

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño de un pavimento rígido con pavimento asfáltico reciclado como sustituto del agregado grueso en la Ruta del Cacao

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Jose Andres Melena Villalva

Teylon Jardel Peñafiel Goyón

GUAYAQUIL - ECUADOR

II PAO 2023

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres porque gracias a su apoyo incondicional y sabiduría, me han sabido guiar por el camino correcto, a mis hermanas, Odalis y Priscila, con quienes he compartido tantos momentos mágicos y; a todos aquellos que me brindaron su ayuda en este largo camino.

Jose Andres Melena Villalva

A mis padres por siempre estar, a mis hermanos por el apoyo, a mis sobrinos por los cuales trabajo por un mundo mejor y a mis amigos por no abandonarme. Este logro es tanto suyo como mío.

Teylon Jardel Peñafiel Goyón

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento de mi vida. A mi querida madre Noris Sandra, quien nunca dudo de mis capacidades y siempre me apoyo en todo momento. A mi padre, Jose Luis, quien siempre supo aconsejarme y guiarme por el camino correcto. A mis hermanas, Odalis y Priscila, quienes me han apoyado desde siempre. A mis pequeños sobrinos, Iker y Jeremy, a quienes vi crecer con tanto amor. A mis abuelos paternos, Diana y Gonzalo por siempre estar pendiente de mi en todo momento, por sus consejos invaluable. A mi gran y buen amigo Teylon, quien formó parte de este gran camino y con quien he compartido muchos momentos inolvidables.

A la Dra. Natividad García, quien, con su guía y conocimiento, me permitió finalizar esta investigación.

A todas esas personas, que a lo largo de este trayecto aportaron cosas significativas que me llevaron a quien soy actualmente.

Jose Andres Melena Villalva

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme su fortaleza y permitirme cumplir esta meta. A mi mami Lucía quien ha sido el pilar fundamental de mi vida; su confianza, valentía y esfuerzo han sido mi motor para triunfar. A mi papi Vicente, por su dedicación, a mis hermanos Vicky y Ariel, quienes han sido mis guías, a mi cuñada Ma. Denisse y sobrinitos, Erica, Liam, Mateo, Dominic, Stefan y Ma. Alejandra, por brindarme momentos de alegría cuando más los necesitaba, a mis tíos Bolívar, Filo, Kleber, Fabiola y Janet, así como a mis primas Gloria, Karen y Katty, por su constante preocupación y apoyo. A mi mejor amigo Jose Andres, quien ha estado conmigo desde el inicio de la carrera y ha colaborado conmigo en este proyecto y muchos más.

A la Dra. Natividad García y al Dr. David Valverde por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación. A la Dra. Paola Romero y al Dr. Eddy Sanclemente por ayudarme a impulsar mi carrera profesional y creer en mí.

Finalmente, a mis amigos Cristina, Diana, Nathaly, Grace, Bruce, Eduardo, Erica, Katherine, Cristhian y Elías por las risas compartidas, los momentos inolvidables y por nunca dejarme caer.

Teylon Jardel Peñafiel Goyón

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jose Andres Melena Villalva y Teylon Jardel Peñafiel Goyón damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Autor 1

Jose Andres
Melena Villalva



Autor 2

Teylon Jardel
Peñafiel Goyón

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**LENIN ALEXANDER
DENDER AGUILAR**

.....
M.Sc. Lenín Dender Aguilar

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
**NATIVIDAD LEONOR
GARCIA TRONCOSO**

.....
Ph.D. Natividad García-Troncoso

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto se centra en el diseño de un pavimento rígido para la Ruta del Cacao en la Provincia del Guayas utilizando pavimento asfáltico reciclado (RAP) como sustituto del agregado grueso convencional.

En el estudio comparativo con porcentajes de reemplazo de RAP del 5, 10, 15 y 20%, se opta por el 5% debido a su capacidad para priorizar la resistencia a compresión, alcanzando 420 kg/cm², y logrando una resistencia a la flexión de 4.33 MPa. Esta elección permite reducir el espesor de la capa de hormigón hidráulico, mejorando las propiedades mecánicas y optimizando el diseño.

La incorporación de materiales reciclados en la mezcla no solo mejora la sostenibilidad del pavimento, sino que también garantiza durabilidad y rendimiento, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9, 11 y 12. El análisis de impacto ambiental destaca la baja incidencia de la obtención y trituración del RAP en comparación con la extracción minera.

Además de los beneficios ambientales, la incorporación del 5% de RAP en la mezcla no solo contribuye a la eficiencia financiera del proyecto, sino que también genera ahorros significativos. Para la vía analizada, el uso de hormigón con RAP implica un ahorro estimado de aproximadamente 31,000 USD en comparación con el hormigón convencional, consolidando la ventaja económica de incorporar materiales reciclados en el diseño del pavimento.

Palabras Clave: Pavimento Rígido, Hormigón, RAP, Sostenibilidad, Optimización.

ABSTRACT

This project focuses on designing a rigid pavement for the Ruta del Cacao in the Guayas Province, using recycled asphalt pavement (RAP) as a substitute for conventional coarse aggregate.

In the comparative study with RAP replacement percentages of 5, 10, 15, and 20%, the choice is made for 5% due to its ability to prioritize compression strength, reaching 420 kg/cm², and achieving a flexural strength of 4.33 MPa. This choice allows for reducing the thickness of the hydraulic concrete layer, improving mechanical properties, and optimizing the design.

The inclusion of recycled materials in the mix not only enhances the sustainability of the pavement but also ensures durability and performance, aligning with Sustainable Development Goals 9, 11, and 12. The environmental impact analysis highlights the low impact of obtaining and crushing RAP compared to mining extraction.

In addition to environmental benefits, the incorporation of 5% RAP in the mix not only contributes to the financial efficiency of the project but also generates significant savings. For the analyzed road, the use of concrete with RAP implies an estimated saving of approximately \$31,000 compared to conventional concrete, reinforcing the economic advantage of incorporating recycled materials into pavement design.

Keywords: *Rigid Pavement, Concrete, RAP, Sustainability, Optimization.*

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
EVALUADORES.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE GENERAL	IX
ABREVIATURAS.....	XIII
SIMBOLOGÍA	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Presentación general del problema	2
1.3. Justificación del problema	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	5
2.1. Revisión de literatura.....	5
2.1.1. <i>Vías</i>	5
2.1.1.1. Clasificación de las vías.....	5
2.1.2. <i>Pavimentos</i>	6
2.1.2.1. Pavimentos flexibles	7
2.1.2.2. Pavimentos rígidos	7
2.1.2.3. Efectos de sobre carga en los pavimentos	8

2.1.3.	<i>Tráfico</i>	10
2.1.4.	<i>Tráfico promedio diario anual (TPDA)</i>	10
2.1.5.	<i>Periodo de diseño</i>	10
2.1.6.	<i>Carril de diseño</i>	10
2.1.7.	<i>Tasa de crecimiento</i>	10
2.1.8.	<i>ESAL</i>	10
2.1.9.	<i>Hormigón hidráulico</i>	10
2.1.10.	<i>Normativa del hormigón</i>	10
2.1.11.	<i>Método de diseño del hormigón</i>	11
2.1.12.	<i>Hormigón hidráulico utilizando RAP</i>	11
2.1.13.	<i>Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP)</i>	13
2.2.	<i>Área de estudio</i>	13
2.3.	<i>Trabajo de campo y laboratorio</i>	14
2.4.	<i>Análisis de datos</i>	17
2.4.1.	<i>Diseño A: Modelo patrón de hormigón hidráulico</i>	17
2.4.2.	<i>Diseño B: Hormigón Hidráulico con 5% de RAP</i>	18
2.4.3.	<i>Diseño C: Hormigón Hidráulico con 10% de RAP</i>	20
2.4.4.	<i>Diseño D: Hormigón Hidráulico con 15% de RAP</i>	22
2.4.5.	<i>Diseño E: Hormigón Hidráulico con 20% de RAP</i>	24
2.4.6.	<i>Análisis de la resistencia a compresión de los diseños</i>	26
2.4.7.	<i>Análisis del módulo de rotura de los diseños</i>	28
2.5.	<i>Análisis de alternativas</i>	32
2.5.1.	<i>Dosificación Diseño A</i>	33
2.5.2.	<i>Dosificación Diseño B</i>	33
2.5.3.	<i>Dosificación Diseño C</i>	34
2.5.4.	<i>Dosificación Diseño D</i>	34
2.5.5.	<i>Dosificación Diseño E</i>	35

2.5.6.	<i>Selección de la mezcla óptima</i>	35
3.	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES.....	38
3.1.	Diseño del pavimento rígido	38
3.1.1.	<i>Periodo de diseño</i>	38
3.1.2.	<i>Espesor de pavimento rígido</i>	38
3.1.3.	<i>Índices de serviciabilidad</i>	38
3.1.4.	<i>Módulo de rotura del hormigón hidráulico con RAP</i>	39
3.1.5.	<i>Módulo de elasticidad del hormigón hidráulico con RAP</i>	39
3.1.6.	Drenaje.....	39
3.1.7.	<i>Coeficiente de Transmisión de Carga</i>	40
3.1.8.	<i>Módulo de reacción compuesto de la subrasante</i>	41
3.1.8.1.	Método Empírico o Mecanístico.....	41
3.1.8.2.	Método AASHTO	43
3.1.9.	<i>Confiabilidad</i>	44
3.1.10.	<i>Desviación Estándar Normal</i>	44
3.1.11.	<i>ESALs</i>	44
3.1.12.	<i>Espesor de Losa</i>	45
3.1.13.	<i>Información Adicional</i>	46
3.1.13.1.	Tipo de capa base	46
3.1.13.2.	Barras pasajuntas.....	46
3.1.13.3.	Barras de amarre.....	46
3.1.13.4.	Reservorio de juntas.....	48
3.2.	Especificaciones técnicas.....	51
3.2.1.	<i>Adecuación del campamento</i>	51
3.2.2.	<i>Construcción del tramo</i>	52
3.2.3.	<i>Equipos de protección básicos</i>	53

3.2.4. Capacitación dirigida al personal sobre seguridad industrial y gestión ambiental	53
4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	54
4.1. Descripción del proyecto	54
4.2. Línea base ambiental	55
4.2.1. Medio físico	55
4.2.1.1. Tipo de suelo	55
4.2.1.2. Clima.....	55
4.2.1.3. Aire	57
4.2.1.4. Hidrología	57
4.2.2. Medio biótico	58
4.2.2.1. Fauna.....	58
4.2.2.2. Flora.....	58
4.3. Actividades del proyecto.....	58
4.4. Identificación de impactos ambientales	59
4.5. Valoración de impactos ambientales	62
4.6. Medidas de prevención/mitigación	64
5. PRESUPUESTO	66
5.1. Estructura desglosada de trabajo	66
5.2. Rubro y análisis de precios unitarios	70
5.3. Descripción de cantidades de obras.....	70
5.4. Valoración integral del costo del proyecto	79
5.5. Cronograma de obra	81
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
6.1. Conclusiones.....	83
6.2. Recomendaciones.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	86

ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
ACI	American Concrete Institute
APU	Análisis de Precios Unitarios
AQI	Air Quality Index
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBR	California Bearing Ratio
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FICT	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
INECYC	Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
MTOP	Ministerio de Transportes y Obras Públicas
RAP	Pavimento Asfáltico Reciclado
USD	Dólares Americanos

SIMBOLOGÍA

f_c	Resistencia a la Compresión
gr	Gramos
kg	Kilogramos
kg/cm^2	Kilogramo por centímetro cuadrado
km	Kilómetros
l	litros
m	Metros
m^2	Metro Cuadrado
m^3	Metro Cúbico
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascales

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Sección típica de un pavimento flexible	7
Ilustración 2. Sección típica de un pavimento rígido.....	8
Ilustración 3. Representación de cargas en los pavimentos.....	9
Ilustración 4. Normativa del Hormigón.....	11
Ilustración 5. Ubicación Ruta del Cacao	14
Ilustración 6. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento del Diseño B	19
Ilustración 7. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento del Diseño C	21
Ilustración 8. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento del Diseño D	23
Ilustración 9. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento del Diseño E	25
Ilustración 10. Curva de evolución de la Resistencia a Compresión	26
Ilustración 11. Gráfica del Número de Golpes vs. Índice de Rebote	29
Ilustración 12. Gráfica del Número de Golpes vs. Módulo de Rotura	30
Ilustración 13. Monograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita	43
Ilustración 14. Cálculo de ESAL	45
Ilustración 15. Cálculo del espesor de la losa.....	45
Ilustración 16. Cálculo de las barras de amarre	48
Ilustración 17. Cálculo del reservorio de juntas	50
Ilustración 18. Esquema del Pavimento Rígido	51
Ilustración 19. Gráfico de Temperatura en la Ruta del Cacao 2022	56
Ilustración 20. Gráfico de Precipitaciones en la Ruta del Cacao 2022	56
Ilustración 21. Índice de Calidad del Aire	57
Ilustración 22. Casillero en la Matriz de Leopold	61
Ilustración 23. Estructura desglosada del trabajo del diseño de un pavimento rígido con RAP como sustituto del agregado grueso	66
Ilustración 24. Estructura desglosada del trabajo de la elaboración de la mezcla del hormigón con RAP.	68
Ilustración 25. Estructura desglosada de la aplicación del hormigón con RAP en la construcción del pavimento rígido propuesto para la Ruta del Cacao.	69
Ilustración 26. Rubros del Proyecto	70

Ilustración 27. Análisis de precios unitarios en la adecuación del campamento.....	71
Ilustración 28. Análisis de precios unitarios de alquiler de baterías sanitarias	72
Ilustración 29. Análisis de precios unitarios de cintas reflectivas de señalización	73
Ilustración 30. Análisis de precios unitarios de equipos de protección	74
Ilustración 31. Análisis de precios unitarios de charlas de capacitación al personal (manejo ambiental y seguridad)	75
Ilustración 32. Análisis de precios unitarios de charlas de socialización/concienciación y educación ambiental.....	76
Ilustración 33. Análisis de precios unitarios de la construcción de los tramos de la vía de IV orden	77
Ilustración 34. Análisis de precios unitarios de la colocación de la base tipo 1	78
Ilustración 35. Costo total del proyecto.....	79
Ilustración 36. Espesor de la losa de hormigón convencional de 4.0 MPa	81
Ilustración 37. Cronograma de obra	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Subclasificación de vías en función del tráfico proyectado TPDA	6
Tabla 2. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño A (7, 14, 21 y 28 días)	18
Tabla 3. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño B (7, 14, 21 y 28 días)	18
Tabla 4. Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño B.....	20
Tabla 5. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño C (7, 14, 21 y 28 días)	20
Tabla 6. Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño C.....	22
Tabla 7. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño D (7, 14, 21 y 28 días)	22
Tabla 8. Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño D.....	24
Tabla 9. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño E (7, 14, 21 y 28 días)	24
Tabla 10. Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño E.....	26
Tabla 11. Disminución de resistencias a la compresión respecto al modelo patrón.....	27
Tabla 12. Módulo de Rotura de los Diseños.....	28
Tabla 13. Variación del Módulo de Rotura de los Diseños entre el Ensayo No Destructivo y el Mecánico.....	30
Tabla 14. Influencia del RAP en el módulo de Rotura de los Diseños respecto al modelo patrón.	31
Tabla 15. Dosificación del Diseño A - 1m ³ (SSS)	33
Tabla 16. Dosificación del Diseño B - 1m ³ (SSS)	33
Tabla 17. Dosificación del Diseño C - 1m ³ (SSS)	34
Tabla 18. Dosificación del Diseño D - 1m ³ (SSS)	34
Tabla 19. Dosificación del Diseño E - 1m ³ (SSS)	35
Tabla 20. Resumen de las características de los diseños.....	36
Tabla 21. Periodos de diseño recomendados para el diseño de pavimentos.....	38
Tabla 22. Índices de serviciabilidad para el diseño de pavimentos	39
Tabla 23. Calidad del drenaje.....	40

Tabla 24. Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.....	40
Tabla 25. Valores de coeficiente de transmisión de carga	41
Tabla 26. Niveles de confiabilidad	44
Tabla 27. Valores del factor de fricción	47
Tabla 28. Coeficientes de dilatación del hormigón	49
Tabla 29. Valores de contracción del hormigón.....	49
Tabla 30. Identificación de impactos ambientales de las etapas del proyecto	59
Tabla 31. Revisión de Impactos Ambientales.....	60
Tabla 32. Matriz de Leopold	61
Tabla 33. Matriz del Índice Total de Impacto de las Actividades del Proyecto	63
Tabla 34. Precio del metro cúbico del Hormigón sin RAP	80
Tabla 35. Precio del metro cúbico del Hormigón con 5% de RAP	80

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El mundo moderno demanda constantemente el desarrollo de la ingeniería vial y la construcción de carreteras. A lo largo del tiempo, las carreteras han desempeñado un papel fundamental, evolucionando desde caminos de tierra o arena locales hasta proyectos viales monumentales que conectan regiones enteras en todo el mundo, impulsando el desarrollo económico y la conectividad terrestre. No obstante, el diseño y la construcción de estas carreteras conllevan costos significativos en las economías locales a nivel global, que están relacionados con el mantenimiento, el transporte de materiales y otros aspectos (Art, Leendertse, & Tillema, 2021).

El proceso de diseño y construcción de carreteras implica la combinación de componentes esenciales, como el cemento, los agregados y el agua, que se unen para formar el hormigón, un elemento crucial para garantizar la resistencia de la estructura vial. Desde el siglo XVIII, el uso de agregado grueso en la mezcla de hormigón ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la resistencia y durabilidad de las estructuras viales. Sin embargo, esta práctica conlleva implicaciones ambientales significativas, ya que, los agregados se extraen de canteras naturales, contribuyendo a la degradación de ecosistemas y la emisión de gases de efecto invernadero.

El desarrollo vial siempre está a la vanguardia de las necesidades sociales y ambientales a nivel mundial. Es por esto por lo que las buenas prácticas como el reciclaje y reutilización de materiales nacen como una estrategia atractiva en la implementación de pavimentos rígidos. El pavimento rígido se utiliza en áreas que necesitan una infraestructura vial fuerte y duradera, siendo esencial garantizar la seguridad y eficiencia de este a largo plazo. Para ello, es crucial determinar la resistencia del hormigón. Una técnica prometedora para evaluar esto de manera sostenible y económica es la incorporación del pavimento asfáltico reciclado (RAP). Agregar RAP al hormigón mejora su durabilidad y resistencia, incluyendo

propiedades como la resistencia a la compresión, fatiga y desgaste, conduciendo a un pavimento más robusto.

La evaluación de la resistencia mediante hormigón con RAP implica ensayos de laboratorio, como la compresión y flexión. Este enfoque promueve la sostenibilidad al reducir el impacto ambiental de la construcción y fomenta la eficiencia al aprovechar de manera eficaz los recursos disponibles al disminuir la cantidad de agregado grueso necesaria en la mezcla. Al reutilizar RAP no solo se reduce el desperdicio y la demanda de nuevos materiales, sino que también se fortalece el pavimento para resistir condiciones exigentes y prolongar su vida útil, beneficiando tanto a la infraestructura como al medio ambiente.

1.2. Presentación general del problema

En el Ecuador, sobresalen diversas actividades tradicionales destinadas a fomentar el turismo rural sostenible, siendo la producción de cacao una de las más destacadas (García Briones, Pico Pico, & Jaimez, 2021). Esta actividad desempeña un papel crucial en la economía local al conectar las áreas de producción de cacao más importantes con los centros de procesamiento y distribución. En consecuencia, resulta vital la constante mejora de la infraestructura vial en la denominada Ruta del Cacao, que representa una parte esencial para el desarrollo social y económico de la región. Esta afronta retos significativos relacionados con el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras. En este contexto, se busca soluciones innovadoras y sostenibles para mejorar la infraestructura vial con un enfoque más respetuoso con el medio ambiente.

A lo largo de la historia, la construcción de nuevas carreteras ha aumentado la demanda de la extracción de agregados gruesos naturales, provocando la degradación de los ecosistemas locales, el agotamiento de recursos y un aumento en los costos asociados a su reparación, transporte y tratamiento. En el caso específico de la Ruta del Cacao, se busca mejorar su infraestructura vial con el propósito de impulsar la industria cacaotera y fomentar el desarrollo social y económico en esta área.

1.3. Justificación del problema

De acuerdo con la Federación Europea de Carreteras (ERF) (2009), las carreteras sostenibles se distinguen por una planificación efectiva y eficiente. Esta debe abarcar desde el diseño y construcción hasta la modernización y conservación. Además, debe ser respaldada por políticas que incorporen aspectos medioambientales y garanticen la preservación de los beneficios socioeconómicos en términos de movilidad y seguridad.

Actualmente, la necesidad de utilizar el RAP se hace notoria en países desarrollados y en vías de desarrollo, como lo es Ecuador, que está sujeto a desafíos significativos en la expansión y mantenimiento de su infraestructura vial. El RAP debe ser aprovechado con el objetivo de gestionar de manera eficiente los residuos de construcción y demolición, acorde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y así reducir la extracción y procesamiento de nuevos materiales, lo que contribuye a disminuir el impacto ambiental.

En el marco de la realización de este proyecto, se evalúa la viabilidad y confiabilidad del uso de RAP como sustituto del agregado grueso en la construcción de pavimentos rígidos. Para ello, se lleva a cabo ensayos mecánicos con el fin de determinar la resistencia a la compresión y módulo de ruptura. Cabe destacar que, dada la falta de una normativa específica para la evaluación de este material en el diseño de pavimentos rígidos, se requiere un enfoque especializado y una investigación detallada. Este proyecto no solo busca la gestión de recursos, sino que también optimizar el rendimiento de los pavimentos rígidos, lo que puede tener un impacto positivo en la durabilidad y el mantenimiento de la infraestructura vial del país.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo General*

Diseñar un pavimento rígido sostenible y eficiente que integre de manera efectiva el pavimento asfáltico reciclado (RAP) como sustituto del agregado grueso para el mejoramiento de la infraestructura vial de la Ruta del Cacao en la Provincia del Guayas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- 1) Realizar el diseño completo de un pavimento rígido utilizando hormigón con RAP para una carretera de IV orden, la Ruta del Cacao en la Provincia del Guayas, que garantice una infraestructura vial sostenible y eficiente.
- 2) Comparar las propiedades físicas del hormigón con RAP con el hormigón convencional a través de ensayos mecánicos realizados en laboratorio, analizando las diferencias y similitudes que influyen en el desempeño del pavimento rígido.
- 3) Evaluar la factibilidad técnica y logística del uso de RAP en la mezcla de pavimento rígido, incluyendo el análisis del proceso de reciclaje, el transporte y la disponibilidad de material en la localidad para la identificación de limitaciones y oportunidades en la implementación efectiva y sostenible del RAP en el diseño.
- 4) Calcular el presupuesto del pavimento rígido, comparando el diseño con RAP y convencional, para la evaluación de los costos de producción y transporte que intervienen en la viabilidad financiera del proyecto.

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Revisión de literatura

2.1.1. Vías

El Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador (2018) define una vía como una estructura construida para la movilidad terrestre de vehículos, ciclistas, peatones y semovientes. Se trata de un medio de comunicación esencial para unir regiones, provincias, cantones y parroquias. Las vías se clasifican por su diseño, funcionabilidad, dominio, uso, jurisdicción y por su tráfico promedio diario anual (TPDA).

