capas asfálticas, para aprovechar los materiales existentes y reducir la necesidad de utilizar nuevos recursos, debido a que la mezcla reciclada se coloca nuevamente sobre la carretera formando una nueva capa de pavimento que no solo ofrece durabilidad, sino que ofrece una resistencia comparable con las construcciones tradicionales, con la diferencia que provoca un menor impacto ambiental y minimiza los costos. (Villa, 2015).



**Ilustración 1 Reciclaje de doble tratamiento asfáltico**

Fuente: (ECOASFALT, 2023)

La utilización del Doble Tratamiento Asfáltico Reciclado como subbase en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico representa una estrategia de ingeniería de alto rendimiento y sostenibilidad. Este enfoque se caracteriza por la capacidad para optimizar la gestión de los recursos asfálticos, reduciendo la necesidad de nuevos materiales en la rehabilitación de carreteras y la construcción de nuevas infraestructuras viales.

Esta metodología revolucionaria implica la combinación y reciclaje de dos capas de asfalto en un único proceso, permitiendo el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles. La mezcla reciclada se reutiliza como base para el pavimento de concreto hidráulico, proporcionando una durabilidad equiparable a las técnicas convencionales, pero con un impacto ambiental significativamente reducido y costos más eficientes.

En el marco de esta investigación, se detallará el procedimiento para la eliminación de la capa de doble tratamiento asfáltico existente, que será sustituida por una superficie de concreto hidráulico. La subbase resultante estará compuesta por materiales selectos estabilizados con cemento y RAP, respaldados por un riego asfáltico para evitar la pérdida de finos. Además, la incorporación de RAP en la subbase servirá para reutilizar los recursos existentes y conferirle mayor rigidez al sistema, cumpliendo con estándares de calidad y sostenibilidad en la construcción de infraestructuras viales modernas. En la investigación se explicará el procedimiento a seguir para la demolición de la carpeta de doble tratamiento asfáltico, que será sustituida por concreto hidráulico, cuya subbase estará conformada con materiales selectos estabilizados con cemento y RAP, con un riego asfáltico para evitar la pérdida del fino, así como la utilización del RAP con el objetivo de reutilizar el material existente y generarle mayor rigidez a la subbase.

## II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este apartado de la investigación serán planteados los precedentes del problema, definición del problema y justificación, con el objetivo de proponer soluciones o propuestas de diseño para el uso del residuo del doble tratamiento asfáltico cuando el pavimento es sustituido por concreto hidráulico.

### 2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Está demostrado que la durabilidad de los pavimentos asfálticos está influenciada directamente por el clima del lugar donde están ubicados. Además, se deben considerar otros parámetros como la magnitud y frecuencia de las cargas de tránsito, las propiedades de los materiales que lo conforman, las características de la subrasante, la humedad, el proceso constructivo, entre otros. Estos parámetros, en su conjunto, afectan sensiblemente el desempeño del pavimento y su potencial para desarrollar fallas por deformación permanente. (Guerrero & Chang, 2016)

Desde el punto de vista mecanicista, existen dos tipos de falla principales en las mezclas asfálticas, que son la deformación permanente y el fisuramiento por fatiga. La deformación permanente es generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación de la subrasante. Cuando a un material granular se le inducen ciclos de carga y descarga, parte de la deformación total ( $\xi_t$ ) que se genera es recuperada y se le conoce como la deformación resiliente ( $\xi_r$ ). Aquella deformación que no se recupera se acumula con cada repetición del ciclo y se le denomina deformación permanente ( $\xi_p$ ). (Guerrero & Chang, 2016)

(Murillo, 2023) Afirma que el tramo carretero Siguatepeque – La Esperanza fue construido de 1992 a 1993, pavimentado con doble tratamiento asfáltico porque no formaba parte de la red principal, además de que se consideraba que tendría poco tránsito vehicular, mayormente liviano, pero debido a la integración a la Ruta Lenca y al tipo de topografía, mayormente

montañosa, ha sufrido con el tiempo, desgaste del doble tratamiento, aparecimiento de baches y fisuras.



**Ilustración 2. Placa histórica en sitio del proyecto**

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

(Murillo, 2023) Residente del proyecto "Rehabilitación sobre el doble tratamiento asfáltico existente del tramo carretero: Siguatepeque – Jesús de Otoro, ubicado en los departamentos de Comayagua e Intibucá, Honduras C.A", afirma que: la carretera presenta fallas principalmente por el cumplimiento del uso de vida, fatiga en la longitud del tramo, agrietamientos y baches.

Debido al estado actual del tramo carretero es necesario llevar a cabo la sub-excavación de la estructura existente (20 cm), por lo que para evitar el desperdicio del residuo asfáltico se mezclará con la base y subbase existentes, se le agregará una proporción de cemento previo a la pavimentación con concreto hidráulico, para mejorar y rigidizar la subbase.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

La recuperación de agregados se ha convertido en un tema muy importante en la industria de la construcción. El agotamiento progresivo de los recursos naturales, el aumento en

los obstáculos para desarrollar nuevas canteras y la creciente conciencia ciudadana respecto a la gestión sostenible de los residuos, hacen cada vez más relevante el uso de agregados reciclados en el sector de la construcción. A pesar de que este proceso tiene características particulares en cada país, en términos de coyuntura y escala, se espera que los materiales procedentes de diferentes tipos de residuos se conviertan en parte sustancial del mercado de la construcción. (Marín, 2021)

De acuerdo con lo expresado por (Murillo, 2023) la carpeta de doble tratamiento asfáltico removida será sustituida por concreto hidráulico y se le agregará cemento de manera que permita reconstruir y darle un mejor sentado, evitar que la losa y el fino se pierda, que entre humedad en el vacío por la pérdida del fino y cause grietas ya que es dañino para el concreto hidráulico, la utilización de esta metodología también permite aprovechar al máximo el material existente ya que la carretera posee un doble tratamiento asfáltico, un agregado  $\frac{3}{4}$  y al ser reutilizados permite reducir costos.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. ¿Qué factores se deben tomar en cuenta para sustituir el doble tratamiento asfáltico por pavimento de concreto hidráulico?
2. ¿Cuál es el efecto que provocan los residuos de concreto asfáltico en el medio ambiente?
3. ¿En qué consiste el uso del RAP como elemento de la subbase para pavimentos de concreto hidráulico?
4. ¿Cuál es el proceso constructivo al utilizar el RAP como elemento de la subbase para pavimentos de concreto hidráulico?
5. ¿Cuáles son los análisis de campo y laboratorio que se utilizan para controlar la calidad de la subbase con RAP para pavimento de concreto hidráulico?

6. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas al utilizar el residuo asfáltico como subbase para un concreto hidráulico?

## **2.5 OBJETIVOS**

A continuación, se presentan los objetivos generales y específicos que definirán de una mejor manera el desarrollo en la investigación sobre la utilización de desperdicios de concreto asfáltico como un reciclado para una pavimentación con concreto hidráulico.

### 2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Investigar sobre el uso del residuo de concreto asfáltico, como subbase para la pavimentación de concreto hidráulico en la carretera Siguatepeque – La Esperanza con el propósito de establecer el procedimiento constructivo y determinar la eficiencia por medio de pruebas de campo y de laboratorio, basados en normativas y estándares para pavimentos.

### 2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar qué factores se deben tomar en cuenta para sustituir el pavimento de concreto asfáltico por concreto hidráulico, por medio de investigaciones en fuentes secundarias.
2. Investigar el efecto del RAP en el medio ambiente, por medio de entrevistas e investigación en fuentes secundarias.
3. Investigar el uso del RAP como elemento de la subbase para pavimentos de concreto hidráulico, por medio de investigación en fuentes secundarias.
4. Definir el proceso constructivo para pavimentos de concreto hidráulico con uso del RAP como elemento de la subbase, por medio de entrevistas.
5. Investigar que análisis de campo y laboratorio se practican a los pavimentos de concreto hidráulico con uso del RAP como parte de la subbase, por medio de entrevistas e investigación de fuentes secundarias.
6. Investigar las ventajas y desventajas al utilizar el residuo asfáltico como material para la subbase para un pavimento de concreto hidráulico, por medio de investigación en fuentes secundarias.

### III MARCO TEÓRICO

En este apartado se abordarán conceptos fundamentales relacionados con el reciclaje de pavimentos asfálticos, así mismo, se analizarán las ventajas, desafíos y mejores prácticas para la utilización de agregados reciclados en la construcción de subbases para carpetas hidráulica.

#### 3.1 CARRETERA SIGUATEPEQUE – LA ESPERANZA

La carretera entre Siguatepeque - La Esperanza es una obra pavimentada con un “Doble Tratamiento Superficial” (DTS), no obstante, la vía ha recibido en varias épocas labores de bacheo con mezcla asfáltica, lo que origina que una parte de esta tenga en la actualidad una rodadura de capa asfáltica, cuya cuantía se desconoce. Empero, no se supone que sea en la mayoría de la superficie. (OMB, 2023)

El propósito de la carretera es conectar la zona central del país con la región occidental, enfocándose particularmente en la vía que se extiende desde Siguatepeque, atraviesa Jesús de Otoro y alcanza La Esperanza, para finalizar en Santa Rosa de Copán (SAPP, 2017).

(Fajardo, 2019) afirma:

En los últimos años, el deterioro ha sido aún mayor porque las tormentas han provocado que la rodadura y los baches que se forman dentro de la carretera crecen de tamaño mayores costos de rehabilitación.

El recorrido de Siguatepeque hacia La Esperanza tiene una longitud de 67 kilómetros, por lo que se esperaba que en un vehículo particular se hiciera en un tiempo promedio de una hora, pero como está en muy mal estado el tiempo se duplica y se vuelve peligroso transitar, ya que la carretera, tiene casi 30 años de haber sido construida y es necesario la reconstrucción total (Fajardo, 2019).

La diferencia entre una carpeta asfáltica HMA y un Tratamiento Superficial Doble DTS, radica en que el primero es una capa sólida, por su condición de ser un concreto asfáltico

densificado, razón por la que tiene un aporte estructural, cuantificable al momento de diseñar sobre capas, mientras que un DTS se constituye por dos riegos de emulsión asfáltica y dos de grava, intercalados, por lo cual es sumamente delgado, flexible y con menor valor estructural. Después de muchos años de uso, un DTS colocado en su posición más densa (*Average Least Dimension*), tiene apenas un espesor que supera el centímetro (OMB, 2023).



**Ilustración 3 Carretera Siguatepeque - La Esperanza**

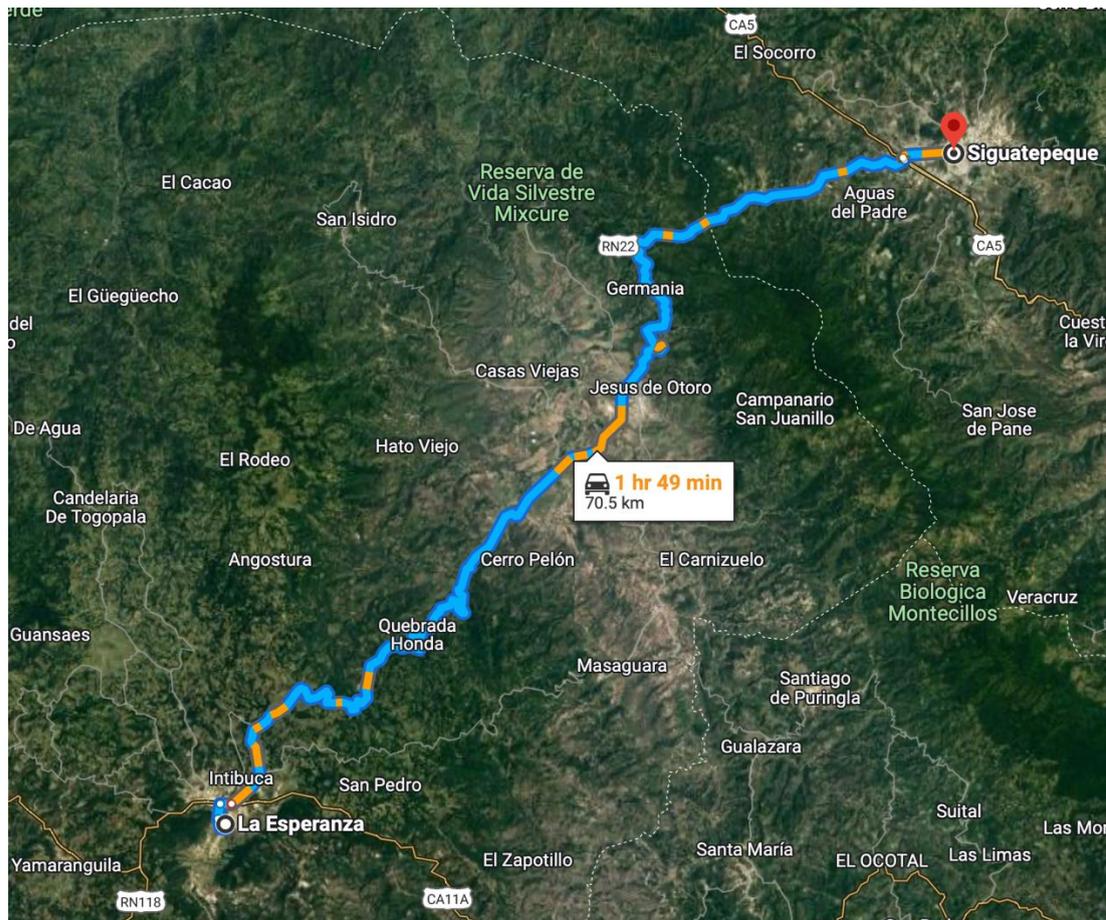
Fuente: (Prensa, 2023)

(AASHTO, 1993) afirma:

El espesor de la capa de tratamiento superficial puede ser ignorado en el cálculo de SN, pero su efecto sobre las propiedades de la base y la subbase puede ser mayor debido a las reducciones en la entrada de agua superficial.

“La nueva metodología AASHTO (1986, 1993) sugiere considerar nulos el aporte estructural de los tratamientos bituminosos superficiales, e incrementar los coeficientes de aporte de las capas subyacentes y recubrimiento” (SIECA, 2002).

“A lo sumo, es posible que el pavimento del proyecto tenga algunas secciones longitudinales con mezcla asfáltica, producto de las reparaciones ejecutadas a lo largo de varios años, pero no cubren todo el ancho de la vía” (SIECA, 2002).



**Ilustración 4 Ubicación Carretera Siguatepeque - La Esperanza**

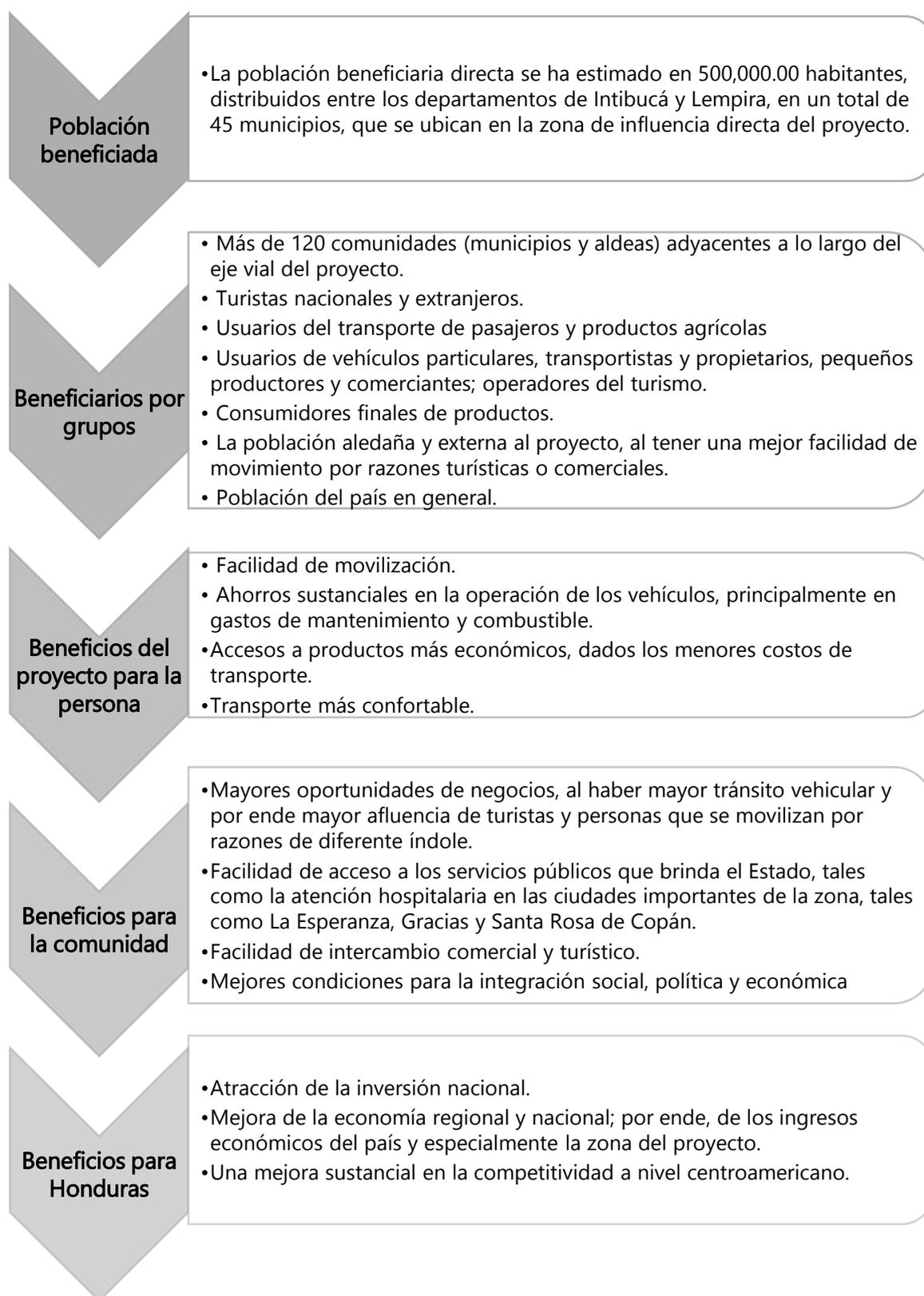
Fuente: (Maps, 2023)

### 3.2 RUTA LENCA

Dentro del contexto de la investigación para el proyecto es fundamental explorar la Ruta Lenca. Esta vía no solo representa un tramo geográfico, sino también un conjunto de desafíos y oportunidades desde la perspectiva de la Ingeniería Civil.

La Ruta Lenca en concepto turístico constituye tanto una región como un recorrido que conecta los principales enclaves habitados por los descendientes de la comunidad lenca, quienes fueron los primeros pobladores de Honduras, estos ancestros han logrado transmitir las tradiciones y costumbres a lo largo de las generaciones. La Ruta Lenca representa una iniciativa a nivel nacional orientada a fomentar el turismo en áreas menos frecuentadas, con el propósito de generar beneficios económicos para las poblaciones locales por lo cual ofrece la oportunidad de apartarse de los circuitos turísticos convencionales durante la travesía por

Honduras (Evaneos, 2016).



**Gráfico 1 Beneficios del proyecto Ruta Lenca**

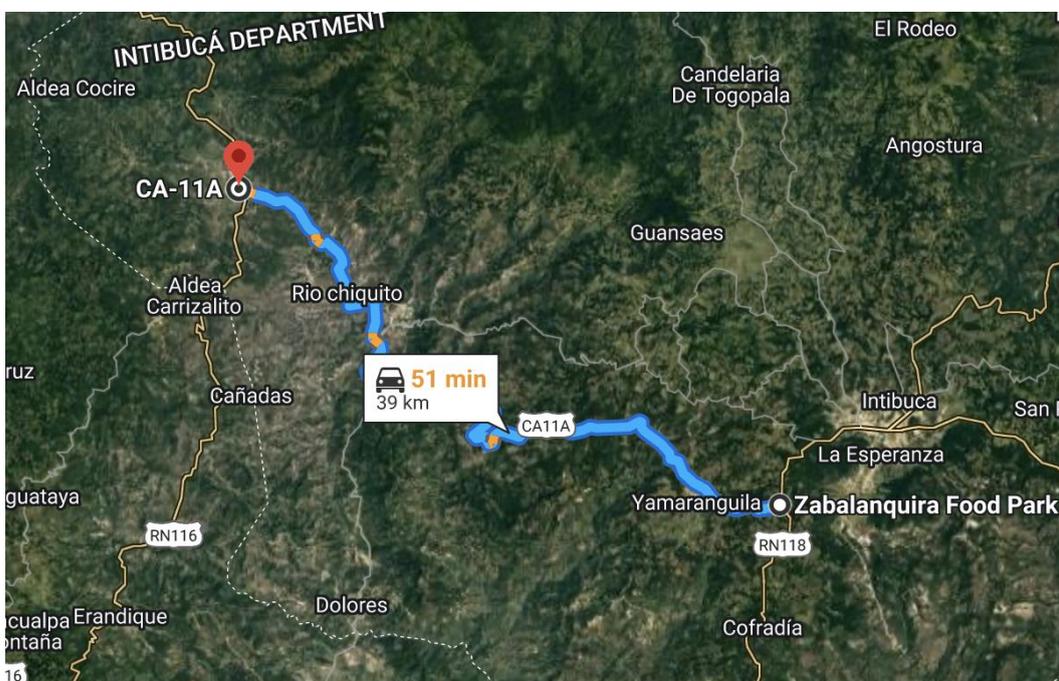
Fuente: (SAPP, SAPP, 2017)

El gobierno de Honduras ha comenzado con la implementación de las mejoras en las carreteras que están dentro de la Ruta Lenca, con el propósito de generar una carretera pavimentada que asegure la circulación segura, cómoda y constante, por lo tanto, se propicia la promoción del crecimiento turístico y económico en la región, lo que con lleva a elevar la posición competitiva tanto a nivel nacional como internacional en el campo turístico y comercial. (Evaneos, 2016).

El proyecto Ruta Lenca está conformado por 3 etapas, las cuales serán enumeradas y detalladas a continuación.

### 3.2.1 ETAPA 1 PROYECTO RUTA LENCA

En la primera etapa se establece la conexión con la carretera La Esperanza – El Obispo, donde se incorpora la vía de desvío en Yamaranguila, que tiene una longitud de 7.5 km. El tramo El Obispo – San Miguelito, comprende una longitud de 20.6 km y el último tramo, San Miguelito – San Juan, de 11.2 km (SAPP, SAPP, 2017).

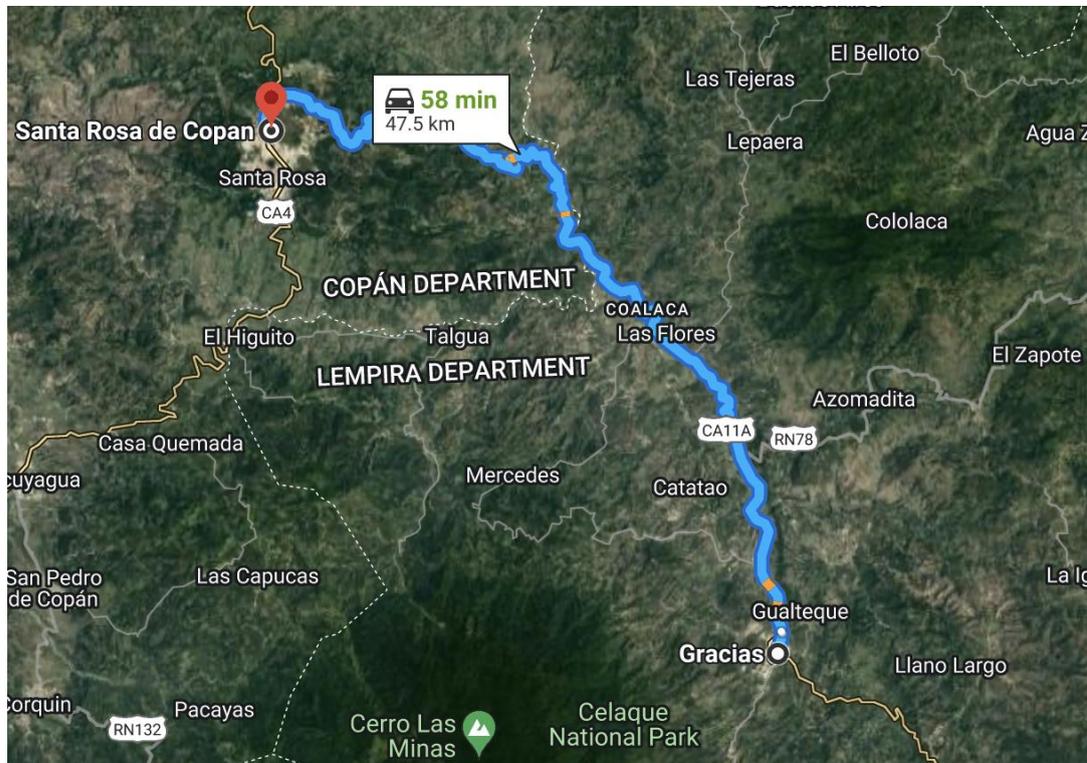


**Ilustración 5 Ubicación etapa 1, Proyecto Ruta Lenca**

Fuente: (Maps, 2023)

### 3.2.2 ETAPA 2 PROYECTO RUTA LENCA

“La segunda etapa del proyecto Ruta Lenca incluye el mejoramiento de la sección vial entre Gracias y Santa Rosa de Copán, que tiene una longitud de 46.6 km” (SAPP, SAPP, 2017).

