



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**PAVIMENTO ASFÁLTICO CON AGREGADO DE FIBRA
CELULOSA DE COCO Y PLÁSTICO TEREFTALATO DE
POLIETILENO**

TUTOR

Mgtr, JANYNNE NOHEMÍ PAUTA LABANDA

AUTORES

DIANA STEPHANIE CARNERO ELIZALDE

MIGUEL JOSUÉ PARRALES PARRALES

GUAYAQUIL

2023



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Pavimento asfáltico con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno.

AUTOR/ES:

Diana Stephanie Carnero Elizalde
Miguel Josué Parrales Parrales

REVISORES O TUTORES:

Pauta Labanda Janyne Nohemí

INSTITUCIÓN:

**Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil**

Grado obtenido:

Tercer nivel de grado

FACULTAD:

FACULTAD DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2023

N. DE PAGS:

94

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Mezcla Asfáltica, petrografía, eco-amigable, planificación de proyecto, confrontamiento social.

RESUMEN:

Este trabajo de investigación busca la reutilización del plástico tereftalato de polietileno y la fibra celulosa de coco adicionándolo al pavimento flexible tradicional con el fin de obtener resultados mecánicos que iguallen o superen a los valores estándar establecidos en las normativas.

N. DE REGISTRO (en base de datos):

N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono:	E-mail:
Carnero Elizalde Diana Stephanie	0967942356	dcarneroe@ulvr.edu.ec
Parrales Parrales Miguel Josué	0983219600	mparralesp@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Mgtr. Ing. Milton Gabriel Andrade Laborde Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 210 E-mail: mandradel@ulvr.edu.ec Mgtr. Ing. Alexis Wladimir Valle Benítez Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 242 E-mail: avalleb@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD ACADÉMICA

PAVIMENTO ASFÁLTICO CON AGREGADO DE FIBRA CELULOSA DE COCO Y PLÁSTICO TEREFALATO DE POLIETILENO

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %	7 %	2 %	6 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

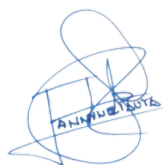
FUENTES PRIMARIAS

1	brainly.lat Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.usfq.edu.ec Fuente de Internet	2 %
3	1library.co Fuente de Internet	1 %
4	www.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	1 %
5	webidu.idu.gov.co Fuente de Internet	1 %
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	1 %

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados **DIANA STEPHANIE CARNERO ELIZALDE Y MIGUEL JOSUÉ PARRALES PARRALES**, declaramos bajo juramento, que la autoría del proyecto de investigación: Pavimento asfáltico con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma: *Diana Carnero*

DIANA STEPHANIE CARNERO ELIZALDE

C.I. 0942363490

Firma: *Miguel Parrales*

MIGUEL JOSUÉ PARRALES PARRALES

C.I. 0951741461

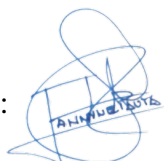
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación Pavimento asfáltico con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno designada por el Consejo Directivo de la Facultad Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: Pavimento asfáltico con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno presentado por los estudiantes DIANA STEPHANIE CARNERO ELIZALDE Y MIGUEL JOSUÉ PARRALES PARRALES como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

A handwritten signature in blue ink is written over a rectangular stamp. The signature is stylized and appears to be 'JANYNNE NOHEMÍ PAUTA LABANDA'. The stamp contains the text 'ANIMUETESTE'.

JANYNNE NOHEMÍ PAUTA LABANDA

C.C. 1103037485

AGRADECIMIENTO

Quisiéramos dar nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas que de cualquier forma u otra han estado colaborando en la realización de este proyecto de investigación.

A nuestra tutora Mgtr. Pauta Labanda Janyne Nohemí, quien nos colaboró en la realización de este proyecto, con su correcta tutoría junto con sus palabras de aliento en cada paso, con quien pudimos consultar las dudas correspondientes.

A nuestros compañeros de trabajo y estudio de ayer y hoy, por la confianza dada hacia nosotros.