2.1.1.1. Clasificación de las vías.

Según su diseño, las vías se subclasifican en:

- a) Autopistas
- b) Autovías
- c) Carreteras
- d) Caminos vecinales
- e) Urbanas

Según su funcionalidad, las vías se subclasifican en:

- a) Vías nacionales
- b) Vías locales
- c) Vías de servidumbre

Según su dominio, las vías se subclasifican en:

- a) Caminos públicos
- b) Caminos privados

Según su uso, las vías se subclasifican en:

- a) Carreteras
- b) Ferrovía
- c) Ciclovías

- d) Senderos
- e) Vías exclusivas

Según su jurisdicción y competencia, las vías se subclasifican en:

- a) Red vial nacional
- b) Red vial estatal
- c) Red vial regional
- d) Red vial cantonal urbana

Según su TPDA, las vías se subclasifican en R-I o R-II, I, II, III, IV, V, según el tráfico proyectado, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Subclasificación de vías en función del tráfico proyectado TPDA

Subclasificación de vías en función del tráfico proyectado	
TPDA*	
Clase de vía	TPDA
R-I o R-II	Más de 8.000
I	De 3.000 a 8.000
II	De 1.000 a 3.000
III	De 300 a 1.000
IV	De 100 a 300
V	Menos de 100

** El TPDA indica el volumen de tráfico promedio diario anual proyecto a 15 o 20 años.*

Fuente: Adaptado de (Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador, 2018).

2.1.2. Pavimentos

Rondón Quintana & Reytez Lizcano (2022) describen al pavimento como una estructura vial compuesta por varias capas apiladas de manera horizontal que son capaces de resistir eficazmente los esfuerzos generados por las cargas del tráfico y las condiciones ambientales a la superficie de rodadura, la cual debe ofrecer un paso cómodo, seguro y confortable a los

usuarios. Para Montejo Fonseca (2002) los pavimentos se clasifican en pavimentos flexibles, semirrígidos o semiflexibles, rígidos y articulados.

2.1.2.1. Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles según Montejo Fonseca (2002) están conformados por una serie de capas formadas por materiales adecuados. La capa superior del pavimento consiste en una carpeta asfáltica que proporciona una superficie de rodadura uniforme y estable para el tráfico, distribuyendo las cargas hacia las capas inferiores y resistiendo el desgaste causado por el tránsito. La Ilustración 1 representa la sección típica de un pavimento flexible.

La carpeta asfáltica de un pavimento flexible se construye utilizando ligante asfáltico, mezclas de arena y asfalto o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos. La capa base, por otro lado, generalmente está compuesta por agregados que pueden o no haber sido tratados con materiales o agentes estabilizantes.

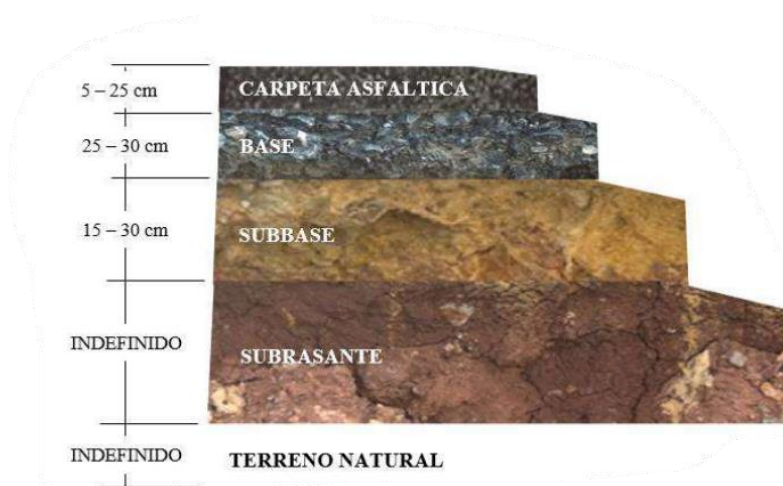


Ilustración 1. Sección típica de un pavimento flexible

Fuente: (Guzmán Ortiz, 2020)

2.1.2.2. Pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos según Montejo Fonseca (2002) están compuestos por una losa de hormigón hidráulico, que se apoya sobre la subrasante y una capa de material seleccionado conocido como base del pavimento rígido, refiérase a la Ilustración 2 que presenta la sección típica de un pavimento rígido. Debido a la alta

rigidez del hormigón hidráulico y a su alto coeficiente de elasticidad, la distribución de cargas se extiende por un área amplia. Además, dado que el hormigón es capaz de soportar ciertos niveles de esfuerzos de tensión, el rendimiento de un pavimento rígido se mantiene satisfactorio incluso en presencia de áreas menos resistentes en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende principalmente de la resistencia de la losa, por lo que la influencia del soporte de las capas inferiores en el diseño del espesor del pavimento es limitada.



Ilustración 2. Sección típica de un pavimento rígido.

Fuente: (Guzmán Ortiz, 2020)

2.1.2.3. Efectos de sobre carga en los pavimentos

La imposición de las sobre cargas producen el fenómeno de deformación en los pavimentos, ya sean flexibles (Ilustración 3a) o rígidos (Ilustración 3b). Estos pavimentos están compuestos por múltiples capas, y la distribución de las cargas se realiza de manera distinta en cada caso. Puede observarse una representación gráfica de esta diferencia en la Ilustración 3.

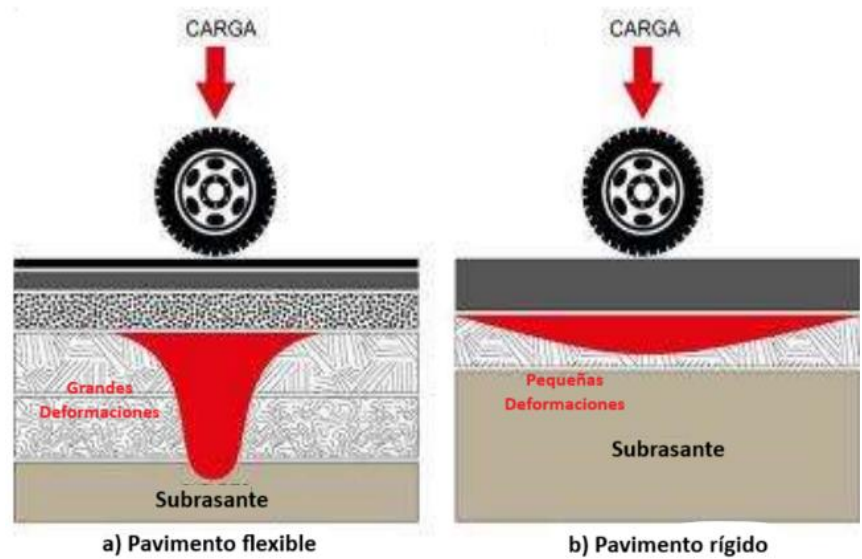


Ilustración 3. Representación de cargas en los pavimentos.

Fuente: Adaptado de (Araujo da Silva, 2008).

La variación en la transferencia de cargas entre pavimentos flexibles y rígidos radica en la forma en que estas cargas se transmiten a la subrasante. En el caso de los pavimentos flexibles, su carpeta asfáltica, compuesta por materiales menos rígidos que el hormigón hidráulico, experimenta una mayor deformación bajo carga lo que resulta en una distribución de las cargas en áreas de apoyo más limitadas formando un bulbo de presiones mucho más concentrado sobre la subrasante. Por otro lado, el pavimento rígido, gracias a la rigidez de su losa de hormigón, actúa como una placa, permitiendo una distribución más amplia de las cargas sobre la subrasante.

Este comportamiento conlleva a la necesidad de que los pavimentos flexibles requieran un mayor número de capas y espesores adicionales para resistir y distribuir adecuadamente las cargas hacia la subrasante. Mientras que, los pavimentos rígidos pueden mantener una eficaz transmisión de carga con un menor número de capas y espesores.

2.1.3. Tráfico

Es la variable más importante al momento de diseñar un pavimento ya que el tamaño y cantidad de vehículos afectan el diseño final, especialmente en lo que respecta a la resistencia de la estructura del pavimento (Montejo Fonseca, 2002).

2.1.4. Tráfico promedio diario anual (TPDA)

Montejo Fonseca (2002) lo define como la relación entre el volumen de tránsito durante un periodo de tiempo y el número de días del periodo (365 días).

2.1.5. Periodo de diseño

Es la cantidad de años durante los cuales una carretera funcionará sin problemas bajo la carga de tráfico.

2.1.6. Carril de diseño

Especifica la cantidad de carriles en la carretera y la dirección en la que circulan los vehículos.

2.1.7. Tasa de crecimiento

Es la demanda de tráfico que puede ocurrir en el futuro.

2.1.8. ESAL

Hace referencia a un eje individual con dos ruedas a ambos lados y su valor se basa en el volumen de tráfico que afecta al carril de diseño y tránsito, equivale a 18.000 lb, 80 kN ó 8.2 ton.

2.1.9. Hormigón hidráulico

Es uno de los materiales ampliamente empleado en la construcción debido a su durabilidad y resistencia. Es la mezcla de cemento portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos (Holcim Ecuador).

2.1.10. Normativa del hormigón

En Ecuador, existen dos normativas que deben seguirse al momento de diseñar un hormigón. Además, también se adhieren normativas

internacionales que son fundamentales para diseñar y construir apropiadamente, refiérase a la Ilustración 4.

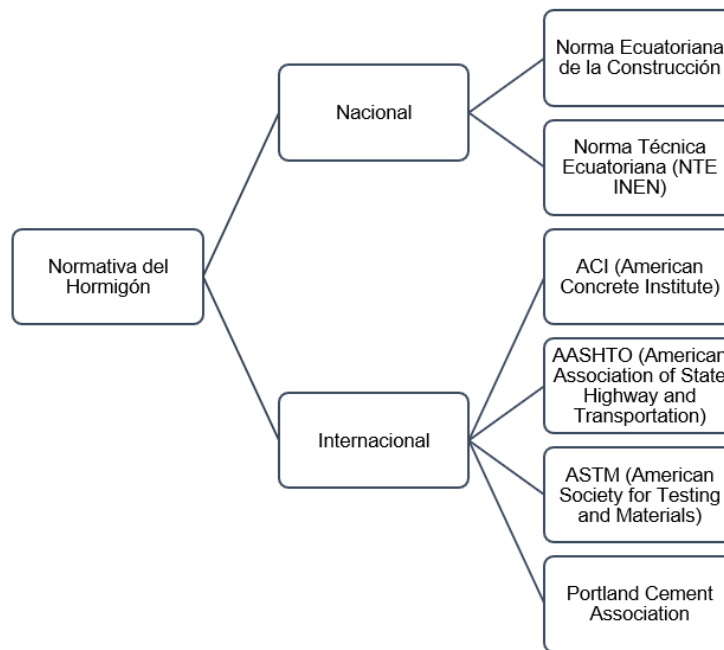


Ilustración 4. Normativa del Hormigón

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

2.1.11. Método de diseño del hormigón

El hormigón debe cumplir con estándares altos de calidad considerando durabilidad, resistencia, apariencia, costo y facilidad de uso. Para lograrlo, se usan métodos como el de la ACI 211. Este método se basa en varios pasos, como evaluar la resistencia necesaria, el tamaño de los agregados, la cantidad de agua, la relación agua/cemento, la cantidad de cemento y agregados. Al relacionar estos datos, se obtiene una mezcla de hormigón adecuada para las necesidades de construcción especificadas (ACI 211, 1991)

2.1.12. Hormigón hidráulico utilizando RAP

A lo largo del tiempo, diversos estudios han abordado el impacto del RAP en las propiedades del hormigón hidráulico. Entre los cuales se puede mencionar a (Okafor, 2010) en cuyo trabajo se realizaron investigaciones que analizaron mezclas de cemento, arena y agregado RAP en proporciones de 1:2:4 y 1:3:6 con diferentes relaciones agua/cemento

(0.50, 0.60 y 0.70). Descubrieron que conforme aumentaba la relación agua/cemento, la resistencia a la compresión disminuía, atribuyendo esta reducción a la debilidad en la unión entre el hormigón y el ligante asfáltico adherido al agregado. La resistencia a la compresión, medida con agregado RAP, fue de 25 MPa. Como conclusión, se determinó que el RAP resultaba viable para producir agregados con resistencia media y baja.

En el trabajo de Al-Oraimi, Hassan & Hago (2009) se centraron en el hormigón de cemento Portland con RAP. Evaluaron dos mezclas de control con diferentes relaciones agua/cemento a los 28 días y utilizaron fracciones gruesas de RAP en diferentes proporciones (25, 50, 75 y 100%).

Por otro lado, Hossiney, Tia, & Bergin (2010) investigaron la aportación de resistencia a la tensión, compresión, flexión y módulo elástico en el hormigón. Destacaron que el RAP se ha empleado en mezclas de pavimento de asfalto reciclado en Florida, lo que ha generado ahorros sustanciales en costos y la conservación de agregados y asfalto. Sin embargo, mencionan que el uso de RAP en mezclas de asfalto reciclado ha disminuido debido a la adopción de métodos de diseño más rigurosos. Esto ha llevado a un exceso de RAP que necesita ser utilizado de manera efectiva, sugieren que el uso de RAP en pavimentos de hormigón podría ayudar a aprovechar este exceso y mejorar el rendimiento y la rentabilidad de los productos.

Hossiney, Tia, & Bergin (2010) evaluaron el módulo de elasticidad en mezclas tratadas con cemento de RAP y agregados triturados utilizando ensayos de tracción indirecta, triaxial y de flexión. Evaluaron el contenido de RAP (20% y 50%), contenido de cemento (2%, 4%, y 6%), y tiempos de curado (3, 7, y 14 días). Los resultados mostraron que a medida que aumentaba el contenido de RAP, disminuían las resistencias. Los estudios también destacaron que el uso de RAP podría mejorar las propiedades en el pavimento de concreto.

2.1.13. Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP)

La incorporación de RAP permite reutilizar la capa de rodamiento, e incluso los materiales existentes en la estructura de pavimento. Esto conlleva a una reducción de costos en el mantenimiento y la restauración de las carreteras en uso. Además, disminuye la necesidad de transportar materiales, reduciendo los gastos asociados a la extracción de recursos naturales, lo cual respalda la afirmación de (Newcomb, Brown, & Epps, 2007) de que el uso de RAP genera ahorros económicos y beneficios ambientales significativos.

Dado lo anterior, esta opción de reciclaje se está volviendo más común en varios países en todo el mundo. Además, ha sido ampliamente respaldada por la European Asphalt Pavement Association, que ha estado promoviendo activamente el uso de materiales reciclados como parte de sus esfuerzos por cuidar el medio ambiente los últimos años. Del mismo modo, la Federal Highways Administration de los Estados Unidos ha enfatizado que el reciclaje de pavimentos conlleva mejoras en los aspectos ambientales, económicos e ingenieriles, conocidos como las 3E's: Environmental, Economic, Engineering, por sus siglas en inglés (Aschenbrener, 2013).

El procedimiento de la obtención del RAP consiste en retirarlo de las carreteras con la técnica de fresado. Esta operación deja la superficie lista para su reparación a la profundidad deseada. El material reciclado resultante está compuesto por agregados y el recubrimiento del asfalto resistente al desgaste y a la abrasión. Así mismo, los agregados producto del RAP tienen propiedades que se asemejan a los del hormigón, pero con una menor capacidad de absorción de agua y una mayor densidad máxima cuando se compactan.

2.2. Área de estudio

El proyecto implica el diseño de un pavimento rígido para una carretera de IV orden en la "Ruta del Cacao" ubicada en la provincia del Guayas, Ecuador. Esta vía se localiza en el km. 46.5 de la Vía a la Costa y tiene una extensión lineal de 3.46 km. A lo largo de su recorrido, la carretera atraviesa varias fincas, incluyendo la Hacienda "Guayacanes", Hacienda "Nazareth" y Hacienda "Victoria".

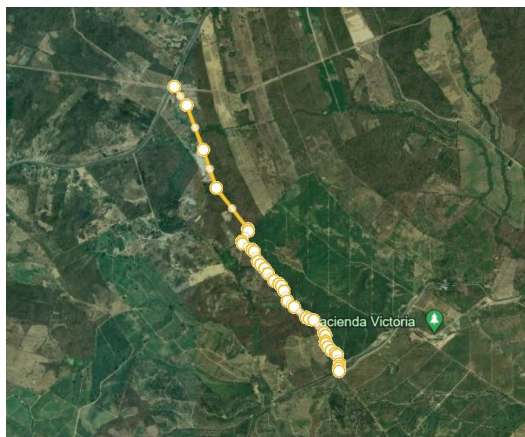


Ilustración 5. Ubicación Ruta del Cacao

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

La Ilustración 5 muestra la ubicación de esta carretera, la cual está clasificada como una vía de IV orden, una categorización que se identifica por tener un tráfico relativamente bajo, con un Tráfico Promedio Diario Anual TPDA que oscila entre 100 y 300 vehículos, según lo establecido en el Reglamento de la Ley del Sistema de Infraestructura Vial del Transporte Terrestre (Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador, 2018). Esto quiere decir que es una carretera de menor importancia y que puede tener un solo carril en cada dirección. Sin embargo, las condiciones de esta vía se han visto deterioradas en los últimos años debido a las intensas precipitaciones, lo que ha llevado a la necesidad de explorar nuevas tecnologías amigables y económicas para su reparación y mantenimiento.

Entre estas tecnologías, se ha considerado la implementación de un pavimento rígido que utilice RAP. Aunque estas carreteras de IV orden no requieren una atención tan rigurosa como las de mayor tráfico, es esencial garantizar que cumplan con los requisitos técnicos necesarios para satisfacer las necesidades de los habitantes de esta zona rural. Esta iniciativa busca mejorar la durabilidad y la resistencia de la carretera a las inclemencias climáticas y proporcionar una solución efectiva y rentable para mantener la conectividad en la zona.

2.3. Trabajo de campo y laboratorio

Para realizar el diseño del hormigón con RAP, se adquirió el RAP de una empresa constructora especializada en la construcción de carreteras, así como

en la producción y suministro de asfaltos y hormigones a los sectores públicos y privados.

En el trabajo de campo se recolectaron muestras de RAP provenientes de una vía en la ciudad de Milagro, en la provincia del Guayas, que estaba siendo sometida a un proceso de recapeo y mejora de su infraestructura.

En los laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y de un laboratorio privado, se realizaron diferentes ensayos a las muestras de RAP con el propósito de realizar una caracterización detallada. Estos datos se emplearán en la sustitución parcial del agregado grueso convencional en el diseño de mezcla del hormigón hidráulico, y se llevará a cabo un estudio de su viabilidad. Los ensayos y procedimientos realizados fueron los siguientes:

- Proceso de trituración de las muestras de RAP (triturado con mandíbula y reducción manual).
- Homogenización y reducción de muestra para áridos. NTE INEN 694 / ASTM C702
- Análisis granulométrico de agregado grueso. NTE INEN 694 / ASTM C136 / ASHTO T27-11.

Para el diseño de hormigón hidráulico con RAP, se realizó la caracterización de los agregados convencionales, tanto áridos gruesos como finos. La elección de estos agregados convencionales es fundamental para el diseño adecuado de la mezcla de hormigón hidráulico. Los ensayos y procedimientos realizados fueron los siguientes:

- Procesos de trituración del agregado (triturado con mandíbula y reducción manual).
- Homogenización y reducción de muestra para áridos. NTE INEN 694 / ASTM C702.
- Análisis granulométrico de agregados (Gruesos y Finos). NTE INEN 694 / ASTM C136 / AASHTO T27-11.
- Cantidad de material más fino que 75 μm (No. 200). NTE INEN 697 / ASTM C117.

- Determinación de la densidad, densidad relativa (peso específico) y capacidad de absorción para el árido grueso. NTE INEN 857 / ASTM C127 / AASHTO T85-10.
- Determinación de la densidad, densidad relativa (peso específico) y capacidad de absorción para el árido fino. NTE INEN 856 / ASTM C128 / AASHTO T85-10.
- Determinación del contenido de humedad de los agregados. NTE INEN 862 / ASTM C566 / AASHTO T255-00.
- Determinación de la degradación del árido grueso. Abrasión los Ángeles. NTE INEN 860/ ASTM C131.

Una vez realizada la caracterización de los agregados convencionales y el RAP, se procedió con el diseño del hormigón hidráulico para pavimento rígido con una resistencia requerida de [resistencia] a 28 días y posteriormente se determinaron los parámetros de asentamiento, temperatura, resistencia a la compresión simple mediante la preparación y curado de especímenes de hormigón y resistencia a la flexión. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Elaboración de probetas para pruebas de resistencia. NTE INEN 1576 / ASTM C31.
- Determinación de asentamiento y temperatura. NTE INEN 1578 / ASTM C143 / ASTM C1064.
- Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico. NTE INEN 1573 / ASTM C39.
- Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón (utilizando una viga simple con carga en los tercios). NTE INEN 2554 / ASTM C78.

En primera fase del estudio, se diseñó una mezcla patrón de hormigón hidráulico para pavimentos rígidos, en la cual no se incorporó RAP, siguiendo las proporciones iniciales calculadas. Esta etapa tuvo como objetivo principal evaluar el comportamiento del hormigón hidráulico convencional en comparación con el hormigón hidráulico que utiliza diferentes niveles de reemplazo de árido grueso por RAP. Los porcentajes de reemplazo considerados en este trabajo fueron del

5, 10, 15 y 20% con respecto a la cantidad de árido grueso empleado en el modelo patrón.

El propósito de esta fase consistió en optimizar el diseño de la mezcla de hormigón hidráulico utilizando RAP, garantizando que cumplan con las especificaciones y características técnicas requeridas para su aplicación. La comparación entre el hormigón convencional y el hormigón con RAP nos permite conocer las diferencias en términos de resistencia y comportamiento bajo carga, lo que contribuye a la determinación de la viabilidad de la inclusión de RAP en el hormigón hidráulico y establecer los porcentajes óptimos de reemplazo para así cumplir con los estándares de calidad y desempeño deseados.

Una vez recopilados los datos relevantes para el proyecto, incluyendo el análisis del tráfico y la selección de materiales, se procedió a utilizar la mezcla óptima de hormigón hidráulico con RAP en el diseño de un pavimento rígido para una carretera de IV orden conocida como la Ruta del Cacao, ubicada en la Provincia del Guayas. Este proceso se desarrolló siguiendo las directrices y normativas establecidas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), en particular, la Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos.

2.4. Análisis de datos

A continuación, se presenta el informe de las resistencias obtenidas a los siete, catorce, veintiuno y veintiocho días de las probetas cilíndricas tanto del hormigón hidráulico convencional como del hormigón hidráulico con porcentajes de reemplazo del 5, 10, 15 y 20% en la cantidad de árido grueso. Asimismo, se presentan los resultados del módulo de rotura del hormigón con RAP, realizando el ensayo de flexión del hormigón (utilizando una viga simple con carga en los tercios) y el ensayo esclerométrico.

2.4.1. Diseño A: Modelo patrón de hormigón hidráulico

En la Tabla 2 se presenta el registro de los resultados del ensayo a compresión axial simple a las probetas cilíndricas del modelo patrón del hormigón hidráulico.

Tabla 2. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño A (7, 14, 21 y 28 días)

Diseño A: Resultado de Resistencias		
Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)
7	280.70	364.14
14	321.40	417.18
21	372.00	482.33
28	406.35	527.20

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

2.4.2. Diseño B: Hormigón Hidráulico con 5% de RAP

En la Tabla 3 se muestra el registro de los resultados del ensayo a compresión axial simple a las probetas cilíndricas del hormigón hidráulico utilizando 5% de RAP y la disminución de su resistencia respecto al modelo patrón de hormigón hidráulico.

Tabla 3. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño B (7, 14, 21 y 28 días)

Diseño B: Resultado de Resistencias		
Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)
7	293.65	380.95
14	382.70	496.74
21	356.80	463.08
28	272.80	418.71

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Del ensayo a flexión, se obtuvo la siguiente gráfica que relaciona la carga aplicada en los tercios de la viga versus el desplazamiento.