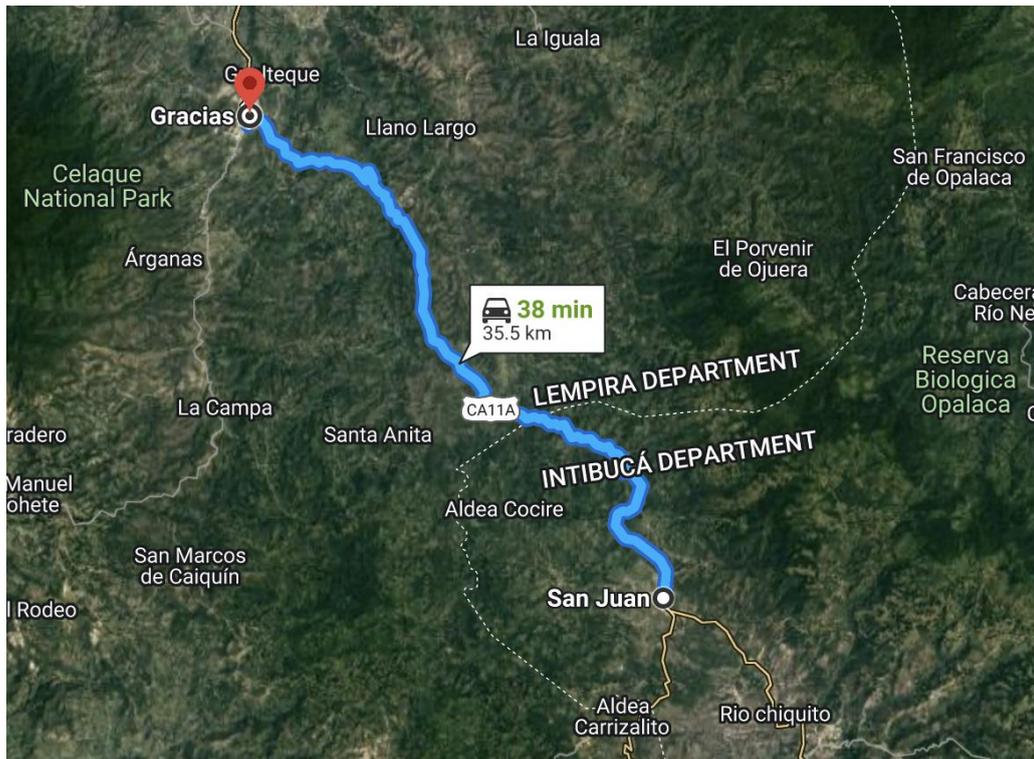


**Ilustración 6 Ubicación etapa 2, Proyecto Ruta Lenca**

Fuente: (Maps, 2023)

### 3.2.3 ETAPA 3 PROYECTO RUTA LENCA

“La etapa 3 incluye la restauración de la vía entre San Juan y Gracias, que tiene una longitud de 35.87 km, así como la edificación del segmento carretero entre Gracias y Celaque, con una longitud de 5.58 km” (SAPP, SAPP, 2017).



**Ilustración 7 Ubicación etapa 3, Proyecto Ruta Lenca**

Fuente: (Maps, 2023)

### **3.3 DOBLE TRATAMIENTO ASFÁLTICO**

El doble tratamiento en carreteras es un enfoque de construcción vial que ha ganado reconocimiento en la industria de la Ingeniería Civil debido a los beneficios y eficacia en la mejora de la calidad y durabilidad de las carreteras. Se refiere a la aplicación sucesiva de dos capas de material asfáltico en una superficie de pavimento existente, con el fin de proporcionar una mayor resistencia y asegurar la vida útil.

“Un tratamiento superficial consta de una capa de un ligante bituminoso, tal como lo es una emulsión asfáltica sencilla o modificada, normalmente de rompimiento rápido (CRR) seguida de una capa de áridos de similar tamaño compactados encima del ligante bituminoso” (Pro Road Global, 2023).

Se consideró que este tema es relevante para la investigación debido al potencial para optimizar el proceso de rehabilitación y mantenimiento de carreteras. Al explorar los aspectos técnicos, económicos y ambientales del doble tratamiento, se pueden encontrar soluciones eficientes para prolongar la vida útil de las carreteras y mejorar el desempeño en el tiempo. Además, la

adopción de prácticas de reciclaje y reutilización de materiales asfálticos contribuirá a la sostenibilidad de las obras viales, así mismo, minimiza el impacto ambiental y maximiza el uso de recursos disponibles. A través de esta investigación, se busca promover el desarrollo de infraestructuras viales más duraderas y amigables con el entorno, de igual manera, beneficiar tanto a la comunidad como al medio ambiente.



**Ilustración 8 Doble tratamiento asfáltico**

Fuente: (ECOASFALT, 2022)

### 3.3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL

El proceso constructivo de una carpeta de doble tratamiento superficial conlleva varias etapas y se detallarán a continuación:

#### 3.3.1.1 *Capa de subbase*

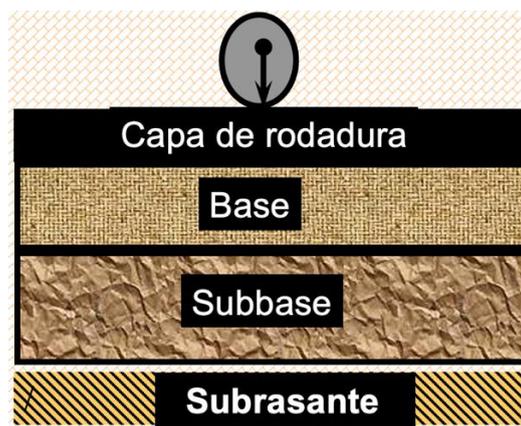
La capa de subbase en pavimentos de doble tratamiento asfáltico desempeña un papel crucial en la estructura vial. Esta capa se encuentra directamente debajo de la capa de base y tiene como objetivo principal proporcionar soporte y distribuir las cargas del tráfico hacia la subrasante, evitando deformaciones excesivas y garantizando la estabilidad del pavimento (Cotrina, 2017).

En el sistema de doble tratamiento asfáltico, la subbase suele estar compuesta por materiales granulares, como grava o agregado triturado, que se compactan adecuadamente para formar una base resistente y duradera. La elección de los materiales de la subbase depende

de diversos factores, como la carga de tráfico esperada, las condiciones climáticas y las propiedades del suelo subyacente (Cotrina, 2017).

“La subbase también juega un papel importante en el drenaje, ya que debe permitir que el agua se drene de manera efectiva para evitar la acumulación de humedad debajo del pavimento, lo que podría debilitar la estructura con el tiempo” (Cotrina, 2017).

“La correcta preparación y compactación de la subbase es esencial para lograr un pavimento duradero y de alta calidad. En este proceso, se pueden utilizar equipos de construcción como rodillos compactadores para asegurar una densidad adecuada y una superficie uniforme” (Cotrina, 2017).

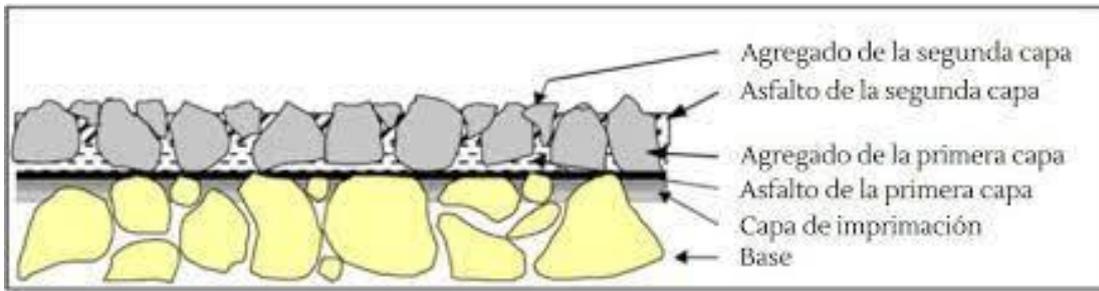


**Ilustración 9 Base y subbase**

Fuente: (Cotrina, 2017)

### 3.3.1.2 *Capa de base*

En la construcción de carreteras con doble tratamiento asfáltico superficial, la capa de base debe presentar un acabado perfecto, para eliminar al máximo cualquier pequeña deformación sobre la superficie. Esto se debe a que el doble tratamiento asfáltico tiene un espesor de aproximadamente una pulgada, lo que hace que cualquier deformación que posea la capa de base sea transmitida a la superficie (Rosada, 2000).



**Ilustración 10 Capa de base**

Fuente: (Pitra, 2017)

### 3.3.1.3 Imprimación

La imprimación es la incorporación en la primera fase del asfalto en la superficie de capa de base sin asfaltar, de manera que alcance a impermeabilizar la superficie de base, llenar los vacíos capilares, cubrir y unir partículas sueltas, endurecer o rigidizar la superficie y contribuir a la adhesión entre la base y el tratamiento superficial (Rosada, 2000).



**Ilustración 11 Imprimación**

Fuente: (BITAFAL, 2020)

#### *3.3.1.4 Actividades preliminares a la colocación del doble tratamiento*

(Rosada, 2000) menciona que la limpieza del agregado es una cuestión fundamental porque debe estar libre de polvo y material orgánico, ya que, si no se tiene un agregado completamente libre de impurezas, existen altas probabilidades de que se tengan problemas de adherencia ya que las partículas de polvo impiden que el material bituminoso se adhiera en forma adecuada al agregado.

Para limpiar el agregado se puede tener un tanque cisterna que abastece el sistema de lavado de la clasificadora, esto es si se cuenta con una planta trituradora, por lo que al mismo tiempo que se clasifica el material, se lava, se recomienda iniciar el proceso de lavado del agregado por lo menos un día antes de iniciar el doble tratamiento, con el objeto de tener agregado limpio y seco acumulado (Rosada, 2000).

#### *3.3.1.5 Preparación y delimitación de la superficie a tratar*

Gutiérrez Rosada (2000) afirma que, para la preparación y delimitación de la superficie a tratar es necesario realizar un barrido de la superficie, todo el material suelto y extraño debe removerse de la superficie a tratar que puede ser mediante la utilización de una barredora mecánica y un compresor con un soplete y una vez que la superficie a tratar haya sido barrida, se procede a inspeccionar visualmente con la finalidad de verificar que no hayan existido grietas, depresiones o alguna condición que impida la uniformidad y efectividad del tratamiento.



### **Ilustración 12 Preparación de superficie**

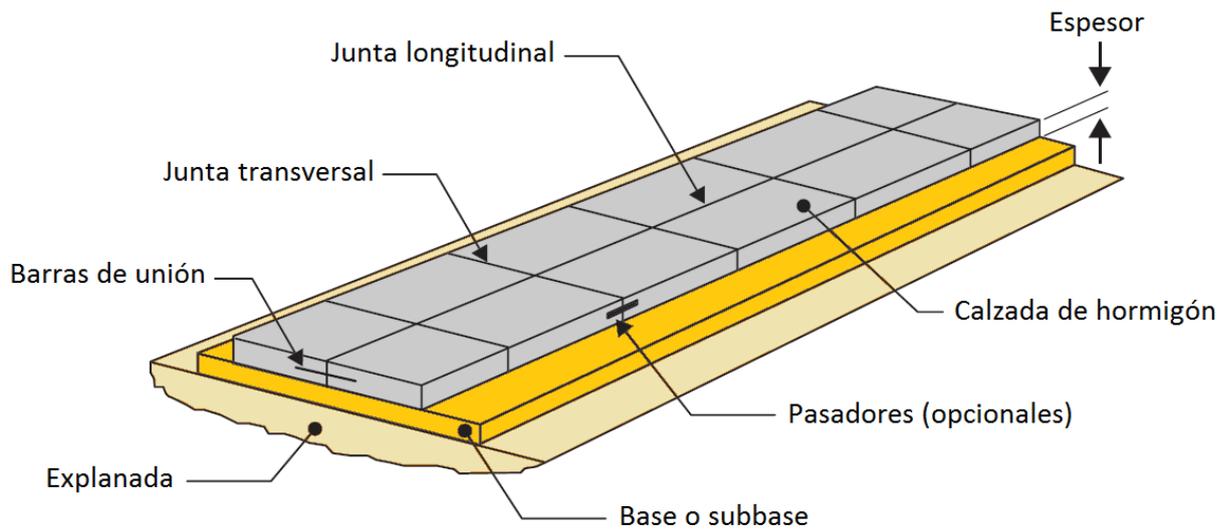
Fuente: (Alamy, 2021)

(Rosada, 2000) menciona que, para delimitar la superficie a tratar, es necesario usar un cordel o marcar con pintura la línea que indique el borde de esta para que el conductor de la distribuidora de asfalto pueda guiarse, también es importante regar el material bituminoso cuando la temperatura ambiente sea mayor a 15°C.

### **3.4 DISEÑO DE CARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO**

En el proceso de diseño de una carpeta de concreto hidráulico, los estudios topográficos y geotécnicos juegan un papel fundamental al proporcionar información esencial sobre el terreno y las características del suelo. La correcta elección de los equipos topográficos, la clasificación y estabilización de los suelos son aspectos esenciales que establecen las bases para un diseño sólido y duradero.

“Actualmente, existen dos métodos de diseño para calcular el espesor de pavimentos de hormigón, el método de la Asociación de Cemento Portland (PCA) y el método de la Asociación Americana de la Organización de Transporte de Carreteras del Estado (AASHTO)” (Mora, 2023).



**Ilustración 13 Carpeta de concreto hidráulico**

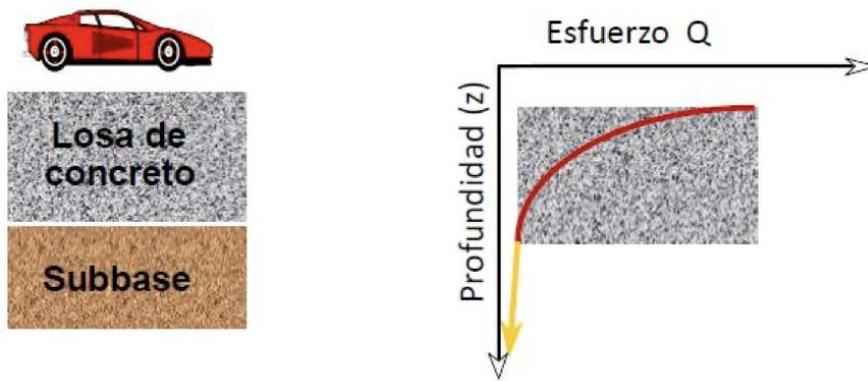
Fuente: (UPV, 2015)

### 3.4.1 MÉTODO DE DISEÑO PCA

Este método se basa en dos criterios específicos, uno relativo a la resistencia a la fatiga del hormigón y el otro a la erosión de la base. En el primer caso, se supone que la carga máxima se aplica en medio de la losa justo sobre la junta longitudinal que da la tensión máxima con la losa. En el segundo caso, se supone que la carga máxima se aplica en una esquina de la losa para generar deflexión máxima de la losa (Mora, 2023).

(Mora, 2023) afirma:

Cuando se usa este método de diseño (PCA), hay que conocer cuatro parámetros fundamentales: El módulo de ruptura del hormigón, el módulo de reacción de la fundación, el periodo de diseño y las características del tráfico.



**Ilustración 14 Relación esfuerzo profundidad**

Fuente: (Saltaren, 2020)

### 3.4.2 MÉTODO DE DISEÑO ASSHTO

“Este método se basa en el uso de una ecuación empírica desarrollada por la observación de algunos pavimentos de hormigón estudiados durante ensayos de AASHTO sobre carreteras” (Mora, 2023).

Los criterios de diseño para ASSHTO son, el número de equivalentes cargas axiales de 80 kN, el espesor de la losa, el módulo de elasticidad del hormigón, el módulo de ruptura del hormigón, el módulo de reacción de la fundación, el coeficiente de transferencia de carga en las juntas y el coeficiente de drenaje (Mora, 2023).

Por otro lado, los análisis geotécnicos de clasificación y estabilización de suelos son vitales para determinar la capacidad portante y la composición del terreno. Mediante pruebas específicas, se evalúan las propiedades mecánicas del suelo, lo que incide directamente en el diseño de la subbase, una capa crucial para la distribución de cargas y la uniformidad de la superficie.

Adicionalmente, los métodos de deflexión y otros estudios significativos permiten evaluar la respuesta de la infraestructura ante las cargas y deformaciones. Estos datos son fundamentales para optimizar el diseño de la carpeta de concreto hidráulico, para así asegurar su durabilidad y funcionalidad.

### 3.4.3 DEFLEXIONES Y RESULTADOS DE ESTUDIO

A continuación, se detallarán varios índices de caracterización cualitativa del soporte de la estructura del pavimento, los cuales se obtienen a partir de las deflexiones; por ejemplo, la Deflexión Central o Deflexión Máxima en el Centro del Plato de Prueba, todas realizadas en campo.

(OMB, 2023) afirma:

El Índice de la Capa de Base BLI, o índice de Curvatura Superficial SCI, del Informe, que brinda la condición estructural de la capa de base, señala que el 48% tiene daño severo, 43% está en condición de alarma y 9% se encuentra en buen estado, el Índice de Capa Media MLI, o índice de Curvatura de la Base BCI, que provee una indicación de la condición estructural de la subbase, señala en la que un 62% está en condición de daño severo, un 29% en condición de alarma y un 9% en buen estado.

El Índice de las Capas Inferiores LLI, o índice de Daño de la Base BDI, el que muestra una indicación de la condición estructural de las capas de la subrasante, señala en la que un 18% presenta daño severo, un 46% en condición de alarma y un 36% en buen estado (Gucunski, Vitillo, & Zaghoul, 2009).

**Tabla 1. Resultados BLI, MLI, LLI**

Pavement Section	Structural Condition Rating	$D_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$RoC$ ( $\mu\text{m}$ )	$BLI$ ( $\mu\text{m}$ )	$MLI$ ( $\mu\text{m}$ )	$LLI$ ( $\mu\text{m}$ )
Granular base	Sound	< 500	> 100	< 200	< 100	< 50
	Warning	500–750	50–100	200–400	100–200	50–100
	Severe	> 750	< 50	> 400	> 200	> 100
Cementitious base	Sound	< 200	> 150	< 100	< 50	< 40
	Warning	200–400	80–150	100–300	50–100	40–80
	Severe	> 400	< 80	> 300	> 100	> 80
Bituminous base	Sound	< 400	> 250	< 200	< 100	< 50
	Severe	400–600	100–250	200–400	100–150	50–80
	Warning	> 600	< 100	> 400	> 150	> 80

Fuente: (OMB, 2023)

El desempeño del pavimento es altamente influenciado por factores ambientales,

especialmente por la temperatura y la humedad. Las condiciones de temperatura y humedad varían con el tiempo (ciclos diarios, estacionales y más largos), lo que significa que las pruebas de deflexión se pueden realizar en la misma sección del pavimento, pero producen resultados diferentes, esto depende de las condiciones climáticas en el momento de la prueba (Gucunski, Vitillo, & Zaghoul, 2009).

Por ejemplo, las deflexiones de una sección del pavimento medidas durante temperaturas particularmente frías, cuando el pavimento se muestre muy rígido indicarían un desempeño estructural más alto de lo esperado, y lo contrario también es cierto: si el pavimento se midiera durante temperaturas particularmente altas, las deflexiones indicarían un desempeño estructural inferior al esperado.

#### 3.4.4 ESTUDIO TOPOGRÁFICO

La planificación y diseño de una carpeta con concreto hidráulico en una obra vial demanda un conocimiento profundo del terreno en el que se llevará a cabo la construcción. En este contexto, los estudios topográficos adquieren una importancia crucial. Estos estudios proporcionan la información esencial para comprender la configuración del terreno, los cambios en la elevación y las características de la superficie, elementos fundamentales para garantizar la calidad y durabilidad de la infraestructura (Daza, 2015).

Realizar un levantamiento topográfico implica llevar a cabo una interpretación detallada de un espacio en particular, y así involucrar la descripción minuciosa de un área concreta. En este proceso, se capturan todos los elementos que se encuentran en la superficie, que incluye tanto las particularidades naturales como las intervenciones humanas (Daza, 2015).

La información recopilada durante un levantamiento topográfico puede ser empleada para elaborar mapas o planos, que no solo representan las características físicas del terreno, sino que también reflejan las variaciones de altura de las elevaciones y los elementos presentes en la zona estudiada (Daza, 2015).



**Ilustración 15 Estudio de topografía**

Fuente: (EGC, 2022)

#### *3.4.4.1 Equipo de topografía*

En el contexto del diseño de una carpeta de concreto hidráulico, la precisión y la exactitud son elementos fundamentales para garantizar el éxito del proyecto. Para lograrlo, los equipos topográficos desempeñan un papel crucial al brindar la información necesaria sobre el terreno de manera detallada y confiable. A continuación, se muestra la importancia de las herramientas modernas como los Vehículos Aéreos No Tripulados (UAVs), la fotogrametría y los Modelos Digitales de Terreno (MDT) en el proceso de diseño de carreteras.

##### *3.4.4.1.1 Modelos digitales de terreno*

Un MDT es una representación tridimensional cercana de una región en la superficie terrestre, en la que es posible visualizar tanto las altitudes como las configuraciones topográficas del terreno. En cartografía, se suele mostrar a través de curvas de nivel, mientras que, en el ámbito consultivo, se emplean para el diseño de diversos tipos de infraestructuras. (Daza, 2015)



**Ilustración 16 Ejemplo de un MTD**

Fuente: (Imasgal, 2023)

#### 3.4.4.1.2 Fotogrametría

La fotogrametría es una metodología que tiene como propósito establecer las dimensiones y la ubicación de objetos en el espacio mediante la utilización de imágenes fotográficas. Este logro se alcanza mediante la cuantificación de las mediciones derivadas de la intersección de dos o más fotografías. A través de la aplicación de la fotogrametría, es viable generar Modelos Digitales de Terreno (MDT), herramientas de gran utilidad en la planificación y diseño de carreteras. (Daza, 2015)



**Ilustración 17 Ejemplo de fotogrametría**

Fuente: (MCAD, 2022)

#### 3.4.4.1.3 UAV (vehículo no tripulado)

Un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV), es una aeronave que opera sin la presencia de tripulación humana a bordo. En el ámbito de la consultoría en proyectos de Ingeniería

Civil, estos dispositivos son empleados para lograr una cobertura más extensa de las áreas terrestres, optimizar los gastos y recopilar información del terreno en regiones de difícil acceso para los seres humanos. (Daza, 2015)

Las modernas técnicas de fotogrametría, que hacen uso de vehículos aéreos no tripulados (drones), han revolucionado la captura de imágenes aéreas de zonas terrestres. Además, permiten la triangulación de las imágenes en tres dimensiones (3D) mediante la referencia de puntos en ejes X, Y y Z. En el ámbito de la construcción y el desarrollo de terrenos, los drones se emplean para adquirir imágenes que posibilitan la creación de mapas tridimensionales (3D) de las obras y los terrenos (MCAD, 2022).



**Ilustración 18 Ejemplo de un UAV**

Fuente: (MCAD, 2022)

#### *3.4.4.2 Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación*

A continuación, se presenta un ejemplo en donde se implementarán los modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de 12,62 Km de una vía en rehabilitación en el departamento del Valle del Cauca en el Sector Tuluá – Río Frio, Colombia.

### 3.4.5 ESTUDIOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELOS

“El suelo debe estudiarse mediante la geotecnia, por ingenieros especialistas en mecánica de suelos, este estudio brindará información muy valiosa al momento de proyectar y calcular la fundación”. (Martinez, 2010)

#### 3.4.5.1 Contenido de humedad

“El contenido de humedad de un suelo se define como la relación del peso del agua entre el peso de las partículas sólidas del suelo, usualmente se indica en forma porcentual; se expresa matemáticamente con la siguiente ecuación:” (Briones, 2015)

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s}$$

#### Ecuación 1 Contenido de humedad

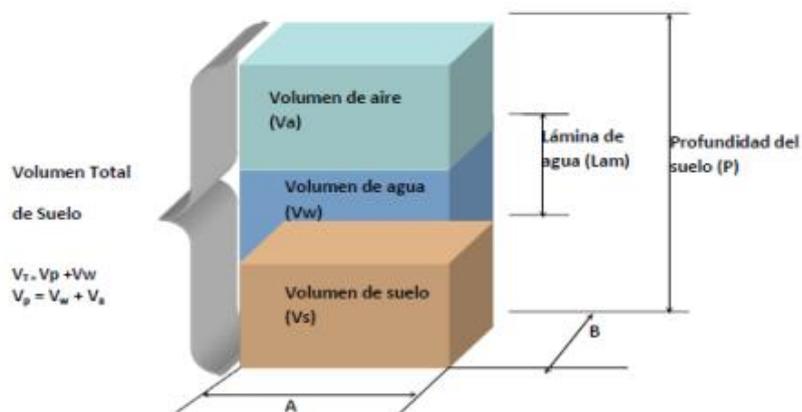
Fuente: (Briones, 2015)

Donde:

Ww: Peso del agua

Ws: Peso de las partículas sólidas

W (%): Contenido de humedad



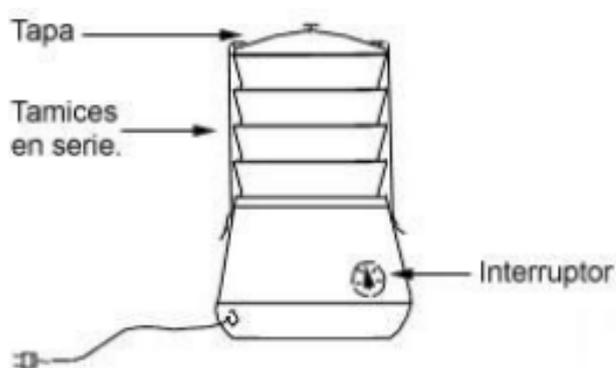
**Ilustración 19 Diagrama hipotético de los componentes del suelo**

Fuente: (Briones, 2015)

### 3.4.5.2 Granulometría mecánica

“El objetivo principal de la granulometría es determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo” (Briones, 2015).

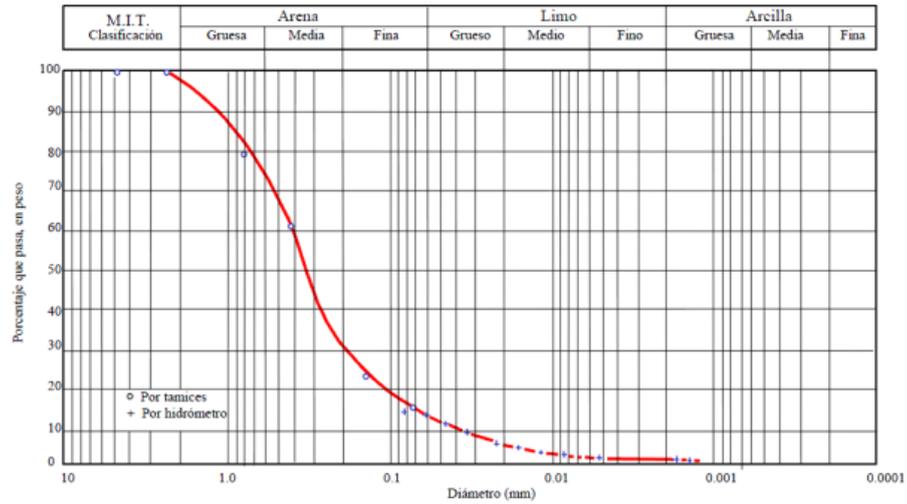
En cualquier masa de suelo, los tamaños de las partículas varían considerablemente. Para clasificar apropiadamente se debe conocer la distribución granulométrica, es decir, la distribución en porcentaje, de los distintos tamaños dentro del suelo, la distribución granulométrica de partícula de tamaño superior a 0.08 mm, se determina generalmente mediante un análisis granulométrico por tamizado. Para partículas de tamaño inferior al mencionado (0,08mm.) se emplea la granulometría por sedimentación. (Briones, 2015)



**Ilustración 20 Tamizadora eléctrica**

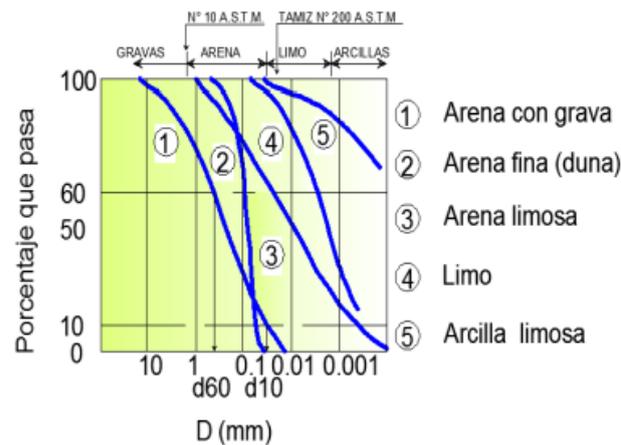
Fuente: (Martinez, 2010)

El análisis granulométrico por tamizado se efectúa al tomar una cantidad medida del suelo seco, bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de tamices (cuyo tamaño de malla suele disminuir en progresión geométrica de razón 2), el cual se agita en conjunto. La cantidad de suelo retenido en cada tamiz se pesa y se determina el porcentaje acumulado de material que pasa por cada tamiz. (Briones, 2015)



**Ilustración 21 Curva granulométrica de un suelo**

Fuente: (Briones, 2015)



**Ilustración 22 Clasificación de suelos en función de la granulometría**

Fuente: (Briones, 2015)

### 3.4.5.3 Límites de Atterberg

“Los límites de Atterberg son propiedades esenciales para la identificación de los suelos finos, tal y como fue establecido a comienzos del siglo XX por el ingeniero químico Albert Atterberg” (Tacuri, 2021).