A todas aquellas personas quienes fueron nuestros profesores quienes nos formaron e instruyeron, por contribuir al aumento de nuestro desarrollo profesional.

Les quiero agradecer a los maestros y autoridades de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, a quienes dieron en marcha la puesta en práctica del proyecto elaborado.

A todos aquellos educadores y compañeros de estudio, nuestro firme agradecimiento por emplear y enriquecer nuestros conocimientos durante el estudio a lo largo del tiempo, en el cual se necesita mucho amor y pasión de la mano de la paciencia y perseverancia.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, quien cada día nos presta vida para seguir adelante en el camino de la vida, fuerzas y agallas porque nada en esta vida es fácil, con Dios, logramos todo, sin él, nada.

Dedico este trabajo a mi madre Yasmín Denisse Parrales Lucas y a mi abuelita materna Isabel Monserrate Parrales Choez, quienes con mucha paciencia, esfuerzo y regaños me impulsaron lo necesario para estudiar y seguir esforzándome con el objetivo de superarme.

Dedico este trabajo al master Carlos Luis Valero Fajardo porque aparte de sus enseñanzas en aula fue quien creyó en mi al momento de llevarme a obra por primera vez para poder desarrollarme en campo profesionalmente.

Y por último a todos ustedes va dedicado este trabajo y mi agradecimiento desde el fondo de mi corazón.

Miguel Josué Parrales Parrales

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios, primeramente.

Seguido, dedico este trabajo a todos mis familiares quienes estuvieron conmigo a cada paso a mi madre, mi padre, mi hermana y mi novio quienes fueron mi fortaleza en los momentos mucho más difíciles de la vida.

Y por último a todos ustedes compañeros y compañeras, profesores, maestros, guías a quienes va dedicado este trabajo y mi agradecimiento total con cada uno de ustedes desde que comenzó el camino hacia el profesionalismo.

Diana Stephanie Carnero Elizalde

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Tema.....	2
1.2 Planteamiento de problema.....	2
1.3 Formulación de problema.....	4
1.4 Objetivo General.....	4
1.5 Objetivo Específico.....	4
1.6 Hipótesis.....	4
1.7 Líneas de Investigación Institucional.....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Marco Teórico.....	7
2.3 Marco Referencial.....	20
2.4 Marco Conceptual.....	22
2.5 Marco Legal.....	28
CAPÍTULO III.....	33
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.1 Enfoque de la Investigación.....	33
3.2 Alcance de la Investigación.....	34
3.3 Técnicas e instrumentos para obtener datos.....	34
3.4 Población.....	34
3.5 Muestra.....	35
3.6 Presentación y análisis de resultados.....	36
CAPÍTULO IV.....	45
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	45
4.1 Método de diseño de mezclas asfálticas Marshall.....	45
4.2 Ensayos al cemento asfáltico.....	45
4.2.1 Ensayos de penetración.....	45
4.2.2 Punto de ablandamiento.....	45