Diseño B Fuerza vs. Desplazamiento

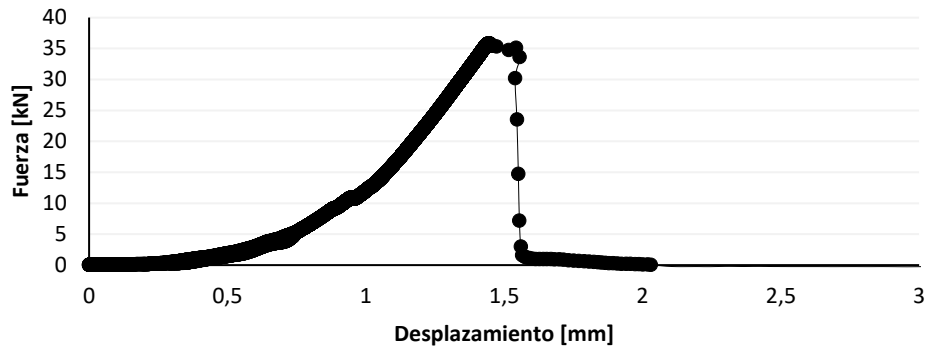


Ilustración 6. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento del Diseño B

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

A partir de la gráfica de la Ilustración 6, se determinó que la máxima fuerza alcanzada fue de 35.79 kN, con este dato se procede a calcular el valor del Módulo de Rotura, según lo especificado en la NTE INEN 2554 (2011). Dado que la fractura se produjo en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, se calcula el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Donde:

R = módulo de rotura, en MPa.

P = carga máxima aplicada, en N.

L = luz libre, en mm.

b = promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en mm.

d = promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en mm.

Reemplazando los datos se tiene lo siguiente:

$$R_{5\%} = \frac{(35792.35 \text{ N})(450 \text{ mm})}{(155 \text{ mm})(155 \text{ mm})^2}$$

$$R_{5\%} = 4.33 \text{ MPa.}$$

El módulo de rotura para el Diseño B es igual a 4.33 MPa.

Del ensayo de esclerometría, se obtuvo lo presente en la Tabla 4:

Tabla 4. Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño B

Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño B										
# golpe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
# rebotes	26	24	26	28	27	23	22	24	26	26
Flexión [MPa]	4.08	3.75	4.08	4.41	4.24	4.12	4.04	4.09	4.08	4.08

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Por lo tanto, el valor promedio del módulo de rotura obtenido a través del ensayo de esclerometría para el Diseño B es igual a 4.09 MPa.

2.4.3. Diseño C: Hormigón Hidráulico con 10% de RAP

En la Tabla 5 se muestra el registro de los resultados del ensayo a compresión axial simple a las probetas cilíndricas del hormigón hidráulico utilizando 10% de RAP.

Tabla 5. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño C (7, 14, 21 y 28 días)

Diseño C: Resultado de Resistencias		
Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm²)
7	204.70	265.71
14	253.80	329.46
21	193.70	250.92
28	250.00	324.36

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Del ensayo a flexión, se obtuvo la siguiente gráfica que relaciona la carga aplicada en los tercios de la viga versus el desplazamiento.

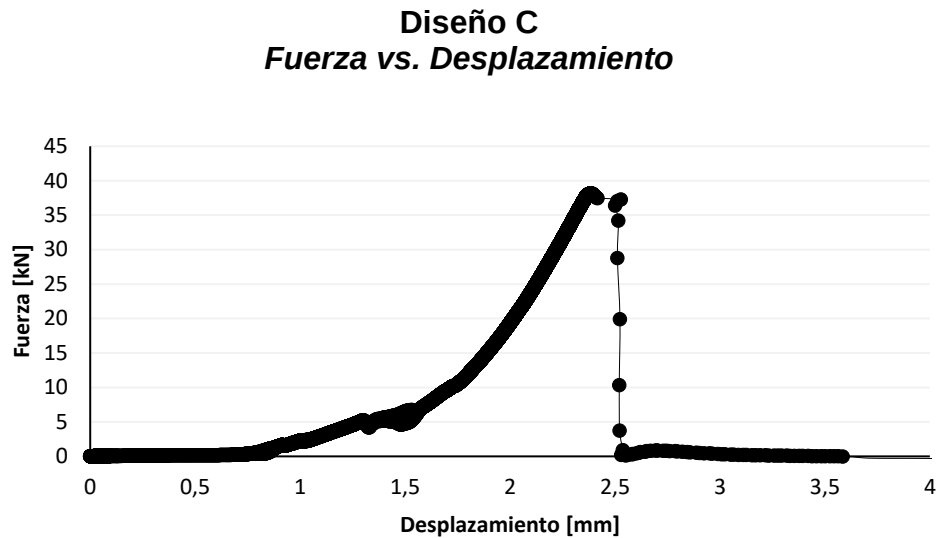


Ilustración 7. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento del Diseño C

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

A partir de la gráfica de la Ilustración 7, se determinó que la máxima fuerza alcanzada fue de 38.14 kN, con este dato se procede a calcular el valor del Módulo de Rotura, según lo especificado en la NTE INEN 2554 (2011).

Dado que la fractura se produjo en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, se calcula el módulo de rotura, reemplazando los datos se tiene lo siguiente:

$$R_{10\%} = \frac{(38141.57 \text{ N})(450 \text{ mm})}{(155 \text{ mm})(155 \text{ mm})^2}$$

$$R_{10\%} = 4.61 \text{ MPa.}$$

El módulo de rotura para el Diseño C es igual a 4.61 MPa.

Del ensayo de esclerometría, se obtuvo lo presente en la Tabla 6:

Tabla 6. Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño C

Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño C										
# golpe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
# rebotes	31	26	26	24	29	27	25	25	25	22
Flexión [MPa]	4.90	4.08	4.08	3.75	4.57	4.24	3.91	3.91	3.91	3.42

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Por lo tanto, el valor promedio del módulo de rotura obtenido a través del ensayo de esclerometría para el Diseño C es igual a 4.35 MPa.

2.4.4. Diseño D: Hormigón Hidráulico con 15% de RAP

En la Tabla 7 se muestra el registro de los resultados del ensayo a compresión axial simple a las probetas cilíndricas del hormigón hidráulico utilizando 15% de RAP.

Tabla 7. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño D (7, 14, 21 y 28 días)

Diseño D: Resultado de Resistencias		
Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm²)
7	197.55	256.50
14	244.40	317.20
21	221.20	286.62
28	238.80	309.66

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Del ensayo a flexión, se obtuvo la siguiente gráfica que relaciona la carga aplicada en los tercios de la viga versus el desplazamiento.

Diseño D Fuerza vs. Desplazamiento

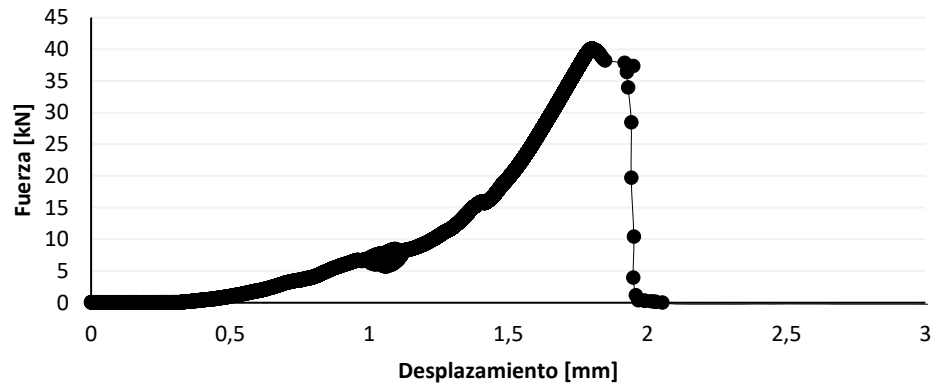


Ilustración 8. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento del Diseño D

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

A partir de la gráfica de la Ilustración 7, se determinó que la máxima fuerza alcanzada fue de 40.06 kN, con este dato se procede a calcular el valor del Módulo de Rotura, según lo especificado en la NTE INEN 2554 (2011).

Dado que la fractura se produjo en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, se calcula el módulo de rotura, reemplazando los datos se tiene lo siguiente:

$$R_{15\%} = \frac{(40061.79 \text{ N})(450 \text{ mm})}{(155 \text{ mm})(155 \text{ mm})^2}$$

$$R_{15\%} = 4.84 \text{ MPa.}$$

El módulo de rotura para el Diseño D es igual a 4.84 MPa.

Del ensayo de esclerometría, se obtuvo lo presente en la Tabla 8:

Tabla 8. Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño D

Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño D										
# golpe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
# rebotes	22	23	25	28	24	29	20	22	20	28
Flexión [MPa]	3.42	3.98	3.91	4.41	3.75	4.57	4.09	4.01	4.00	4.41

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Por lo tanto, el valor promedio del módulo de rotura obtenido a través del ensayo de esclerometría para el Diseño D es igual a 4.81 MPa.

2.4.5. Diseño E: Hormigón Hidráulico con 20% de RAP

En la Tabla 9 se muestra el registro de los resultados del ensayo a compresión axial simple a las probetas cilíndricas del hormigón hidráulico utilizando 20% de RAP.

Tabla 9. Resultado de Resistencias a la compresión del Diseño E (7, 14, 21 y 28 días)

Diseño E: Resultado de Resistencias		
Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kg/cm ²)
7	149.95	274.15
14	183.90	238.68
21	179.20	232.80
28	201.60	261.12

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Del ensayo a flexión, se obtuvo la siguiente gráfica que relaciona la carga aplicada en los tercios de la viga versus el desplazamiento.

Diseño E Fuerza vs. Desplazamiento

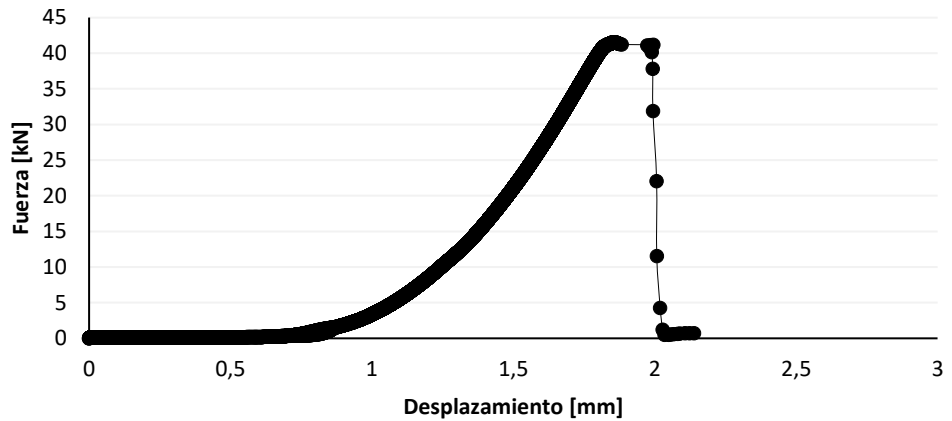


Ilustración 9. Gráfica Fuerza vs. Desplazamiento del Diseño E

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

A partir de la gráfica de la Ilustración 9, se determinó que la máxima fuerza alcanzada fue de 41.50 kN, con este dato se procede a calcular el valor del Módulo de Rotura, según lo especificado en la (NTE INEN 2554, 2011).

Dado que la fractura se produjo en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, se calcula el módulo de rotura, reemplazando los datos se tiene lo siguiente:

$$R_{20\%} = \frac{(41502.95 \text{ N})(450 \text{ mm})}{(155 \text{ mm})(155 \text{ mm})^2}$$

$$R_{20\%} = 5.01 \text{ MPa.}$$

El módulo de rotura para el Diseño E es igual a 5.01 MPa.

Del ensayo de esclerometría, se obtuvo lo presente en la Tabla 10:

Tabla 10. Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño E

Resultados del Ensayo de Esclerometría del Diseño E										
# golpe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
# rebotes	27	25	27	24	26	26	30	26	28	24
Flexión [MPa]	4.24	3.91	4.24	3.75	4.08	4.08	4.74	4.08	4.41	3.75

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Por lo tanto, el valor promedio del módulo de rotura obtenido a través del ensayo de esclerometría para el Diseño E es igual a 4.90 MPa.

2.4.6. Análisis de la resistencia a compresión de los diseños

Esta sección tiene como objetivo hacer un análisis de las resistencias a compresión simple obtenidas en las probetas cilíndricas de hormigón hidráulico, tanto el modelo patrón como el que incorpora diferentes porcentajes de reemplazo de árido grueso por RAP.

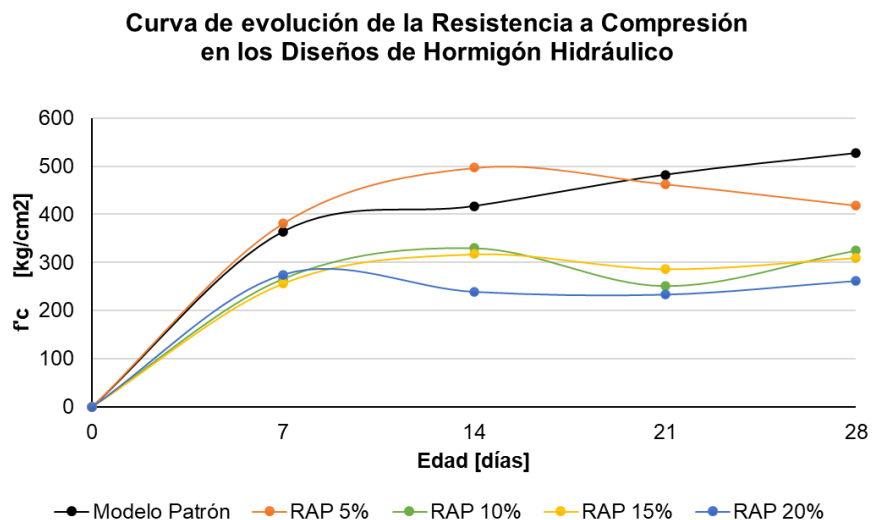


Ilustración 10. Curva de evolución de la Resistencia a Compresión

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

La gráfica de la Ilustración 10 representa la curva de evolución de la resistencia a la compresión a los siete, catorce, veintiuno y veintiocho días del modelo patrón y de los modelos con reemplazo de RAP.

Realizando un análisis de los porcentajes de disminución de la resistencia de los diseños de hormigón con RAP y el modelo patrón se tiene lo presente en la Tabla 11:

Tabla 11. Disminución de resistencias a la compresión respecto al modelo patrón

Disminución de resistencias respecto al modelo patrón				
Edad (días)	RAP 5%	RAP 10%	RAP 15%	RAP 20%
7	-4.62%	27.03%	29.56%	24.71%
14	-19.07%	21.03%	29.37%	42.79%
21	3.99%	47.98%	40.58%	51.73%
28	20.58%	38.47%	41.26%	50.47%

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Un valor negativo en la Tabla 11 significa que el hormigón con reemplazo de RAP ha ganado resistencia respecto al modelo patrón.

De aquí, se observa que a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de RAP en el hormigón hidráulico, la resistencia a compresión del hormigón disminuye en comparación con el modelo patrón de hormigón convencional. Es importante destacar que la relación agua/cemento se mantuvo constante en todos los diseños.

La disminución de la resistencia se atribuye a varias razones, como:

- El RAP es un material que, aunque proporcione ciertas propiedades mecánicas, presenta una menor resistencia a compresión en comparación con los agregados gruesos convencionales. Su estructura se ve afectada por el ligante asfáltico adherido, lo que contribuye a su menor capacidad de soportar cargas de compresión.

- La presencia de ligante asfáltico en el RAP puede afectar la adherencia entre el cemento y los agregados. El cemento necesita una hidratación constante para que sus compuestos reaccionen y contribuyan a la resistencia y durabilidad del hormigón. La formación de enlaces químicos sólidos es esencial para mantener una estructura resistente. Sin embargo, la presencia de enlaces débiles resultantes de la interferencia del ligante asfáltico puede socavar la capacidad del hormigón para resistir las fuerzas de compresión, lo que conduce a una disminución en la resistencia del hormigón con RAP.
- El RAP generalmente tiene una mayor porosidad en comparación con el árido grueso convencional, esto debilita la estructura y reduce la resistencia.

2.4.7. Análisis del módulo de rotura de los diseños

El módulo de rotura, en el contexto del hormigón, es una propiedad que representa la capacidad del material para resistir la flexión o la tracción, siendo este parámetro fundamental en el diseño de pavimentos rígidos. Para obtener el módulo de rotura de los diseños, se realizaron dos ensayos, uno mecánico y otro no destructivo. Los resultados del ensayo mecánico se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12. Módulo de Rotura de los Diseños

Módulo de Rotura de los Diseños	
Diseño	Módulo de Rotura
A (modelo patrón)	4.00 MPa
B (5% RAP)	4.33 MPa
C (10% RAP)	4.61 MPa
D (15% RAP)	4.84 MPa
E (20% RAP)	5.02 MPa

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Por otro lado, se tienen los resultados del ensayo no destructivo haciendo uso del esclerómetro.

A continuación, se puede visualizar una gráfica de relación del número de golpes versus el índice de rebote del ensayo de esclerometría que tiene como fin determinar el módulo de rotura.

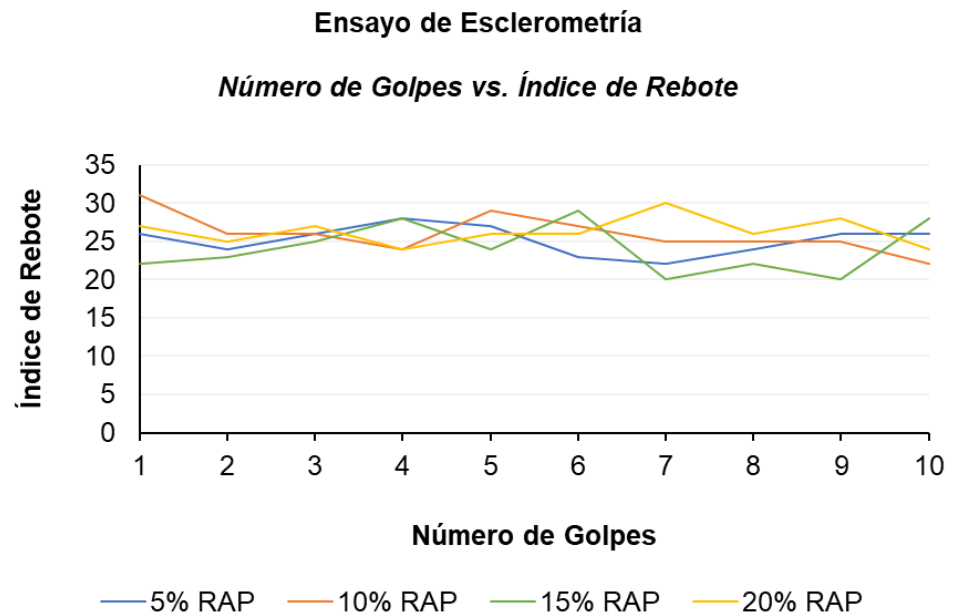


Ilustración 11. Gráfica del Número de Golpes vs. Índice de Rebote

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

La gráfica de la Ilustración 11 permite comparar los diseños de hormigón hidráulico con reemplazos porcentuales de RAP.

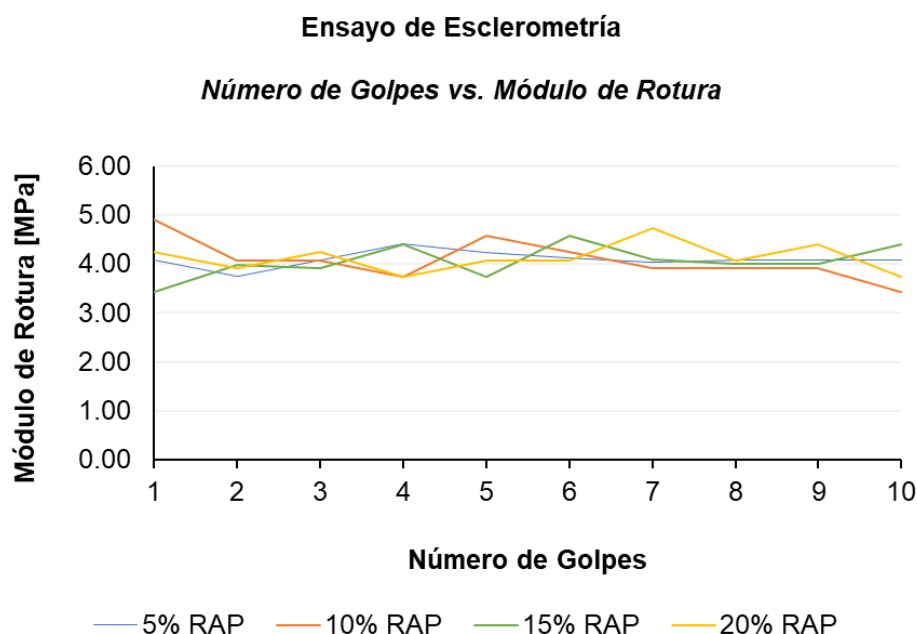


Ilustración 12. Gráfica del Número de Golpes vs. Módulo de Rotura

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

A partir de los datos recopilados al relacionar el índice de rebote con el módulo de rotura de los diseños, es posible llevar a cabo comparaciones entre los resultados del ensayo no destructivo y los resultados del ensayo mecánico, tal como se muestra en la Tabla 13. Esto nos permite evaluar el porcentaje de variación entre los dos métodos para conocer el módulo de rotura y cómo la influencia del RAP influye en los diseños respecto al modelo patrón.

Tabla 13. Variación del Módulo de Rotura de los Diseños entre el Ensayo No Destructivo y el Mecánico.

Módulo de Rotura de los Diseños			
Diseño	Flexión	Esclerometría	Variación
5% RAP	4.33 MPa	4.09 MPa	5.6%
10% RAP	4.61 MPa	4.35 MPa	6.0%
15% RAP	4.84 MPa	4.81 MPa	0.6%
20% RAP	5.02 MPa	4.90 MPa	2.4%

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

Tras analizar los resultados de ambos ensayos y compararlos, se observa que la variación entre ellos es mínima. Sin embargo, para determinar con qué resultado se va a trabajar para el diseño del pavimento rígido es importante considerar que el ensayo mecánico implica la aplicación de fuerza física directa a la viga para medir su resistencia a la rotura, es un método tradicionalmente utilizado y bien establecido debido a que su proceso es altamente controlado y estandarizado, lo que contribuye a su confiabilidad.

Por otra parte, el ensayo no destructivo se basa en la medición de la dureza superficial de la viga utilizando un dispositivo de rebote, esto no involucra la destrucción de la muestra y es menos invasivo por lo que se usa para evaluar la calidad del hormigón en estructuras existentes. La mínima variación entre los resultados sugiere que ambos métodos son confiables, pero dado que se necesita una medición precisa del módulo de rotura para poder diseñar el pavimento, en este proyecto se utilizarán los resultados del ensayo mecánico.

Por consiguiente, en la Tabla 14 se muestra cómo el uso de RAP influye en los resultados del módulo de rotura del hormigón hidráulico, considerando que el módulo de rotura del modelo patrón corresponde a 4 MPa.

Tabla 14. Influencia del RAP en el módulo de Rotura de los Diseños respecto al modelo patrón.