“Pueden definirse como los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso” (Cotecno, 2022).



**Ilustración 23 Límites de Atterberg**

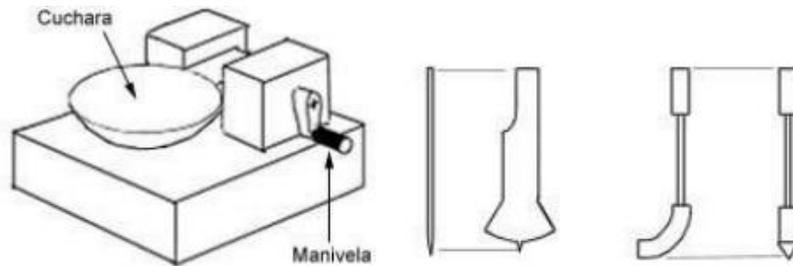
Fuente: (Cotecno, 2022)

En el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP), hay más de una relación entre los límites de consistencia y ciertas propiedades físicas y químicas como la materia de contenido orgánico, porcentaje de partículas de arcilla, que afectan al suelo en su clasificación (Tacuri, 2021).

Límite Líquido e Índice Plástico (suelos finos cohesivos). Se entiende por Límite Líquido, la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara de Casagrande cuando el surco realizado con un acanalador que divide esta masa en dos mitades se junta a lo largo de su fondo en una distancia de 13mm después de haber dejado caer 25 veces la cuchara desde 10mm de altura a través del giro de una manivela que la levanta y la deja caer sucesivamente. (Martinez, 2010)

Para calcular el límite plástico se usa el resto de la masa usada para calcular el límite líquido y con esa se hacen fideos de barro amasados sobre un cristal esmerilado hasta que se agrieten. Luego se colocan en 3 cápsulas para determinar la humedad a través de la media aritmética de las muestras, o sea el Límite de Plasticidad. (Martinez, 2010)

El índice de plasticidad se obtiene mediante la resta del Límite Líquido y del Límite Plástico. Con los parámetros de Índice de Plasticidad y Límite Líquido a través de una tabla se confeccionan las clasificaciones de los suelos por el sistema unificado de Casagrande, muy empleados en los informes geotécnicos. (Martinez, 2010)



**Ilustración 24 Cuchara de Casagrande y acanaladores**

Fuente: (Martinez, 2010)

Una vez determinado el Límite Líquido (LL) y Límite Plástico (LP) se puede determinar el índice de plasticidad (IP) y se calcula de la siguiente manera:

$$IP = LL - LP$$

### **Ecuación 2 Índice de Plasticidad del suelo**

Donde:

IP= Índice de Plasticidad

LL= Límite Líquido

LP= Límite plástico

El Índice Líquido (IL) es la consistencia relativa de un suelo cohesivo en estado natural y se obtiene de la siguiente manera

$$IL = \frac{w - LP}{LL - LP}$$

### **Ecuación 3 Índice Líquido del suelo**

Donde:

W= Contenido de humedad natural del suelo

LP= Límite plástico

LL= Límite líquido

Valor del $I_L$	Consistencia
1,0-0,8	Muy blando
0,8-0,65	Blando
0,65-0,4	Consistencia media
0,4-0,25	Duros
<0,25	Muy duros

#### **Ilustración 25 Clasificación de la consistencia a partir del índice líquido**

Fuente: (Cotecno, 2022)

El índice de consistencia (IC) se obtiene a partir de la siguiente ecuación

$$IC = \frac{LL - w}{LL - LP}$$

#### **Ecuación 4 Índice de consistencia del suelo**

Fuente: (Cotecno, 2022)

Donde:

W= Contenido de humedad natural del suelo

LL= Límite Líquido

LP= Límite Plástico

Valor del Ic	Estado del suelo
< 0	estado líquido
entre 0 y 0,25	semilíquido
entre 0,25 y 0,5	plástico muy blando
entre 0,50 y 0,75	plástico blando
entre 0,75 y 1	plástico duro
> 1	estado sólido

### Ilustración 26 Estado del suelo a partir del índice de consistencia

Fuente: (Cotecno, 2022)

#### 3.4.5.4 Clasificación del suelo por método AASHTO

Este procedimiento categoriza los suelos en siete grupos, desde A-1 hasta A-7, según la composición granulométrica, Límite Líquido e Índice de Plasticidad. Los suelos que tienen menos del 35 % de partículas que pasan por el tamiz No. 200 (0,075 mm), se denominan materiales granulares y se agrupan en A1, A2, A3 y los subgrupos respectivos. Mientras que, los suelos finos con un contenido superior al 35 % de material que atraviesa el tamiz No. 200, se enmarcan en los Grupos A-4, A-5, A-6, A-7, y los respectivos subgrupos y se clasifican como materiales del tipo de arcilla y limo (Hernandez, 2020).

Grupo	Subgrupo
A-4	
A-5	
A-6	
A-7	A-7-5
	A-7-6

### Ilustración 27 Clasificación suelos granulares

Fuente: (Hernandez, 2020)

<b>Grupo</b>	<b>Subgrupo</b>
	A-4
	A-5
	A-6
A-7	A-7-5
	A-7-6

### **Ilustración 28 Clasificación suelos tipo arcilla y limo**

Fuente: (Hernandez, 2020)

(Hernandez, 2020) afirma: "la ventaja de este método reside en su capacidad para evaluar la calidad del suelo a través del "Índice de Grupo". Los suelos con comportamientos similares son categorizados en el mismo grupo y se identifican por un índice específico".

"Los índices para la clasificación de grupo, para los materiales granulares se sitúan entre 0 y 4, mientras que para los suelos limosos varían entre 8 y 12, y para los suelos arcillosos fluctúan entre 11 y 20 o incluso valores superiores" (Hernandez, 2020).

El índice para la clasificación de grupo puede ser determinado mediante la siguiente fórmula:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

#### **Ecuación 5 Índice para clasificación de grupo**

Fuente: (Hernandez, 2020)

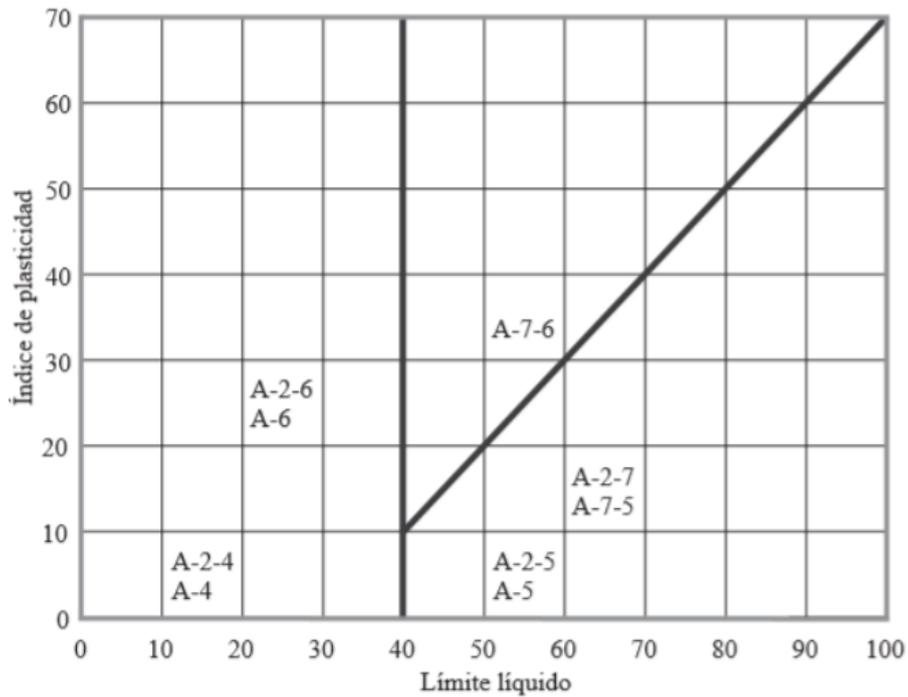
Donde:

F= Porcentaje que pasa el tamiz No. 200

LL= Límite Líquido

IP= Índice de Plasticidad

Si el valor del índice para la clasificación de grupo es negativo, se toma como 0, y el valor de IG (índice de grupo) debe de redondearse. Así mismo, no hay límite superior para el IG.



**Ecuación 6 Gráfico del rango del Límite Líquido y el Índice de Plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 Y A-7**

Fuente: (Hernandez, 2020)

La clasificación del suelo mediante el método AASHTO se muestra en las siguientes tablas:

**Tabla 2 Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Granular)**

Clasificación general	Material Granular ( 35% o menos del total pasa No.200)						
	A -1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa No.40							
Límite líquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava, y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

Fuente: (Sobhan, 2012)

**Tabla 3 Clasificación de suelos Método AASHTO (Material Limo-Arcilloso)**

Clasificación general	Material limo- arcilloso ( más del 35% del total pasa No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo de clasificación				A-7-5 (a) A-7-6 (b)
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de la fracción que pasa No. 40				
Limite liquido	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Valoración general del subgrupo	Regular a pobre			
(a) Para A-7-5, $IP < LL - 30$				
(b) Para A-7-6, $IP > LL - 30$				

Fuente: (Sobhan, 2012)

### 3.4.6 ESTUDIO DE TRÁFICO

A continuación, se aclararán ciertos aspectos esenciales relacionados con el flujo vehicular, específicamente, el flujo en sí mismo, la velocidad y la densidad del tráfico. Estos parámetros resultan cruciales en la identificación de las particularidades de la corriente de tránsito, y así permitir anticipar las implicaciones derivadas de diversas alternativas operativas contempladas en esta investigación.

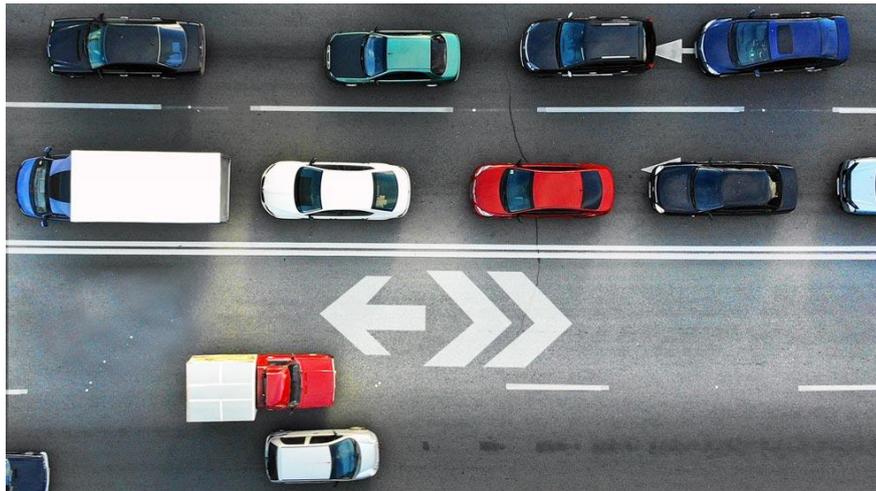
#### 3.4.6.1 Flujo de tránsito

“Flujo continuo: Es aquel en el que el vehículo transita por la vía, solo se ve obligado a detenerse por razones inherentes al tráfico, es decir en donde no existen intersecciones con semáforo” (Salinas, 2019).

“Flujo discontinuo: Es el característico de las calles donde las interrupciones son frecuentes por cualquier motivo, por ejemplo, los controles de tránsito de las intersecciones con

semáforos.” (Salinas, 2019)

El tránsito vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle. (Salinas, 2019)



**Ilustración 29 Flujo vehicular**

Fuente: (Saavedra, 2021)

### 3.4.6.2 Velocidad

La velocidad se define como la relación entre la distancia recorrida por un vehículo y el tiempo empleado en recorrerla, usualmente expresada en Km/h. El análisis de velocidades tiene como propósito evaluar la eficacia del funcionamiento en un sistema de transporte. En este sentido, los conductores calibran la velocidad de su trayecto a través de su habilidad y capacidad para mantener constantemente la velocidad deseada. (Salinas, 2019)

La velocidad de punto de un vehículo  $i$  se refiere a la velocidad  $V_i$  que alcanza al pasar por un punto específico o una sección transversal en una carretera o calle determinada.

La velocidad instantánea de un vehículo  $j$ , es la velocidad  $V_j$  cuando se circula a lo largo de un tramo de una carretera o de una calle en un instante dado.



**Ilustración 30 Velocidad km/hr**

Fuente: (Saavedra, 2021)

#### *3.4.6.2.1 Velocidad media temporal*

La velocidad media aritmética es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado. Se dice entonces que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto. Matemáticamente, la velocidad media temporal se define como:

$$V_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}$$

#### **Ecuación 7 Velocidad media temporal**

Fuente: (Salinas, 2019)

Donde:

$V_t$  = Velocidad media temporal

$V_i$  = Velocidad de punto del vehículo  $i$

$n$  = Número total de vehículos observados en el punto o tamaño de la muestra.

#### *3.4.6.2.2 Velocidad media espacial*

“La velocidad media espacial es la velocidad media de todos los vehículos que en un instante determinado están en un tramo de carretera dado” (Garrido, 1999)

La velocidad media espacial es el resultado de calcular el promedio aritmético de las velocidades instantáneas de todos los vehículos presentes en un tramo específico de carretera o calle en un momento dado. Por lo tanto, esto implica la existencia de una distribución espacial de velocidades instantáneas. En términos matemáticos, se define como:

$$V_e = \frac{\sum_{j=1}^m V_j}{m}$$

### **Ecuación 8 Velocidad media espacial**

Fuente: (Salinas, 2019)

Donde:

$V_e$  = Velocidad media espacial

$V_j$  = Velocidad instantánea del vehículo  $j$

$m$  = Número total de vehículos observados en el punto o tamaño de la muestra.

#### **3.4.6.3 Densidad**

El término "densidad de tráfico" hace referencia a la cantidad de vehículos presentes en un segmento de carretera en un momento particular. El cálculo se deriva de mediciones de velocidad e intensidad vehicular. La densidad máxima se alcanza cuando el tramo se encuentra totalmente ocupado por vehículos en fila, sin espacios entre ellos. En este cálculo se considera también la longitud de los vehículos. Bajo estas circunstancias, los vehículos suelen estar detenidos, y para determinar esta densidad máxima se realiza un promedio de la longitud de los vehículos multiplicada por el número de carriles (Ingartek, 2021).

La densidad se puede calcular como sigue:

$$D = v/s$$

### **Ecuación 9 Calculo de densidad**

Fuente: (Salinas, 2019)

Donde:

V= Razón de flujo (veh/hr)

S= Velocidad promedio de viaje (km/hr)

D= Densidad (veh/km)

“La densidad es posiblemente el parámetro más importante en el tránsito, porque es la medida más directamente relacionada con la demanda de tránsito” (Salinas, 2019).

#### 3.4.6.4 *Volumen de tránsito*

El volumen de tránsito representa la cantidad de vehículos que atraviesa un punto específico en una carretera o carril durante un intervalo de tiempo determinado. Esta magnitud se expresa en términos de vehículos por día, vehículos por hora, entre otros. En la fase de planificación de una vía, es esencial comprender y analizar las variaciones regulares en los flujos vehiculares a lo largo de la vía, elemento crucial dentro de la estructura física de la infraestructura vial o componente estático de los sistemas de tránsito. Este enfoque garantiza el correcto funcionamiento de calles o carreteras. Para las vías ya existentes, los resultados derivados de este análisis serán útiles para proponer soluciones a problemáticas relacionadas con el tráfico (Salinas, 2019).



**Ilustración 31 Volumen de tránsito**

Fuente: (Hoy, 2014)

### 3.4.6.5 Capacidad

“La capacidad dentro del estudio de tráfico se define como el número máximo de vehículos que tiene la probabilidad razonable de atravesarla durante un periodo dado de tiempo en unas condiciones determinadas de la carretera y del tráfico” (Martínez, 2014)

### 3.4.7 ESTUDIO DE CARGAS

Se expresa que, para la carga de los ejes en los vehículos, se considera que los vehículos transitarán a carga plena tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4. Carga de ejes**

Peso de eje en toneladas								
Tipo de vehículo	Eje simple direccional	Eje de tracción			Eje de eje del semiremolque			Total (toneladas)
		Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
C2	5	10						15
C3	5		16.5					21.5
C4	5			20				25
T2-S1	5	9			9			23
T2-S2	5	9				16		30
T2-S3	5	9					20	34
T3-S1	5		16		9			30
T3-S2	5		16			16		37
T3-S3	5		16				20	41

Fuente: (SIECA, 2002)

Para los propósitos de diseño, rehabilitación, modernización, reconstrucción, conservación y funcionamiento de carreteras, se sugiere que la representación más precisa del tráfico vehicular sea a través de lo que se conoce como perfiles de carga de los distintos tipos de ejes. Para lograr esto, se emplean instalaciones de pesaje dinámico móvil, conocidas en este ámbito como estaciones WIM, que provienen de sus siglas en inglés Weight In Motion (Garnica, 2021).



### **Ilustración 32 Componentes de una estación móvil de pesaje dinámico (WIM)**

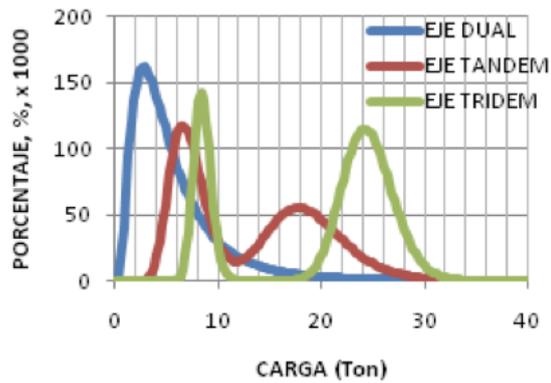
Fuente: (Garnica, 2021)

Las estaciones capturan de forma continua durante un determinado período de días y pueden ser instaladas con costos operativos relativamente bajos a lo largo y ancho de la red vial, en diversas épocas del año (Garnica, 2021).

Los perfiles de carga se calculan típicamente para cada categoría de eje, en donde se incluye; eje sencillo, doble, trídem y tándem, estos perfiles se definen como la relación entre la cantidad de ejes que caen en un cierto rango de carga y el total de ejes del mismo tipo, expresado como un porcentaje, los intervalos de carga que establecen los rangos de clase corresponden a valores utilizados en Estados Unidos para la futura guía mecanicista de diseño de pavimentos de AASHTO (Garnica, 2021).

A continuación, se presenta unas ilustraciones que representan los espectros y deformaciones debido a las cargas que se transmiten a la carretera.

(Troncoso, 2011) afirma: "El incremento del daño es la relación de la carga máxima permitida por eje en cada tipo de vehículo con la carga excedida por eje promedio de acuerdo con el espectro de carga obtenido por tipo de vehículo".

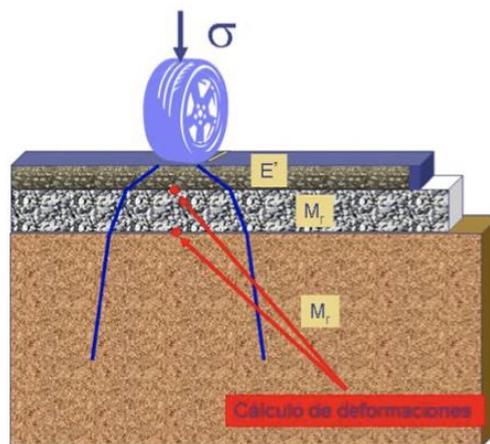


**Ilustración 33 Espectros de carga**

Fuente: (Garnica, 2021)

(Aguilar, 2017) afirma:

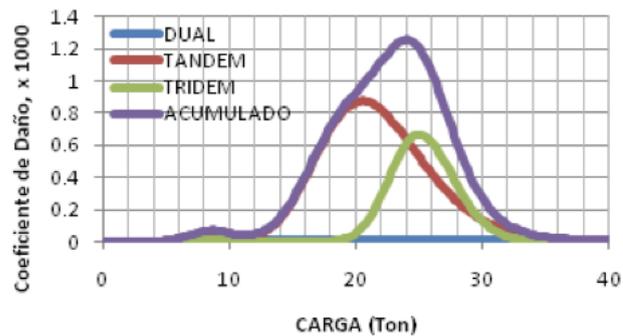
El desarrollo de deformaciones plásticas en pavimentos flexibles ha sido un tópico de investigación desde hace varias décadas. Actualmente se cuenta con modelos que permiten predecir este tipo de falla, siendo una práctica común considerarlos en el diseño estructural de pavimentos.



**Ilustración 34 Deformaciones por cargas**

Fuente: (Garnica, 2021)

(Troncoso, 2011) afirma: "El incremento en las cargas de los vehículos acelera el proceso de daños en las vías, es importante tener un control adecuado que permita monitorear las cargas en los pavimentos".



**Ilustración 35 Espectros de daño**

Fuente: (Garnica, 2021)

### 3.4.8 ESTUDIO DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

“La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas que contienen los agentes estabilizadores mediante procesos mecánicos, la adición de químicos naturales o sintéticos” (Zambrano, 2021).

La técnica de la estabilización de suelos se ha orientado especialmente hacia algunos métodos de estabilización que se destacan netamente de los otros: estabilización granulométrica, con cemento, bituminosa y con cal, todos han sido sin duda factores de importancia de la evolución de la construcción vial (Fonseca, 2019).

Cuando no se dispone de materiales aptos para la construcción de pavimentos, el diseñador o ingeniero debe tomar la decisión de estabilizar el suelo con el tipo de tratamiento de estabilización más adecuado con el fin de hacerlo apto para la construcción de pavimentos.

La estabilización de suelos es capaz de mejorar propiedades físicas, mecánicas y de resistencia, con permanencia en el tiempo, el diseño de una estabilización con aditivo incluye clasificar el suelo, que consiste en determinar el tipo y cantidad de estabilizante y también el procedimiento para efectuar la estabilización donde el método de diseño depende del uso al cual será sometido el suelo estabilizado. (Bada, 2016)

### 3.4.8.1 Análisis suelo – cemento

El suelo cemento es una técnica en que se aprovecha el material existente en las vías y se mezcla con cemento, para posteriormente ser sometido a un proceso de mezcla intensiva y así lograr la homogeneidad, luego es perfilado con una motoniveladora y se compacta para entrar a un proceso de hidratación del cemento, que adquieren rigidez y resistencia, con el objetivo de convertirse en una base durable para los pavimentos que se construyan a futuro (Bernal, 2019).

El cemento requiere una base seca y bien drenada; de ser necesario, se deben utilizar otros tratamientos, como la cal, el cemento no requiere material particulado ni material orgánico en el suelo, no se utilizará ninguna otra sustancia que impida este proceso (Yepes, 2021).



**Ilustración 36 Estabilización de suelos con cemento**

Fuente: (SOSTERRA, 2018)

#### 3.4.8.1.1 Dosificación del cemento

(Bernal, 2019) afirma:

“La dosificación del cemento es fundamental al momento de llevar a cabo este tipo de estabilización, ya que el cemento es el componente que genera más costos y un uso excesivo de este puede llevar a un gasto innecesario”.

“La dosificación se la hace experimentalmente: diferentes cantidades de cemento son usadas en los ensayos y el análisis de resultados indica el menor de ellos que es capaz de estabilizar el suelo sobre el concepto del suelo–cemento”. (Rodríguez, 2022)

Para llevar a cabo la dosificación de suelo – cemento es necesario seguir los siguientes pasos: a)Identificación y clasificación del suelo; b)Elección de la cantidad de cemento para el ensayo de compactación; c)Ejecución del ensayo de compactación de suelo – cemento; d)Elección de cantidades de cemento para el ensayo de durabilidad; e)Formación de probetas de ensayo para ensayo de durabilidad; f)Ejecución del ensayo de durabilidad por mojado y secado; g)Elección de cantidad de cemento adecuado en función de los resultados del ensayo (Rodríguez, 2022).

**Tabla 5 Cantidad de cemento para el ensayo de compactación**

<b>Clasificación de suelo según la AASHTO (M 145)</b>	<b>Cantidad de cemento en peso (%)</b>
A1 – a	5
A1 – b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fuente: (Rodríguez, 2022).

### **3.5 RAP (RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT)**

ICH, (2018) menciona que la recuperación de agregados se hace mediante un método denominado RAP, por las siglas en inglés (Reclaimed Asphalt Pavement) mostrado en la **Ilustración 37** Cuando este material se recupera al mismo tiempo que los afirmados existentes en una estructura de pavimento flexible, y casi de manera inmediata se le incorporan ligantes hidráulicos, cementicos o asfálticos, se le conoce como “Reciclado”.



**Ilustración 37 Obtención del RAP por fresado.**

Fuente: (ICH, 2018)



**Ilustración 38. Obtención del RAP por reciclado.**

Fuente: (ICH, 2018)

### 3.5.1 CONCRETO HIDRÁULICO UTILIZANDO RAP

Se han realizado estudios que han coincidido que la adición del ligante asfáltico al RAP reduce la resistencia de concreto y también los análisis de dos proporciones diferentes de cemento, arena y resistencia a la compresión, con dosificación 1:2:4 y 1:3:6, y relaciones de agua/cemento de 0.50, 0.60 y 0.70, estas mezclas se analizan a compresión y flexión, las cuales entregan resultados que identifican que medida que aumentan el contenido de agua/cemento la resistencia a la compresión disminuye en un 4.2 MPa y 1.5 MPa para la relación agua/cemento de 0.50 y 0.70 (Okafor, 2010).