4.2.3 Índice de penetración.....	46
4.2.4 Ensayo de ductilidad.....	47
4.3 Diseño Marshall de la mezcla convencional	48
4.4 Ensayos Marshall.....	49
4.4.1 Peso específico Bulk.....	49
4.4.2 Estabilidad y flujo.....	49
4.5 Ensayo para determinar la gravedad específica máxima teórica o RICE (Gmm)	49
4.6 Diseño de mezcla asfáltica modificada.....	54
4.7 Análisis de precios unitarios.....	58
4.8 Análisis comparativo de resultados de los dos tipos de mezcla asfálticas ..	63
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Línea de Investigación	5
Tabla 2 Granulometría del agregado pétreo para MAC	12
Tabla 3 Características de los materiales para mezclas MAC	13
Tabla 4 Tolerancias granulométricas	15
Tabla 5 Propiedades mecánicas de la fibra de coco	38
Tabla 6 Propiedades mecánicas del tereftalato de polietileno	40
Tabla 7 Resistencia del PET ante agentes químicos.....	25
Tabla 8 Diseño de pavimento modificado.....	41
Tabla 9 Numero de briquetas sin modificar.....	42
Tabla 10 Determinar el porcentaje de dosificación.....	42
Tabla 11 Ensayo de penetración.....	43
Tabla 12 Resultado para la mezcla asfáltica convencional.....	43
Tabla 13 Ensayo de ductilidad.....	44
Tabla 14 Determinación de la gravedad máxima teórica (RICE).....	44
Tabla 15 Diseño mezcla asfáltica para 5% asfalto.....	47
Tabla 16 Diseño mezcla asfáltica para 5.5% asfalto.....	47
Tabla 17 Diseño mezcla asfáltica para 6% asfalto.....	51
Tabla 18 Diseño mezcla asfáltica con 0.50% de modificadores y 6% de asfalto	52
Tabla 19 Diseño mezcla asfáltica con 0.75% de modificadores y 6% de asfalto	55
Tabla 20 Diseño mezcla asfáltica con 1.00% de modificadores y 6% de asfalto	56
Tabla 21 Diseño mezcla asfáltica con 1.25% de modificadores y 6% de asfalto	53
Tabla 22 Cálculo de cantidades mezcla sin modificar	54
Tabla 23 Valores totales para mezcla sin modificar para 1m ³	57
Tabla 24 Precios unitarios de mezcla convencional.....	57
Tabla 25 Cálculo de cantidades mezcla modificada.....	58
Tabla 26 Valores totales para mezcla modificada para 1m ³	57
Tabla 27 Precios unitarios de mezcla modificada	57

Tabla 28 *Análisis comparativo de resultados de los dos tipos de mezcla asfálticas..... 57*

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Estructura típica de un pavimento asfáltico</i>	23
<i>Figura 2 Obtención de plástico PET</i>	36
<i>Figura 3 Obtención de la fibra de coco</i>	37
<i>Figura 4 Material Granular</i>	37
<i>Figura 5 Ligante Asfáltico</i>	38
<i>Figura 6 Vertido de mezcla en molde cilíndrico</i>	40
<i>Figura 7 Martillo de Compactación Marshall automático</i>	40
<i>Figura 8 Obtención de briquetas en estado tradicional y modificadas</i>	41
<i>Figura 9 Toma de dimensiones de briqueta</i>	41
<i>Figura 10 Toma de peso de briqueta</i>	42
<i>Figura 11 Saturado de briquetas</i>	42
<i>Figura 12 Toma de peso una vez tomado su peso saturado y secado en el horno</i>	43
<i>Figura 13 Briquetas sometidas a baño maría</i>	43
<i>Figura 14 Colocación de briqueta en la máquina para el ensayo</i>	44
<i>Figura 15 Ensayo en máquina de compresión universal</i>	44
<i>Figura 16 Estiramiento de las muestras de asfalto</i>	47
<i>Figura 17 Mordazas con muestras de asfalto</i>	47
<i>Figura 18 Frasco con muestra de asfalto y bomba de vacíos</i>	50
<i>Figura 19 Variación del peso unitario con el contenido de asfalto</i>	52
<i>Figura 20 Variación del peso unitario con el contenido de asfalto</i>	52
<i>Figura 21 Variación de la estabilidad con el contenido de asfalto</i>	53
<i>Figura 22 Variación del flujo de la mezcla con el contenido de asfalto</i> ...	53
<i>Figura 23 Variación del porcentaje de vacíos de agregados con el de asfalto</i>	54
<i>Figura 24 Variación de la estabilidad con el contenido de asfalto</i>	57
<i>Figura 25 Variación de la estabilidad con el contenido de asfalto</i>	57
<i>Figura 26 Variación del porcentaje de vacíos en agregados con el de modificador</i>	58