Influencia del RAP en el Módulo de Rotura de los Diseños		
Diseño	Módulo de Rotura	Variación
5% RAP	4.33 MPa	8.1%
10% RAP	4.61 MPa	15.2%
15% RAP	4.84 MPa	21.0%
20% RAP	5.02 MPa	25.4%

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

En el análisis de resistencias obtenidas de las probetas de hormigón, se observó que, a medida que se incrementa el porcentaje de remplazo de RAP en la mezcla del hormigón con respecto al modelo patrón, la

resistencia a compresión disminuye. Sin embargo, se nota un patrón interesante: a medida que aumenta el remplazo de RAP, se obtiene un mejor módulo de rotura. Esto significa que, aunque la resistencia a compresión disminuye, la capacidad del hormigón para resistir la flexión, representada por el módulo de rotura, mejora en comparación con el modelo patrón, representando un efecto positivo en la tenacidad y ductilidad del hormigón, siendo esto beneficioso para el pavimento rígido, ya que proporciona al hormigón la capacidad de resistir mejor las tensiones generadas por las cargas de tráfico.

2.5. Análisis de alternativas

Las diferencias entre las mezclas de hormigón hidráulico destinadas al diseño de un pavimento rígido para su aplicación en una carretera de IV orden en la Ruta del Cacao, radican en las variaciones porcentuales relacionadas con la sustitución del agregado grueso convencional por RAP. Las alternativas incluyen el uso de materiales reciclados, RAP, en el diseño de la mezcla, así como un estudio comparativo de las propiedades físicas entre el hormigón convencional y el hormigón con RAP en el diseño de la mezcla del hormigón hidráulico para pavimento rígido. Estas alternativas fueron delimitadas considerando cuatro ejes fundamentales: el aspecto económico, social, ambiental y la resiliencia.

- Eje Económico: Evaluación de los costos y las posibles ventajas económicas derivadas de la explotación de recursos naturales.
- Eje Social: Fomento de la conciencia sobre la sostenibilidad y la reutilización de materiales.
- Eje Ambiental: Reducción de la huella de carbono y gestión de residuos.
- Consideración de Resiliencia: Exploración de la capacidad del pavimento para adaptarse y recuperarse de tensiones y condiciones desafiantes.

En función de estos factores, se seleccionará una dosificación de mezcla que cumpla con los criterios de evaluación impuestos garantizando la calidad del pavimento rígido.

2.5.1. Dosificación Diseño A

La Tabla 15 muestra la dosificación que utiliza el hormigón hidráulico convencional sin RAP, es el modelo patrón.

Tabla 15. Dosificación del Diseño A - 1m³ (SSS)

Diseño A: Dosificación 1m ³ (SSS)		
Materiales	Cantidad	Unidades
Cemento	360	kg
Agua	150	kg
Agregado Grueso 3/4"	869	kg
RAP 3/4"	0	kg
Agregado Grueso 3/8"	218	kg
RAP 3/8"	0	kg
Agregado Fino	896	kg
Aditivo	360	gr
Relación A/C: 0.42		

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

2.5.2. Dosificación Diseño B

La Tabla 16 muestra la dosificación que incorpora el 5% de RAP.

Tabla 16. Dosificación del Diseño B - 1m³ (SSS)

Diseño B: Dosificación 1m ³ (SSS)		
Materiales	Cantidad	Unidades
Cemento	360	kg
Agua	150	kg
Agregado Grueso 3/4"	822.55	kg
RAP 3/4"	43.45	kg
Agregado Grueso 3/8"	207.10	kg
RAP 3/8"	10.90	kg
Agregado Fino	896	kg
Aditivo	360	gr
Relación A/C: 0.42		

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

2.5.3. Dosificación Diseño C

La Tabla 17 muestra la dosificación que incorpora el 10% de RAP.

Tabla 17. Dosificación del Diseño C - 1m³ (SSS)

Diseño C: Dosificación 1m ³ (SSS)		
Materiales	Cantidad	Unidades
Cemento	360	kg
Agua	150	kg
Agregado Grueso 3/4"	782.10	kg
RAP 3/4"	86.90	kg
Agregado Grueso 3/8"	196.20	kg
RAP 3/8"	21.80	kg
Agregado Fino	896	kg
Aditivo	360	gr
Relación A/C: 0.42		

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

2.5.4. Dosificación Diseño D

La Tabla 18 muestra la dosificación que incorpora el 15% de RAP.

Tabla 18. Dosificación del Diseño D - 1m³ (SSS)

Diseño D: Dosificación 1m ³ (SSS)		
Materiales	Cantidad	Unidades
Cemento	360	kg
Agua	150	kg
Agregado Grueso 3/4"	738.65	kg
RAP 3/4"	130.35	kg
Agregado Grueso 3/8"	185.30	kg
RAP 3/8"	32.70	kg
Agregado Fino	896	kg
Aditivo	360	gr
Relación A/C: 0.42		

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

2.5.5. Dosificación Diseño E

La Tabla 19 muestra la dosificación que incorpora el 20% de RAP

Tabla 19. Dosificación del Diseño E - 1m³ (SSS)

Diseño E: Dosificación 1m ³ (SSS)		
Materiales	Cantidad	Unidades
Cemento	360	kg
Agua	150	kg
Agregado Grueso 3/4"	695.20	kg
RAP 3/4"	173.80	kg
Agregado Grueso 3/8"	174.40	kg
RAP 3/8"	43.60	kg
Agregado Fino	896	kg
Aditivo	360	gr
Relación A/C: 0.42		

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

2.5.6. Selección de la mezcla óptima

La elección del diseño de hormigón que incorpora RAP en lugar del agregado grueso convencional para pavimentos rígidos es una decisión de gran trascendencia, dada la falta de un proceso normativo específico para esta elección. A continuación, se presentan las opciones disponibles, evaluadas en función de sus propiedades y sostenibilidad:

El diseño A, es el modelo patrón, es esencial para establecer una referencia sólida en términos de rendimiento y resistencia inicial del hormigón. Ofrece alta resistencia inicial y módulo de rotura adecuado para aplicaciones de alto tráfico y carga.

El diseño B busca equilibrar la resistencia a los esfuerzos de compresión y tensión con la sostenibilidad al introducir un 5% de RAP, lo que proporciona ventajas medioambientales sin una disminución significativa de la resistencia a compresión y con un ligero aumento en la resistencia a tensión. Es adecuada para proyectos que valoran tanto la resistencia como la sostenibilidad.

El diseño C, busca un equilibrio aún mayor entre la sostenibilidad y la resistencia de los esfuerzos de compresión y tensión. Al incluir un 10% de RAP, se introduce aún más a un diseño sostenible y a un incremento en su capacidad de soportar los esfuerzos a tensión sin comprometer en exceso la resistencia a la compresión. Puede ser una elección acertada en proyectos donde los beneficios medioambientales superan la moderada disminución de la resistencia.

El diseño D, con un enfoque destacado en la sostenibilidad, utiliza un 15% de RAP. Si bien implica una reducción significativa de la resistencia a la compresión, se observa un aumento en la capacidad del hormigón para resistir tensiones. Es una elección adecuada en proyectos donde la resistencia no es un factor crítico, especialmente en áreas de bajo tráfico.

El diseño E, prioriza la sostenibilidad al incorporar un 20% de RAP, a pesar de que implica la mayor disminución en la resistencia a compresión. Sin embargo, se ha observado un notable incremento en la capacidad del hormigón para resistir tensiones. Se recomienda este enfoque para proyectos orientados a la sostenibilidad y en áreas de bajo tráfico.

La Tabla 20 presenta un resumen detallado de las características de cada diseño, destacando el porcentaje de material reciclado de pavimento asfáltico, así como su rendimiento en resistencia a la compresión y a la tensión. Además, se incluye un indicador de sostenibilidad para ofrecer una visión integral de las propiedades de cada diseño.

Tabla 20: Resumen de las características de los diseños

Diseño	% RAP	Resistencia a la Compresión	Resistencia a la Tensión	Indicador de Sostenibilidad
A	0%	Alta	Normal	Bajo
B	5%	Moderada	Ligero Aumento	Moderado
C	10%	Moderada a baja	Incremento	Moderado a alto
D	15%	Baja	Aumento	Alto
E	20%	Muy baja	Notable aumento	Muy alto

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023).

La elección del diseño de hormigón con RAP se fundamenta en la resistencia, sostenibilidad y las condiciones de tráfico. Por lo tanto, para el diseño de pavimento en la carretera de IV orden, se optará por el "Diseño B" debido a que este enfoque prioriza la resistencia mientras incorpora prácticas sostenibles mediante la inclusión de materiales reciclados en la dosificación. Esta elección garantiza la durabilidad y el rendimiento del pavimento al mismo tiempo que mantiene un enfoque sostenible en sinergia con los objetivos del proyecto.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1. Diseño del pavimento rígido

El diseño de un pavimento rígido comprende los siguientes aspectos, se debe empezar por el diseño del espesor de la losa de hormigón hidráulico, que para este trabajo se utilizará el hormigón hidráulico con reemplazo de RAP del 5%, seguido de esto se debe realizar el diseño de barras pasa juntas, las barras de amarre y el diseño del reservorio para el sello de junta. Una vez que se haya procedido se debe realizar un análisis de sensibilidad del pavimento.

La presente sección se realizará utilizando un software de diseño de pavimentos, basado en la metodología descrita para pavimentos rígidos en la AASHTO93.

3.1.1. Periodo de diseño

La vida útil del pavimento se elegirá en base a la Tabla 21. La Ruta del Cacao al ser catalogada como una vía de IV orden, entra en la categoría de bajo volumen pavimento, por lo que el periodo de diseño contemplado será de 20 años.

Tabla 21. Periodos de diseño recomendados para el diseño de pavimentos

Tipo de Carretera	Periodo de diseño
Gran volumen de tránsito urbano	30 – 50 años
Gran volumen de tránsito rural	20 – 50 años
Bajo volumen pavimentado	15 – 25 años

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023) en base a (AASHTO, 1993)

3.1.2. Espesor de pavimento rígido

Se asumirá un espesor de 150 mm. como dato inicial para el diseño del pavimento rígido.

3.1.3. Índices de serviciabilidad

La Tabla 22. indica los índices de serviciabilidad inicial y finales considerados para el diseño de pavimentos, para este trabajo el índice de

serviciabilidad inicial considerando que es un pavimento rígido será igual a 4.5, mientras que por tratarse de una vía de bajo volumen de tránsito la serviciabilidad final será de 2.0

Tabla 22. Índices de serviciabilidad para el diseño de pavimentos

Índice de serviciabilidad inicial	Índice de serviciabilidad final
Po = 4.5 <i>Para pavimentos rígidos</i>	Pt = 2.5 o más <i>Para caminos muy importantes</i>
Po = 4.2 <i>Para pavimentos flexibles</i>	Pt = 2.0 <i>Para caminos de tránsito menor</i>

Fuente: Basado en (AASHTO, 1993)

3.1.4. Módulo de rotura del hormigón hidráulico con RAP

En la Sección 2.5.6 se optó por elegir el Diseño B, el hormigón que cuenta con el 5% de reemplazo, que cuenta con un módulo de rotura igual a 4.33 MPa.

3.1.5. Módulo de elasticidad del hormigón hidráulico con RAP

El hormigón hidráulico con el 5% de RAP tiene una resistencia a la compresión a los 28 días de 420 kgf/cm², por consiguiente, el módulo de elasticidad se lo puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Ec = 57000 \sqrt{f'c}$$

$$Ec = 57000 \sqrt{420} = 4405515 \text{ psi}$$

En donde se obtiene que el valor es equivalente a 30398.1 MPa.

3.1.6. Drenaje

En base a la Tabla 23 se puede determinar la calidad de drenaje del pavimento considerando el tiempo tarda el agua en ser removida. Considerando que la base del pavimento será un material granular y la subrasante tendrá bombeos se ha determinado que la calidad de drenaje es buena y el agua puede ser removida en 1 día.

Tabla 23. Calidad del drenaje

Calidad de drenaje	Agua removida en:
Excelente	½ día
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	Nunca

Fuente: Basado en (AASHTO, 1993)

De aquí se puede obtener el porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación. En la provincia del Guayas llueve 31 días al año con precipitaciones pluviales iguales o mayores a 13 mm. (Spark, 2023)

$$\%_{\text{lluvia anual}} = \frac{31 \text{ días} * 100\%}{365 \text{ días}} = 8.49\%$$

Con el porcentaje de lluvia al año, se procede a seleccionar el porcentaje del tiempo en la Tabla 24, dado que el resultado obtenido está en el rango de 5% y 25% y la calidad del drenaje es buena, el valor obtenido será el promedio de los valores del intervalo, dando como resultado 1.05.

Tabla 24. Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación

Calidad de drenaje	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	>25 %
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: Basado en (AASHTO, 1993)

3.1.7. Coeficiente de Transmisión de Carga

La Tabla 25. contiene los valores de coeficiente de transmisión de carga, para este caso no se contiene una berma de hormigón hidráulico

considerando que el pavimento está en la categoría de no reforzado o reforzado con juntas, donde el valor seleccionado es 3.6.

Tabla 25. Valores de coeficiente de transmisión de carga

Tipo de Pavimento	Berma de Hormigón Asfáltico		Berma de Hormigón Hidráulico	
	Sí	No	Sí	No
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	ND	2.3 – 2.9	ND

Fuente: Basado en (AASHTO, 1993)

3.1.8. Módulo de reacción compuesto de la subrasante

Para obtener el módulo de reacción compuesto de la subrasante elegiremos el mínimo valor obtenido de 2 métodos, los cuales son: el método empírico y el método de la AASHTO. Los datos del CBR de la subbase y del suelo de fundación han sido obtenidos del proyecto integrador de Daniel Bucheli & Holger Sarmiento (2021).

3.1.8.1. Método Empírico o Mecanístico

La subbase tiene un CBR del 41.90%, para hallar el valor de su Módulo de Elasticidad se deberá elegir entre el mínimo valor obtenido del resultado de utilizar la Ecuación de la Guía Mecánica Empírica NCHRP (2002) y la Ecuación polinómica de segundo grado de Kentucky solo para CBR < 55%.

Ecuación Guía Mecánica Empírica NCHRP (2002)

$$ME = 2555CBR^{0.64}$$

$$ME = 2555(41.90)^{0.64} = 27900.236 \text{ psi}$$

$$ME = 192.51 \text{ MPa.}$$

Ecuación de Kentucky, para CBR < 55%

$$ME = -7.5CBR^2 + 800CBR + 1820$$

$$ME = -7.5(41.90)^2 + 800(41.90) + 1820 = 23010.925 \text{ psi}$$

$$ME = 158.78 \text{ MPa.}$$

Por lo tanto, el valor del módulo de elasticidad de la subbase es 158.78 MPa.

El suelo de fundación tiene un CBR del 5.90%, para hallar el valor de su Módulo de Resiliencia se deberá elegir entre el mínimo valor obtenido del resultado de utilizar la Ecuación de After Van Til et al.

Ecuación Guía Mecánica Empírica NCHRP (2002)

$$MR = 2555CBR^{0.64}$$

$$MR = 2555(5.90)^{0.64} = 7956.7588 \text{ psi}$$

$$MR = 54.90 \text{ MPa.}$$

Ecuación de Kentucky, para CBR < 55%

$$MR = 5490CBR^{0.30}$$

$$MR = 5490(5.90)^{0.30} = 9350.3517 \text{ psi}$$

$$MR = 64.52 \text{ MPa.}$$

Por lo tanto, el valor del módulo de resiliencia de la subrasante es 54.90 MPa.

El siguiente paso es utilizar el monograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita, y para ello estimamos el espesor de la subbase, que será de 150 mm., seguido a eso proyectamos con las flechas y obtenemos el módulo de reacción compuesto.

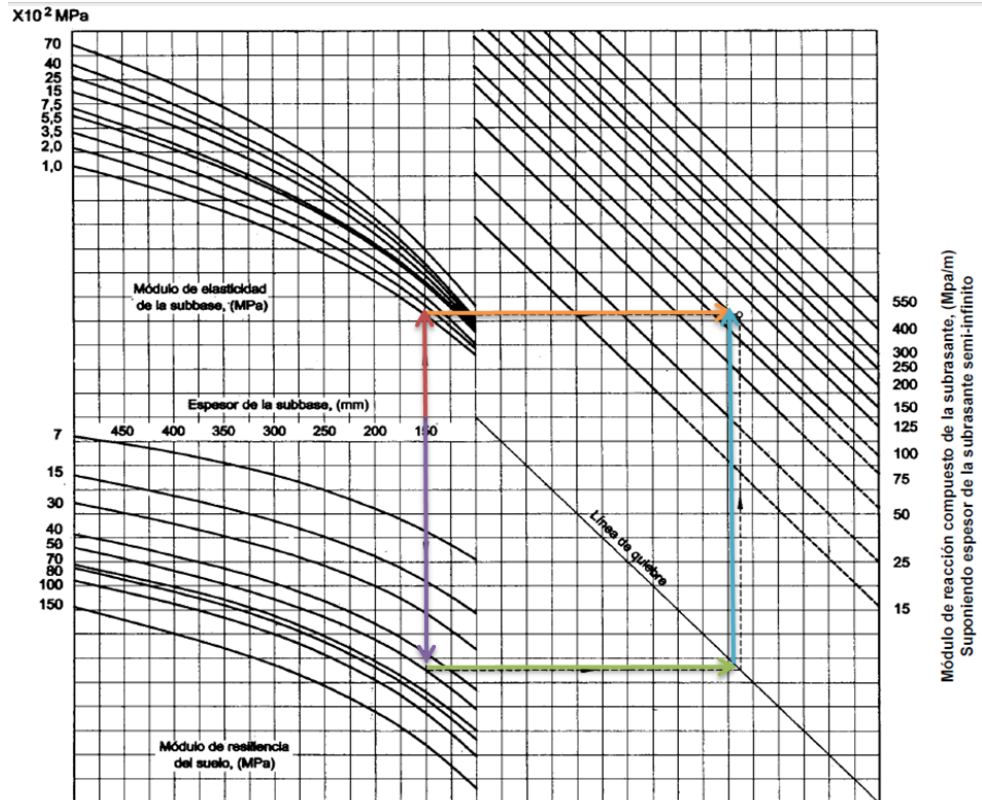


Ilustración 13. Monograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita

Fuente: Adaptado de (AASHTO, 1993)

De la Ilustración 13 se puede observar que, con un espesor de subbase de 150 mm, proyectando el módulo de elasticidad y módulo resiliente hacia su valor y posteriormente a la línea de quiebre se obtiene un módulo de reacción compuesto de la subrasante, K , de 100 MPa/m.

3.1.8.2. Método AASHTO

Con los mismos datos de la subbase y del suelo de fundación se determinará el valor del módulo de reacción compuesto de la subrasante.

Módulo de reacción compuesto de la subbase

Para un CBR mayor al 10% se utiliza la siguiente ecuación:

$$K = 46 + 9.08(\log(CBR))^{4.34}$$

$$K = 46 + 9.08(\log(41.90))^{4.34} = 120.12 \text{ MPa/m}$$

Módulo de reacción compuesto de la subrasante

Para un CBR menor al 10% se utiliza la siguiente ecuación:

$$K = 2.55 + 52.5 \log (CBR)$$

$$K = 2.55 + 52.5 \log (5.90) = 43.02 \text{ MPa/m}$$

Por lo tanto, con el Método AASHTO se obtiene que el módulo de reacción compuesto de la subrasante, K, es igual a 49.22 MPa/m, y por consiguiente será el valor que se utilizará para el diseño al ser el menor valor entre los 2 métodos.

3.1.9. Confiabilidad

La Tabla 26 contiene los valores de confiabilidad, al tratarse de una carretera colectora y ubicada en un sector rural, el valor seleccionado es 80%.

Tabla 26. Niveles de confiabilidad

Tipo de Carretera	Nivel de Confiabilidad	
	Suburbana	Rural
Autopista Regional	85 – 99.9	80 – 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	90 – 95	50 – 80

Fuente: Basado en (AASHTO, 1993)

3.1.10. Desviación Estándar Normal

En concordancia con la AASHTO 93, el valor asociado a la confiabilidad del 80% da como resultado una desviación estándar normal de 0.32.

3.1.11. ESALs

La Ilustración 14 muestra el estudio de tráfico y el cálculo de los Equivalentes de Cargas de Eje (ESAL, por sus siglas en inglés) acumulados durante el período de diseño. Este cálculo se llevó a cabo mediante el conteo de la cantidad de vehículos ligeros, autobuses y

camiones que circulan por la "Ruta del Cacao". Como resultado de este análisis, se obtuvo un total de 277,000 ESALs (Bucheli Pérez & Sarmiento Segovia, 2021).

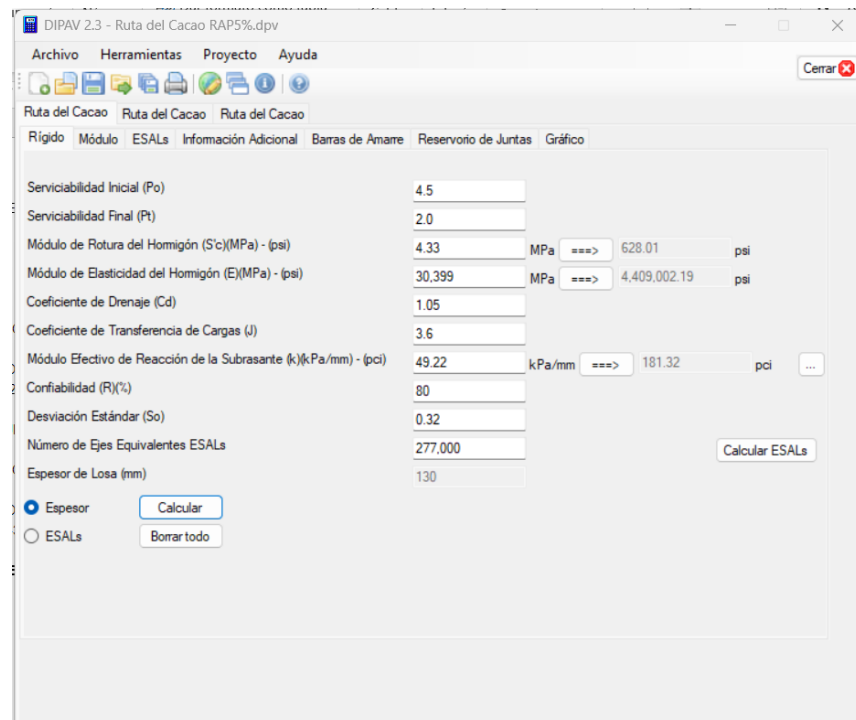
TIPO DE VEHICULOS	DENOMINACION	No. EJES	TIPO MTOP	ESQUEMA	TPD	FACTOR EQUIVALENCIA DE CARGA	TASA ANUAL DE CRECIMIENTO	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRÁFICO ACUMULADO DE DISEÑO	ESAL ACUMULADO EN PERIODO DE DISEÑO
LIVIANOS	Automóviles	2 EJES			30	0.0001	1.5	4.09	22397.70	2.24
	Pickups/ Camioneta	2 EJES			35	0.0001	1.5	4.09	26130.65	2.61
BUSES	Bus 2 ejes	2 EJES	BUS 2 EJES		10	1.08	1	4.06	7410.23	8003.05
CAMIONES	CAMION DE 2 EJES GRANDES	2 EJES	2DB		97	3.73	1.2	4.07	72094.81	268913.63
					172				128033.38	2.77E+05

Ilustración 14. Cálculo de ESAL

Fuente: (Bucheli Pérez & Sarmiento Segovia, 2021)

3.1.12. Espesor de Losa

Para determinar el espesor adecuado de la losa de hormigón hidráulico con un reemplazo del 5% de RAP, se utilizó un programa especializado en el diseño de pavimentos, arrojando como resultado un valor de 130 mm, lo cual se aprecia en la Ilustración 15.