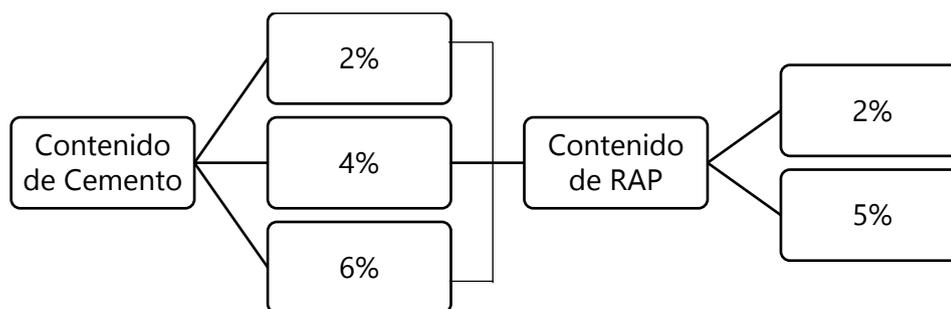
Los estudios indican que la disminución de la resistencia en comparación con el concreto hidráulico convencional se atribuye a la debilidad en la unión entre el concreto hidráulico y el ligante asfáltico adherido al agregado. Asimismo, se observó que el agregado RAP presenta una menor gravedad específica y una menor absorción de agua en comparación con el agregado natural, debido a la presencia del ligante asfáltico. Además, se comprobó que la resistencia a la compresión obtenida con el agregado RAP fue de 25 MPa, lo que demuestra que el RAP puede ser utilizado de manera efectiva en el concreto y podría ser una opción viable para generar agregados de resistencia media y baja (Okafor, 2010).

Fredigo afirma:

Estudios más recientes se enfocaron en evaluar el módulo de elasticidad de una mezcla tratada con cemento, reciclado de pavimento asfáltico y agregados triturados. Para ello, llevaron a cabo ensayos de tracción indirecta, triaxial y de flexión.

En la primera etapa del estudio, realizaron una evaluación de muestras que contenían diferentes proporciones de RAP y agregado triturado. Estas muestras fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión no confinada, resistencia a la tensión indirecta y módulo de elasticidad a la tensión indirecta. Se consideran varias variables, como el contenido de RAP (20% y 50%), el contenido de cemento (2%, 4% y 6%), y diferentes tiempos de curado (3, 7 y 14 días).

La segunda etapa consiste en la evaluación de muestras mediante ensayos triaxiales y de flexión. Luego, se compararan los módulos obtenidos en estos ensayos bajo esfuerzos confinados.



**Gráfico 2 Concreto hidráulico utilizando RAP**

Las investigaciones llegan a la conclusión de que la disminución de las resistencias está influenciada por la cantidad de cemento utilizada en la mezcla. Además, que tanto la resistencia como la rigidez aumentan cuando contenían cemento, especialmente con contenidos bajos de cemento (2% y 4%).

En cuanto al contenido de RAP, se ha demostrado que es posible utilizar este material para producir una base rígida, incluso cuando el contenido de RAP es alto. Esto se logra al tener el esfuerzo de compactación necesario para aumentar la resistencia y capacidad de carga, lo que permite compensar el menor uso de cemento y aprovechar los beneficios de ahorro y ventajas en la construcción.

**Tabla 6. Resumen de estudios realizados de concreto con RAP.**

Autor	Ensayos	Características y Conclusiones
Al-Orami <i>et al.</i> (2009)	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, durabilidad,	RAP grueso a 25, 50, 75 y 100% Disminución de las resistencias debido al ligante asfáltico. Superficie no afectada por RAP Limitación de RAP de acuerdo a la aplicación.
Okafor <i>et al.</i> (2010)	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad	Menor gravedad específica y absorción Resistencia a la compresión de 25 MPa Disminución de las resistencias debido al ligante asfáltico
Hossiney <i>et al.</i> (2012)	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad	A mayor porcentaje de RAP, menor resistencia. Factibilidad de usar RAP Disminución de las resistencias debido al ligante asfáltico
Fredigo <i>et al.</i> (2018)	Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad	Influencia del cemento a medida que disminuye con la adición del RAP Compactación mayor para aumentar resistencia del RAP Ahorro y ventajas en construcción Disminución de las resistencias debido al ligante asfáltico

Fuente: (Guzman, 2020)

### **3.6 EFECTOS DEL RESIDUO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN EL MEDIO AMBIENTE**

En los últimos años, el ámbito de la construcción ha experimentado un notable aumento en la actividad, lo que ha llevado consigo un incremento significativo en la producción de desechos provenientes, tanto de la construcción de infraestructuras, nuevas edificaciones y rehabilitaciones, como de la demolición de estructuras. En este contexto, no se establece una distinción entre las diversas clases de residuos, siendo todos ellos comúnmente, llamados "escombros o cascajo". Esta situación ha ocasionado que este tipo de residuos se convierta en una preocupación ambiental debido a la disposición inadecuada que suele resultar de la gran cantidad o volúmenes generados. Así mismo, se ha observado un aumento en la demanda de materiales de construcción, lo que ha conducido a la sobre explotación de los recursos naturales y la degradación del entorno (Edomex, 2021).

La naturaleza y composición de los residuos de construcción y demolición experimentan variaciones en función de la actividad específica llevada a cabo, abarcando desde la demolición de estructuras residenciales hasta remodelaciones, excavaciones de terrenos, construcción de edificios o la creación y mantenimiento de vías urbanas o carreteras. Dentro de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se pueden identificar elementos como metales, vidrio, cartón, madera, asfaltos, concreto, ladrillos, cerámicos, residuos de fresado de asfalto, restos de tuberías, fibras de vidrio, entre otros (Edomex, 2021).

Los RCD pueden ser altamente aprovechables mediante el adecuado tratamiento, encontrando aplicaciones en la construcción de pistas para peatones y en la sustitución parcial o total de los agregados pétreos utilizados en la producción de concreto no estructural. La reutilización y el reciclaje de los RCD a lo largo del ciclo de vida de edificaciones e infraestructuras se convierte en una estrategia esencial para lograr la sustentabilidad en este sector. En este contexto, estos residuos son considerados como materias primas que posibilitan

la obtención de nuevos materiales con aplicabilidad en la industria de la construcción (Edomex, 2021).



**Ilustración 39 Simbología de reciclaje de materiales asfálticos**

Fuente: (Ecoticias, 2023)

## **IV METODOLOGÍA**

### **4.1 ENFOQUE**

La presente investigación se realizó mediante el enfoque mixto siguiendo el proceso indicado para finalizar con éxito la resolución del problema.

(Ortega, 2018) afirma: "El proceso de investigación mixto implica una recolección, análisis e interpretación de datos cualitativos y cuantitativos que el investigador haya considerado necesarios para su estudio"

(Ortega, 2018) menciona que el método mixto representa un proceso sistemático, empírico y crítico de la investigación, en donde la visión objetiva de la investigación cuantitativa y la visión subjetiva de la investigación cualitativa pueden fusionarse para dar respuesta a un problema en específico.

Desde el punto de vista que ofrece el enfoque mixto se utiliza la técnica de investigación en caso de estudio para profundizar el conocimiento acerca del doble tratamiento asfáltico reciclado como subbase para pavimentos de concreto hidráulico en la carretera Siguatepeque – La Esperanza.

Desde una perspectiva cualitativa, existe una diferencia al comparar el proceso de estabilización de subbase utilizando el doble tratamiento mezclado con cemento y realizar una estabilización de subbase convencional, en el primer proceso es necesario desarrollar el afinamiento en un máximo de 2 horas y, por otra parte, los tramos que se trabajan son de menor longitud.

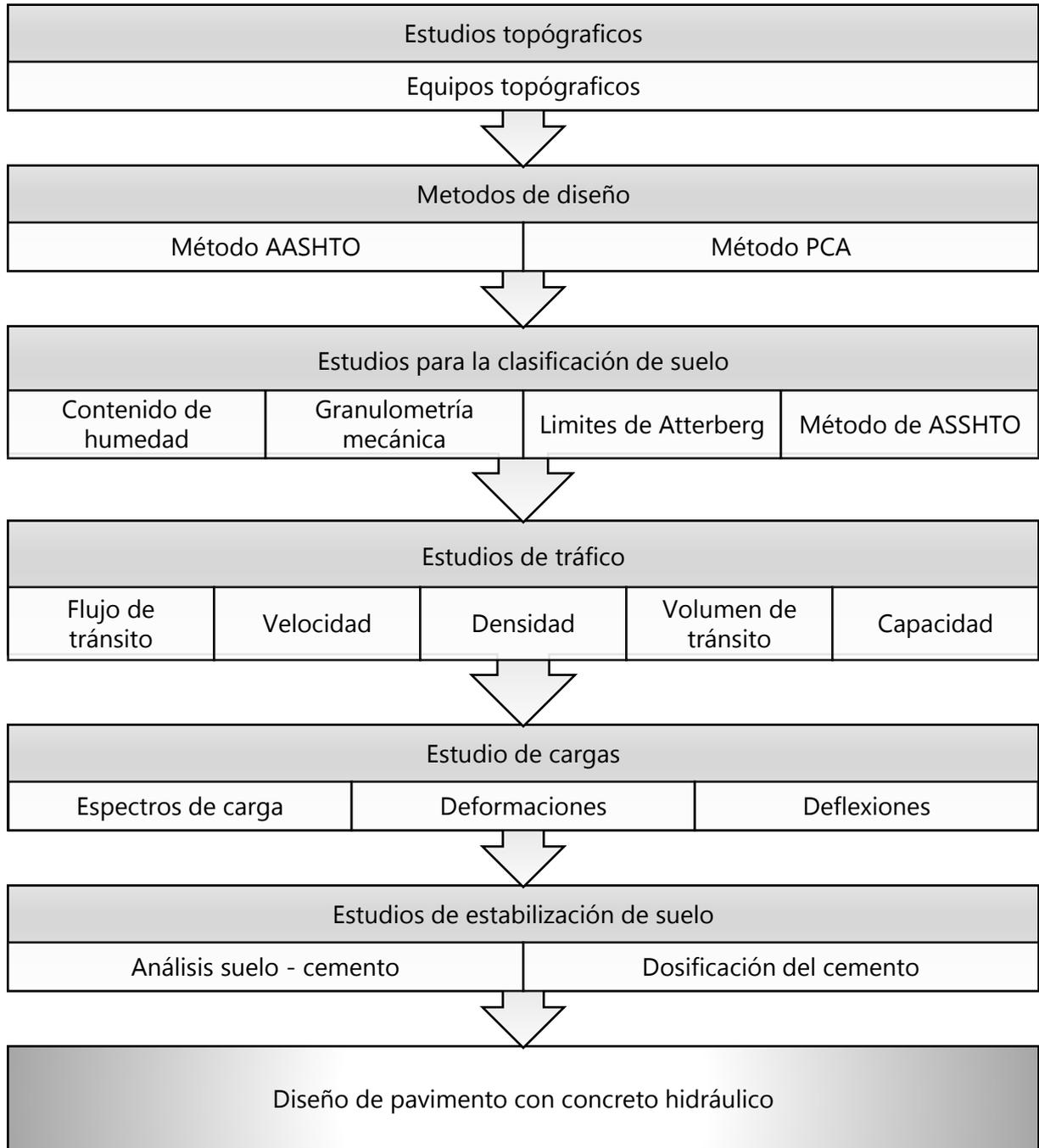
Desde el punto de vista cuantitativo se estudian los resultados de ensayos de laboratorio que determinan la resistencia del suelo y otros factores que intervienen en el proceso.

### **4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

(Villasis-Keveer & Miranda-NOVALES, 2016) afirman: "Las variables en un estudio de investigación son todo aquello que medimos, la información que colectamos, lo bien, los datos que se recaban con la finalidad de responder las preguntas de investigación, las cuales habitualmente están especificadas en los objetivos".

#### 4.2.1 PAVIMENTO CONCRETO HIDRÁULICO

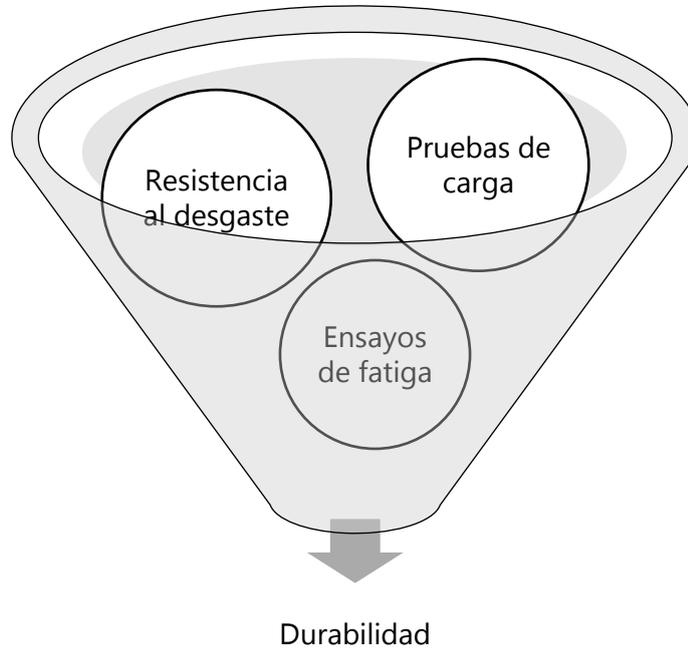
A continuación, se muestra la matriz que representa los procedimientos y ensayos que se necesitan llevar a cabo para la realización de un pavimento de concreto hidráulico.



**Gráfico 3 Pavimento de concreto hidráulico**

#### 4.2.2 DURABILIDAD DEL PAVIMENTO

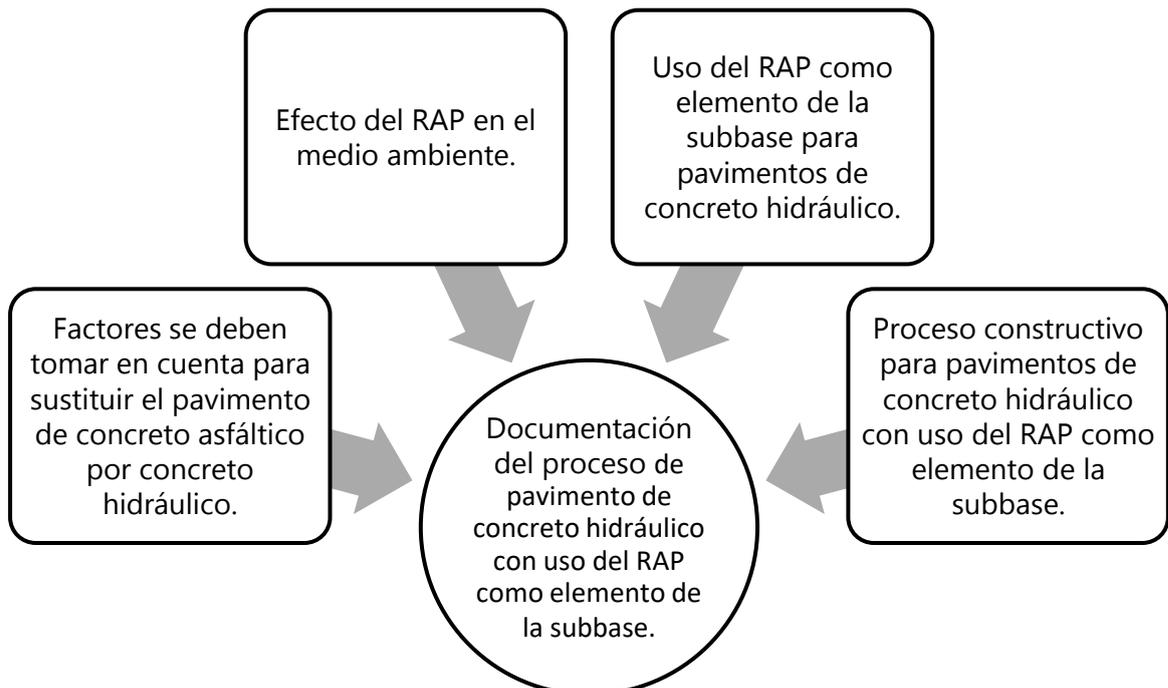
Para poder generar una durabilidad aceptable a un concreto hidráulico, se debe de llevar a cabo los siguientes parámetros de laboratorio y campo.



**Gráfico 4 Durabilidad del pavimento**

#### 4.2.3 DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO

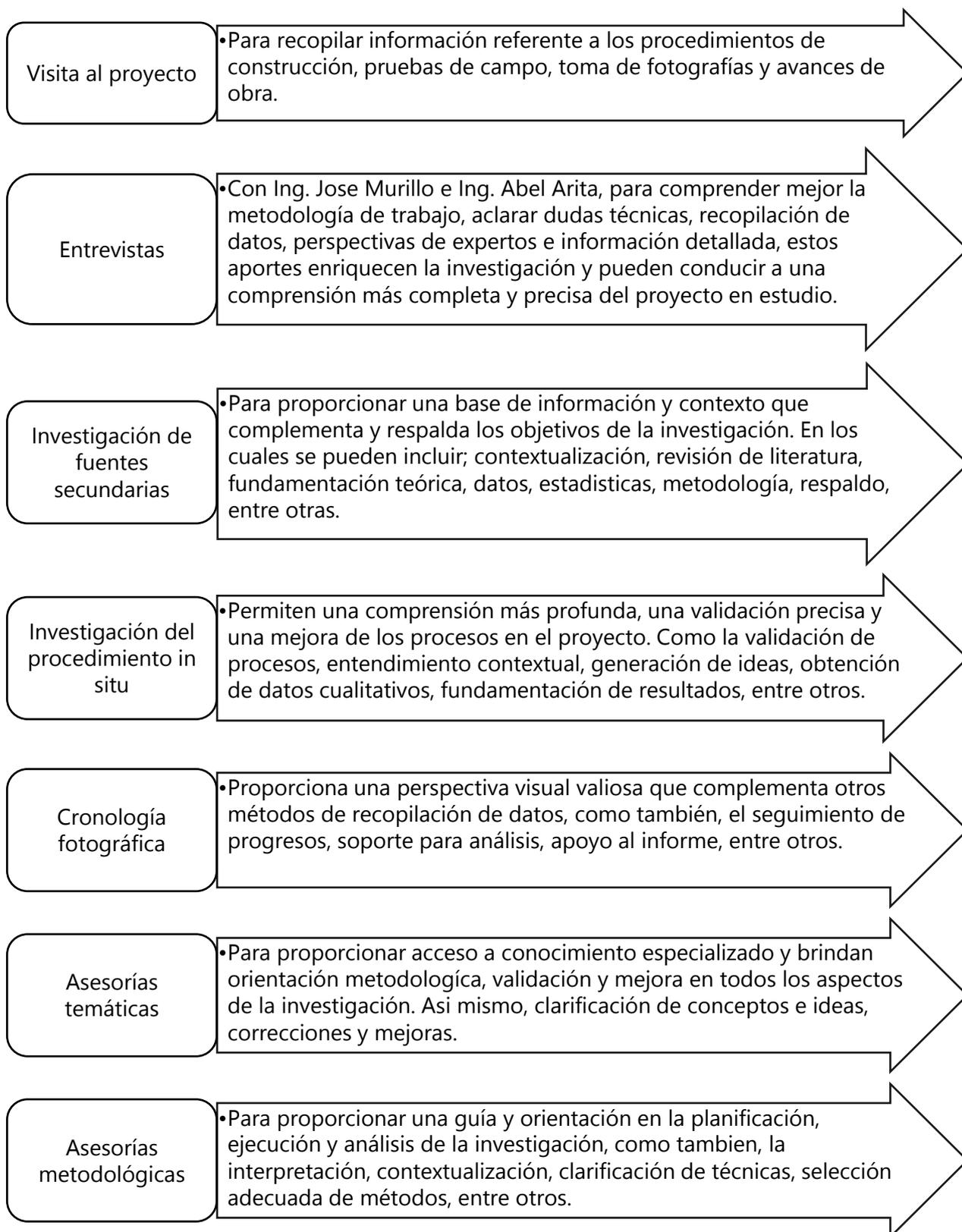
Proceso de pavimento de concreto hidráulico con uso del RAP como elemento de la subbase.



**Gráfico 5 Eficiencia del proceso**

### 4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En el marco de esta investigación, se emplearon diversas técnicas e instrumentos que permitieron obtener una comprensión integral y precisa del proyecto.

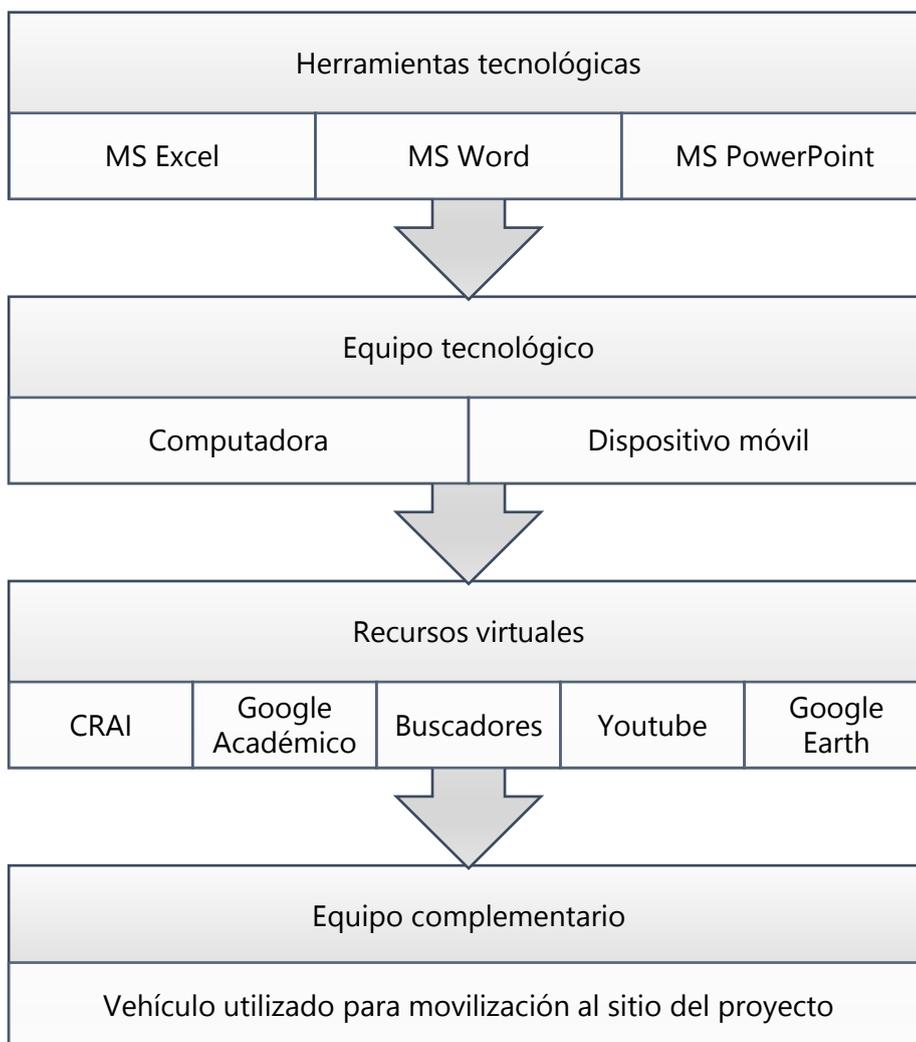


**Gráfico 6 Técnicas e instrumentos aplicados**

Estas metodologías incluyeron visitas al proyecto, durante las cuales se examinaron de cerca los aspectos físicos y operativos. Así mismo, se llevaron a cabo entrevistas con expertos y profesionales clave, cuyas perspectivas enriquecieron la investigación. La investigación de fuentes secundarias proporcionó un contexto sólido, mientras que el estudio en sitio permitió la observación directa de procedimientos en acción. La cronología fotográfica capturó los procesos técnicos del proyecto, y las asesorías temáticas y metodológicas brindaron orientación especializada. Estas metodologías combinadas garantizaron la rigurosidad y la profundidad necesarias para obtener conclusiones significativas.

#### 4.4 HERRAMIENTAS Y EQUIPO TECNOLÓGICOS

A continuación, se detallan todas las herramientas y equipos necesarios para la investigación y desarrollo adecuado del alcance del proyecto.

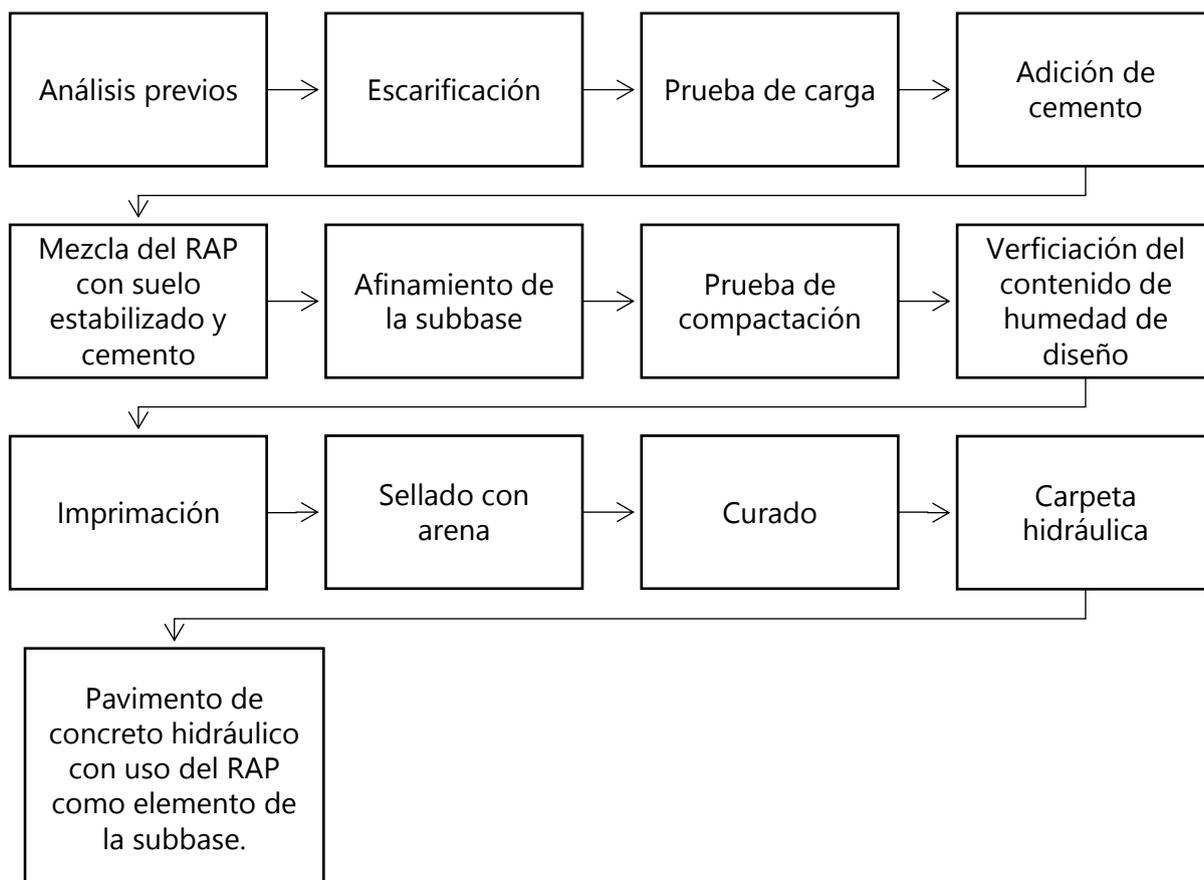


**Gráfico 7 Herramientas y equipo tecnológico**

## 4.5 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

La metodología del estudio detallará las actividades observadas para el proceso del reciclado de material asfáltico removido para utilizarlo como subbase, en una carpeta hidráulica del tramo carretero "Siguatopeque – La Esperanza".