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1</i> Diseño mezcla asfáltica para 5% asfalto	71
<i>Anexo 2</i> Diseño mezcla asfáltica para 5.5% asfalto	72
<i>Anexo 3</i> Diseño mezcla asfáltica para 6% asfalto	73
<i>Anexo 4</i> Diseño mezcla asfáltica con 0.50% de modificadores y 6% de asfalto	74
<i>Anexo 5</i> Diseño mezcla asfáltica con 0.75% de modificadores y 6% de asfalto	75
<i>Anexo 6</i> Diseño mezcla asfáltica con 1.00% de modificadores y 6% de asfalto	76
<i>Anexo 7</i> Diseño mezcla asfáltica con 1.25% de modificadores y 6% de asfalto	40
<i>Anexo 8</i> Carta de intención a la Universidad de Guayaquil.....	40
<i>Anexo 9</i> Datos recolectados según pruebas de laboratorio	40

INTRODUCCIÓN

La gran clasificación de los tipos de pavimentos que en su gran totalidad están constituidos por materiales de tipo granular, estos mismos cuya función es ser los encargados de recibir estas cargas de vehículos livianos y/o pesados, estos tipos de cargas son transmitidas al pavimento mediante sus diferentes capas y se busca la forma en la cual esta se disipe para facilitar y favorecer la movilidad vehicular.

Al momento de trabajar con los pavimentos asfálticos en caliente, estos muestran un mejor desempeño debido a que existe un mayor desfase en cuanto a la variación con respecto a las temperaturas lo cual conlleva a que el pavimento incremente un 29.99% en cuanto a soportar desplazamientos y deformaciones por los pesos de vehículos livianos y/o pesados, además, presenta un mayor tiempo de utilidad proyectándolo a 10 años, pero cabe resaltar su gran desventaja siendo esta que se debe someter a un mantenimiento continuo para que se cumpla el tiempo proyectado.

Se busca analizar nuevos elementos y métodos solos o en combinaciones con otros para mejorar al pavimento asfáltico en caliente incrementando sus características y propiedades físicas y mecánicas, dando objeto a estudio de alternativas y propuestas a su uso para la perdurabilidad de las vías de cualquier orden, pero, de la mano con el cuidado medio ambiente proponiendo un desarrollo sustentable y eco-amigable debido a que el los materiales son totalmente reciclables.

El proceso del pavimento asfáltico en caliente usando fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno en pavimento asfaltico en caliente son materiales reciclados que se obtienen al momento de desecharlos y posteriormente comienza su proceso de reciclaje, en la cual ambos elementos son llevados a corte y trituración para su mejor estudio y análisis en combinación con otros materiales.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Tema

Pavimento asfáltico en caliente con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno.

1.2 Planteamiento del Problema

Los plásticos cada vez ganan más espacio en el planeta. Se busca alternativas de usos eco-amigables una vez terminado su periodo de utilidad. Según la ONU, la producción de los plásticos alcanzó la cantidad de 380 millones de toneladas en el año 2015 y 359 millones de toneladas en el año 2018, de las cuales los cuerpos de agua reciben entre 8 a 12 millones de toneladas de estos residuos plásticos (ONU, 2021).

Según National Geographic España, se tarda un promedio de 450 años en descomponerse una única botella de plástico al medio ambiente, en caso de que esta no esté en contacto con el mismo, esta cifra se va por encima de 1000 años. Más del 89.99% de los plásticos del planeta está compuesto a base de los combustibles fósiles. El 41.99% del plástico utilizado es para el empaquetado de alimentos y productos manufacturados, siendo de un solo uso. Si los datos son constantes, los plásticos estarían más presentes que los peces en el año 2050 (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2022).

Un estudio elaborado por el Center for International Environmental Law menciona que, en 2019, la contaminación resultante de la producción masiva de plásticos con su incineración sería similar a las emisiones de 189 centrales eléctricas a carbón (CIEL, 2021).