DIPAV 2.3 - Ruta del Cacao RAP5%.dvp

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Ruta del Cacao Ruta del Cacao Ruta del Cacao

Rígido Módulo ESALs Información Adicional Barras de Amare Reservorio de Juntas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.5

Serviciabilidad Final (Pt) 2.0

Módulo de Rotura del Hormigón (S_c)(MPa) - (psi) 4.33 MPa ===> 628.01 psi

Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi) 30.399 MPa ===> 4,409,002.19 psi

Coefficiente de Drenaje (Cd) 1.05

Coefficiente de Transferencia de Cargas (J) 3.6

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci) 49.22 kPa/mm ===> 181.32 pci ...

Confiability (R)(%) 80

Desviación Estándar (So) 0.32

Número de Ejes Equivalentes ESALs 277,000

Espesor de Losa (mm) 130

Calcular ESALs

☒ Espesor ☐ ESALs

Calcular Borrar todo

Ilustración 15. Cálculo del espesor de la losa

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

3.1.13. Información Adicional

En esta sección se dará un detalle del tipo de capa base, la sección transversal y longitudinal de la sección del pavimento rígido, el reservorio de juntas y el tipo de sellador.

3.1.13.1. Tipo de capa base

Se utilizará una base granular de espesor 150 mm.

3.1.13.2. Barras pasajuntas

Según la AASHTO93, el diámetro de los pasadores se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\phi_{pasadores} = \frac{1}{8} \text{ espesor de losa}$$

$$\phi_{pasadores} = \frac{1}{8} (130 \text{ mm}) = 16.25 \text{ mm}$$

Asumimos un diámetro de 16 mm. para los pasadores. La longitud de las barras pasajuntas debe ser de 45 cm..La separación entre barras pasajuntas debe ser 30 cm, se utilizará grasa común como revestimiento.

El Instituto Boliviano del Cemento y del Hormigón recomienda no superar los 4.50 m. como dimensión longitudinal del paño de losa, valor que debería usarse para losas mayores o iguales a 22 cm. de espesor. Por lo que, en base a este criterio se adoptará 1 losa por carril (2.50 X 4.00) m., de aquí que la separación de juntas longitudinales es de 4 metros.

3.1.13.3. Barras de amarre

Para calcular las barras de amarre entre losas del pavimento rígido se requieren los siguientes parámetros:

Coeficiente de fricción losa – base

La Tabla 27. Valores del factor de fricciónTabla 27 muestra los valores del factor de fricción según el tipo de material que se encuentra bajo la losa, como se seleccionó una base granular, entra a la categoría de piedra partida con un coeficiente igual a 1.5.

Tabla 27. Valores del factor de fricción

Tipo de material bajo la losa	Factor de fricción
Tratamiento superficial	2.2
Estabilización con cal	1.8
Estabilización con asfalto	1.8
Estabilización con cemento	1.8
Grava de río	1.5
Piedra partida	1.5
Arenisca	1.2
Subrasante natural	0.9

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023) en base a (AASHTO, 1993)

Fluencia del acero

En Ecuador se utiliza un acero con fluencia igual a 420 MPa.

Diámetro de barras de amarre

La AASHTO93 recomienda que las barras de amarre tengan diámetro igual a 12 mm. para vías con tráficos livianos, que es el caso de estudio de este proyecto.

Distancia al borde libre

Es la distancia de la junta longitudinal media divisora del carril hacia el borde del pavimento. Para este caso, se tienen 2 carriles de 5 m. de ancho, en diferentes sentidos de 2.5 m. de ancho, en tal sentido se tiene un borde libre de 2.5 m.

Porcentaje de resistencia a la tracción

Según el ACI 318-14, la resistencia a tracción es igual al 75%.

Resultados

Utilizando un software para el diseño de pavimentos rígidos, con las condiciones establecidas anteriormente se obtiene lo presente en la Ilustración 16.

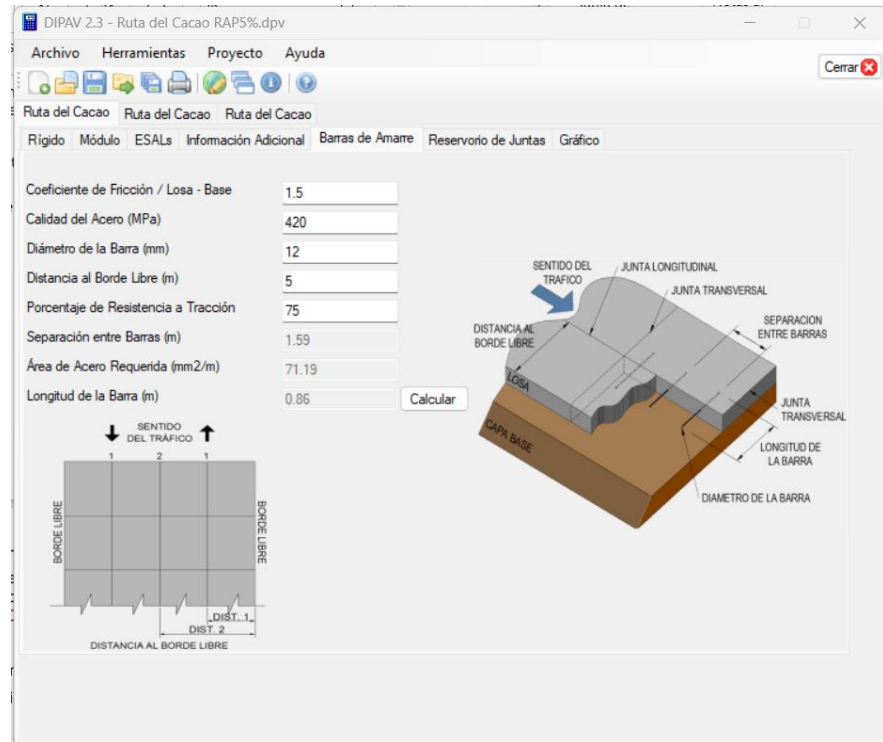


Ilustración 16. Cálculo de las barras de amarre

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La separación de barras es 1.59 m. se asumirá igual a 1.5 m., el área de acero requerida es 71.19 mm²/m, y la longitud de la barra de amarre es de 0.86m, se asumirá de 0.90 m.

Por lo que se deben colocar 4 barras de amarre de 12 mm de diámetro con una extensión de 90 centímetros por cada paño de losa.

3.1.13.4. Reservorio de juntas

Para calcular el reservorio de juntas se requieren de los siguientes parámetros, los cuales se obtienen de la AASHTO93.

Coeficiente de expansión térmica

La Tabla 28 muestra los coeficientes de dilatación térmica para cada tipo de agregado grueso que se utilizó en el hormigón, para la realización de este en su mayoría se conformó por grava, por lo que el coeficiente de dilatación será de $10.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

Tabla 28. Coeficientes de dilatación del hormigón

Tipo de agregado grueso	Coeficiente de dilatación $\times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Cuarzo	11.9
Arenisca	11.7
Grava	10.8
Granito	9.5
Basalto	8.6
Caliza	6.8

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023) en base a (AASHTO, 1993)

Rango de temperatura

En la provincia del Guayas durante el año 2023 la temperatura más alta fue de $32\text{ }^\circ\text{C}$., mientras que la más baja registrada fue de $21\text{ }^\circ\text{C}$. (Spark, 2023). Por lo tanto, la diferencia de la temperatura máxima y mínima es de $11\text{ }^\circ\text{C}$.

Coeficiente de retracción por secado

La Tabla 29 presenta los coeficientes de contracción del hormigón según su resistencia a la tracción, para este caso se debe interpolar entre los valores de 600 y 700 psi, ya que el módulo de rotura llega a 628.01 psi., por lo tanto, podemos asumir un valor de contracción en mm/mm de 0.0003.

Tabla 29. Valores de contracción del hormigón

Resistencia a la tracción psi	Contracción mm/mm
300	0.0008
400	0.0006
500	0.00045
600	0.0003
700	0.0002

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023) en base a (AASHTO, 1993)

Coeficiente de ajuste por fricción losa – base

La AASHTO93 establece que para bases granulares se debe asumir un valor de coeficiente de ajuste de 0.8.

Tipo de sellador

Se utilizará un sellador asfáltico que tiene como deformación admisible de 0.25 y un factor de forma de 1.0.

Resultados

Utilizando un software para el diseño de pavimentos rígidos, con las condiciones establecidas anteriormente se obtiene lo presente en la Ilustración 17.

Parámetro	Valor
Coeficiente de Expansión Térmica (10^{-6} mm/mm/°C)	10.8
Rango de Temperatura (°C)	11
Coeficiente de Retracción por Secado (mm/mm)	0.0003
Coeficiente de Ajuste por Fricción Losa/Base	0.8
Tipo de Sellador	Asfáltico
Deformación Admisible del Sellador (mm/mm)	0.25
Factor de Forma del Sellador	1
Apertura de la Junta (mm)	1.3
Ancho del Reservorio de Junta (mm)	5
Profundidad Mínima del Sello (mm)	5
Profundidad Mínima de Corte de Ampliación (mm)	15

Diagrama de la Junta:

- SELO
- ANCHO DEL RESERVORIO DE JUNTA
- TIRA DE RESPALDO (BAKER ROD)
- PROFUNDIDAD MINIMA DEL SELLO
- PROFUNDIDAD MINIMA DE CORTE DE AMPLIACION
- CORTE INICIAL
- APERTURA DE LA JUNTA

Ilustración 17. Cálculo del reservorio de juntas

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La apertura de la junta es 1.3 mm, se asumirá un valor de 2mm., el ancho de reservorio de junta es 5 mm., se asumirá un valor de 10 mm., la profundidad mínima del sello es 5 mm., se asumirá un

valor de 10mm., y la profundidad mínima de corte de ampliación es 15 mm., se asumirá un valor de 20mm.

Profundidad inicial de la junta

La profundidad inicial de las juntas longitudinales y transversales debe ser tal que se pueda asegurar que la fisura tendrá lugar en ese sitio, para lo cual se recomiendan los siguientes valores:

$$Junta transversal = \frac{1}{4}(\text{espesor de losa}) = \frac{130}{4} \approx 30 \text{ mm.}$$

$$Junta longitudinal = \frac{1}{3}(\text{espesor de losa}) = \frac{130}{3} \approx 40 \text{ mm.}$$

3.2. Especificaciones técnicas

En esta sección se detallan las especificaciones técnicas para el diseño de un pavimento rígido, cumpliendo con las normativas locales y requisitos específicos del proyecto, para ello en la Ilustración 18 se muestra un esquema del diseño realizado.

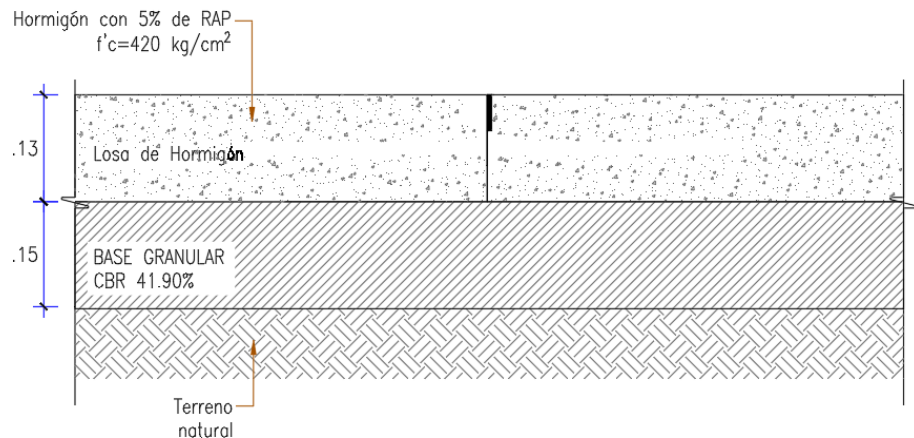


Ilustración 18. Esquema del Pavimento Rígido

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

El objetivo es proporcionar una guía completa que asegure la correcta construcción y funcionamiento del pavimento.

3.2.1. Adecuación del campamento

La medida de referencia será la unidad "U". El contratista es responsable de adaptar las instalaciones provisionales, como

campamentos, oficinas y accesorios interiores, así como proporcionar el servicio de energía eléctrica. Todas estas instalaciones deben ser desmontables. La ejecución de estas tareas requerirá la presencia de personal cualificado, incluyendo un maestro con experiencia en construcción, peones y albañiles.

3.2.2. Construcción del tramo

La unidad de medida establecida será el metro cuadrado “m²”. Antes de dar inicio al proceso constructivo, es necesario que la superficie esté nivelada de manera adecuada, que la subrasante cuente con el bombeo definido y que la base esté compactada de manera efectiva.

Se debe asegurar que los moldes y la armadura de la losa del pavimento estén correctamente ubicadas, antes de verter el hormigón se debe evaluar la resistencia a compresión del hormigón hidráulico con reemplazo del 5% de RAP, la resistencia esperada es de 42 MPa., la dosificación de este diseño por metro cúbico se encuentra en la sección 2.4.2.

En este sentido, se requerirá la participación del ingeniero civil a cargo para que realice los ensayos del hormigón y así como el personal calificado en la ejecución de la obra tales como maestro de obra, albañiles, asegurando así la correcta construcción del tramo. Se debe dar un acabado superficial rugoso para garantizar condiciones seguras y confortables para los usuarios.

Inmediatamente después del colado de la losa y se haya completado el proceso de acabado, se debe empezar con el curado, se sugiere regar abundantemente la superficie con agua limpia y potable. Para mantener la humedad, cubra la losa con una lona de polietileno, esteras de paja o algún material que ayude a retener la humedad y proteja la losa del sol y el viento. Se aconseja continuar con el proceso de curado hasta 14 días, es importante que evite aplicar agua directamente sobre la superficie si el sol es muy intenso, ya que podría resultar en una rápida evaporación y no ser efectivo.

Para realizar las juntas se debe considerar lo obtenido en la sección 3.1.13.4.

3.2.3. Equipos de protección básicos

La medida de referencia será la unidad "U". Todo el personal involucrado en las labores utilizará constantemente equipos de protección personal designados para cada tarea, como botas, guantes, cascos, protectores oculares y otros necesarios según la naturaleza de la obra. La obligatoriedad de utilizar estos equipos se extiende a todos los trabajadores presentes en el sitio de construcción.

3.2.4. Capacitación dirigida al personal sobre seguridad industrial y gestión ambiental

La medida de referencia será "días". Es requisito esencial que el Contratista cuente con un ingeniero especializado en seguridad y obras civiles. Este profesional se encargará de garantizar, a través de una o varias sesiones informativas, el adecuado empleo del equipo de protección. El objetivo es asegurar la seguridad de contratistas, trabajadores y visitantes ajenos al proyecto.

CAPÍTULO 4

4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1. Descripción del proyecto

Este estudio se enfoca en analizar la viabilidad de la incorporación de Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP) en la mezcla de hormigón hidráulico, con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas en el diseño del pavimento rígido. En la Sección 2.5.6, al seleccionar la alternativa óptima, se optó por el diseño B, que incorpora un 5% de RAP en las proporciones del agregado grueso. Este enfoque incluye indicadores de sostenibilidad y examina las propiedades del RAP en el hormigón, como su resistencia a la compresión y a la tensión, buscando así promover prácticas más sostenibles y eficientes en la construcción de pavimentos.

Este diseño se elige con el propósito de asegurar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 9, 11 y 12. Estos objetivos se centran en llevar a cabo proyectos de manera sinérgica con las necesidades humanas y la preservación del medio ambiente. Asimismo, buscan fomentar un equilibrio integral en la sociedad al impulsar la innovación en la industria de la construcción, promover la creación de ciudades y comunidades resilientes y sostenibles, y favorecer un consumo y producción responsable de los recursos disponibles.

En el ámbito de la construcción de carreteras, se destaca como uno de los principales focos de atención, debido a la manifestación de la contaminación a través de la extracción de los materiales para producir los agregados, las emisiones de CO₂ y consumo de combustibles fósiles asociados al transporte de estos.

En línea con los criterios de sostenibilidad en análisis, se propone una estrategia para mitigar el impacto ambiental, consistente en aprovechar el material asfáltico retirado localmente. Esto no solo contribuirá a reducir la contaminación asociada al transporte, sino que en mejorar las propiedades físicas del pavimento rígido para optimizar el diseño. El objetivo es asegurar su idoneidad en proyectos

viales a nivel local y global, destacando así un enfoque proactivo hacia la sostenibilidad y la eficiencia en la construcción de infraestructuras viales.

4.2. Línea base ambiental

4.2.1. Medio físico

4.2.1.1. Tipo de suelo

Los estudios de caracterización del suelo de la "Ruta del Cacao" realizados por Daniel Bucheli & Holger Sarmiento (2021) permitieron conocer el CBR, el cual tiene un valor inferior al 6%, esto se traduce a que la capacidad de soporte es relativamente baja.

4.2.1.2. Clima

La estación meteorológica más cercana a la "Ruta del Cacao" es la M1253, situada en Puerto Hondo. En la Ilustración 19 se presenta el gráfico de temperatura correspondiente a la "Ruta del Cacao", con datos recopilados durante el año 2022. Se destaca que la temperatura máxima osciló entre 31°C y 33°C, mientras que la temperatura nocturna se mantuvo en el rango de 20°C a 23°C.

En la Ilustración 20 se presenta el gráfico de precipitaciones correspondiente a la "Ruta del Cacao", basado en datos recolectados en el año 2022. Se destaca que los meses con una precipitación superior a 100 mm son de enero a abril, los meses que coinciden con la época de invierno, siendo febrero y marzo los más intensos con 303 mm y 209 mm de precipitación, respectivamente.

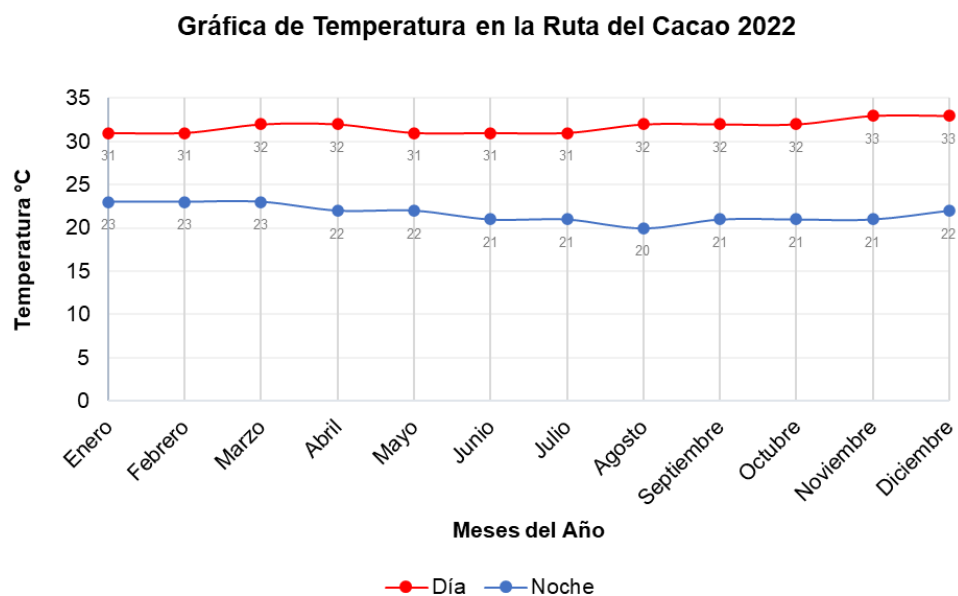


Ilustración 19. Gráfico de Temperatura en la Ruta del Cacao 2022

Fuente: Basado en (Web&Media, 2023)

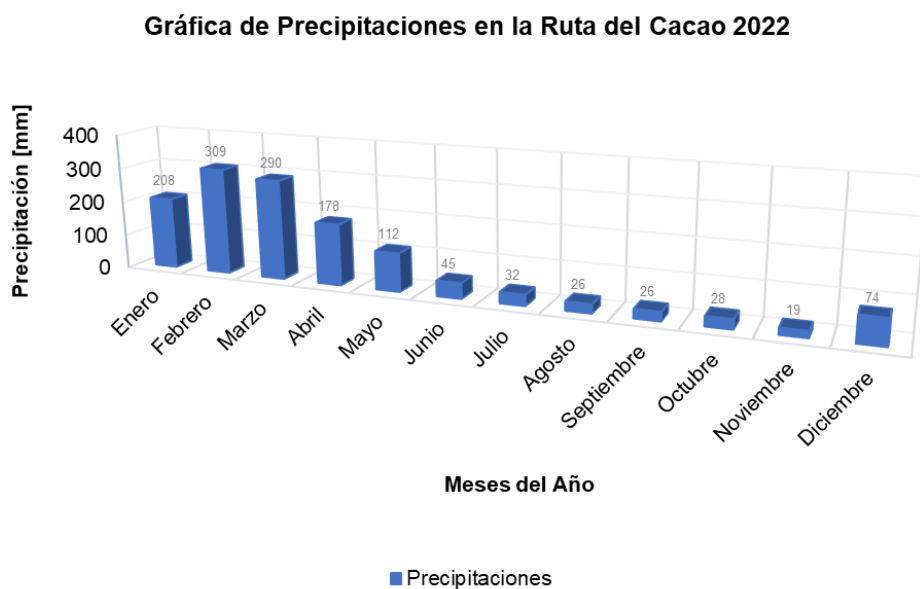


Ilustración 20. Gráfico de Precipitaciones en la Ruta del Cacao 2022

Fuente: Basado en (Web&Media, 2023)

4.2.1.3. Aire

La calidad del aire en la zona de la "Ruta del Cacao" se sitúa en 15 ICA (AccuWeather, 2020). El término "ICA" hace referencia al "Índice de Calidad del Aire", una medida estandarizada empleada para comunicar el nivel de calidad del aire en una ubicación específica (Área Metropolitana Valle de Aburrá, 2023). En el presente caso, el objeto bajo estudio se sitúa en la categoría "Buena", lo que implica que la calidad del aire es satisfactoria, y el riesgo para la salud es mínimo o nulo.



Ilustración 21. Índice de Calidad del Aire

Fuente: (Chicojay Morales, 2022)

4.2.1.4. Hidrología

El embalse superficial de Chongón, que abarca una superficie de 2.283 hectáreas y cuenta con una capacidad hídrica de 280 millones de metros cúbicos, se nutre principalmente de las aguas provenientes de la represa Daule – Peripa desde 1994, según Fundación Natura (1995). La investigación realizada por Bedoya (2014) menciona que su mantenimiento se realiza mediante bombeos periódicos, las precipitaciones pluviométricas y el aporte de los ríos estacionales Chongón y Río Perdido.

Cabe destacar que la falta de estaciones hidrológicas en la zona donde se encuentra la Ruta del Cacao limita la disponibilidad de información hidrológica debido a que cuenta con quebradas estacionarias.

4.2.2. Medio biótico

4.2.2.1. Fauna

El área es hogar de diversos representantes de la fauna de manglar, incluyendo aves, mamíferos, reptiles y anfibios, así como vertebrados acuáticos, algunos artrópodos como crustáceos, arácnidos e insectos, y moluscos. La fauna incluye reptiles como lagartijas y algunas serpientes, mientras que los anfibios están representados por el sapo de caña (Almeida, Zambrano, & Apollo, 2008).

4.2.2.2. Flora

Situado en un bosque tropical seco que alberga Arborea Seca, este entorno destaca por la presencia predominante de especies vegetales como cascol, lurel, gauachapeli, ceibo, bototillo, guayacán, pechiche, stevia y el arbusto moyuyo. Es relevante mencionar que la zona ha experimentado una considerable intervención humana, resultando en la sustitución de la mayoría de las especies vegetales por cultivos, pastizales o especies pioneras (Almeida, Zambrano, & Apollo, 2008).