### 4.5.1 PROCESO DEL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO CON USO DEL RAP COMO ELEMENTO DE LA SUBBASE.



**Gráfico 8 Proceso constructivo**

### 4.5.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LOS ANÁLISIS PREVIOS

La metodología de estudio para la investigación se inicia con un conjunto integral de análisis previos. Estos análisis engloban la evaluación exhaustiva del estado actual de la carretera, considerando aspectos como su deterioro, condiciones estructurales y funcionalidad. Además, se realiza un análisis detallado del tráfico vehicular para comprender las cargas y patrones de uso. Un estudio geotécnico se lleva a cabo para comprender las características del suelo subyacente y su impacto en la carretera. Paralelamente, se analizan los materiales utilizados, se diseña la mezcla asfáltica y se evalúa el balance costo-beneficio del proyecto. La consideración

del impacto ambiental y la elaboración de un plan de ejecución sólido complementan estos análisis previos. Estos procesos iniciales sientan las bases para un enfoque integral y bien fundamentado en la rehabilitación de la carretera.

#### *4.5.2.1 Levantamiento de información para la evaluación del estado actual de la carretera*

La vía que conecta Siguatepeque con La Esperanza está pavimentada utilizando una técnica denominada "Doble Tratamiento Superficial" (DTS). Sin embargo, a lo largo del tiempo, se ha realizado mantenimiento en forma de parches con mezcla asfáltica en diferentes periodos, lo que ha resultado en que una porción de la carretera presente una capa de asfalto en su superficie, aunque la cantidad exacta de esta capa no se conoce con precisión. No obstante, esta situación no se presume que afecte la mayoría de la extensión de la carretera (OMB, 2023).

Durante los últimos años, el deterioro ha sido acentuado debido a la influencia de tormentas, lo que ha llevado al aumento del tamaño de las áreas de rodadura y los huecos en la carretera, contribuyendo a la ocurrencia de accidentes automovilísticos. El tramo carretero se encuentra en un estado muy deficiente, principalmente debido al cumplimiento de la vida útil, fatiga en su longitud, presencia de agrietamientos y baches. Esto ha resultado en un tránsito peligroso, ya que la carretera se encuentra en un estado de colapso casi total. Aproximadamente han transcurrido alrededor de 30 años desde la construcción, por lo que es imperativo llevar a cabo una reconstrucción total de la vía (OMB, 2023).



**Ilustración 40 Deterioro de la carretera Siguatepeque - La Esperanza**

4.5.2.2 *Levantamiento de información para el análisis de tráfico vehicular*

Se expresa que, para la carga de los ejes en los vehículos, se considera que los vehículos transitarán a carga plena tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 7 Resultados en toneladas de-BMI, MLI, LLI**

Tipo de vehículo	Eje simple direccional	Peso de eje en toneladas						Total (toneladas)
		Eje de tracción			Eje de eje del semiremolque			
		Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje simple	Doble rueda	Triple rueda	
C2	5	10						15
C3	5		16.5					21.5
C4	5			20				25
T2-S1	5	9			9			23
T2-S2	5	9				16		30
T2-S3	5	9					20	34
T3-S1	5		16		9			30
T3-S2	5		16			16		37
T3-S3	5		16				20	41

Fuente: (SIECA, 2002)

A continuación, se presentan los resultados del análisis del tráfico realizados por para el proyecto de rehabilitación de la Carretera Ruta 22, Tramo Siguatepeque - La Esperanza.

(OMB, 2023) afirma:

Al considerar las cargas completas especificadas por la SIECA, los Factores de Daño o de Carga Equivalente LEF para los tipos de vehículos: Bus C-2, Camión

C-2 y Camión C-3, no concuerdan con los resultados presentados en el Informe, que indican valores de 0.1405, 0.7469 y 0.8042, respectivamente. Estos resultados implican una disminución en los Ejes de Carga Equivalentes desde 18,000 lb a menos de la mitad de su valor esperado.

En la mayoría de los diseños de estructuras de pavimento llevados a cabo en el país con cargas plenas, cuando no se han realizado estudios de censos de pesos, el rango habitual de valores para los Factores de Carga Equivalente LEF tiende a oscilar en las siguientes magnitudes:

- Bus C-2: LEF entre 1.60 y 2.60
- Camión C-2: LEF entre 1.60 y 2.60
- Camión C-3: LEF entre 1.80 y 2.80.

Estas cifras se aplican dependiendo de las distintas tablas del Apéndice D de la Guía AASHTO de Diseño de Pavimentos de 1993, considerando variaciones en el espesor de la losa D, desde 6" hasta 14", y distintos valores de serviciabilidad terminal Pt, que van de 2.00 a 3.00 (OMB, 2023).

Sin embargo, es importante mencionar que, en una etapa posterior del estudio, se modificaron los Factores de Daño o de Carga Equivalente LEF a valores mínimos, los cuales se detallan en la tabla que se presenta a continuación:

**Tabla 8 Factor equivalente de carga**

VEHÍCULO	FACTOR EQUIVALENTE DE CARGA
BUS C-2	0.1405
C-2	0.7469
C-3	0.8042
RASTRAS	4.6640

Fuente: (OMB, 2023)

(OMB, 2023) afirma:

En el contexto de los Factores de Daño LEF para los Buses C-2, se debe tomar en cuenta que en los últimos años ha habido un cambio significativo en la configuración de las unidades de transporte urbano e interurbano. Se ha pasado de utilizar principalmente buses grandes, del tipo "Yellow school bus", con un peso cercano a las 30,000 lb, a emplear una combinación de buses más pequeños, como los de 15 pasajeros y 7,000 lb de peso, como la marca "Hiace"; y buses medianos de 30 pasajeros, 11,500 lb de peso, como el marca "Coaster", además de los tradicionales buses grandes.

Este cambio en la composición del parque vehicular implica la necesidad de llevar a cabo censos de peso para lograr una mejor estimación del espesor requerido en los pavimentos de carreteras de gran envergadura, como es el caso de la ruta Siguatepeque - La Esperanza. Los buses de pasajeros representan uno de los principales factores de carga en términos de daño a la infraestructura vial, y son fundamentales para definir las cargas de diseño en la red vial nacional.

Se han corregido los tres valores de los Factores de Daño, o Factores de Carga Equivalente LEF, que se obtuvieron del Programa HDM-4 según el Informe. Se precisa que se han utilizado valores inferiores a los que se obtendrían al aplicar los pesos a carga plena presentes en el Manual de Diseño de la SIECA. Esta información puede ser corroborada por la Supervisión y la SIT en sus bases de datos, que contienen información de proyectos diseñados por diversas firmas nacionales de consultoría.

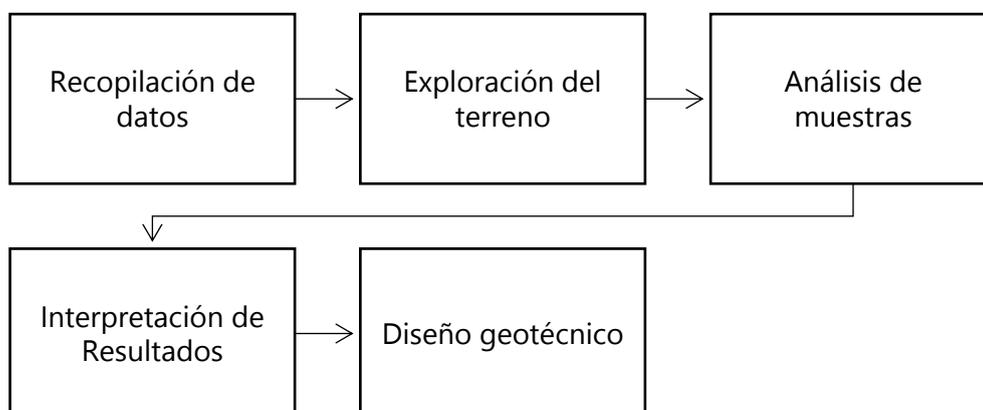
Los Factores de Daño o Carga Equivalente empleados en la revisión del suscriptor concuerdan con datos provenientes de proyectos previos que él mismo ha llevado a cabo, los cuales incluyeron Censos de Pesos. Los restantes factores de daño se mantienen consistentes con los utilizados en el Informe.

A pesar de la corrección mencionada, y aunque se emplearon factores de daño inferiores a los derivados de las cargas plenas del Manual de la SIECA, se obtuvo un Tráfico de Diseño de 10,218,720 ESAL, significativamente mayor que la cifra del Informe, que es de 4,579,702.

Por otro lado, la Tasa de crecimiento Vehicular aplicada en el Informe, de 2%, es ligeramente superior al crecimiento poblacional del país, pero inferior a la tasa de crecimiento del PIB, a la variación en el parque vehicular del país y a la variación en la tasa de motorización de Honduras. Se adjunta en el Anexo 6 y Anexo 7 un ejercicio de tráfico de diseño con una tasa de crecimiento vehicular de 3%, el cual resulta en un valor de 11,300,846 ESAL.

#### 4.5.2.3 Levantamiento de información para el estudio geotécnico

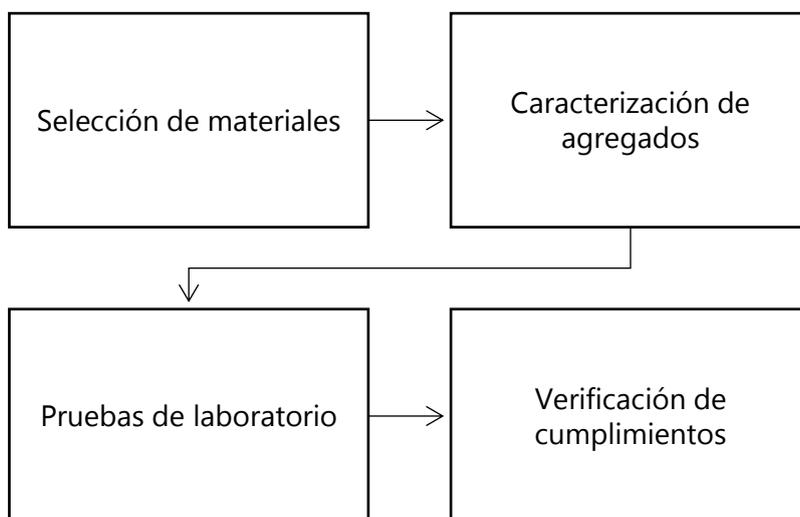
Antes de emprender la construcción de una carretera, es fundamental comprender las características geológicas y geotécnicas del terreno en el que se llevará a cabo, porque estos aspectos afectarán directamente la estabilidad, durabilidad y también a la seguridad de la carretera a lo largo de su vida útil, el estudio geotécnico proporciona información sobre la capacidad portante del suelo, la presencia de agua subterránea la susceptibilidad a la erosión, la posibilidad de deslizamientos de tierra y otros factores que podrían afectar la infraestructura vial.



**Gráfico 9 Etapas del levantamiento de información geotécnica**

#### 4.5.2.4 Levantamiento de información para el análisis de los materiales

La construcción de carreteras implica la interacción entre vehículos pesados, cambios climáticos y condiciones geotécnicas variables, para garantizar la integridad y la seguridad de las carreteras, es vital seleccionar y analizar materiales adecuados que puedan soportar estos desafíos, el análisis de materiales en la construcción de carreteras se centra en evaluar propiedades como la resistencia a la compresión, la resistencia al desgaste, la durabilidad frente a las condiciones climáticas y la capacidad de drenaje.



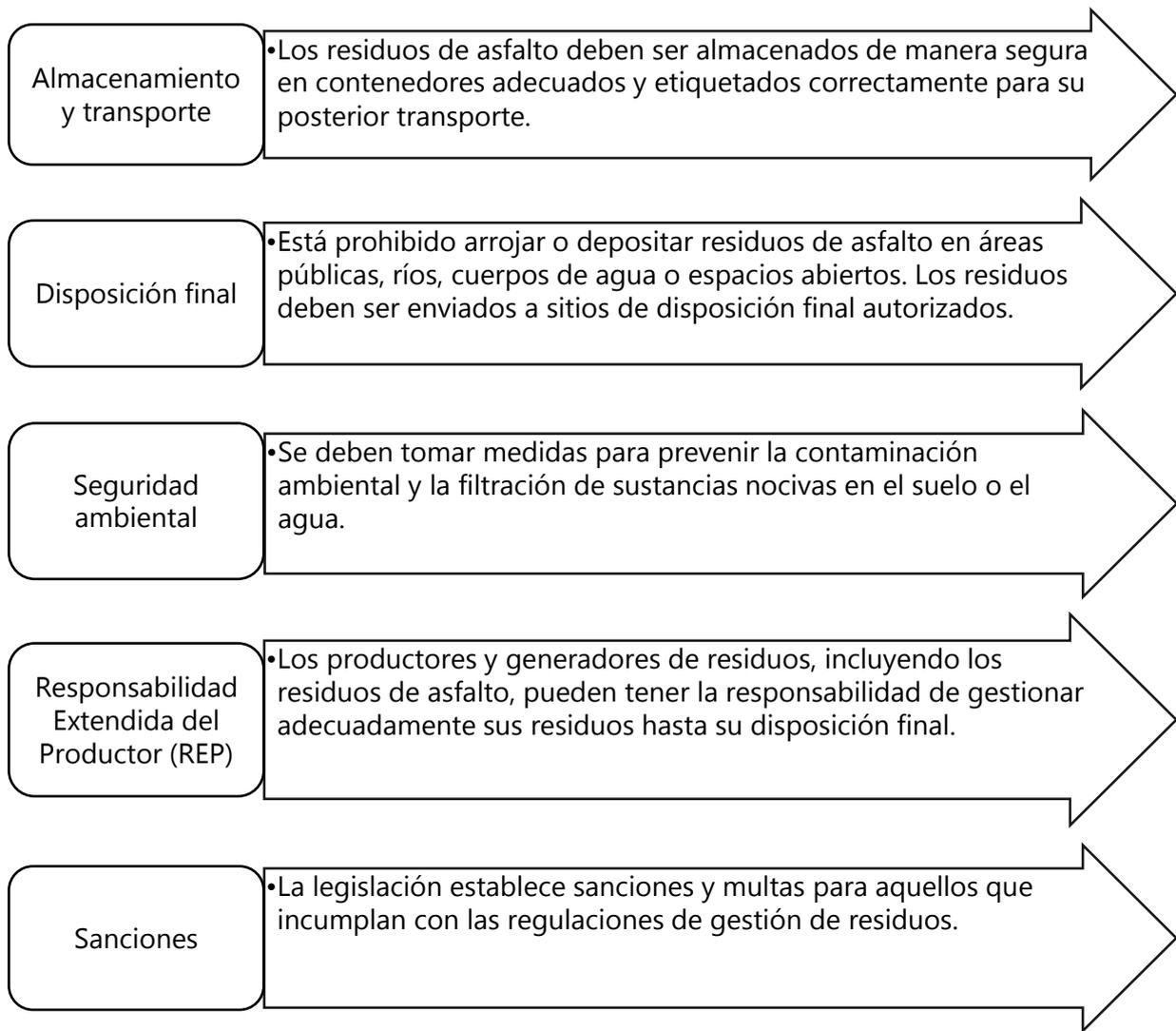
**Gráfico 10 Etapas en el levantamiento de información para el análisis de materiales**

A través de un enfoque sistemático en la selección, caracterización y pruebas de los materiales utilizados, los ingenieros pueden tomar decisiones informadas que permiten la construcción de carreteras resistentes, funcionales y capaces de soportar las demandas del tráfico y condiciones ambientales a lo largo del tiempo.

#### 4.5.2.5 Levantamiento de información sobre el impacto ambiental

En Honduras, la gestión de residuos, incluyendo los residuos de asfalto, está regulada principalmente por la Ley de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (Ley N° 922-2014) y el reglamento correspondiente, el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (Decreto No. 44-2017).

Según estas regulaciones, es obligatorio para las empresas y proyectos de construcción implementar prácticas adecuadas de manejo de residuos, incluyendo los residuos de asfalto. Algunas de las disposiciones clave incluyen:



**Gráfico 11 Regulaciones y disposiciones ambientales**

Fuente: (Gaceta, 2011)

#### 4.5.2.5.1 Residuo de asfalto al aire libre

El residuo asfáltico, resultado de la remoción de la carpeta de doble tratamiento asfáltico, se transporta al área de dosificación de SERMACO al concluir la jornada laboral, manteniéndose en el campo solo temporalmente con el propósito de poder reutilizarlo en caso de necesitar relleno en el proceso de afinamiento. Sin embargo, es esencial destacar que este proceso debe llevarse a cabo con estricto apego a las regulaciones ambientales, asegurando que el residuo se gestione de manera adecuada y sin causar impactos ambientales negativos. Se deben implementar medidas para prevenir la contaminación del entorno, como la colocación de barreras o lonas impermeables en el área de almacenamiento temporal, así como la capacitación constante del personal sobre la importancia de mantener el campo de trabajo ordenado, por

consiguiente, se colocan tanques de basura y rótulos a lo largo del proyecto para concienciar a los obreros y contratistas a mantener su área de trabajo limpio. Estas acciones garantizan la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental.

#### 4.5.2.6 *Levantamiento de información sobre el plan de ejecución*

El objetivo de esta metodología es reciclar el material asfáltico removido de un doble tratamiento para utilizarlo de manera eficiente como subbase para la construcción de la carpeta hidráulica, cuyo procedimiento asegura una base estable y duradera para la vía.

(Murillo, 2023) afirma: “El plan de trabajo es pavimentar 300 metros diarios, lo que requiere utilizar entre 35 y 40 mixers al día, así mismo, en paralelo se están haciendo procedimientos de mejoramiento del drenaje en toda la carretera”.



**Ilustración 41 Carpeta de concreto hidráulico sobre residuo de doble tratamiento asfáltico**

#### 4.5.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DEL PROCESO ESCARIFICADO DEL MATERIAL EXISTENTE

Para este proceso se inician los trabajos de maquinaria, empezando con la recicladora de asfalto, máquina con la cual se tritura y mezcla la carpeta de doble tratamiento asfáltico existente con la base, posteriormente se identifican los puntos marcados por la topografía que indican si se realizarán cortes o rellenos con el mismo residuo del doble tratamiento asfáltico



**Ilustración 42 Maquinaria de escarificar, mezclado y reciclado.**

#### 4.5.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE CARGA

La prueba de carga con volqueta es también conocida como prueba de carga dinámica, es una técnica utilizada para evaluar la capacidad de carga y resistencia de un pavimento.

Es necesario realizar una prueba de carga con una volqueta cargada de material selecto, sobre la capa de material existente nivelado para asegurar que el suelo no presente hundimientos, desplazamientos o exceso de humedad, de manera que permita cumplir con todas las especificaciones. En caso de que se presenten fallas, se procede a mejorar el suelo con materiales de base, es decir material selecto.



**Ilustración 43 Prueba de carga con volqueta**

#### 4.5.2 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LA MEZCLA DEL RAP CON SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO

Para realizar la mezcla del RAP con suelo estabilizado con cemento es necesario seguir el siguiente procedimiento



**Gráfico 12 Mezcla del RAP con suelo estabilizado con cemento**

Existen 2 métodos para la colocación de cemento, el primer método se lleva a cabo con un camión que lo esparce, únicamente se indica la cantidad de kilos de cemento que se requieren, el segundo método que se emplea es con bolsas de cemento colocadas por medio de personal humano, para este último método, el ingeniero Murillo afirma que en un tramo de 100 metros realizado con un diseño del 3% de cemento se utilizan 150 bolsas, mientras que con un diseño del 2% se utilizan 94 bolsas, en un tramo de 100 metros, las 150 bolsas se distribuyen en forma de cuadrícula que contiene 3 líneas longitudinales y 50 líneas horizontales, con una bolsa de cemento cada 2 metros en el tramo longitudinal, mientras que las bolsas ubicadas horizontalmente se colocan a 1.25 metros.



**Ilustración 44 Colocación de cemento en bolsas**

Luego del proceso de colocación de las bolsas de cemento, se procede a romperlas para posteriormente iniciar el trabajo de nivelación con la motoniveladora, el cual consiste en extender el cemento en toda la longitud del tramo y el ancho de la calzada, con el objetivo de cumplir con los niveles marcados por la topografía.



**Ilustración 45 Marcado de niveles mediante topografía**



**Ilustración 46 Tendido de cemento utilizando motoniveladora**

Luego de realizar el tendido del cemento, se vuelve a utilizar la recicladora, pero a diferencia del proceso de escarificación, en esta etapa va acoplada por un camión cisterna, con la finalidad de mezclar el material de la subbase y darle el grado de humedad necesario, generalmente la humedad óptima que se necesita es de 9.8%, sin embargo por las altas temperaturas que existen en sitio, se considera una humedad entre 11 y 12% debido a la rápida evaporación.



**Ilustración 47 Mezcla de residuo de asfalto y suelo estabilizado con cemento por medio de recicladora anclada a camión cisterna**

#### 4.5.3 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA EL AFINAMIENTO DE LA SUBBASE

El afinamiento de la subbase es esencial para garantizar la integridad estructural, la seguridad, la durabilidad y la eficiencia en la construcción de carreteras y pavimentos. Una subbase adecuadamente afinada proporciona la base sólida necesaria para construir superficies que puedan resistir las cargas y las condiciones ambientales a lo largo del tiempo.

Algunas razones clave por las que se considera el afinamiento un proceso tan importante es por el soporte de la carga, uniformidad y nivelación, drenaje, reducción del riesgo de asentamiento, durabilidad y eficiencia en el proceso de construcción

El equipo que se utiliza para realizar un proceso de afinamiento es la motoniveladora, un compactador neumático y un camión cisterna, para terminar de extender el material, mezclar y darle el grado de humedad de diseño para lograr una excelente capa de soporte.



**Ilustración 48 Motoniveladora en proceso de afinamiento**



**Ilustración 49 Compactador neumático en proceso de compactación**



**Ilustración 50 Camión cisterna en proceso de humidificación**

#### 4.5.4 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA LAS PRUEBAS DE COMPACTACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE DISEÑO

La obtención precisa de datos mediante pruebas de compactación y contenido de humedad es esencial para garantizar la efectividad y durabilidad de una carretera estabilizada con suelo cemento y RAP en la subbase. Estas pruebas proporcionan la base necesaria para asegurar que el pavimento cumpla con los estándares requeridos de calidad y resistencia. A continuación, se describirá la importancia y los procedimientos clave de este levantamiento de información.

Se llevaron a cabo dos ensayos de Proctor con el propósito de evaluar la compactación del terreno y su factibilidad para la construcción del tramo carretero. El primer ensayo empleó el 100% del material existente, mientras que el segundo combinó el 75% del material existente con un 25% de base elaborada por SERMACO, la cual incorpora agregados de río. A pesar de estas dos variantes, los resultados indicaron una diferencia mínima en términos de densidad máxima seca y humedad óptima, lo que respalda la viabilidad del proyecto de construcción en ambas condiciones, por lo que se usan ambos métodos.

Así mismo, se realizaron pruebas directamente en campo para identificar el porcentaje de compactación, a través de un densímetro.

Este proceso se realiza para evaluar la densidad máxima seca de un suelo o material granular después de un proceso de compactación. La densidad máxima seca es el nivel de densidad al que un suelo o material alcanza su máxima compacidad y resistencia. Determinar este valor es crucial para asegurar que la subbase, base o cualquier otra subcapa del pavimento esté correctamente compactada y cumpla con los estándares de calidad y resistencia requeridos.



**Ilustración 51 Porcentaje de compactación**



**Ilustración 52 Densímetro**

Con base en los resultados de las pruebas de compactación y las especificaciones del proyecto, se selecciona el contenido de humedad de diseño que cumpla con los requisitos de densidad y resistencia mecánica del pavimento.

#### 4.5.5 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA EL PROCESO DE IMPRIMACIÓN

La imprimación asfáltica es capaz de mejorar la adherencia entre las capas de asfalto porque impermeabiliza la superficie y proporciona una base sólida para la capa de revestimiento, además este proceso es empleado con el objetivo de sellar y proteger la estabilización por medio de suelo cemento.



**Ilustración 53 Imprimación**

En la imprimación se coloca una capa de emulsión asfáltica sobre el suelo estabilizado con cemento y sobre esta es necesario colocar una capa de arena de manera que permita secar la capa de asfalto, y de esta manera la capa alcance su periodo de curado toma de 3 a 4 días.



**Ilustración 54 Aplicación de capa de arena sobre imprimación**

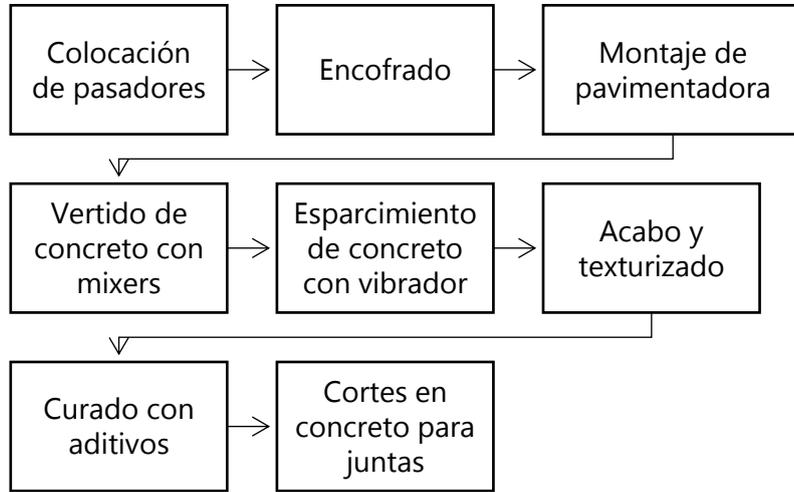


**Ilustración 55 Capa de arena sobre la imprimación**

Este proceso ayuda a prevenir el desgaste prematuro y reduce significativamente los daños que pueden ocurrir durante la estabilización. Sin embargo, en casos donde no se utiliza cemento para la estabilización de la subbase, la aplicación de imprimación antes de la colocación de concreto hidráulico no es necesaria; en su lugar, el proceso avanzaría directamente con la colocación del concreto hidráulico después del afinamiento de la subbase. Es decir, que su utilización no es obligatoria para todas las carreteras principales y secundarias.