4.3. Actividades del proyecto

El proyecto abarca diversas etapas, comenzando con la extracción controlada de áridos, para lo cual se requerirá el uso de equipos profesionales especializados en el ámbito minero, asegurándose de cumplir con las regulaciones impuestas por las autoridades competentes. Posteriormente, se llevará a cabo la obtención del material de pavimento asfáltico reciclado (RAP).

La siguiente fase se centra en el tratamiento de los agregados, incluyendo procesos como trituración y caracterización para prepararlos adecuadamente y garantizar su idoneidad en la mezcla. Aquí, se aplicarán técnicas específicas para asegurar la calidad y las propiedades necesarias de los materiales.

Un aspecto crucial del proyecto involucra el diseño del hormigón hidráulico, donde se incorporará el 5% de RAP, además de otros materiales y componentes esenciales. Este diseño se realizará cuidadosamente para asegurar no solo la

resistencia y durabilidad requeridas, sino también para destacar la sostenibilidad del pavimento resultante.

Finalmente, el proyecto llegará a su aplicación práctica, que se materializará en la construcción de pavimento rígido utilizando la mezcla diseñada. Este proceso completa el ciclo del proyecto, desde la extracción de materias primas hasta la implementación de la infraestructura vial, siguiendo estándares y prácticas que promueven la eficiencia y sostenibilidad.

4.4. Identificación de impactos ambientales

En la Tabla 30 se presentan los impactos ambientales identificados considerados según las etapas definidas del proyecto que se contemplan en la sección 4.3.

Tabla 30. Identificación de impactos ambientales de las etapas del proyecto

Etapa	Actividad	Impacto Identificado
Obtención de los agregados	<i>Extracción de los áridos</i>	Los impactos identificados en esta actividad son: la deforestación, erosión del suelo, impacto visual, alteración de la dinámica de los procesos naturales, generación de vibraciones y ruido, así como la contaminación del aire.
	<i>Obtención del RAP</i>	Al momento de remover la carpeta asfáltica de un pavimento, proceso conocido como fresado, los impactos identificados son: consumo de recursos y energía, emisión de polvo, ruido y vibraciones y la alteración del tráfico.
	<i>Transporte interno</i>	Los impactos identificados en esta actividad son: uso de combustible y contaminación del aire.
Preparación de los agregados	<i>Trituración</i>	Los impactos identificados son: vibración y ruido.
	<i>Caracterización</i>	Los impactos identificados en esta actividad son: uso de energía.
Diseño del hormigón con RAP	<i>Realización del hormigón</i>	Los impactos identificados en estas actividades son uso de agua, uso de cementos y químicos como los aditivos y uso de energía.
	<i>Ensayos Mecánicos</i>	

Aplicación en la Ruta del Cacao

Diseño de la carretera

A pesar de que no se contempla la construcción de la carretera en este proyecto, los impactos identificados en esta actividad son: contaminación del aire, ruido y vibraciones, cambios en el uso de suelo y fragmentación del paisaje.

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

Tras la identificación de los impactos ambientales en el proyecto, se procede a su clasificación y análisis individual. Se lleva a cabo la evaluación de diversos parámetros, que incluyen su naturaleza, duración, temporalidad (si son de corto o largo plazo), así como la viabilidad de reversión o recuperación. Este análisis tiene como finalidad determinar el grado de criticidad de cada impacto.

La información detallada se encuentra presentada en la Tabla 31 para una referencia concisa.

Tabla 31. Revisión de Impactos Ambientales

	Carácter		Duración		En el tiempo		Espacio		Reversible	Irreversible	Recuperable	Irrecuperable	Juicio
	Beneficio	Negativo	Temporal	Permanente	Corto Plazo	Largo Plazo	Local	Extenso					
Alteración del tráfico		x	x		x		x		x		x		No significativo
Alteración del habitat		x		x		x		x		x		x	Crítico
Calidad del aire		x		x		x		x	x		x		Severo
Deforestación		x		x	x		x			x	x		Crítico
Impacto visual		x		x	x			x		x	x		Moderado
Pérdida de vegetación		x		x		x		x		x	x		Severo
Uso de agua		x		x	x		x			x		x	Moderado
Uso de combustibles		x		x	x		x			x		x	No significativo
Uso de energía		x		x	x		x			x	x		No significativo
Uso de químicos		x		x	x		x			x	x		No significativo
Vibraciones y Ruidos		x		x	x		x			x	x		Severo

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La matriz de Leopold facilita analizar la relación entre las acciones que originan un impacto ambiental y los componentes del ecosistema que podrían verse afectados. Dentro de los cuadros de la matriz, se analiza la magnitud e importancia de estas interacciones, la Ilustración 22 representa el casillero de evaluación en la Matriz de Leopold (Leopold, Clarke, Hanshaw, & Balsley, 1971).

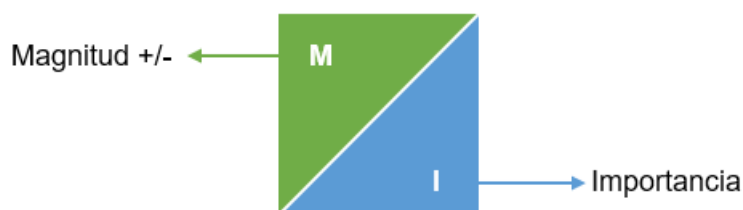


Ilustración 22. Casillero en la Matriz de Leopold

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La matriz de Leopold correspondiente a este proyecto se presenta en la Tabla 32, ofreciendo una representación más clara de la relación causa-efecto de las actividades. La magnitud se clasifica en niveles de grande con una valoración de 10 puntos, mediano con 5 puntos y pequeño con 1 punto, con la posibilidad de asignar un valor negativo si la actividad tiene un impacto positivo en algún aspecto. La importancia se evalúa según una escala que abarca desde nada importante con un puntaje de 1 punto y muy importante con un puntaje de 2 puntos

Tabla 32. Matriz de Leopold

Matriz de Leopold			Obtención de los agregados			Preparación de los agregados		Diseño del hormigón con RAP		Aplicación			
			Extracción de los áridos	Obtención del RAP	Transporte Interno	Trituración	Caracterización	Realización del hormigón	Ensayos mecánicos	Diseño de la carretera	M	I	Total
Medio Físico	Suelo	Pérdida de propiedades del suelo	5 2							5 1	10	3	13
	Clima	Alteración de las condiciones climáticas	5 2		5 2					5 2	15	6	21
	Aire	Contaminación del aire y ondas sonoras	5 2	5 1	5 2						15	5	20
	Hidrología	Uso de agua y contaminación						5 2	1 2	5 2	11	6	17
Medio Biótico	Fauna	Alteración de la vegetación	10 2							10 2	20	4	24
	Flora	Alteración de la vida animal	10 2								10	2	12
Actividad Humana	Cambio en la infraestructura	Construcción del pavimento rígido que utiliza RAP	5 1	1 1						-10 2	-4	4	0
M			40	6	10	0	0	5	1	15	77		
I			11	2	4	0	0	2	2	9		30	
Total			51	8	14	0	0	7	3	24			107

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

A partir de los resultados de la matriz, se evidencia que la extracción minera de áridos y el diseño de la carretera son las actividades que generan el mayor impacto ambiental, afectando tanto al medio físico como al biótico. Este impacto se manifiesta de manera global, con constantes perjuicios al entorno, incluyendo contaminación sonora y alteración de la vegetación local.

Con el objetivo de abordar estos impactos, el proyecto busca también mitigar la extracción minera de áridos, sustituyendo parcialmente el agregado grueso en la losa de hormigón del pavimento con RAP. Esta estrategia se alinea con el ODS 12, promoviendo un uso eficiente de los recursos naturales, fomentando el reciclaje y adoptando prácticas sostenibles. Además, al incorporar RAP en el diseño del pavimento rígido, el proyecto contribuye al ODS 11. Este enfoque no solo aumenta la resistencia a la flexión del pavimento, un factor clave en su diseño, sino que también optimiza las propiedades del pavimento, mejorando la eficiencia y reduciendo la necesidad de mantenimiento. Este impacto positivo se alinea también con el ODS 9, ya que se desarrollan infraestructuras de calidad, sostenibles y resilientes, lo que se traduce en una mayor durabilidad del pavimento y menores requerimientos de reparación a lo largo del tiempo.

4.5. Valoración de impactos ambientales

De acuerdo con López (2013), la evaluación de los impactos ambientales se realiza tanto cualitativa como cuantitativamente. Esta aproximación posibilita comprender el índice de impacto y sus atributos, incluida la capacidad para calcular la magnitud presente en el proyecto. Uno de los métodos para la valoración cuantitativa propone la aplicación de la fórmula del índice total de impacto, la cual es:

$$IT = ((M \times T + O) + (E \times D)) \times R \times S$$

En donde:

E, es la extensión y se califica con los siguientes parámetros: Puntual (1 punto), Media (3 puntos) y Amplia (5 puntos).

D, es la distribución y se califica con los siguientes parámetros: Puntual (0.5 puntos), Continua (1 punto).

O, es la oportunidad y se califica con los siguientes parámetros: Oportunas (1 punto), Inoportunas (2 puntos).

T, es la temporalidad y se califica con los siguientes parámetros: Oportunas (1 punto), Inoportunas (2 puntos).

R, es la reversibilidad y se califica con los siguientes parámetros: Reversible (1 punto), Irreversible (2 puntos).

S, es el signo y se califica con los siguientes parámetros: Positivo (1 punto), Negativo (-1 punto).

M, es la magnitud y se califica con los siguientes parámetros: Baja (1 punto), Media (2 puntos) y Alta (3 puntos).

La Tabla 33 muestra la matriz del índice total de impacto de cada una de las actividades contempladas en este proyecto.

Tabla 33. Matriz del Índice Total de Impacto de las Actividades del Proyecto

Acción		Alteración del tráfico	Alteración del habitat	Calidad del aire	Deforestación	Impacto visual	Pérdida de vegetación	Uso de agua	Uso de combustibles	Uso de energía	Uso de químicos	Vibraciones y Ruidos
COD	Característica	Puntaje										
E	Extensión	1	5	3	5	5	3	1	1	1	1	5
D	Distribución	1	1	1	1	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	1
O	Oportunidad	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2
T	Temporalidad	2	2	1	2	0.5	2	0.5	0.5	0.5	0.5	1
R	Reversibilidad	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1
S	Signo	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1
M	Magnitud	3	3	1	3	3	3	1	1	1	1	3
IT	Índice total de Impacto ((M x T + O)+(E x D)) x R x S	8	26	6	12	12	22	3	-4	2	-2	10

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

En base a los resultados obtenidos es posible valorar en función al índice total de impacto: nivel crítico, se encuentra entre los 30 a 50 puntos, el nivel severo se encuentra entre 15 y 30 puntos, el nivel moderado se encuentra entre 5 y 15 puntos, el nivel compatible es menor a 5 puntos.

En conclusión, se puede afirmar que las actividades que generan un impacto severo están vinculadas principalmente a la extracción minera e incluso al diseño de la infraestructura vial como es el proceso de remoción de tierra y nivelado de terreno, mientras que el diseño de pavimento que incorpora RAP no posee un impacto negativo. Por otro lado, las acciones positivas se centran en la utilización eficiente de los recursos para la obtención del pavimento. Con un adecuado manejo de estos y proporciones apropiadas, se sigue promoviendo la sostenibilidad en el diseño.

4.6. Medidas de prevención/mitigación

En esta sección se proponen medidas de prevención o mitigación para minimizar los impactos ambientales que están asociados al proyecto.

Se recomienda la implementación de un sistema de monitoreo ambiental continuo para evaluar la calidad del aire, agua y suelo en las fases críticas del proyecto. La extracción de recursos naturales debe ser planificada estratégicamente para minimizar la degradación del suelo y la vegetación, reduciendo los riesgos de erosión y posibles derrumbes. Se sugiere considerar la ejecución de programas de reforestación y restauración en las áreas afectadas para mitigar la pérdida de hábitat y mejorar la biodiversidad.

Además, es fundamental garantizar que las maquinarias, equipos y herramientas utilizados durante el proyecto estén en condiciones óptimas. Se deben establecer planes alternativos en caso de daños o inoperatividad de algún equipo, y se debe programar mantenimientos preventivos para evitar posibles fallas. Es importante priorizar el uso de maquinaria respetuosa con el medio ambiente, con un menor consumo de energía y combustible, menor emisión de contaminantes y niveles de vibración y ruido reducidos.

Se recomienda la implementación de un plan integral para la gestión de residuos generados en los diversos procesos, asegurando un tratamiento adecuado. Este plan busca identificar los materiales que pueden ser reutilizados o reciclados, con especial énfasis en evitar que ninguno de estos residuos cause perjuicio o alteración en el ecosistema circundante.

Es esencial examinar la literatura relevante antes de llevar a cabo cada actividad descrita. Se debe comprender a fondo cada guía, manual, reglamento, normativa, regulación y permiso vigente. Además, es crucial facilitar el acceso a estos documentos para los miembros del equipo, garantizando que puedan revisarlos de manera oportuna en cualquier momento. Resulta indispensable contar con un personal seleccionado según el perfil más idóneo para llevar a cabo cada actividad.

Garantizar la salud y seguridad laboral en todas las actividades implica que se solicite al personal el uso de equipos de protección personal, como cascos, botas con punta de acero, chalecos reflectivos, gafas, mascarillas y guantes. Hay que asegurarse en todo momento de que el nivel de riesgo sea mínimo y controlado, evitando exponer a cualquier miembro del equipo a situaciones peligrosas. Para lograr esto, resulta necesario capacitar a todos los involucrados en aspectos de seguridad en la construcción, salud ocupacional e incluso bienestar mental. Cada persona debe estar plenamente consciente de mantener un equilibrio a lo largo de todas las etapas del proyecto.

CAPÍTULO 5

5. PRESUPUESTO

5.1. Estructura desglosada de trabajo

En esta sección, se presenta el desglose de trabajo abordando los diversos niveles de dependencia y codependencias involucrados, la ruta del trabajo que se debe seguir para contar con una mezcla óptima y la aplicabilidad del diseño del pavimento rígido donde se emplea RAP como sustituto del agregado grueso.

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

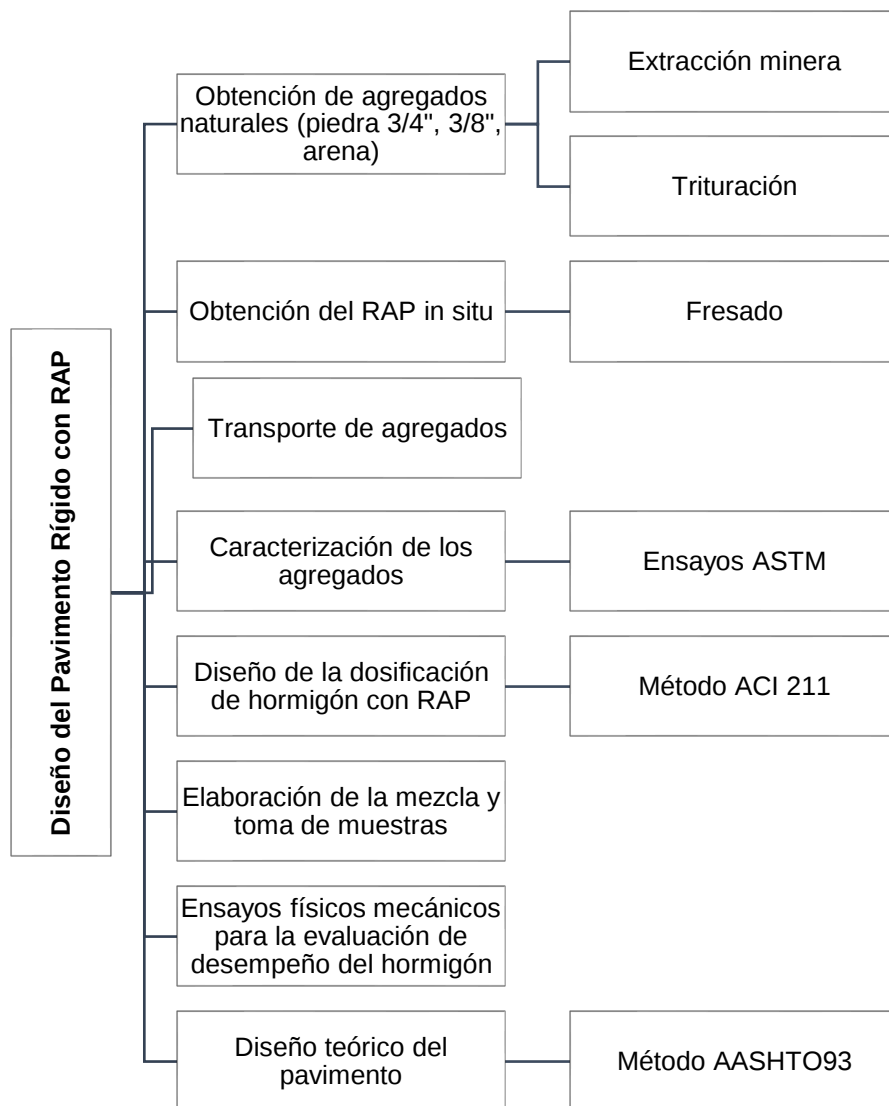


Ilustración 23. Estructura desglosada del trabajo del diseño de un pavimento rígido con RAP como sustituto del agregado grueso

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** desglosa el proceso de las actividades necesarias para el diseño de un pavimento rígido que utiliza RAP como sustituto del agregado grueso. Este proceso inicia con la obtención de materiales, seguido de la caracterización, diseño y elaboración de la mezcla. Posteriormente, se llevan a cabo ensayos mecánicos para evaluar el desempeño del hormigón, y se procede con el diseño teórico del pavimento. Todo este procedimiento se realiza considerando la metodología, guía o normativa aplicada correspondiente.

La

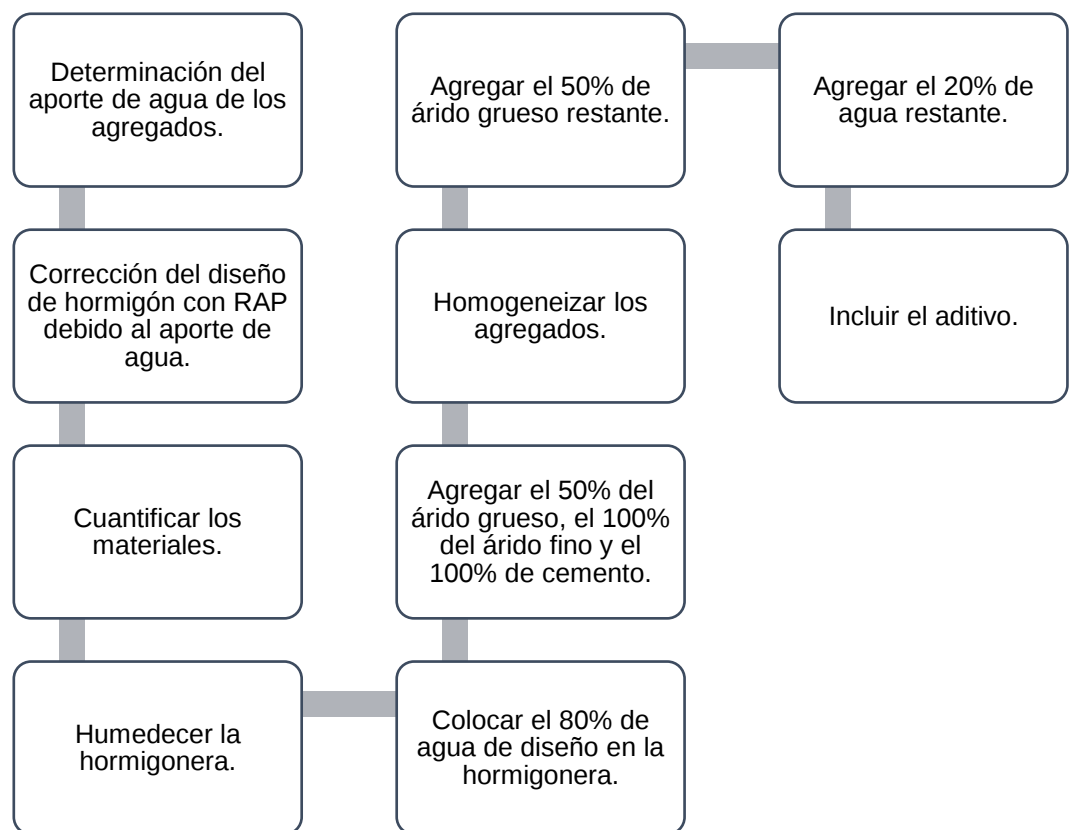


Ilustración 24 muestra la secuencia para la elaboración de la mezcla del hormigón con RAP.

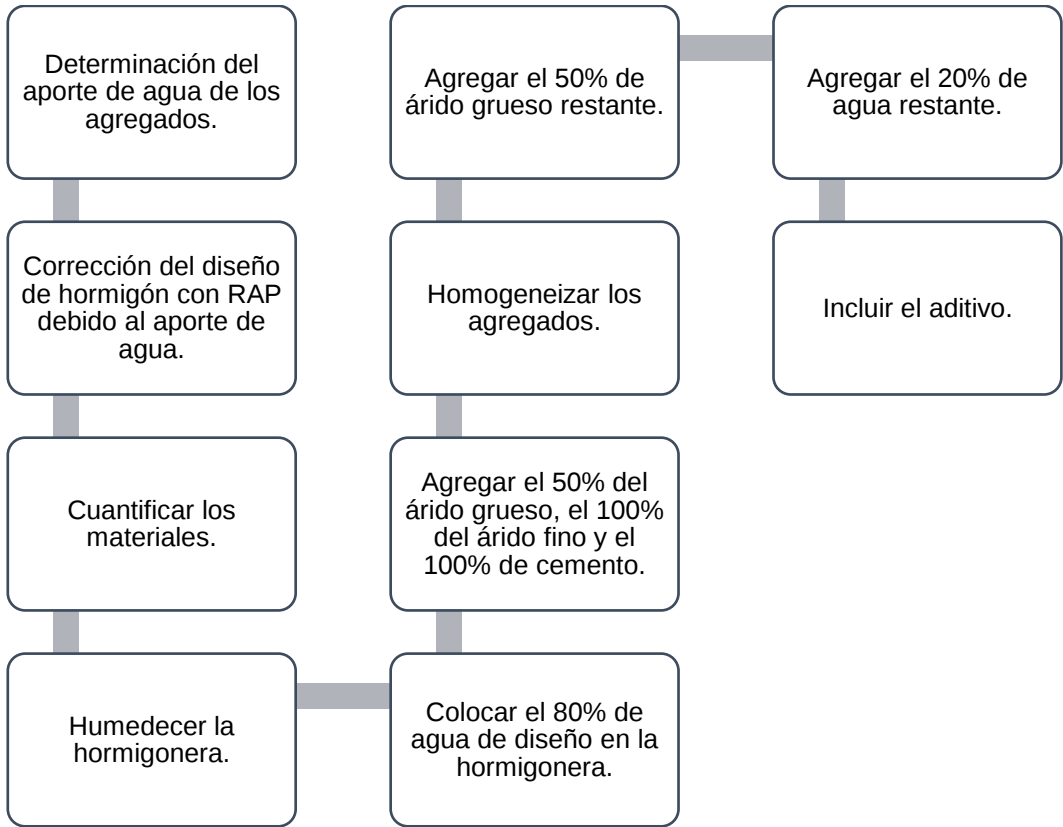


Ilustración 24. Estructura desglosada del trabajo de la elaboración de la mezcla del hormigón con RAP.

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La Ilustración 25 muestra de manera detallada la estructura del desglose del trabajo necesario para llevar a cabo la implementación del hormigón hidráulico con RAP en la construcción del pavimento rígido destinado a la Ruta del Cacao.

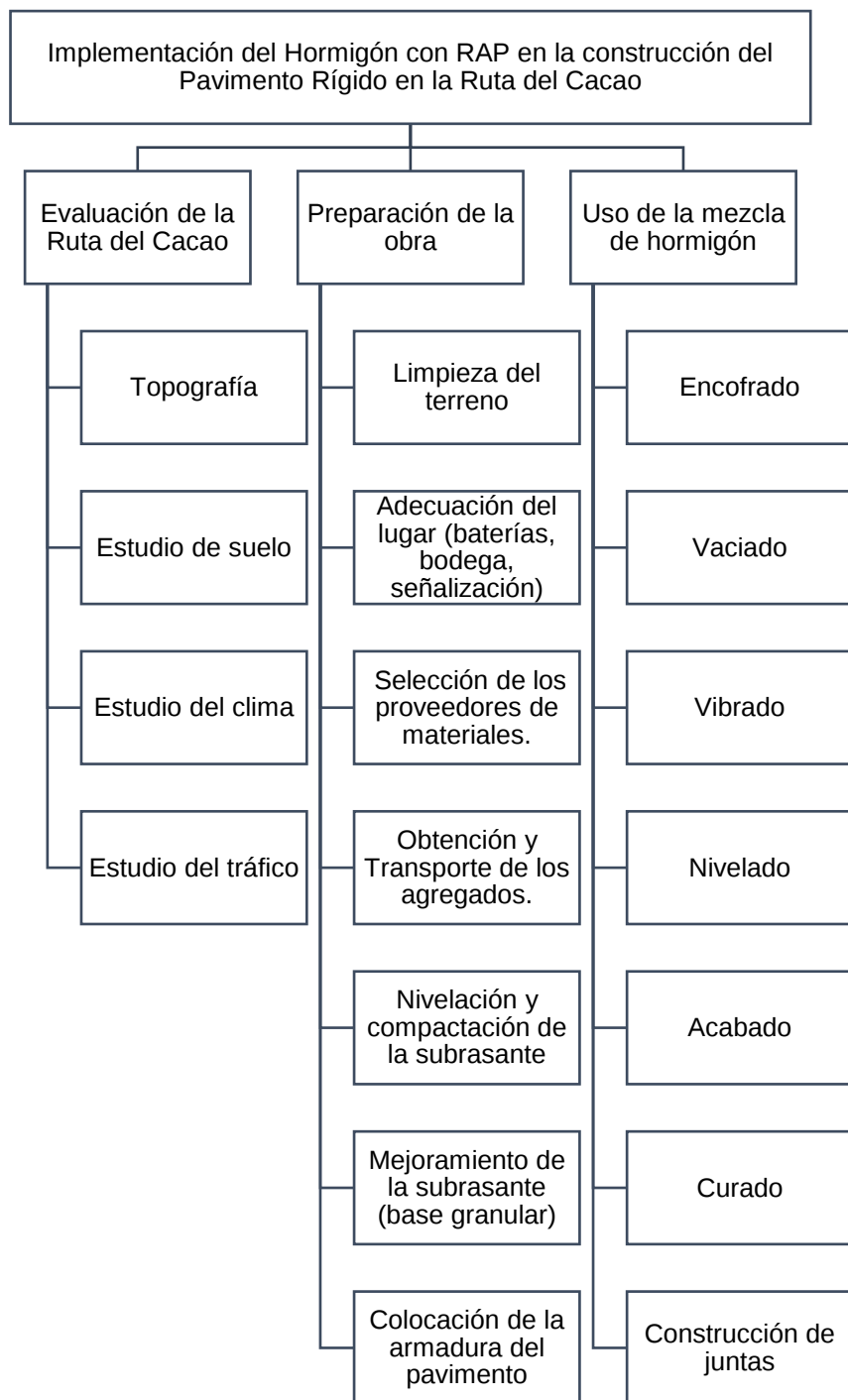


Ilustración 25. Estructura desglosada de la aplicación del hormigón con RAP en la construcción del pavimento rígido propuesto para la Ruta del Cacao.

5.2. Rubro y análisis de precios unitarios

En esta sección, se presentan tres rubros para llevar a cabo el proyecto, los cuales se detallan en la Ilustración 26.

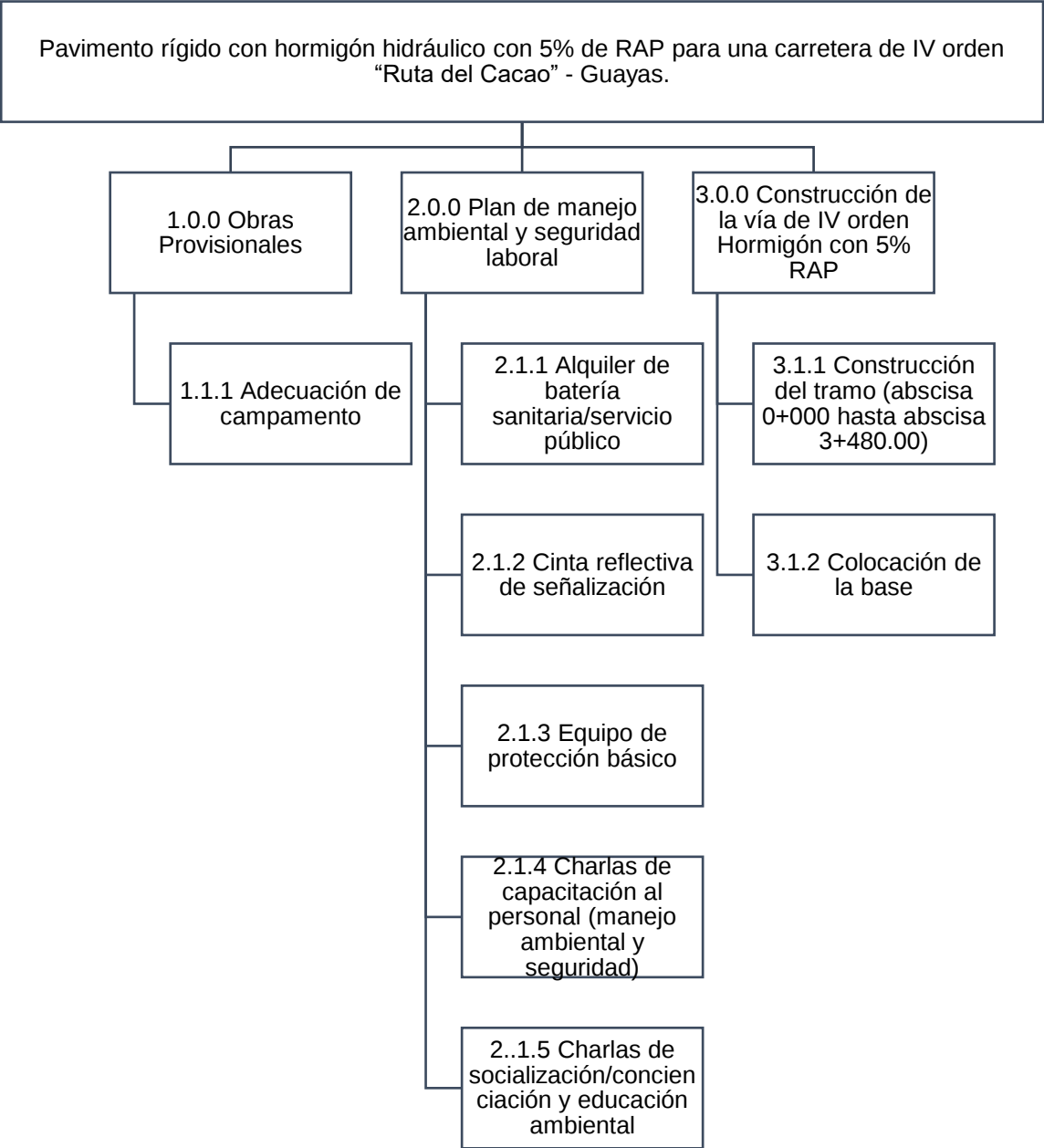


Ilustración 26. Rubros del Proyecto

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

5.3. Descripción de cantidades de obras

El análisis de precios unitarios se muestra a continuación:

La Ilustración 27 describe las cantidades, tarifas, costos por hora, rendimiento y costos totales asociados con los equipos, la mano de obra y los materiales necesarios para la adecuación del campamento. El presupuesto estimado por unidad, sin incluir IVA es aproximadamente 1,180.00 USD.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: ADECUACIÓN DE CAMPAMENTO			UNIDAD: u		
DETALLE:					
CÓDIGO: 1.1.1					
A.- EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
Concretera 1 saco	1,000	\$ 4,00	\$ 4,00	5,036830	\$ 20,147
SUBTOTAL M					\$ 20,147
B.- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
Peón	2,000	\$ 3,60	\$ 7,20	5,036830	\$ 36,265
Albañil	3,000	\$ 3,64	\$ 10,92	5,036830	\$ 55,002
Maestro mayor ejecución obras civiles	1,000	\$ 4,04	\$ 4,04	5,036830	\$ 20,349
SUBTOTAL N					\$ 111,616
C.- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A X B	
Tiras 2.5x2.5x2.50m	u	36,000	1,3000	\$	46,800
Cuartón de mandera de 4x4cm	u	12,000	2,75	\$	33,000
Clavos de 2 1/2"	kg	3,000	2,5500	\$	7,650
Alambre galvanizado No. 18	kg	2,000	2,2000	\$	4,400
Cemento Portland I	saco	35,000	8,0000	\$	280,000
Arena	m3	3,200	13,6000	\$	43,520
Piedra 3/4	m3	3,680	14,5500	\$	53,544
Agua	m3	6,000	2,0400	\$	12,240
Malla electrosoldada (15x15x4.5m)	m2	72,000	2,9600	\$	213,120
Planchas de zinc L=3.60m	u	24,000	7,85	\$	188,400
SUBTOTAL O					\$ 882,674
D.- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A X B	
SUBTOTAL P					\$ -
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				\$	1.014,437
INDIRECTOS %				15%	\$ 152,166
UTILIDAD %				1%	\$ 11,666
COSTO TOTAL DEL RUBRO				\$	1.178,269
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					
GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023					
SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA			SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN		
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL					

Ilustración 27. Análisis de precios unitarios en la adecuación del campamento

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La Ilustración 28 describe las cantidades, tarifas, costos por hora, rendimiento y costos totales asociados con los equipos y la mano de obra necesarios para el alquiler de las baterías sanitarias. El presupuesto estimado por unidad, sin incluir IVA es aproximadamente 114.00 USD.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: ALQUILER DE BATERÍA SANITARIA			UNIDAD: u		
DETALLE:					
CÓDIGO: 2.1.1					
A.- EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
Baterías Sanitarias Portátiles	1	\$ 126,00	\$ 126,00	0,731800	\$ 92,207
SUBTOTAL M					\$ 92,207
B.- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
Peón	2	\$ 3,60	\$ 7,20	0,731800	\$ 5,269
SUBTOTAL N					\$ 5,269
C.- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A X B	
SUBTOTAL O					\$ -
D.- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A X B	
SUBTOTAL P					\$ -
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		
			INDIRECTOS %	15%	\$ 14,621
			UTILIDAD %	1%	\$ 1,121
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$ 113,22
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					
GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023					
SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA			SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN		
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL					

Ilustración 28. Análisis de precios unitarios de alquiler de baterías sanitarias

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La Ilustración 29 describe las cantidades, precios unitarios y costos totales asociados con los materiales necesarios para colocar cinta reflectiva de señalización. El presupuesto estimado por metro lineal, sin incluir IVA es aproximadamente 0.25 USD.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: CINTA REFLECTIVA DE SEÑALIZACIÓN			UNIDAD: ml		
DETALLE:					
CÓDIGO: 2.1.2					
A.- EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
SUBTOTAL M					\$ -
B.- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
SUBTOTAL N					\$ -
C.- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A X B	
Cinta Reflectiva 3" x 200 ft	UNIDAD	1,000	\$ 0,18	\$ 0,180	
SUBTOTAL O					\$ 0,180
D.- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A X B	
SUBTOTAL P					\$ -
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$	0,180
		INDIRECTOS %		15%	\$ 0,027
		UTILIDAD %		1%	\$ 0,002
		COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$	0,21
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					
GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023					
SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA			SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN		
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL					

Ilustración 29. Análisis de precios unitarios de cintas reflectivas de señalización

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La Ilustración 30 describe las cantidades, precios unitarios y costos totales asociados con los materiales necesarios para los equipos de protección de seguridad básicos. El presupuesto estimado por unidad, sin incluir IVA es aproximadamente 30.00 USD.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: EQUIPO DE PROTECCIÓN BÁSICO			UNIDAD: u		
DETALLE:					
CÓDIGO: 2.1.3					
A.- EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
SUBTOTAL M					\$ -
B.- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
SUBTOTAL N					\$ -
C.- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A X B	
Casco	u	1	\$ 5,50	\$ 5,500	
Mascarilla Descartable	u	1	\$ 0,22	\$ 0,220	
Chaleco Reflectivo	u	1	\$ 4,00	\$ 4,000	
Gafas Industriales	u	1	\$ 1,00	\$ 1,000	
Botas de Caucho	par	1	\$ 8,00	\$ 8,000	
Guantes	par	1	\$ 3,40	\$ 3,400	
Tapon Auricular	par	1	\$ 2,10	\$ 2,100	
SUBTOTAL O					\$ 24,22
D.- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A X B	
SUBTOTAL P					\$ -
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$	24,220
		INDIRECTOS %		15%	\$ 3,633
		UTILIDAD %		1%	\$ 0,279
		COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$	28,13
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					
GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023					
SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA			SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN		
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL					

Ilustración 30. Análisis de precios unitarios de equipos de protección

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La Ilustración 31 describe las cantidades, el precio por hora, rendimiento y costo total para llevar a cabo las charlas de capacitación al personal en temas de manejo ambiental y seguridad. El presupuesto estimado por día, sin incluir IVA es aproximadamente 435.00 USD.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: CHARLAS DE CAPACITACIÓN AL PERSONAL (MANEJO AMBIENTAL Y SEGURIDAD)			UNIDAD: días		
DETALLE:					
CÓDIGO: 2.1.4					
A.- EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
SUBTOTAL M					\$ -
B.- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
Técnico de obras civiles	2	\$ 4,20	\$ 8,40	44,563000	\$ 374,329
SUBTOTAL N					\$ 374,329
C.- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A X B	
SUBTOTAL O					\$ -
D.- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A X B	
SUBTOTAL P					\$ -
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$ 374,329
			INDIRECTOS %	15%	\$ 56,149
			UTILIDAD %	1%	\$ 4,305
			COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$ 434,78
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					
GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023					
SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA			SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN		
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL					

Ilustración 31. Análisis de precios unitarios de charlas de capacitación al personal (manejo ambiental y seguridad)

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La Ilustración 32 describe las cantidades, el precio por hora, rendimiento y costo total para llevar a cabo las charlas de socialización/concienciación y educación ambiental. El presupuesto estimado por día, sin incluir IVA es aproximadamente 11.00 USD.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS																					
RUBRO: CHARLAS DE SOCIALIZACIÓN/CONCIENCIACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL			UNIDAD: días																		
DETALLE:																					
CÓDIGO: 2.1.5																					
A.- EQUIPOS																					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO																
	A	B	C = A X B	R	D = C X R																
SUBTOTAL M					\$ -																
B.- MANO DE OBRA																					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO																
	A	B	C = A X B	R	D = C X R																
Capacitador	1,000	\$ 4,40	\$ 4,40	1,160000	\$ 5,104																
Ayudante	1,000	\$ 3,70	\$ 3,70	1,160000	\$ 4,292																
SUBTOTAL N					\$ 9,396																
C.- MATERIALES																					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO																	
		A	B	C = A X B																	
SUBTOTAL O					\$ -																
D.- TRANSPORTE																					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO																	
		A	B	C = A X B																	
SUBTOTAL P					\$ -																
<table><tr><td>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</td><td></td><td>\$</td><td>9,396</td></tr><tr><td>INDIRECTOS %</td><td>15%</td><td>\$</td><td>1,409</td></tr><tr><td>UTILIDAD %</td><td>1%</td><td>\$</td><td>0,108</td></tr><tr><td>COSTO TOTAL DEL RUBRO</td><td></td><td>\$</td><td>10,91</td></tr></table>						TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$	9,396	INDIRECTOS %	15%	\$	1,409	UTILIDAD %	1%	\$	0,108	COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$	10,91
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		\$	9,396																		
INDIRECTOS %	15%	\$	1,409																		
UTILIDAD %	1%	\$	0,108																		
COSTO TOTAL DEL RUBRO		\$	10,91																		
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA																					
GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023																					
SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA			SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN																		
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL																					

Ilustración 32. Análisis de precios unitarios de charlas de socialización/concienciación y educación ambiental

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La Ilustración 33 describe las cantidades, tarifas, rendimiento, el precio por hora y costo total de los equipos, mano de obra, materiales y transporte para llevar a cabo la construcción de la losa de hormigón con RAP del tramo. El presupuesto estimado por m³, sin incluir IVA es aproximadamente 216.00 USD.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
RUBRO: CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO			UNIDAD: m3			
DETALLE:		Espesor de la losa (m)		0,13		
		Utiliza el 5% de RAP la losa de hormigón				
CÓDIGO: 3.1.1						
A.- EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A X B	R	D = C X R	
Regla Vibradora	1	\$ 15,00	\$ 15,00	0,010810	\$ 0,162	
Cortadora de Juntas	1	\$ 72,00	\$ 72,00	0,010810	\$ 0,778	
Vibradores de inmersión	2	\$ 33,00	\$ 66,00	0,010810	\$ 0,713	
SUBTOTAL M					\$ 1,654	
B.- MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C = A X B	R	D = C X R	
Peón	5	\$ 3,60	\$ 18,00	0,010810	\$ 0,195	
Albañil	3	\$ 3,64	\$ 10,92	0,010810	\$ 0,118	
Maestro mayor ejecución obras civiles	1	\$ 4,04	\$ 4,04	0,010810	\$ 0,044	
Fierrero	1	\$ 3,95	\$ 3,95	0,010810	\$ 0,043	
SUBTOTAL N					\$ 0,399	
C.- MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO		
		A	B	C = A X B		
CementoTipo GU	kg	360,00	\$ 0,340	\$ 122,400		
Agua	kg	150,00	\$ 0,010	\$ 1,500		
Piedra 3/4"	kg	825,55	\$ 0,016	\$ 13,209		
Piedra 3/8"	kg	207,10	\$ 0,018	\$ 3,728		
Arena	kg	896,00	\$ 0,010	\$ 8,960		
RAP Triturado	kg	54,00	\$ 0,002	\$ 0,108		
Aditivo	kg	3,600	\$ 0,02	\$ 0,054		
Acero de refuerzo FY=4200kg/cm2	kg	20,000	\$ 1,68	\$ 33,600		
SUBTOTAL O					\$ 183,559	
D.- TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
		A	B	C = A X B		
14 días de curado	Glb	1	\$ 0,06	\$ 0,060		
SUBTOTAL P					\$ 0,060	
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			\$ 185,672	
		INDIRECTOS %		15%	\$ 27,851	
		UTILIDAD %		1%	\$ 2,135	
		COSTO TOTAL DEL RUBRO			\$ 215,66	
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA						
GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023						
SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA			SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL						

Ilustración 33. Análisis de precios unitarios de la construcción de los tramos de la vía de IV orden

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La Ilustración 34 describe las cantidades, tarifas, rendimiento, el precio por hora y costo total de los equipos, mano de obra, materiales y transporte para llevar a cabo la colocación de la base clase 1 del tramo. El presupuesto estimado por m³, sin incluir IVA es aproximadamente 30.00 USD.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: COLOCACIÓN DE LA BASE			UNIDAD: m3		
DETALLE: Espesor de la base (m)			0,15		
CÓDIGO: 3.1.2					
A.- EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
Tractor - Esparcidor	1	\$ 70,00	\$ 70,00	0,010810	\$ 0,757
Motoniveladora	1	\$ 100,00	\$ 100,00	0,010810	\$ 1,081
Rodillo Liso	1	\$ 35,00	\$ 35,00	0,010810	\$ 0,378
Equipos de topografía	1	\$ 6,00	\$ 6,00	0,010810	\$ 0,065
SUBTOTAL M					\$ 2,281
B.- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A X B	R	D = C X R
Peón	5	\$ 3,60	\$ 18,00	0,010810	\$ 0,195
Albañil	3	\$ 3,64	\$ 10,92	0,010810	\$ 0,118
Maestro mayor ejecución obras civiles	1	\$ 4,04	\$ 4,04	0,010810	\$ 0,044
Operador de Tractor - Esparcidor	1	\$ 10,45	\$ 10,45	0,010810	\$ 0,113
Operador de Motoniveladora	1	\$ 10,45	\$ 10,45	0,010810	\$ 0,113
Operador Rodillo Liso	1	\$ 10,45	\$ 10,45	0,010810	\$ 0,113
Chofer licencia tipo D	1	\$ 8,36	\$ 8,36	0,010810	\$ 0,090
Topógrafo	1	\$ 11,31	\$ 11,31	0,010810	\$ 0,122
Cadenero	1	\$ 5,36	\$ 5,36	0,010810	\$ 0,058
SUBTOTAL N					\$ 0,966
C.- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A X B	
Base Clase 1	m3	1,000	\$ 19,82	\$ 19,820	
SUBTOTAL O					\$ 19,820
D.- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A X B	
Transporte Esparcidor	u	2	\$ 0,02	\$ 0,048	
Transporte Rodillo Liso	u	2	\$ 0,02	\$ 0,048	
Transporte Motoniveladora	u	2	\$ 0,02	\$ 0,048	
SUBTOTAL P					\$ 0,144
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				\$	23,211
INDIRECTOS %			15%	\$	3,482
UTILIDAD %			1%	\$	0,267
COSTO TOTAL DEL RUBRO				\$	26,96
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					
GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023					
SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA			SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN		
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL					

Ilustración 34. Análisis de precios unitarios de la colocación de la base tipo 1

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

5.4. Valoración integral del costo del proyecto

El costo total del proyecto, incluido el 12% de IVA es aproximadamente 630.000,00 USD. Esta cifra calculada considera las obras provisionales, el plan de manejo ambiental y seguridad laboral, así como la construcción de la vía de IV orden, utilizando una losa de hormigón hidráulico con un 5% de RAP.

En la Ilustración 35 se presentan las unidades, cantidades y precios de los rubros manejados en este proyecto.