#### 4.5.6 CARPETA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Finalmente, se coloca la carpeta hidráulica sobre la capa de suelo estabilizado con cemento mezclado con material reciclado a través de los procesos mencionados a continuación;



**Gráfico 13 Procesos para la pavimentación concreto hidráulico**



**Gráfico 14 Etapas para la colocación del concreto hidráulico 1**



**Gráfico 15 Etapas para la pavimentación con concreto hidráulico 2**

Colocación de pasadores: Se instalan pasadores, generalmente varillas lisas de 5/8", en la subbase. Estos pasadores sirven como guías para futuros cortes en el concreto y ayudan a prevenir fisuras y agrietamientos.

Encofrado: Se coloca un encofrado alrededor del área donde se verterá el concreto. El encofrado debe estar nivelado y correctamente alineado para garantizar que la carpeta de concreto tenga la forma y el grosor deseados.

Montaje de Pavimentadora: Se utiliza una pavimentadora para distribuir uniformemente el concreto sobre la subbase. La pavimentadora ayuda a mantener un espesor constante y una superficie nivelada, es importante que el encofrado haya quedado bien instalado, ya que este será el riel de la pavimentadora.



**Ilustración 56 Pavimentadora**

Vertido de concreto con mixers: Se transporta el concreto hasta el sitio de trabajo mediante camiones mezcladores y luego se vierte el concreto cuidadosamente en la zona del encofrado. Se debe de humedecer el área para garantizar que el concreto se mezcle y adhiera adecuadamente.



**Ilustración 57 Vertido de concreto**

Esparcimiento del concreto con vibrador: Después de verter el concreto, se utiliza un vibrador de concreto para asegurar que se distribuya de manera uniforme y para eliminar las burbujas de aire atrapadas. Esto mejora la compactación del concreto.



**Ilustración 58 Esparcimiento y vibrado del concreto**

Acabado y texturizado: Se utiliza un aplanador o regla de aluminio para alisar y nivelar la superficie del concreto. También se puede aplicar una textura deseada en este paso.

Curado con aditivos: Se aplica un agente de curado sobre la superficie del concreto para mantener la humedad durante el proceso de fraguado y mejorar la resistencia del concreto.

Corte en concreto: Se realizan cortes en el concreto para crear juntas. Estas juntas ayudan a controlar las fisuras al permitir que el concreto se expanda y contraiga de manera controlada debido a las variaciones de temperatura y humedad.



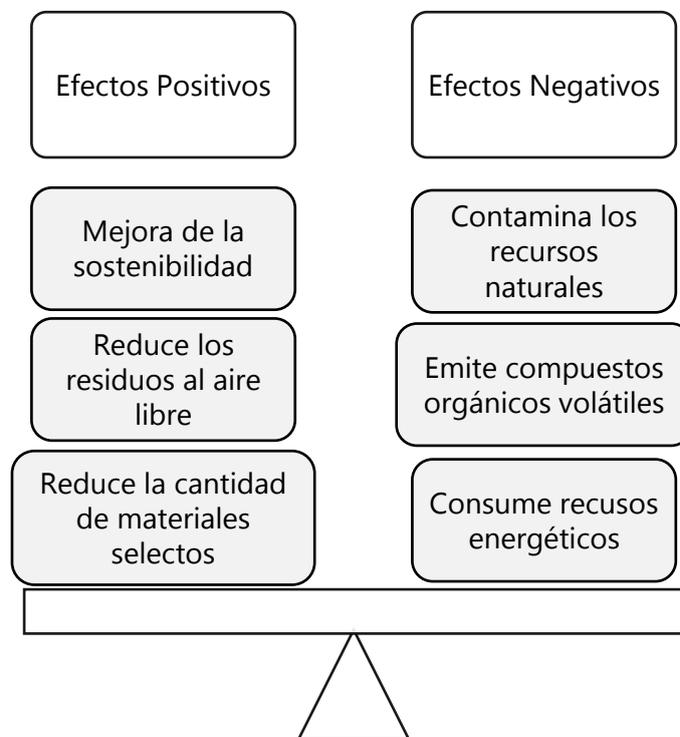
**Ilustración 59 Carpeta de concreto hidráulico**

## V RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se detallarán los hallazgos derivados del uso del RAP como elemento de la subbase en la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, proceso que incluye diferentes aspectos técnicos. El análisis de estos resultados permitió la comprensión de los beneficios y desafíos asociados con la incorporación de los residuos del doble tratamiento asfáltico existente como parte de la subbase para el nuevo pavimento de concreto hidráulico.

### 5.1 EFECTO QUE PROVOCAN LOS RESIDUOS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN EL MEDIO AMBIENTE

Los residuos de concreto asfáltico pueden tener varios efectos medio ambientales, pueden haber ventajas como desventajas, tales como los que se muestran a continuación.



**Gráfico 16 Efectos de los residuos asfálticos al medio ambiente**

El reciclaje de residuo asfáltico mediante el uso de RAP como parte de la subbase para la pavimentación con concreto hidráulico tiene tanto ventajas como desventajas para el medio ambiente. Entre los efectos negativos se incluye la contaminación del suelo y el agua si los residuos de concreto asfáltico no se gestionan adecuadamente. Además, durante el proceso de reciclaje del RAP pueden liberarse gases contaminantes como compuestos orgánicos volátiles, lo que contribuye a la contaminación ambiental. El consumo de recursos energéticos también es una preocupación, ya que la trituración y el procesamiento del RAP requiere energía, lo que

puede aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero si la fuente de energía no es renovable, cuyo caso aplica para este proyecto, debido a que se utiliza la recicladora de asfalto de motor diesel, máquina con la cual se tritura y mezcla la carpeta de doble tratamiento asfáltico existente con los materiales selectos.

Por otro lado, existen efectos positivos en el uso del RAP, lo que incluye la reducción de residuos de construcción y demolición de concreto asfáltico, lo que de no ser utilizados son depositados al aire libre lo que contamina los vertederos. Además, se protegen recursos naturales no renovables como los bancos de materiales selectos. En última instancia, esta práctica contribuye a mejorar la sostenibilidad en la construcción al utilizar recursos existentes de manera eficiente y efectiva.

## **5.2 USO DEL RAP COMO ELEMENTO DE LA SUBBASE PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO**

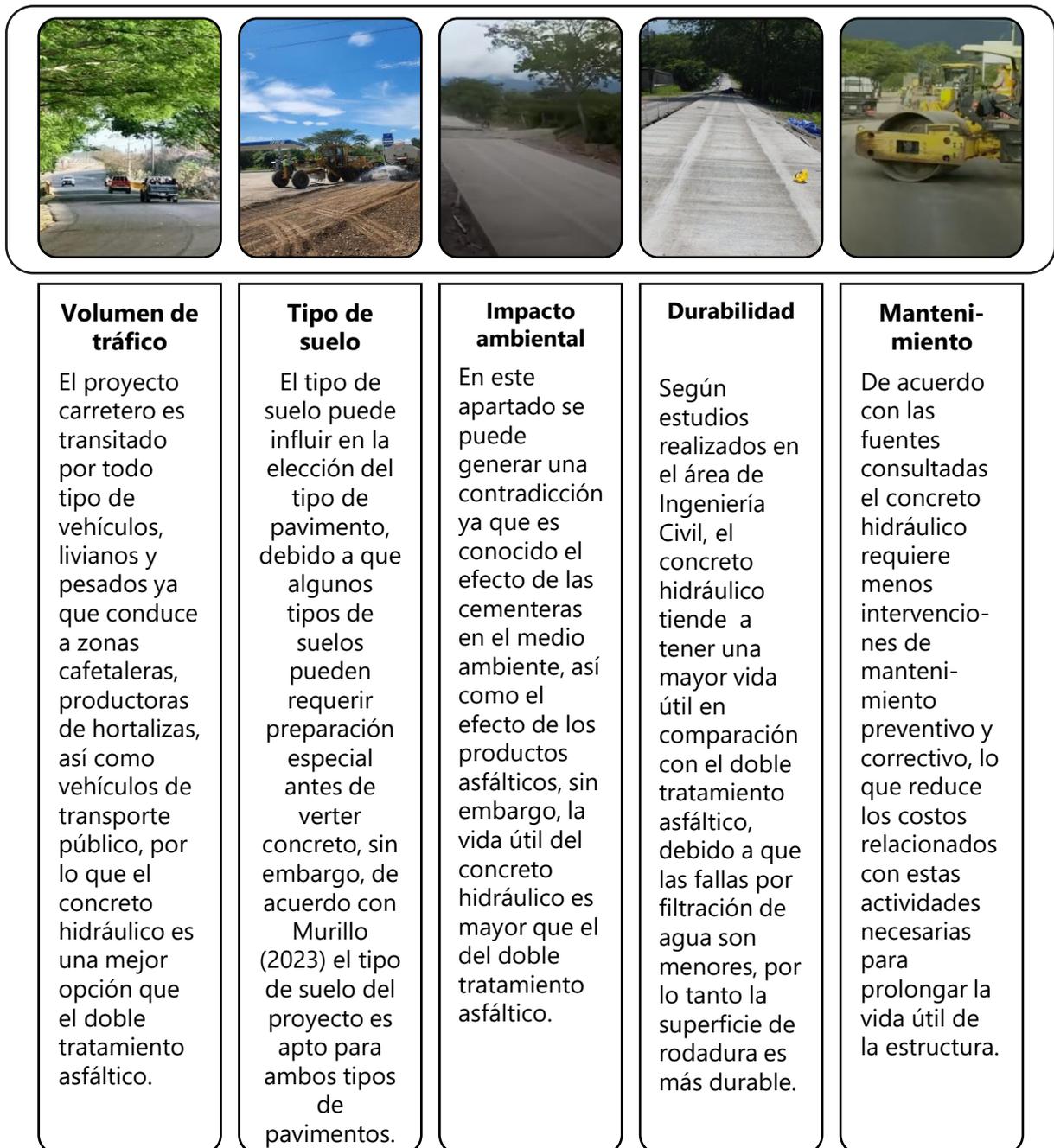
El uso del RAP como elemento de la subbase para pavimentos de concreto hidráulico puede ofrecer beneficios significativos en términos de sostenibilidad, al proteger el medio ambiente y el uso de recursos naturales no renovables para generaciones futuras, sin embargo, el éxito depende de la calidad del RAP y los análisis previos necesarios para lograr cumplir con las especificaciones técnicas de diseño. En el proceso para la pavimentación de la carretera Siguatepeque – Jesús De Otoro se logró el objetivo de utilizar el residuo del doble tratamiento asfáltico existente al ser mezclado con suelo cemento, lo que de acuerdo con Murillo (2023) al ser mezclados aportarán rigidez y durabilidad, lo que se traducirá en un menor número de intervenciones de mantenimiento correctivo y con la vida útil de diseño, que es de 20 años antes de necesitar una intervención mayor.



**Ilustración 60** Uso del RAP como elemento de la subbase

### 5.3 FACTORES PARA TOMAR EN CUENTA PARA SUSTITUIR EL DOBLE TRATAMIENTO ASFÁLTICO POR PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

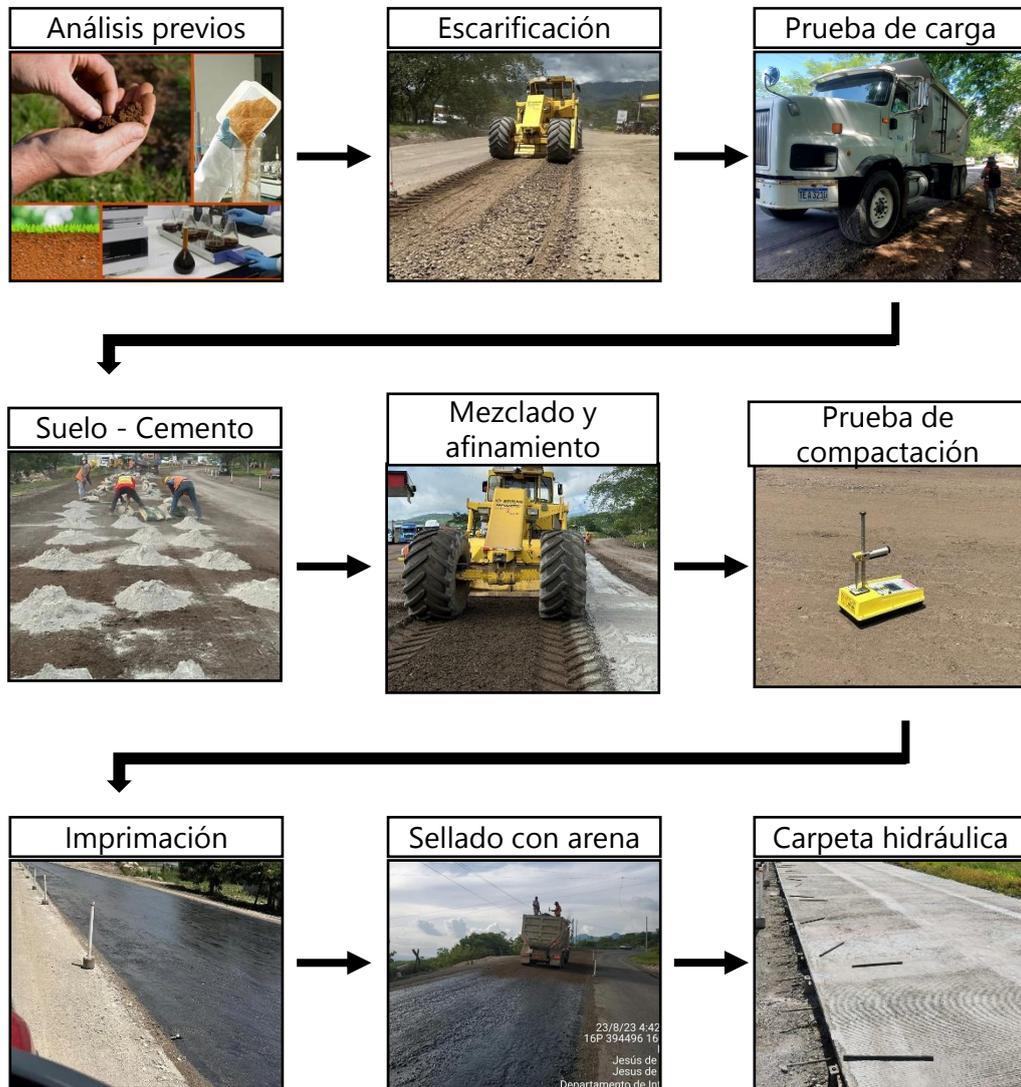
Se ha identificado por medio de entrevistas de campo que la decisión de sustituir el doble tratamiento asfáltico de la carretera Siguatepeque – Jesús de Otoro por pavimento de concreto hidráulico se basó en la evaluación de los siguientes factores:



Fuente: (Cárcamo R. , 2023)

**Gráfico 17 Factores a considerar para la sustitución de doble tratamiento asfáltico por concreto hidráulico**

#### 5.4 PROCESO CONSTRUCTIVO AL UTILIZAR EL RAP COMO ELEMENTO DE LA SUBBASE PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO



**Gráfico 18 Proceso constructivo ilustrado**

**Análisis Previos:** Antes de iniciar el proyecto se realizaron análisis de tráfico para determinar las cargas y volúmenes de vehículos que la carretera experimentaría. Además, se llevó a cabo un levantamiento topográfico para recabar el diseño geométrico de la carretera existente y evaluar los aspectos hidrológicos para determinar la necesidad de complementar el drenaje transversal. También se realizó una evaluación del estado del doble tratamiento asfáltico existente de la carretera de donde se decidió la necesidad de una nueva estructura, en este caso de concreto hidráulico.

**Escarificación:** En esta etapa, se procedió con el levantamiento del residuo de doble tratamiento asfáltico con el propósito de mezclarlo con materiales selectos para construir la subbase.

**Prueba de carga:** Se realizó una prueba de carga dinámica utilizando una volqueta cargada para evaluar la capacidad de carga de la subbase. Esto fue esencial para garantizar que la subbase cumpliera con las especificaciones técnicas de diseño.

**Suelo – Cemento:** Se utilizó un mezcla de suelo – cemento y residuo de doble tratamiento asfáltico en la subbase, que ya había sido mezclada con RAP. La adición de cemento mejoró las propiedades mecánicas y la estabilidad de la subbase.

**Mezclado y afinamiento:** En esta etapa, se llevó a cabo el mezclado y afinamiento de la subbase, asegurando la uniformidad de la mezcla y la nivelación adecuada para proporcionar una base sólida para la nueva pavimentación.

**Prueba de compactación:** Se realizaron pruebas de compactación utilizando un densímetro para evaluar la resistencia a la compactación de la subbase. Esto garantizó que la subbase estuviese adecuadamente compactada para soportar las cargas de tráfico.

**Imprimación:** Se aplicó una capa de emulsión asfáltica como imprimación sobre la subbase. Esta capa ayudó a mejorar la adherencia entre la subbase y la nueva capa de concreto hidráulico.

**Sellado con arena:** Se aplicó un sellador con arena para impermeabilizar la superficie de la subbase, protegiéndola contra la infiltración de agua y de esta manera incrementar su durabilidad.

**Carpeta hidráulica:** Finalmente, se procedió a la colocación y fundición del concreto hidráulico como la nueva capa de pavimento.

## **5.5 ANÁLISIS DE CAMPO Y LABORATORIO PARA VERIFICAR LA CALIDAD DE LA SUBBASE CON RAP PARA PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO.**

Cada proceso conlleva la verificación por parte de la supervisión del cumplimiento de las especificaciones técnicas, para lo que se llevan a cabo tanto pruebas in situ como de laboratorio, tales como ensayos para determinar la densidad por medio de un densímetro y prueba de carga.

El método que se utilizó para determinar la densidad del suelo en la carretera Siguatepeque – Jesús de Otoro, es por medio del densímetro, no obstante, también existe otro método llamado

cono de arena, aunque ambos métodos tienen como objetivo determinar la densidad y humedad de un suelo, poseen diferencias que se muestran a continuación.



### Cono de arena

#### Principios de funcionamiento:

También conocido como ensayo de proctor, determina la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo de un suelo, implica compactar el suelo en un molde cónico utilizando una cantidad específica de energía de compactación y luego medir su densidad y contenido de humedad.

**Objetivo:** Determinar la densidad máxima y la humedad óptima de un suelo durante el proceso de diseño de una carretera, específica como se debe compactar el suelo para alcanzar la densidad deseada.

**Tipo de suelos:** Se utiliza principalmente en suelos granulares y no es tan adecuado para suelos cohesivos.

**Norma:** La norma que establece los procedimientos y especificaciones para el ensayo cono de arena es ASTM D1556-15 "Standard Test Method for Density and Unit weight of Soil in Place by Sand-Cone Method".

### Densímetro

#### Principios de funcionamiento:

Se basa en la medición de la densidad del suelo midiendo el peso del suelo en un volumen conocido, consiste en un cilindro metálico que se introduce en el suelo y se pesa antes y después de la excavación, la diferencia de peso se utiliza para calcular la densidad del suelo.

**Objetivo:** Determinar la densidad in situ de un suelo, es útil para evaluar la compactación de suelos ya colocados en una obra de construcción.

**Tipo de suelos:** Se puede utilizar en una variedad de tipos de suelos, incluyendo suelos cohesivos y suelos granulares.

**Norma:** La norma ASTM D854-14 "Standard Test Methods for specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer" establece los procedimientos y especificaciones para la prueba de densímetro en suelos.

**Gráfico 19 Comparación entre método cono de arena y densímetro**

Fuente: (Avecillas, 2013)

Para controlar la calidad de la subbase con RAP para pavimento con concreto hidráulico en la carretera Siguatepeque – Jesús de Otoro, se realizaron pruebas de carga con volqueta.



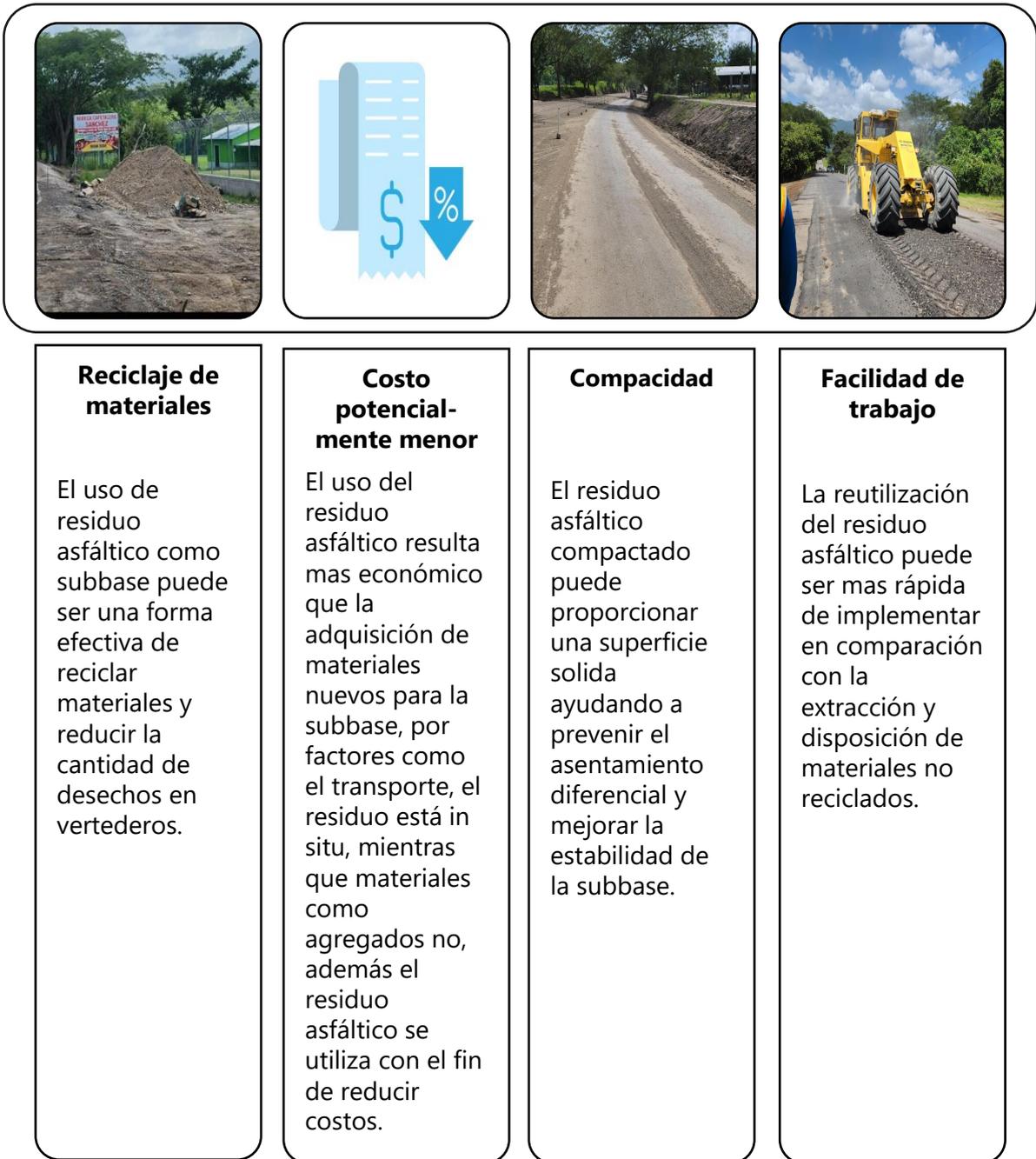
La prueba de carga con volqueta es realizada para evaluar la capacidad de carga y la estabilidad la subbase de la carretera Siguatepeque - Jesús de Otoro, para llevar a cabo la prueba es necesario preparar el lugar, cargar la volqueta para posteriormente colocarlo en la zona que se desea estudiar, de manera que permita registrar las deformaciones y finalmente analizar los datos obtenidos.

La norma que establece las regulaciones y especificaciones para esta prueba es ASTM D1196.

**Gráfico 20 Prueba de carga con volqueta**

## **5.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS AL UTILIZAR EL RESIDUO ASFÁLTICO EN LA SUBBASE PARA UN PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO**

El uso del residuo asfáltico como subbase para un concreto hidráulico puede ser una opción viable en ciertas situaciones, pero como todo procedimiento tiene ventajas y desventajas, que deben ser analizadas para trabajar con este tipo de procesos.



**Gráfico 21 Ventajas al utilizar residuo asfáltico como subbase para un concreto hidráulico.**

Fuente: (Albeiro, 2015)



**Gráfico 22 Desventajas al utilizar residuo asfáltico como subbase para un concreto.**

Fuente: (Albeiro, 2015)

## VI CONCLUSIONES

Según el procedimiento establecido en esta investigación sobre el uso del residuo de concreto asfáltico como subbase para la pavimentación de concreto hidráulico en la carretera Siguatepeque - La Esperanza, se ha demostrado la viabilidad de esta práctica. El procedimiento constructivo desarrollado se ajusta a las normativas y estándares para pavimentos vigentes, y las pruebas de campo y de laboratorio han corroborado su eficiencia. Estos resultados respaldan la implementación de esta técnica como una opción en proyectos de pavimentación futuros, promoviendo la reutilización de materiales y ayudando al medio ambiente.

1. A través de las investigaciones, se ha concluido que los factores más importantes a tomar en cuenta para la realización de este proyecto fueron; los análisis para el volumen de tráfico, el tipo de suelo, el impacto ambiental de los residuos del doble tratamiento asfáltico, la durabilidad del pavimento nuevo y el mantenimiento posterior a su construcción.
2. Se ha concluido a través de las investigaciones la importancia para el medio ambiente el incluir el RAP como parte de la subbase de manera que no sea colocado como desperdicio en los botaderos, ya que existen obligaciones contractuales que prohíben a las empresas constructoras depositar residuos en el derecho de vía, lo que debe verificar la supervisión del proyecto. Un botadero no necesariamente coincide con el botadero municipal, es la supervisión quien define la ubicación de los botaderos, ya que muchas veces estos desperdicios son utilizados para fines constructivos, como relleno.
3. La utilización del RAP como componente en el proceso constructivo para pavimentos de concreto hidráulico se revela como una estrategia técnica y sostenible. Este enfoque permite la reutilización eficiente de materiales existentes, reduciendo el uso de los recursos naturales y el impacto ambiental. Además, contribuye a la generación de pavimentos duraderos y resistentes, al tiempo que cumple con los estándares de calidad y eficiencia en la construcción de infraestructuras viales modernas.
4. La experiencia de presenciar los procesos constructivos para la pavimentación de concreto hidráulico utilizando RAP y suelo cemento en la subbase, desde la escarificación, el mezclado del RAP con el suelo - cemento, hasta la compactación contribuyó a conocer la importancia de la subbase del pavimento de concreto hidráulico, con un elemento a favor de la gestión ambiental, al reciclar desperdicio del doble tratamiento asfáltico y minimizar residuos. Estos procesos mostraron que la infraestructura moderna no solo requiere

destreza técnica, sino que incluye procesos que pueden diferir de un proyecto a otro, como las pruebas de campo, estabilización e impermeabilización, siempre cumpliendo con la calidad especificada.

5. El método que se utilizó para determinar la densidad del suelo en la carretera Siguatepeque – Jesús de Otoro, es por medio del densímetro, no obstante, también existe otro método llamado cono de arena, aunque ambos métodos tienen como objetivo determinar la densidad y humedad de un suelo.
6. Se ha concluido que no existen diferencias significativas entre la estabilización con residuo asfáltico y estabilización sin residuo asfáltico, sin embargo, es relevante destacar que la incorporación de suelo cemento en la estabilización ofrece beneficios clave en la construcción de carreteras y pavimentos, incluyendo una base sólida y duradera que mejora la resistencia al tráfico, reduce el mantenimiento a largo plazo y aumenta la capacidad de soporte de la subbase para la posterior colocación de la carpeta de concreto hidráulico, generándole durabilidad a la infraestructura vial.

## **VII RECOMENDACIONES**

1. Realizar un análisis exhaustivo sobre el volumen de tráfico, el tipo de suelo que presente el tramo carretero a pavimentar, el impacto ambiental de los residuos de doble tratamiento asfáltico, la durabilidad del pavimento nuevo y verificar constantemente el pavimento por medio de mantenimiento.
2. Incluir en acompañamiento con la supervisión un lugar específico que funcione como botadero, o almacenamiento para el desperdicio del doble tratamiento asfáltico, que permita evitar utilizar botaderos municipales.
3. Realizar una investigación sobre el residuo de pavimento de concreto asfáltico aplicado en áreas distintas a la pavimentación, con el objetivo de expandir su uso y aprovecharlo al máximo.
4. Verificar que cada actividad del proceso constructivo para pavimentos de concreto hidráulico con uso del RAP como subbase, sea realizado bajo supervisión para asegurar la excelencia.
5. Realizar las pruebas de campo y laboratorio, bajo las normativas que cada una establezca de manera que no hayan errores en la continuidad del proyecto.
6. Realizar un seguimiento a largo plazo de los pavimentos construidos con subbase de residuo asfáltico para evaluar su comportamiento y rendimiento a lo largo del tiempo, con la finalidad de verificar las ventajas y desventajas que tiene el uso del RAP como parte de la subbase para pavimentos de concretos hidráulicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ossa, A., & García, J. L. (27 de marzo de 2015). Residuos de construcción y demolición (RCD). 1. México.
- INE. (2017). *Carreteras y aeropuertos 2013 2017*. Tegucigalpa.
- INE. (2022). *Carreteras y Aeropuertos 2017 2021*. Tegucigalpa.
- Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. (22 de febrero de 2010). Reglamento para el manejo integral de los residuos sólidos. *La Gaceta*.
- INE. (2022). *Gestión integral de los residuos sólidos en Honduras*. Tegucigalpa.
- Unidad de Seguridad Vial y Transporte del PITRA. (2021). *Guía para inspectores de bacheo formal con mezcla asfáltica en caliente*. Universidad de Costa Rica .
- CONAM. (2004). *Guía técnica para la clausura y conversión de botaderos de residuos sólidos*. Perú.
- Martínez, J. B. (2007). *Asfalto Urbano*. México D.F.: Facultad de ingeniería UNAM división de educación continua.
- Ernst, R. (2004). *Diccionario de la técnica industrial. Inglés Español, vol 1*. Barcelona: Herder Editorial.
- Secretaría de comunicaciones y transportes. (2004). *Características de los materiales*.
- RAE. (05 de 05 de 2023). *rae*. Obtenido de rae: <https://dle.rae.es/bituminoso>
- Secretaría de comunicaciones y transportes. (2010). *Fresado de la superficie de rodadura en pavimentos asfálticos*.
- RAE. (05 de 05 de 2023). *Diccionario panhispánico del español jurídico*. Obtenido de RAE: <https://dpej.rae.es/lema/reciclaje>
- INE. (2018). *Carreteras y aeropuertos 2014-2018*.
- UNAM. (2006). *Tendido de Carpeta Asfáltica*.
- The Asphalt Institute. (1973). *Manual del asfalto*. Spain.

- Biviano, G. G. (2019). *Usos de asfalto en la construcción*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Velandia, J. A. (2019). *Análisis y control de tramos de asfalto natural instalados en Santa Rosa de Viterbo*. Boyacá: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Miguel, J. L. (2014). *Impermeabilización de losas, cisternas y cimentaciones de casas habitación*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Allcons. (13 de 05 de 2023). *Asphalt canals: Excavation % Lining*. Obtenido de Allcons: <https://www.allcons.de/asphalt-canals/>
- AASHTO. (2004). *Viscosity-graded asphalt cement*. AASHTO designation: M 226-80 (2004).
- AASHTO. (2004). *Penetration-graded asphalt cement*. AASHTO designation: M 20-70 (2004): AASHTO.
- Instituto del Asfalto. (2001). *Manual básico de emulsiones asfálticas Manul series No. 19*. Asphalt Institute.
- EMR. (2022). *Market Report Historical and Forecast market analysis*. EMR. Obtenido de Expert Market Search.
- Google. (13 de 05 de 2023). *Google Scholar*. Obtenido de Google: <https://scholar.google.com/>
- Vecteezy. (13 de 05 de 2023). *free png laptop*. Obtenido de Vecteezy: <https://es.vecteezy.com/free-png-es/laptop>
- Miranda, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Valdivia : Universidad Austral de Chile .
- (s.f.). *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*. Ciudad de México : Universidad Nacional Autónoma de México .
- Téllez, R., & Rico, A. (1991). *Catálogo de deterioros en pavimentos flexibles de carreteras mexicanas*. Querétaro : Instituto Mexicano del Transporte .

- Feuling, S. (08 de Julio de 2021). *Association of equipment manufacturers* . Obtenido de <https://www.aem.org/news/construction-aggregates-101-what-they-are-and-why-they-matter>
- Barajas, E., & Buitrago, B. (2017). *Análisis comparativo del sistema de gestión de los pavimentos o manetimiento vial de la ciudad de bogotá con la ciudad de sao paulo* . Bogotá: Universidad Católica de Colombia .
- Firth. (2018). *The lowdon: rigid vs flexible pavements*.
- Ortiz, A. (2017). *Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible* . Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Banda, J. (2016). *Ciudad con baches* . El Mañana.
- Grinkevich, A. (s.f.). *Pavimento agrietado* .
- (2014). *Tipos de fallas en pavimento flexible*.
- Corredor, G., & Corros, M. (2010). *Evaluación de pavimentos* . Managua.
- Pérez, J., & Urrea, P. (s.f.). *Deformaciones permanentes y fatiga en concreto asfáltico* .
- Zapata, I. (s.f.). *Fatiga en los pavimentos flexibles* .
- Consejo De Directores De Carreteras De Iberia E Iberoamérica. (2002). *Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles* .
- 360 En Concreto . (s.f.). *Agregado finos y gruesos: ¿cómo inciden en la manejabilidad del concreto?*
- Instituto Tecnológico de Tijuana. (2021). *Requisitos de calidad para los agregados* .
- Contractors Asphalt. (15 de Abril de 2020). Obtenido de Contractors Asphalt: <https://www.contractorsasphalt.com/the-advantages-and-disadvantages-of-recycling-asphalt/>
- España, Ministerio de Fomento de. (2008). *542- Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso y 543- Mezclas bituminosasa para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas*. Secretaría de estado de infraestructuras.

- España, M. d. (2008). *542- Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso y 543- Mezclas bituminosasa para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas*. Secretaría de estado de infraestructuras.
- Höeg, K. (1993). *Asphaltic concrete cores for embankment dams*. Billingstad: Norwegian Geotechnical Institute.
- Anguas, P. G., Alamilla, H. D., López, J. A., Romero, S. A., & Orca, H. A. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. Queretaro: Secretaría de comunicaciones y transportes.
- CEPAL. (1994). *Caminos-Un nuevo enfoque para le gestión y conservación de redes viales*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Richfield Blacktop. (2020). *6 benefits of recycling asphalt*. Minnesota.
- U.S. Department of Transportation . (3 de Agosto de 2016). Obtenido de User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction : <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/97148/049.cfm>
- U.S. Department of Transportation . (3 de Agosto de 2016). *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction* . Obtenido de Asphalt Concrete (Hot Recycling): <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/rap132.cfm>
- U.S. Department of Transportation . (3 de Agosto de 2016). *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction* . Obtenido de Asphalt Concrete (Cold Recycling): <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/rap133.cfm>
- ASTM. (31 de Diciembre de 2010). *Standard Specification for Coarse Aggregate for Bituminous Paving Mixtures* . Obtenido de ASTM D692-00(2004): <https://www.astm.org/standards/d692>

- ASTM. (7 de Julio de 2022). *Standard Specification for Fine Aggregate for Asphalt Paving Mixtures* .  
Obtenido de ASTM D1073-16(2022): <https://www.astm.org/d1073-16r22.html>
- ASTM. (22 de Mayo de 2018). *Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Asphalt Binder from Asphalt Mixtures* . Obtenido de ASTM D2172/D2172M-17e1:  
[https://www.astm.org/d2172\\_d2172m-17e01.html](https://www.astm.org/d2172_d2172m-17e01.html)
- U.S. Department of Transportation . (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice* . Virginia .
- AASHTO . (2017). *Especificación superpave para el diseño volumétrico de la mezcla asfáltica*.
- AASHTO . (2017). *Superpave volumetric design for asphalt mixtures* .
- Gutierrez, R., López, D., Velasco, V., & Villera, T. (2013). *Densidad bulk y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto*. Universidad del Norte.
- OIML. (2011). *Guía OIML G-14: Medición de Densidad*. Organización Internacional de Metrología Legal.
- Canteras El Cerro. (06 de 11 de 2009). *Mezcla de asfalto y filler*. Obtenido de Canteraselcerro:  
<https://www.canteraselcerro.com/mezcla-de-asfalto-y-filler/#:~:text=Los%20fillers%20son%20sustancias%20finamente,o%20corcho%2C%20raramente%20se%20utilizan.>
- Schlumberger. (19 de 05 de 2023). *Energy Glossary en español*. Obtenido de Schlumberger:  
<https://glossary.slb.com/es/terms/p/poise>
- UNITEC. (2023). *Manual de laboratorio de Ingeniería Civil, Laboratorio de vías de comunicación*. UNITEC.
- UNITEC. (2023). *Granulometría mecánica de los agregados*. UNITEC.
- UNITEC. (2023). *Designación del tamaño de las partículas*. Tegucigalpa: UNITEC.
- ASTM. (16 de 08 de 2017). *ASTM C128*. Obtenido de ASTM: <https://www.astm.org/c0128-01.html>
- UNITEC. (2023). *Peso específico y absorción*. UNITEC.

- U.S. Department of Transportation. (2016). *User guidelines for waste and byproduct materials in pavement construction*. Federal Highway Administration. Obtenido de Federal Highway Administration.
- U.S. Department of Transportation. (2022). *Chapter 7. Hot Mix Asphalt Recycling*. Federal Highway Administration.
- Dreamstime. (19 de 05 de 2023). *Fotos de stock*. Obtenido de Dreamstime: <https://es.dreamstime.com/maqueta-del-artilugio-tel%C3%A9fono-celular-image104748796>
- El sol de bajo. (05 de Agosto de 2022). *Inician trabajos de re-encarpetado en Mutualismo*. Obtenido de El sol de bajo: <https://www.elsoldelbajo.com.mx/local/inician-trabajos-de-re-encarpetado-en-mutualismo-8694322.html>
- Michaca, J. L., Granados, V. M., Chaires, I. C., Hernández, S. A., & Gutierrez, R. T. (2001). *Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efectos por la construcción y conservación de superficies de rodamiento: I pavimentos flexibles*. Ciudad de México: Secretaría de comunicaciones y transportes, Instituto Mexicano del transporte.
- UNAM. (2020). *Diseño y conservación de pavimento rígidos*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Giordani, C., & Leone, D. (2023). *Pavimentos*. Rosario: Universidad Tecnológica Nacional.
- Constructor, T. (2023). *Flexible pavement design by california bearing ratio (CBR) method*.
- Funes, L. (2023). *Diseño de pavimentos método AASHTO-93*. Tegucigalpa.
- Padilla, A. (2004). *Materiales básicos*. UPC.
- Ecivil. (2023). *Filler*.
- Recycled Materials Resource Center. (2023). Obtenido de <https://rmrc.wisc.edu/ug-mat-reclaimed-asphalt-pavement/>
- ASTM. (2023). *Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures*. Obtenido de D2172/D2172M-11.

H.W.Kessel. (2023). *Centrifuga de asfalto*. Obtenido de <https://hwkessel.com.pe/equipo/centrifuga-de-asfalto/>

NAPA. (2013). *RAP benefits for pavement owners*.

Estates Paving. (2023). Obtenido de Estates paving: <https://estatespaving.com/the-pros-and-cons-of-recycled-asphalt/>

García, A. (2015). *Diseño de pavimento asfáltico por el metodo AASHTO-93 empleando el software DISAASHTO-93*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

UTest. (2 de Junio de 2023). *Diseño y ensayos de mezclas bituminosas*. Obtenido de UTEST: <https://www.utest.com.tr/es/26054/M-quina-para-Pruebas-de-Estabilidad-Marshall-con-Indicador-Digital>

Sripath Technologies, LLC. (16 de Junio de 2023). *What is rap*. Obtenido de Sripath: <https://sripath.com/products/relixer/what-is-rap/>

Asfaltos Kean. (2 de Junio de 2023). *Venta de asfalto*. Obtenido de asfaltoskean: <https://www.asfaltoskean.com/venta-de-asfalto-rc-250/>

Gilson Company, INC. (2023). *9.75in Centrifuge Extractor Filter Rings (Grade 923)*. Obtenido de <https://www.globalgilson.com/centrifuge-extractor-filter-rings-975in-grade-923>

Amazon . (2023). Obtenido de Whatman 1450-185 Papel de filtro cuantitativo de baja ceniza, 7.3 in de diámetro, 2,7 micras, grado 50 (paquete de 100): <https://www.amazon.com/Whatman-1450-185-Hardened-Quantitative-Diameter/dp/B00394FB1C>

Vastarintama. (12 de Enero de 2021). *qué es el impermeabilizante asfáltico*. Obtenido de Vastarintama: <https://vastarintama.net/que-es-el-impermeabilizante-asfaltico/>

Pragmacromatic. (3 de Junio de 2023). *Cemento asfáltico*. Obtenido de Pragmacromatic: <https://pragmacromatic.com/macrosur/producto/cemento-asfaltico-impetek/>

- Solano, J. A., & García, J. D. (2015). *Biblioweb*. Obtenido de Tangara. edu: efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/157598.pdf
- Guerrero, N., & Chang, M. C. (11 de Noviembre de 2016). *Perfiles de Ingeniería*. Obtenido de [https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles\\_Ingenieria/article/view/402](https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Perfiles_Ingenieria/article/view/402)
- Murillo, J. (28 de Julio de 2023). Carretera La Esperanza - Siguatepeque. (A. Gutierrez, Entrevistador)
- Marín, C. (5 de Marzo de 2021). *Hormigon al día*. Obtenido de <https://hormigonaldia.ich.cl/sostenibilidad/incorporacion-de-rap-en-hormigon/#:~:text=Esta%20vez%20consiste%20en%20incorporar,no%20estructurales%20o%20en%20pavimentos>
- OMB. (2023). *Proyecto de rehabilitación de la carretera Ruta 22, tramo Siguatepeque - La Esperanza*. Tegucigalpa MDC: OMB.
- Prensa, L. (2023). *La prensa*. Obtenido de La prensa: <https://www.laprensa.hn/honduras/honduras-riesgo-carreteras-intibuca-red-vial-primaria-borde-colapso-HP13854333>
- Maps, G. (2023). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps/dir/Siguatepeque/La+Esperanza/@14.4581972,-88.1979669,100916m/data=!3m1!1e3!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x8f6595a3b6d8afe3:0x3dab665e36cbd548!2m2!1d-87.8402405!2d14.5963866!1m5!1m1!1s0x8f645531741f7b39:0x5a4e6e828e95410b!2m2!1d-88.1706>
- AASHTO. (1993). *books.AASHTO*. Obtenido de [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1HRB12tBQNMCM&oi=fnd&pg=PR7&dq=1993+AASHTO+&ots=RtAmKAgQAF&sig=hqFB7id1\\_wQif99CgTu6OtG\\_Ngw#v=onepage&q=1993%20AASHTO&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1HRB12tBQNMCM&oi=fnd&pg=PR7&dq=1993+AASHTO+&ots=RtAmKAgQAF&sig=hqFB7id1_wQif99CgTu6OtG_Ngw#v=onepage&q=1993%20AASHTO&f=false)
- SIECA. (2002). *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: SIECA.

- Evaneos. (2016). *Evaneos*. Obtenido de Evaneos: <https://www.evaneos.es/honduras/viajes/explorar/11075-1-ruta-lenca/#:~:text=La%20Ruta%20Lenca%20es%20a,y%20tradiciones%20como%20la%20cerámica>
- SAPP. (2017). *SAPP*. Obtenido de SAPP: <https://sapp.gob.hn/services/infraestructura/corredor-lenca/>
- Pro Road Global. (10 de Enero de 2023). *proroadglobal.com*. Obtenido de <https://www.proroadglobal.com/disenio-de-tratamientos-superficiales/#:~:text=¿Qué%20es%20un%20doble%20tratamiento,compactados%20encima%20del%20ligante%20bituminoso>
- Rosada, G. (2000). *Doble tratamiento asfáltico*. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/handle/123456789/181/Guti%C3%A9rrez%20Rosada,%20Jorge%20Alejandro.PDF?sequence=1>
- Pitra. (2017). Obtenido de [https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/866/public\\_esp\\_tratam\\_superficiales\\_ruta\\_lastre.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/866/public_esp_tratam_superficiales_ruta_lastre.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- BITAFAL. (2020). *BITAFAL*. Obtenido de BITAFAL: <https://bitafal.com.uy/categorias/tratamientos-superficiales-de-alto-desempeno/page/2/>
- Alamy. (2021). *Alamy*. Obtenido de Alamy: <https://www.alamy.es/preparacion-de-la-superficie-para-el-pavimento-de-asfalto-eliminacion-de-residuos-y-preparacion-de-grietas-con-equipo-especializado-image434890924.html>
- Gucunski, N., Vitillo, N., & Zaghoul, S. (2009). *Development of FWD procedures manual*. New Jersey: Rutgers university.
- ICH. (2018). *RAP*. Obtenido de <https://hormigonaldia.ich.cl/sostenibilidad/incorporacion-de-rap-en-hormigon/#:~:text=Esta%20vez%20consiste%20en%20incorporar,no%20estructurales%20o%20en%20pavimentos>

- Okafor. (2010). Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Fidelis-O-Okafor/publication/49596575\\_Performance\\_of\\_Recycled\\_Asphalt\\_Pavement\\_as\\_Coarse\\_Aggregate\\_in\\_Concrete/links/02e7e51b5a66b78ae3000000/Performance-of-Recycled-Asphalt-Pavement-as-Coarse-Aggregate-in-Concrete.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fidelis-O-Okafor/publication/49596575_Performance_of_Recycled_Asphalt_Pavement_as_Coarse_Aggregate_in_Concrete/links/02e7e51b5a66b78ae3000000/Performance-of-Recycled-Asphalt-Pavement-as-Coarse-Aggregate-in-Concrete.pdf)
- Guzman, D. (10 de Septiembre de 2020). *UNAQ.EDU*. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/2395/1/RI005456.pdf>
- Mora, S. (2023). *Pavimentos de concreto hidráulico*. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44205933/3.\\_Pavimento\\_Concreto\\_Ing\\_Mora-libre.pdf?1459379863=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPAVIMENTOS\\_DE\\_CONCRETO\\_HIDRAULICO.pdf&Expires=1691524401&Signature=OTYsalBqLn9MalcwOxg3g6efUgys85oQGd19M](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44205933/3._Pavimento_Concreto_Ing_Mora-libre.pdf?1459379863=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPAVIMENTOS_DE_CONCRETO_HIDRAULICO.pdf&Expires=1691524401&Signature=OTYsalBqLn9MalcwOxg3g6efUgys85oQGd19M)
- Daza, J. (2015). *IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE*. Obtenido de *IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE ELEVACIÓN OBTENIDOS MEDIANTE*: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/7596>
- Imasgal. (2023). *Imasgal*. Obtenido de Imasgal: <https://imasgal.com/analisis-modelos-digitales-del-terrenomdt-modelos-digitales-superficiemds-qgis/>
- MCAD. (2022). *MCAD*. Obtenido de MCAD: <https://mcaad.co/que-es-la-fotogrametria-y-como-se-utiliza-en-la-construccion/>
- Martinez, G. (2010). *IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL SUELO PARA LA DETERMINACIÓN DE FUNDACIONES EN OBRAS CIVILES*. Obtenido de *IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL SUELO PARA LA DETERMINACIÓN DE FUNDACIONES EN OBRAS CIVILES*: [https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as\\_sdt=0%2C5&q=importancia+de+Estudios+de+suelos&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=importancia+de+Estudios+de+suelos&btnG=)
- Briones, A. (2015). *Zonificación mediante el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y la capacidad portante del suelo*. Obtenido de *Zonificación mediante el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) y la capacidad portante del suelo*: <https://hdl.handle.net/11537/6679>

- Salinas, A. (2019). *ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL*. Obtenido de <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/3264/ALBITRES%20SALINAS%20JOHE%20ALEXANDER.pdf?sequence=1&isAllowed=>
- Garrido, M. (1999). *carreteros*. Obtenido de [carreteros: http://www.carreteros.org/planificacion/1999/1999\\_10.pdf](http://www.carreteros.org/planificacion/1999/1999_10.pdf)
- Ingartek. (2021). *Ingartek*. Obtenido de Ingartek: <https://www.ingartek.com/es/tres-claves-para-el-estudio-de-trafico-de-carreteras-la-densidad-la-intensidad-y-la-velocidad/>
- Martínez. (2014). *Estudio de tráfico para mejoramiento de carretera*. Huacho: Escuela profesional de Ingeniería Civil.
- Romero. (2014). *Estudio de tráfico para mejoramiento de carretera*. Huacho: Escuela profesional de Ingeniería Civil.
- Garnica, P. (2021). *Espectros de carga y daño para diseño de pavimento*. Obtenido de [http://94.23.80.242/~aec/ivia/Espectros\\_de\\_Carga\\_y\\_Daño\\_para\\_Diseño\\_de\\_Pavimentos\\_\(Paul\\_Garnica\).pdf](http://94.23.80.242/~aec/ivia/Espectros_de_Carga_y_Daño_para_Diseño_de_Pavimentos_(Paul_Garnica).pdf)
- Tacuri, S. (2021). *Universidad de Belgrano*. Obtenido de <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/9544>
- García, T. (2023). *Universidad señor de Sipán*. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/111113/Garcia%20Calle%20Sivelly%20Tiffany.pdf?sequence=1>
- Cotecno. (2022). *Cotecno*. Obtenido de Cotecno: <https://www.cotecno.cl/limites-de-atterberg-una-guia-rapida-de-referencia/>
- Fonseca, A. (2019). *Estabilización de suelos*. Ediciones de la u, 2019. Obtenido de [https://books.google.es/books?id=MzSjDwAAQBAJ&dq=estabilizaci%C3%B3n+de+suelos&lr=&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.es/books?id=MzSjDwAAQBAJ&dq=estabilizaci%C3%B3n+de+suelos&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- Bada, F. (2016). *Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO*. Obtenido de Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO: <https://hdl.handle.net/20.500.12759/2530>

- Zambrano, H. (2021). *Determinacion de las propiedades dinámicas a pequeñas deformaciones de suelos*. Obtenido de <https://1library.co/document/ydlv2dgz-determinaci%C3%B3n-propiedades-din%C3%A1micas-peque%C3%B1as-deformaciones-estabilizados-qu%C3%ADmicamente-polim%C3%A9ricos.html>
- Zambrano, H. (s.f.). *DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS A PEQUEÑAS DEFORMACIONES DE SUELOS ESTABILIZADOS QUÍMICAMENTE CON ADITIVOS POLIMÉRICOS*.
- Zambrano, H. (2021). Obtenido de <https://1library.co/document/ydlv2dgz-determinaci%C3%B3n-propiedades-din%C3%A1micas-peque%C3%B1as-deformaciones-estabilizados-qu%C3%ADmicamente-polim%C3%A9ricos.html>
- Bernal, D. (2019). *Estudio de la técnica de suelo cemento para la estabilización de vías terciarias*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/23731>
- SOSTERRA. (2018). *CONTROL DE POLVO Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS*. Obtenido de <https://www.sosterra.com.pe/project/control-de-polvo-y-estabilizacion-de-suelos/>
- Yepes, V. (2021). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/02/22/estabilizacion-de-suelos-con-cemento/>
- Rodriguez, D. (2022). *Dosificación suelo cemento*. Obtenido de <https://idoc.pub/documents/idocpub-d2nvwro9e0lk>
- SAPP. (2017). *SAPP*. Obtenido de <https://sapp.gob.hn/reconstruccion-de-carretera-la-esperanza-siguatopeque-anuncia-presidente-hernandez/>
- SAPP. (2017). *Reconstruccion de carretera La Esperanza-Siguatopeque*. Obtenido de <https://sapp.gob.hn/reconstruccion-de-carretera-la-esperanza-siguatopeque-anuncia-presidente-hernandez/>
- SAPP. (2017). Obtenido de <https://sapp.gob.hn/reconstruccion-de-carretera-la-esperanza-siguatopeque-anuncia-presidente-hernandez/>
- Fajardo, M. (2019). *La prensa*. Obtenido de <https://www.laprensa.hn/honduras/intransitable-carretera-de-siguatopeque-a-la-esperanza-EVLP1326615>

ECOASFALT. (2022). *ECOASFALT*. Obtenido de <https://www.ecoasfalt.es/doble-tratamiento-superficial/>

UPV. (2015). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/pasadores/>

Saltaren, M. (2020). *Universidad militar nueva granada*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37278/SaltarenDanielMarioMarco2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

EGC. (2022). *EGC Consulting*. Obtenido de <https://egcconsulting.net/topografia-todo-sobre-la-tierra/>

Hernandez, L. (2020). *Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/aadedb42-144f-47bb-a1e9-4e9664b40a8a/content>

Sobhan, K. (2012). *Principles of geotechnical*. Obtenido de <http://faculty.tafreshu.ac.ir/file/download/course/1583609876-principles-of-geotechnical-engineering-8th-das.pdf>

s. (s.f.).