PRESUPUESTO DE OBRA					
PROYECTO: Pavimento rígido con hormigón hidráulico con 5% de RAP para una carretera de IV orden "Ruta del Cacao" - Guayas.					
UBICACIÓN: Provincia del Guayas					
ESTUDIANTES: Sr. José Andrés Melena / Sr. Teylon Peñafiel Goyón					
TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES SY PRECIOS					
CÓDIGO	RUBRO/DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1.0.0	OBRAS PROVISIONALES				\$ 1.176,75
1.1.1	ADECUACIÓN DE CAMPAMENTO	u	1,00	\$ 1.176,75	\$ 1.176,75
2.0.0	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL Y SEGURIDAD LABORAL				\$ 1.173,44
2.1.1	ALQUILER DE BATERIA SANITARIA/SERVICIO PUBLICO	mes	2,0	\$ 113,22	\$ 226,44
2.1.2	CINTA REFLECTIVA DE SEÑALIZACIÓN	ml	1000,0	\$ 0,21	\$ 209,07
2.1.3	EQUIPO DE PROTECCIÓN BÁSICO	u	10,0	\$ 28,13	\$ 281,32
2.1.4	CHARLAS DE CAPACITACIÓN AL PERSONAL (MANEJO AMBIENTA Y SEGURIDAD)	días	1,0	\$ 434,78	\$ 434,78
2.1.5	CHARLAS DE SOCIALIZACIÓN/CONCIENCIACIÓN Y EDUCACIÓN AMBIENTAL	días	2,0	\$ 10,91	\$ 21,83
3.0.0	CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA DE IV ORDEN HORMIGÓN CON 5% RAP				\$ 558.180,73
3.1.1	CONSTRUCCIÓN DEL TRAMO LOSA HORMIGÓN (ABSCISA 0+000 HASTA ABSCISA 3+4800)	M3	2262,00	\$ 215,66	\$ 487.817,22
3.1.2	COLOCACIÓN DE LA BASE TIPO 1	M3	2610,00	\$ 26,96	\$ 70.363,51
				SUBTOTAL	\$ 560.530,92
				IVA 12%	\$ 67.263,71
				TOTAL	\$ 627.794,63

GUAYAQUIL, 29 DE DICIEMBRE DEL 2023

SR. JOSÉ ANDRÉS MELENA

SR. TEYLON PEÑAFIEL GOYÓN

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Ilustración 35. Costo total del proyecto

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

La característica de este proyecto es mejorar el rendimiento del pavimento rígido con la incorporación de RAP, y también lograr optimizar el costo del hormigón.

El precio total para realizar 1 m³ de hormigón que no incorpora RAP y considera precios de transporte es de aproximadamente 157.00 USD, el cual se muestra a detalle en la Tabla 34.

Tabla 34. Precio del metro cúbico del Hormigón sin RAP

Diseño 1 m ³ (SSS)					
Hormigón de 4.0 MPa					
Materiales	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Precio Unitario	Precio Total
Cemento	360	2950	0,122	\$ 0,34	\$ 122,40
Agua	150	1000	0,150	\$ 0,01	\$ 1,50
3/4"	869	2910	0,299	\$ 0,02	\$ 13,90
3/8"	218	2880	0,076	\$ 0,02	\$ 3,92
Arena	896	2600	0,345	\$ 0,01	\$ 8,96
Aire		0,009 kg		\$ -	\$ -
Aditivo		3,6 kg		\$ 1,50	\$ 5,40
Total					\$ 156,09

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

El precio total para realizar 1 m³ de hormigón que incorpora el 5% de RAP y considera precios de transporte de materiales y triturado del RAP es de aproximadamente 156.00 USD, el cual se muestra a detalle en la Tabla 35.

Tabla 35. Precio del metro cúbico del Hormigón con 5% de RAP

Diseño 1 m ³ (SSS)					
Hormigón de 4.33 MPa – 5% de RAP					
Materiales	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Precio Unitario	Precio Total
Cemento	360	2950	0,122	\$ 0,34	\$ 122,40
Agua	150	1000	0,150	\$ 0,01	\$ 1,50
3/4"	825,55	2910	0,284	\$ 0,02	\$ 13,21
3/8"	207,1	2880	0,072	\$ 0,02	\$ 3,73
RAP		54 kg		\$ 0,005	\$ 0,27
Arena	896	2600	0,345	\$ 0,01	\$ 8,96
Aire		0,028 kg		\$ -	\$ -
Aditivo		3,6 kg		\$ 1,50	\$ 5,40
Total					\$ 155,47

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

En base a los cálculos de la sección *Espesor de Losase* determinó que el espesor de la losa es de 13 centímetros, la longitud de la vía es de 3480 metros lineales y el ancho de vía es de 5 metros, lo que quiere decir que se requieren 2262 m³ de hormigón para la construcción de la vía, representando un aproximado de 350.000 USD o el 44% del presupuesto de la obra.

detallados en el proyecto, para la construcción de los 3480 metros lineales de la vía de IV orden, se los dividirá en cinco tramos.

No.	Descripción del Rubro	PRIMER MES				SEGUNDO MES				TERCER MES			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Obras provisionales													
1	Adecuación de campamento												
Construcción del pavimento rígido													
2	Colocación de base granular												
3	Construcción del tramo (Abscisa 0+000 hasta 0+854.84)												
4	Curado del primer tramo												
5	Construcción del tramo (Abscisa 0+854.84 hasta 1+709.68)												
6	Curado del segundo tramo												
7	Construcción del tramo (Abscisa 1+709.68 hasta 2+564.52)												
8	Curado del tercer tramo												
9	Construcción del tramo (Abscisa 2+564.52 hasta 3+419.36)												
10	Curado del cuarto tramo												
11	Construcción del tramo (Abscisa 3+419.36 hasta 3+480.00)												
12	Curado del quinto tramo												
13	Acabados y detalles												
Construcción del pavimento rígido													
14	Baterías sanitarias portátiles												
15	Cinta reflectiva de señalización												
16	Equipos de protección básicos												
17	Charlas de capacitación al personal (manejo ambiental y seguridad)												
18	Charlas de socialización/concienciación y educación ambiental												

Ilustración 37. Cronograma de obra

Fuente: Melena José, Peñafiel Teylon (2023)

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En el marco de este proyecto, se llevó a cabo el diseño de un pavimento rígido destinado a la vía de cuarto orden, específicamente la Ruta del Cacao en la Provincia del Guayas. Este diseño se caracteriza por la mejora significativa de las propiedades mecánicas y la optimización del diseño, mediante la integración estratégica del 5% de RAP en lugar del agregado grueso convencional en la mezcla de hormigón hidráulico.

Por un lado, se optó por elegir el 5% de RAP debido a que prioriza la resistencia a compresión del hormigón, logrando alcanzar los 420 kg/cm². En contraste, las otras opciones de reemplazo, tales como 10%, 15% y 20%, reducen su resistencia hasta en un 50% a los 28 días en comparación con el modelo patrón, a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo. La capacidad para resistir esfuerzos a flexión aumenta proporcionalmente al incremento en el porcentaje de reemplazo. En el caso de este diseño específico, se logró una resistencia a la flexión de 4.33 MPa. Además, este enfoque incorpora prácticas sostenibles mediante la inclusión de materiales reciclados en la mezcla del hormigón hidráulico, así como también la durabilidad y el rendimiento del pavimento, alineándose de manera efectiva con los objetivos del proyecto en términos de resistencia y sostenibilidad.

A partir del análisis de impacto ambiental, se identificó que las actividades que ejercen un mayor impacto en el medio ambiente son la extracción minera para obtener los áridos y el proceso de diseño de la vía. En contraste, la obtención del RAP y su proceso de trituración no muestran un impacto ambiental significativo. Esto resalta las acciones positivas asociadas con la eficiente incorporación de este recurso en la mezcla de hormigón hidráulico del pavimento rígido, fomentando así la sostenibilidad en el diseño.

La aplicación de la estrategia de reutilización y reciclaje de materiales, en este caso, el RAP, conduce a la creación de nuevos productos. Estos, después

de ser sometidos a tratamientos y análisis de sus propiedades, se adaptan para su uso en materiales existentes. Este enfoque tiene la ventaja de evitar la extracción de recursos naturales. En el proceso de reciclado, se utilizan menos recursos en comparación con la fabricación de materiales a partir de fuentes naturales. Esto no solo contribuye a la reducción de vertederos de escombros generados por la rehabilitación de vías, sino que también disminuye la demanda de nuevos materiales extraídos.

La incorporación del 5% de RAP en la mezcla del hormigón hidráulico es una estrategia efectiva para reducir los costos en el proyecto. Para la construcción de la vía con dimensiones de 3480 metros lineales y 5 metros de ancho, el uso de hormigón con reemplazo demanda un espesor de losa de 13 centímetros, lo que requiere 2262 m³ de hormigón, con un costo aproximado de 350.000,00 USD. En contraste, el hormigón convencional demanda un espesor de losa de 14 centímetros, requiriendo 2436 m³ de hormigón, con un costo aproximado de 381.000,00 USD. Esta comparación resalta que el empleo de RAP no solo mejora las propiedades del pavimento rígido en términos de resistencia y sostenibilidad, sino que también genera ahorros económicos. Esta alternativa de solución muestra un ahorro estimado de 31.000,00 USD en el presupuesto total del proyecto, respaldando así la eficiencia financiera y destacando la ventaja económica de incorporar materiales reciclados en el diseño del pavimento.

6.2. Recomendaciones

Se debe promover la selección de materiales sostenibles como el RAP para reducir la huella ambiental y fomentar prácticas de construcción ecológicas. Es crucial tener en cuenta que el porcentaje de reemplazo elegido en el presente proyecto está específicamente enfocado en el diseño del pavimento rígido bajo las condiciones establecidas. En caso de considerar una aplicación diferente o utilizar RAP en otro contexto, se recomienda realizar un estudio incluyendo los ensayos respectivos para determinar el porcentaje apropiado de RAP, evitando comprometer la eficiencia del hormigón.

El RAP debe ser obtenido de una zona cercana al lugar donde se ejecutará el proyecto para reducir así las emisiones de carbono que se producen al

momento de transportar el material, además de considerar el stock disponible para evitar retrasos en la obra.

Se recomienda implementar una señalización adecuada en el área de trabajo y llevar a cabo una campaña de socialización con las personas locales antes de iniciar la obra. Esto permitirá que tomen las precauciones necesarias y se eviten posibles molestias durante el proceso de construcción.

Es esencial realizar una planificación organizada de la obra para prevenir inconvenientes en etapas críticas del proyecto como la construcción, la colocación de los aceros, el vertido del hormigón y su proceso de curado y la adquisición de maquinaria.

Una recomendación adicional es evaluar la resistencia del hormigón de acuerdo a los requerimientos del proyecto, ya que en la revisión de la literatura se pudo observar que se puede obtener el 100% de la resistencia requerida a edades tempranas, así como a los 28 días, pero siempre se debe realizar los ensayos tanto en hormigón fresco como endurecido para realizar la respectiva verificación.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (1993). *Design Procedures For New Pavements*.

AccuWeather, I. (2020). *accuweather*. Obtenido de Obtenido de accuweather

ACI 211. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. Farmington Hills.

Almeida, Zambrano, & Apollo. (2008). *Propuesta de Creación de un Centro de Facilitación Turística en el km. 50 Vía a la Costa, Recinto Teresita*. ESPOL, Guayaquil: Tesis de Licenciatura.

Al-Oraimi, S., Hassan, H. F., & Hago, A. (2009). Recycling of Reclaimed Asphalt Pavement in Portland Cement Concrete. *The Journal of Engineering Research Vol. 6, No.1*, 37-45.

Araujo da Silva, P. F. (2008). *Manual de patologia e manutenção de pavimentos*. Sao Paulo: Editora Pini Ltda.

Área Metropolitana Valle de Aburrá. (2023). *¿Qué es el ICA?* Obtenido de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/ICA.aspx>

Art, J., Leendertse, W., & Tillema, T. (2021). Road Infrastructure: Planning, Impact and Management.

Aschenbrener, T. (2013). *Federal Highway Administration. Asphalt Pavement In-Place Recycling Techniques*. Schaumburg.

Bedoya, J. L. (2014). *Aspectos Biológicos y Pesqueros de las principales especies capturadas en el embalse Chongón, durante 2014*. Instituto Nacional de Pesca, 12.

Bucheli Pérez, D. J., & Sarmiento Segovia, H. J. (2021). *Estabilización suelo - cemento para una carretera de IV orden "Ruta del Cao" - Guayas*. Guayaquil.

Chicojay Morales, C. J. (26 de Octubre de 2022). *Metodología ICA*. Obtenido de <https://insivumeh.gob.gt/?p=61234>

- European Union Road Federation. (2009). *Sustainable roads and optimal mobility*. Bruselas.
- García Briones, A. R., Pico Pico, B. F., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinergia*, 4(2), 152-172.
- Guzmán Ortiz, D. V. (25 de 12 de 2020). *Concreto Hidráulico Utilizando Agregados de Reciclado de Pavimento Asfáltico para un Pavimento Rígido*. Obtenido de Maestría en Ingeniería de Vías Terrestres y Movilidad: <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2395>
- Holcim Ecuador. (s.f.). *Curado del hormigón hidráulico*. Guayaquil.
- Hossiney, N., Tia, M., & Bergin, M. J. (2010). Concrete Containing RAP for Use in Concrete Pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology*.
- Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón. (s.f.). *Software de Diseño de Pavimentos*. La Paz.
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. E. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact*. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey Circular 645.
- Miller, J. S., & Bellinger, W. Y. (2014). *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program (Fifth Revised Edition)*. McLean: Office of Infrastructure Research and Development.
- Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador. (2018). *Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial del Transporte Terrestre*. Quito.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. ISBN: 958-96036-2-9. Bogotá, D.C.: Universidad Católica de Colombia.
- Newcomb, D. E., Brown, E. R., & Epps, J. A. (2007). *Designing HMA Mixtures with High RAP Content. A Practical Guide*. Lanham: National Asphalt Pavement Association.

- NTE INEN 2554. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (Utilizando una viga simple con carga en los tercios)*. Quito.
- Okafor, F. O. (2010). Performance of Recycled Asphalt Pavement as Coarse Aggregate in Concrete. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies.*, 9.
- Rondón Quintana, H. A., & Reytez Lizcano, F. A. (2022). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. ISBN: 978-958-503-114-2. Bogotá: Ecoe Ediciones S.A.S.
- Spark, W. (20 de Noviembre de 2023). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Guayaquil*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/19346/Clima-promedio-en-Guayaquil-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Web&Media. (2023). *El clima de Puerto Hondo y la mejor época para viajar*. Obtenido de <https://www.cuandovisitar.com.ec/ecuador/puerto-hondo-1184752/>

Diseño de un pavimento rígido con pavimento asfáltico reciclado como sustituto del agregado grueso en la Ruta del Cacao

PROBLEMA

Se requiere hacer carreteras más **sostenibles y eficientes**, en línea con los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**. Esto se evidencia en la "Ruta del Cacao" en la Provincia del Guayas. Se considera usar **pavimento asfáltico reciclado (RAP)** en lugar de agregado grueso en un pavimento rígido, pero hay desafíos técnicos y normativos. Se busca una solución para aprovechar eficientemente el *RAP* y ajustar el diseño propuesto en 2021, originalmente basado en suelo-cemento, para incorporar esta nueva alternativa.



OBJETIVO GENERAL

Diseñar un **pavimento rígido sostenible y eficiente** que integre de manera efectiva el **pavimento asfáltico reciclado (RAP)** como sustituto del agregado grueso para el mejoramiento de la **infraestructura vial** de la Ruta del Cacao en la Provincia del Guayas.

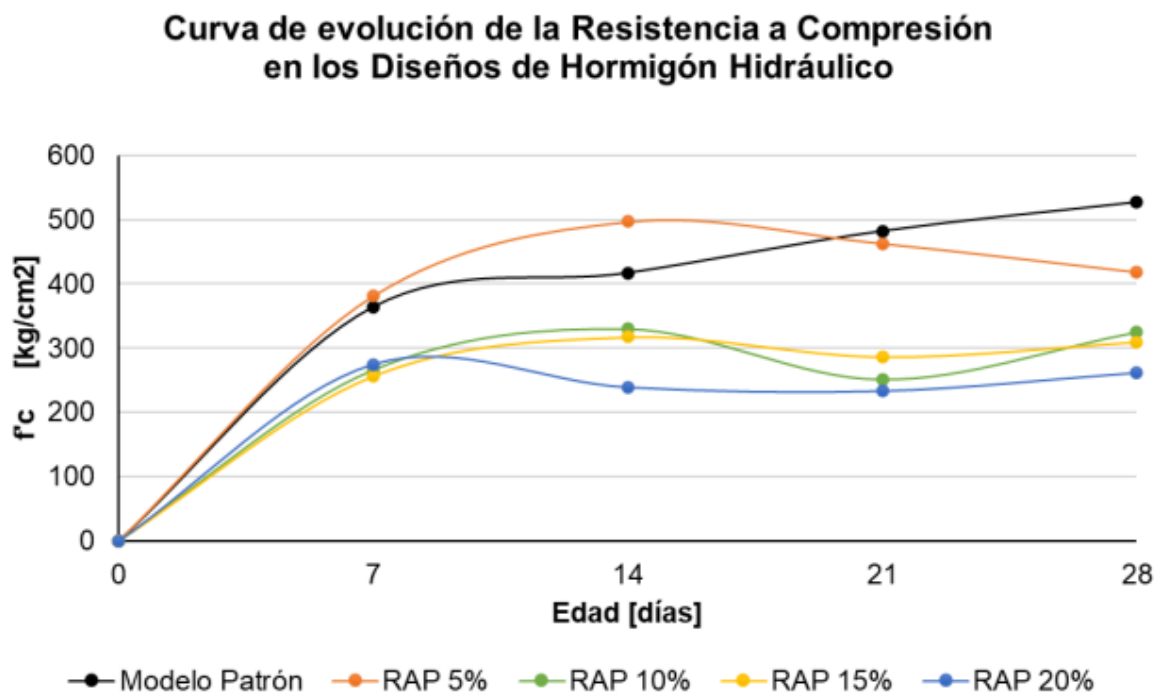
PROPUESTA

Se propone mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla de hormigón hidráulico diseñada para pavimentos rígidos con una capacidad a la flexión de 4 MPa. La optimización implica reemplazar porcentualmente el agregado grueso convencional con pavimento asfáltico reciclado (RAP), manteniendo los tamaños de árido originales (3/4" y 3/8").

Se evaluará el reemplazo en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%, seguido de un estudio de propiedades mecánicas, incluyendo resistencia a la compresión y flexión, con el objetivo de seleccionar la proporción óptima que cumpla con los objetivos del proyecto, considerando sostenibilidad y resistencia estructural.

Diseño Modelo Patrón: Dosificación 1m3 (SSS)		
Materiales	Cantidad	Unidades
Cemento	360	kg
Agua	150	kg
Agregado 3/4"	869	kg
Agregado 3/8"	218	kg
Agregado Fino	896	kg
Aditivo	360	gr

RESULTADOS

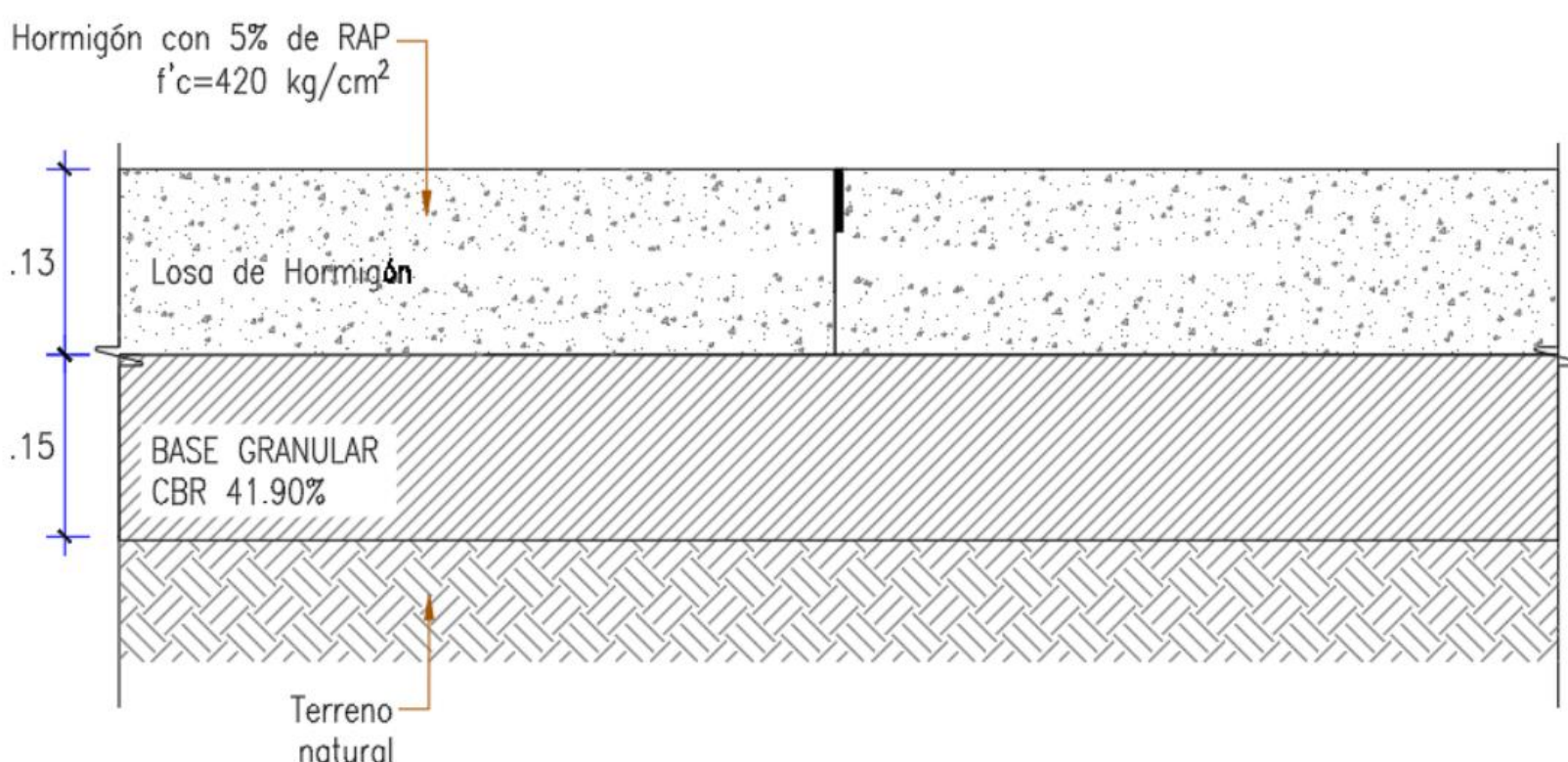


Módulo de Rotura de los Diseños	
Diseño	Módulo de Rotura
A (modelo patrón)	4.00 MPa
B (5% RAP)	4.33 MPa
C (10% RAP)	4.61 MPa
D (15% RAP)	4.84 MPa
E (20% RAP)	5.02 MPa

Diseño	% RAP	Resistencia a la Compresión	Resistencia a la Tensión	Indicador de Sostenibilidad
A	0%	Alta	Normal	Bajo
B	5%	Moderada	Ligero Aumento	Moderado
C	10%	Moderada a baja	Incremento	Moderado a alto
D	15%	Baja	Aumento	Alto
E	20%	Muy baja	Notable aumento	Muy alto

Para el diseño del pavimento en la Ruta del Cacao, se ha elegido el "Diseño B" ya que presenta mejoras en su resistencia a la flexión, medida a través del módulo de rotura (MR), un factor importante en el diseño eficiente de pavimentos y que también incorpora prácticas sostenibles al utilizar materiales reciclados en la dosificación.

Considerando diversos factores que influyen en el diseño del pavimento rígido, como el módulo de rotura (MR), se obtuvo que el espesor óptimo de la losa es de 13 cm y la base granular de 15 cm.



CONCLUSIONES



La elección del 5% de RAP en el hormigón hidráulico priorizó la resistencia a compresión del hormigón, se resalta su capacidad para incrementar la resistencia a los esfuerzos de flexión y la incorporación de prácticas sostenibles al utilizar materiales reciclados.



Se generan un ahorro estimado de 31.000,00 USD. en el presupuesto total del proyecto en comparación con el uso de hormigón convencional en el diseño del pavimento rígido.