Saavedra, D. (2021). *Gaceta UNAM*. Obtenido de <https://www.gaceta.unam.mx/crean-modelo-para-agilizar-flujo-vehicular/>

Hoy. (2014). *Volumen de tránsito*. Obtenido de <https://hoy.com.do/que-se-estudie-el-volumen-del-transito-3/>

ECOASFALT. (2023). *ECOASFALT*. Obtenido de <https://www.ecoasfalt.es/doble-tratamiento-superficial/>

ECOASFALT. (2023). Obtenido de <https://www.ecoasfalt.es/doble-tratamiento-superficial/>

Haydée, A. (2000). *Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación de ensayos*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2117/93942>

- Suárez, E. (2019). *IngeCivil.net*. Obtenido de <https://www.ingecivil.net/2019/05/28/que-es-la-compactacion-de-suelos/>
- Reyes, F., & Rondon, H. (2015). *Pavimentos, materiales de construcción y diseño*. ECOE Ediciones.
- Santín, J. (2005). *upcommons.upc.edu*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2099.1/3282>
- Cevallos, A. (2012). *Determinación del límite líquido y plástico de los suelos mediante el uso del penetrómetro cónico*. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/6403>
- Ortega, A. (2018). *Enfoques de investigación*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Otero-Ortega/publication/326905435\\_ENFOQUES\\_DE\\_INVESTIGACION/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alfredo-Otero-Ortega/publication/326905435_ENFOQUES_DE_INVESTIGACION/links/5b6b7f9992851ca650526dfd/ENFOQUES-DE-INVESTIGACION.pdf)
- Edomex. (2021). *PROYECTO DE NORMA TÉCNICA ESTATAL AMBIENTA*. Obtenido de [http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-edm/EM-N-NTEA-011-SeMAGEM-RS-2021-2021\\_11Proy.pdf](http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-edm/EM-N-NTEA-011-SeMAGEM-RS-2021-2021_11Proy.pdf)
- Ecoticias. (2023). *Ecoticias*. Obtenido de [https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/197278\\_significado-numero-simbolo-reciclaje-botellas-plastico](https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/197278_significado-numero-simbolo-reciclaje-botellas-plastico)
- Cotrina, A. (2017). *Estudio de los agregados del río Cumbaza para la construcción de capas de sub base de pavimentos flexibles en la ciudad de Tarapoto*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11458/2862>
- Arita, A. (2023). *Proyecto Siguatepeque - La Esperanza*. Tegucigalpa MDC.
- Villa, M. (2015). *Reciclado in situ de pavimentos*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/581465>
- Villasis-Keveer, & Miranda-Novales. (2016). *Metodología de la investigación*. Obtenido de <https://doi.org/10.29262/ram.v63i3.199>
- Áviles, F. (2023). *Proyecto Siguatepeque - La Esperanza*. Tegucigalpa MDC.
- Troncoso, J. (2011). *Evaluación del espectro de carga y coeficientes de daño en el corredor de la Avenida Boyacá, Bogotá D.C.* Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8665>

Aguilar, J. (2017). *modelo de deformación permanente para la evaluación de la condición del pavimento*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000100004>

Cárcamo, R. (Agosto de 2023). Proyecto Siguatepeque - La Esperanza. (A. Gutierrez, Entrevistador)

Cárcamo, R. (2023).

Gaceta, L. (2011). *Reglamento para el manejo integral de los residuos sólidos*. Obtenido de [https://www.google.com/search?q=Ley+de+gesti%C3%B3n+integral+de+los+Residuos+sólidos+%28Ley+n%C2%B0+922-2014%29&sca\\_esv=563892659&rlz=1C1ALOY\\_esHN1020HN1020&sxsrf=AB5stBhkCf06OxlOYqH6Fy--tVji1PfyBA%3A1694223866633&ei=-s37ZNaqJsyIkvQPhNSm2Ac&ved=0ahUKEwjWj](https://www.google.com/search?q=Ley+de+gesti%C3%B3n+integral+de+los+Residuos+sólidos+%28Ley+n%C2%B0+922-2014%29&sca_esv=563892659&rlz=1C1ALOY_esHN1020HN1020&sxsrf=AB5stBhkCf06OxlOYqH6Fy--tVji1PfyBA%3A1694223866633&ei=-s37ZNaqJsyIkvQPhNSm2Ac&ved=0ahUKEwjWj)

Albeiro, H. (2015). *Reciclaje de pavimentos*. Obtenido de <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2163>

Avecillas, S. (2013). *Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena y densímetro*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1294>

Uclés, K. (2023). *Asesor metodológico proyecto de investigación*. Tegucigalpa MDC.

Constructor. (2021). *The Constructor*. Obtenido de <https://theconstructor.org/transportation/reclaimed-asphalt-pavement-rap-materials/561516/>

Collantes, P. (2012). *Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos*. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3259557>

Orrego, D. (2014). *Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5419>

Cano, J. (2014). <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6413/9.20.001615.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. Obtenido de

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6413/9.20.001615.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

# ANEXOS

## Anexo 1 Asesoría temática 1

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Doble Tratamiento Asfáltico Reciclado como Subbase para Pavimentos de Concreto Hidráulico

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Alberto Andreé Gutiérrez Arévalo	11851075
Davor Rodniery Melgar Argueta	118111151

ASESORAMIENTO	Nº: <u>1 y 2</u>
ASESOR: M. Sc. Ing. Julio Cesar López Zerón	
1. Asesoramiento teórico en relación al manual de procesos para el correcto funcionamiento de la rehabilitación de la carretera.	
2. Asesoramiento y corrección de la estructura del informe.	
3. Apoyo con la estructura metodológica, en base a el enfoque y variables de investigación.	
4. Apoyo con buscadores confiables para encontrar información relevante a la investigación.	
5. _____	
6. _____	
7. _____	
8. _____	
9. _____	
10. _____	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>18/08/2023</u>

## **Anexo 2 Entrevista 1**

1. ¿Porque se optó por usar ese tipo de procedimiento?

R// Para aprovechar la estructura y los materiales existentes, este mismo procedimiento se utilizó en la reconstrucción de la carretera de copan, sur, occidente, y la de Danlí hasta Neteapa.

2. ¿Se le ha dado mantenimiento?

R// Si constante, pero la carretera ya no aguanta más reparaciones, ya cumplió con el periodo de diseño y vida útil proyectada.

3. ¿Cuál será el tiempo de la obra y el costo estimado?

R// El proyecto está estimado para 1 año, pero puede cambiar debido a que se modificó la metodología original de la pavimentación.

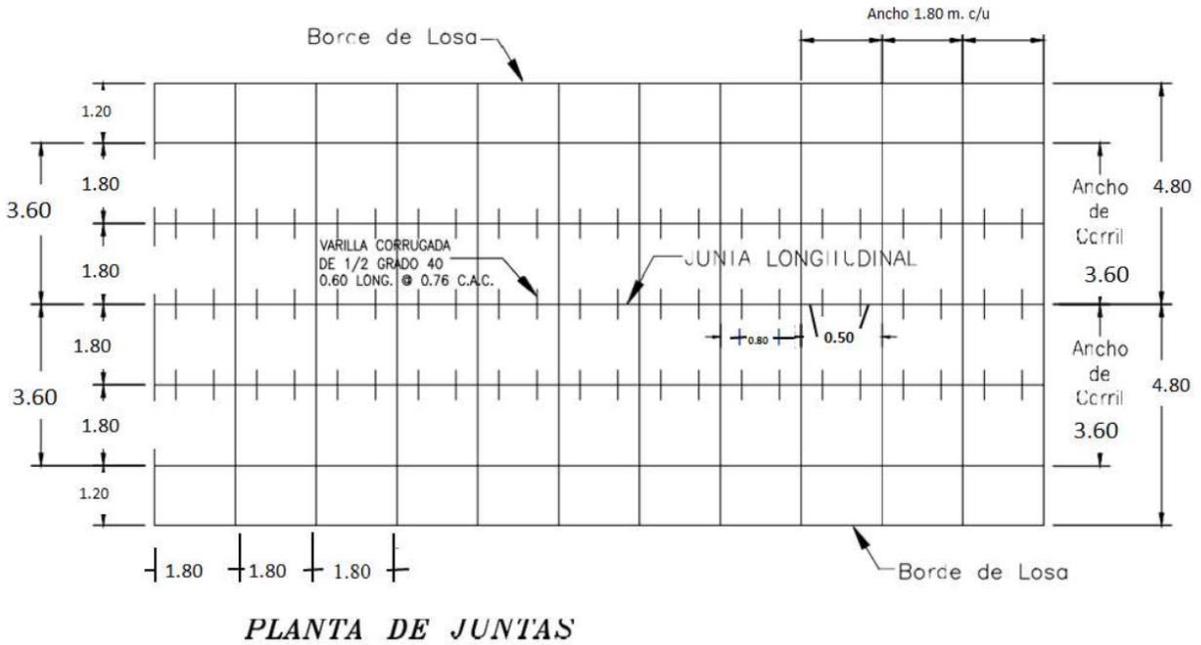
4. ¿Qué tipo de material se utilizó para la subbase y base?

R// El material existente triturado y mezclado con cemento para rigidizar y obtener una base mejor estabilizada y que le genere mayor durabilidad a la pavimentación.

5. ¿Porque se ópto por concreto hidraulico y no asphaltico?

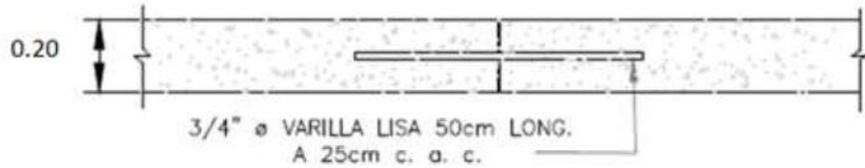
R// Desde que se licitó el proyecto, la metodolgia que querian que se utilizara era colocar una carpeta hidráulica sobre la pavimentacion existente, sin embargo, la supervision encargada del proyecto sugirió que se debia de utilizar un procedimiento mas moderno, cuyos costos pudiesen estar más elevados pero los resultados iban a ser mejores en cuanto a resistencia y durabilidad, y es por esto, que se ópto por hacer el procedimiento de reciclaje.

### Anexo 3 Planos de juntas

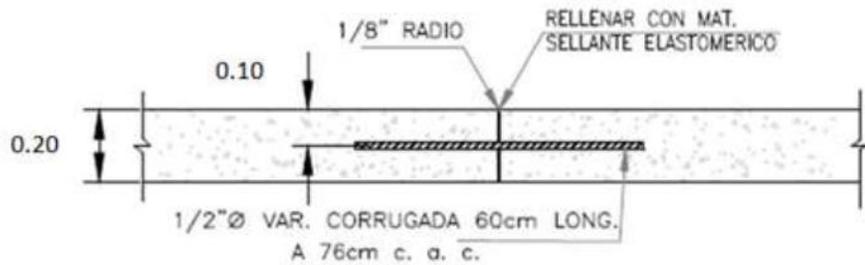


Fuente: (Arita, 2023)

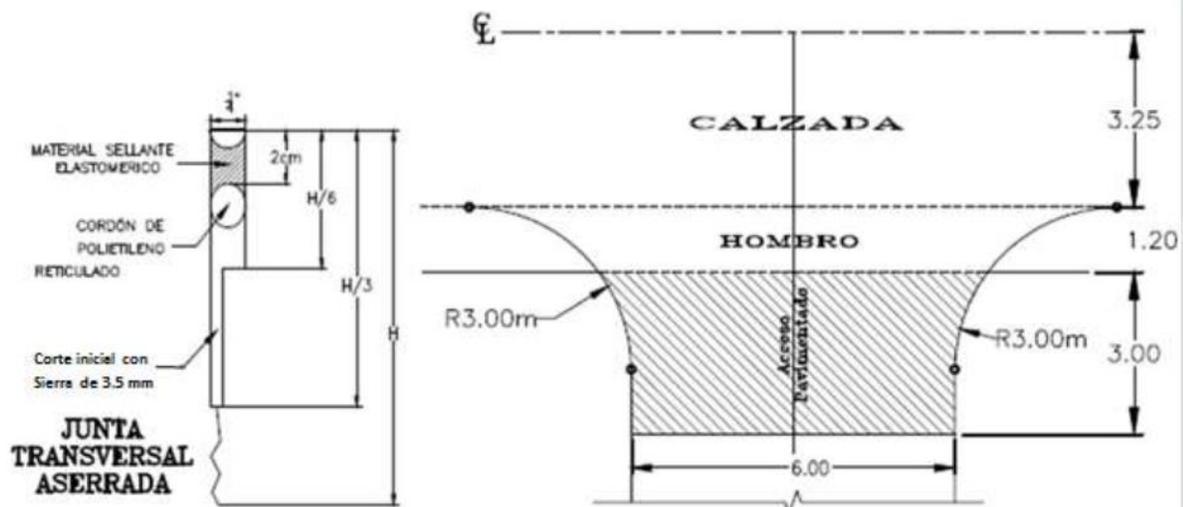
## Anexo 4 Plano sección típica



**JUNTA TRANSVERSAL DE CONSTRUCCION (TIPO A)**



**JUNTA LONGITUDINAL (TIPO B)**



Fuente: (Arita, 2023)

Se detallan todas las herramientas y equipos necesarios para el proyecto de rehabilitación de la Carretera Ruta 22, Tramo Siguatepeque - La Esperanza.

### Anexo 5 Herramientas y equipos utilizados por SERMACO

Proyecto: "Rehabilitación del tramo carretero: Siguatepeque – Jesús de Otoro"				
No.	código interno	tipo de maquina	serie	descripcion
1	e-h330-3	excavadora hidraulica	hhkhz905lg0003082	hyundai r330 lc-9s
2	e-h180-2	excavadora hidraulica de llanta	hhkhz509cg0001199	hyundai r180w-9s
3	eh-330-1	excavadora hidraulica	hhkhz905kg0002779	hyundai r330lc-9s
4	e-h210-1	excavadora hidraulica	hhkhz616hh0001275	hyundai r210w-9s
5	e-h180-3	excavadora hidraulica de llanta	hhkhz509vl0001562	hyundai r180w-9s
6	r-310l-1-23	retroexcavadora	1b2310lappa009481	john deere 310l
7	r-310sl-2	retroexcavadora	1t0310slamc391564	john deere 310sl
8	r-310l-5	retroexcavadora	1t0310lxpgc294945	john deere 310l
9	r-h-940-4	retroexcavadora	5338067	hyundai h940c
10	reci-01	recicladora de asfalto	101590061122	bomag mph122
11	pc-03-16	pavimentadora	6036091601	allen
12	c-01-13	cargadora	cat0950hjjlx00160	caterpillat 950h
13	c-644-1	cargadora	1dw644kzegc674855	john deere 644k
14	c-724k-2	cargadora	1bz724kxpnc001166	john deere 724k

Fuente: (Áviles, 2023)

Proyecto: "Rehabilitación del tramo carretero: Siguatepeque – Jesús de Otoro"				
No.	código interno	tipo de maquina	serie	descripcion
15	sin codigo	cargadora	1bz724kxtn001165	john deere 724k
16	mc-05	mini carcadora		
17	cn-240-1	compactadora neumatica	3742345	ammann tecun 240 de 14,000 kg
18	cn-24rh-3	compactadora neumatica	861538211302	bomag bw 24rh de 14,000 kg
19	vc-bom-14	vibrocompactador de rodillo	101582433546	bomag bw-212d-40
20	vc-bom-05	vibrocompactador de rodillo	101582433209	bomag bw-212d-40
21	da-01-16	distribuidor de asfalto	3htzzser49n124862	international 7300
22	cm-h-13	camion	jhhucl2h7gk013014	hino 916
23	cm-h-21	camion mielero	jhhufj1h7hk009530	hino 711
24	cm-i-116	camion	3hammaar55l102196	international 4300
25	v-m-2	volqueta	1m2ax18c3em026978	mack granite color blanco, capacidad de 15 m3
26	v-m-5	volqueta	1m2ax18cxhm036864	mack granite color blanco, capacidad de 15 m3
27	v-m-6	volqueta	1m2ax18c9hmd36869	mack granite color blanco, capacidad de 15 m3
28	v-m-7	volqueta	1m2ax18c7hm036868	mack granite color blanco, capacidad de 15 m3

Fuente: (Áviles, 2023)

Proyecto: "Rehabilitación del tramo carretero: Siguatepeque – Jesús de Otoro"				
No.	código interno	tipo de maquina	serie	descripcion
29	v-i-1	volqueta	aam3487	international paystar 5600 sba 6x4
30	v-i-2	volqueta	aam3491	international paystar 5600 sba 6x4
31	v-i-3	volqueta	aam3490	international paystar 5600 sba 6x4
32	v-i-4	volqueta	aam3486	international paystar 5600 sba 6x4
33	mi-i2517	mixer	3htwyah6jn472206	international color blanco, capacidad de 7.5 m3
34	mi-i2317	mixer	3htwyah4jn472205	international color blanco, capacidad de 7.5 m3
35	mi-i-223	mixer		international color blanco, capacidad de 7.5 m4
36	mi-i-123	mixer		international color blanco, capacidad de 7.5 m5
37	mi-2017	mixer	3731860	international color blanco, capacidad de 7.5 m3
38	mi-2217	mixer	3731831	international color blanco, capacidad de 7.5 m3
39	m-01-16	motoniveladora	10z522837	caterpillar 140h
40	m-620g-1	motoniveladora	1bz620gahpc000735	john deere 620g
41	t-08-m	tractor	-	caterpillar d5
42	gh-335-1	grua	-	terex 335, capacidad de 35 toneladas

Fuente: (Áviles, 2023)

Proyecto: "Rehabilitación del tramo carretero: Siguatepeque – Jesús de Otoro"

No.	código interno	tipo de maquina	serie	descripcion
43	a-10-23	pick up 4x4 cabina sencilla	-	nissan frontier np300
44	a-06-21	pick up 4x4 cabina sencilla	-	nissan frontier np300
45	a-m-321	pick up 4x4 cabina sencilla	-	mitsubishi l200
46	a-08-21	pick up 4x4 cabina sencilla	-	nissan frontier np300
47	a-11-23	pick up 4x4 cabina sencilla	-	nissan frontier np301
48	hct-6194	pick up 4x4 doble cabina	-	nissan frontier np300
49	han-8854	pick up 4x4 cabina y media	-	toyota hilux
50	hdu-5157	pick up 4x4 doble cabina	-	nissan frontier np300
51	hbt-8662	pick up 4x2 cabina sencilla	-	ford ranger
52	hce-8231	pick up 4x4 doble cabina	-	nissan frontier qd-32
53	pe-truper-5	generador gasolina	2010275b0033	truper 15 hp
54	pe-truper-24	generador gasolina	2107278a0057	truper 15 hp
55	pe-04	generador diesel	7716207	caterpillar 220
56	pe-220-5	generador diesel	oly00000hmpn09223	international 220
57	pe-500-4	generador diesel	cat00c15klna02837	caterpillar de500se0
58	mi-11	tanque cisterna	im2d221c3wm022224	mack color blanco, capacidad de 4000 galones
59	ta-0517	tanque cisterna	75264c98	international blanco, capacidad de 4000 galones
60	ta-06-11	tanque cisterna	im2d120cxga058810	mack color blanco, capacidad de 4500 galones
61	ta-10	tanque cisterna	dm685s46181	mack color rojo, capacidad de 4500 galones

Fuente: (Áviles, 2023)

Proyecto: "Rehabilitación del tramo carretero: Siguatepeque – Jesús de Otoro"				
No.	código interno	tipo de maquina	serie	descripcion
62	so-g-10-14	soldadora	-	lincoln electric ranger 225
63	so-g-2-10	soldadora	4434908181	lincoln electric ranger 225
64	com-15-17	atlas copco	4500a1010dr041974	xas 85 jd7
65	com-g-04	compresor de aire	fh01161092	campbell mausfeld, motor kohler
66	com-g-5-22	compresor de aire	459382e04182595	north star 13 hp,
67	tl-13-715	torre luminaria	2638pro214	allmand pro ii 8kw
68	tl-11-913	torre luminaria	1408pro213	allmand pro ii 8 kw
69	tl-19-716	torre luminaria	0556pro215	allmand pro ii 8 kw
70	mz-c-23-9	mezcladora	rm2211001	cipsa
71	mz-2c-28	mezcladora	-	cipsa
72	mz-c-23-8	mezcladora	rm2211003	cipsa
73	com-e-10	compresor de aire	nar10214723	ingersoll rand

Fuente: (Áviles, 2023)

## Anexo 6 Resultados análisis del tráfico vehicular Ruta 22, Siguatepeque - La Esperanza

Análisis de Tráfico para el Proyecto Rehabilitación de la Carretera Ruta 22, Tramo Siguatepeque - La Esperanza							
Factores de Carga Equivalente LEF Pavimento Rígido, de Informe sin autor							
Tasas de Crecimiento =	2.00%			Pavimento Rígido			
Coteo vehicular Año 2020 (actualizado para el posible año 1 del Período de Análisis, que será no antes del año 2024)							
Tipo de Vehículos	Tránsito Diario en Ambas Direcciones		Factor de Dirección	Factor de Distribución por Carril	Total de Vehículos por Año por Carril	Factor de Carga Equivalente	Número de Ejes Equivalentes de 18,000 libras
	AADT	% del AADT					
Motos y Moto-taxis		0.00%	0.50	1.00	-		-
Turismos	1,417	29.75%	0.50	1.00	258,602.50	0.00004	10.34
Pick-Ups y Camionetas	2,151	45.16%	0.50	1.00	392,557.50	0.00280	1,099.16
Bus C-2	502	10.54%	0.50	1.00	91,615.00	1.60000	146,584.00
Bus C-3		0.00%	0.50	1.00	-		-
Bus Mediano 30 Pasajeros		0.00%	0.50	1.00	-		-
Bus Pequeño 16 Pasajeros		0.00%	0.50	1.00	-		-
Camión C-2	508	10.67%	0.50	1.00	92,710.00	1.60000	148,336.00
Camión C-3	63	1.32%	0.50	1.00	11,497.50	1.80000	20,695.50
Camión C-2 Pequeño		0.00%	0.50	1.00	-		-
Remolque T2-S2		0.00%	0.50	1.00	-		-
Remolque T3-S2	122	2.56%	0.50	1.00	22,265.00	4.66400	103,843.96
Remolque T3-S3		0.00%	0.50	1.00	-		-
<b>Total</b>	<b>4,763</b>	<b>100.00%</b>					<b>420,569</b>
<b>Total de Ejes Equivalentes de 18,000.00 Libras a 2024</b>							<b>4.21E+05</b>
Al Año Número	Período de Diseño	ESAL's	<p>Carretera: Siguatepeque - La Esperanza</p> <p>ESAL (Ejes 18,000 Libras)</p> <p>Período de Diseño (años)</p>				
2,024	1.00	4.21E+05					
2,025	2.00	8.50E+05					
2,026	3.00	1.29E+06					
2,027	4.00	1.73E+06					
2,028	5.00	2.19E+06					
2,029	6.00	2.65E+06					
2,030	7.00	3.13E+06					
2,031	8.00	3.61E+06					
2,032	9.00	4.10E+06					
2,033	10.00	4.61E+06					
2,034	11.00	5.12E+06					
2,035	12.00	5.64E+06					
2,036	13.00	6.17E+06					
2,037	14.00	6.72E+06					
2,038	15.00	7.27E+06					
2,039	16.00	7.84E+06					
2,040	17.00	8.42E+06					
2,041	18.00	9.01E+06					
2,042	19.00	9.61E+06					
2,043	20.00	1.02E+07					
<b>10,218,720 ESAL</b>							

Fuente: (OMB, 2023)

## Anexo 7 Resultados análisis del tráfico vehicular Ruta 22, Siguatepeque – La Esperanza

Análisis de Tráfico para el Proyecto Rehabilitación de la Carretera Ruta 22, Tramo Siguatepeque - La Esperanza							
Factores de Carga Equivalente LEF Pavimento Rígido, de Informe sin autor							
Tasas de Crecimiento =		3.00%				Pavimento Rígido	
Cuento vehicular Año 2020 (actualizado para el posible año 1 del Período de Análisis, que será no antes del año 2024)							
Tipo de Vehículos	Tránsito Diario en Ambas Direcciones		Factor de Dirección	Factor de Distribución por Carril	Total de Vehículos por Año por Carril	Factor de Carga Equivalente	Número de Ejes Equivalentes de 18,000 libras
	AADT	% del AADT					
Motos y Moto-taxis		0.00%	0.50	1.00	-		-
Turismos	1,417	29.75%	0.50	1.00	258,602.50	0.00004	10.34
Pick-Ups y Camionetas	2,151	45.16%	0.50	1.00	392,557.50	0.00280	1,099.16
Bus C-2	502	10.54%	0.50	1.00	91,615.00	1.60000	146,584.00
Bus C-3		0.00%	0.50	1.00	-		-
Bus Mediano 30 Pasajeros		0.00%	0.50	1.00	-		-
Bus Pequeño 16 Pasajeros		0.00%	0.50	1.00	-		-
Camión C-2	508	10.67%	0.50	1.00	92,710.00	1.60000	148,336.00
Camión C-3	63	1.32%	0.50	1.00	11,497.50	1.80000	20,695.50
Camión C-2 Pequeño		0.00%	0.50	1.00	-		-
Remolque T2-S2		0.00%	0.50	1.00	-		-
Remolque T3-S2	122	2.56%	0.50	1.00	22,265.00	4.66400	103,843.96
Remolque T3-S3		0.00%	0.50	1.00	-		-
<b>Total</b>	<b>4,763</b>	<b>100.00%</b>					<b>420,569</b>
<b>Total de Ejes Equivalentes de 18,000.00 Libras a 2024</b>							<b>4.21E+05</b>
Al Año Número	Período de Diseño	ESAL's	<p>Carretera: Siguatepeque - La Esperanza</p> <p>ESAL (Ejes 18,000 Libras)</p> <p>Período de Diseño (años)</p>				
2,024	1.00	4.21E+05					
2,025	2.00	8.54E+05					
2,026	3.00	1.30E+06					
2,027	4.00	1.76E+06					
2,028	5.00	2.23E+06					
2,029	6.00	2.72E+06					
2,030	7.00	3.22E+06					
2,031	8.00	3.74E+06					
2,032	9.00	4.27E+06					
2,033	10.00	4.82E+06					
2,034	11.00	5.39E+06					
2,035	12.00	5.97E+06					
2,036	13.00	6.57E+06					
2,037	14.00	7.19E+06					
2,038	15.00	7.82E+06					
2,039	16.00	8.48E+06					
2,040	17.00	9.15E+06					
2,041	18.00	9.85E+06					
2,042	19.00	1.06E+07					
2,043	20.00	1.13E+07					
<b>11,300,846 ESAL</b>							

Fuente: (OMB, 2023)