Otro estudio, publicado en la revista Nature Sustainability, coloca números al porcentaje de composición de la basura oceánica a escala mundial. En general, el 79.99% de los objetos encontrados son de plástico. Siendo este el material predominante, seguido de metal, vidrio, ropa y textiles, goma, papel, y madera procesada. La mayor escala de plástico está presente en las aguas superficiales con un 94.99 %, seguida de las costas con un 82.99 %, y en los lechos de los ríos con un 48.99 % (NATURE SUSTAINABILITY, 2021).

Con el paso de los años el desarrollo poblacional es evidente, los habitantes, el comercio, el crecimiento territorial y el aumento del desarrollo económico va de la mano con el incremento del flujo de tránsito en las vías que lo conforman, lo cual se ve reflejado en la necesidad de vías con mejores propiedades físicas y mecánicas que cumpla que el pavimento asfáltico no se deteriore de una forma rápida y cumpla con su periodo de vida proyectado.

Según el diario El Telégrafo, los especialistas en pavimentos asfálticos, señalan los distintos factores que influyen en el incremento de baches, especialmente en el tiempo invernal. Uno de los principales factores que afectan es la incorrecta colocación de la mezcla y su manipulación derivando a la calidad del producto otro factor del cual se habla, mismo que es elaborado en el país.

Según Jorge Berrezueta, exdirector de Obras Públicas del Municipio de Guayaquil, resaltó que en un análisis de del 1 al 149.99, la calidad del asfalto nacional, que comercializa Petroecuador, está en 39.99, algo pequeña. Así mismo, Walter Mendoza, exvicepresidente del Colegio de Ingenieros Civiles del Guayas, mencionó que el producto le falta cumplir con ciertas especificaciones técnicas de calidad.

Se busca una mezcla asfáltica superior a la tradicional la cual resista más frente a las cargas vehiculares livianas y pesadas junto con las condiciones climáticas de la mano con el debido mantenimiento constante. Se debe considerar que el asfalto ecuatoriano envejece muy rápido, tiende a oxidarse demasiado provocando que se vuelva duro y quebradizo. Además, la adherencia entre la piedra y el asfalto se debe mejorar, misma que es una cuestión química entre los elementos que conforman la mezcla.

Se debe obtener un elemento que soporte y evite que se produzcan de forma rápida ahuellamiento, hundimiento, corrugación, corrimiento e hinchamiento, así mismo, figuraciones o agrietamientos y las desintegraciones tales como los baches. Mediante la combinación de estos mejorar la resistencia frente a la generación de los problemas en la carpeta de rodadura, generación de averías y daños a los automóviles, soportando por mayor periodo de tiempo las cargas de estos vehículos evitando que se debiliten progresivamente las propiedades físicas y/o mecánicas del pavimento asfáltico.

1.3 Formulación del Problema

¿De qué manera la elaboración de un diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno aportara a los diseños asfálticos tradicionales?

1.4 Objetivo General

Elaborar un pavimento asfáltico en caliente con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno.

1.5 Objetivos Específicos

- Identificar las características y propiedades de la fibra celulosa del coco y del plástico tereftalato de polietileno.
- Establecer diferentes dosificaciones de mezcla asfáltica en caliente con la fibra celulosa de coco y el plástico tereftalato de polietileno.
- Elaborar los prototipos de mezcla asfáltica en caliente con fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno con sus variadas dosificaciones.
- Analizar el comportamiento de las nuevas características de la mezcla asfáltica en caliente a través de pruebas físicas y/o mecánicas.

1.6 Idea a Defender (investigaciones cualitativas o mixtas) / Hipótesis (investigaciones cuantitativas)

Con la elaboración de este prototipo de pavimento asfáltico en caliente con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno se habrá logrado un material que tenga igual o mejores características y propiedades que los comunes para el asfaltado con pavimento flexible tradicional según lo especifique la norma a la cual se rige.

1.7 Línea de Investigación Institucional/Facultad.

Tabla 1

Línea de Investigación

Líneas de Investigación		
Dominio	Línea institucional	Líneas de Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	Materiales de construcción

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte (2019)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Debido a la falta de mejorar las vías que han sido pavimentadas mediante la combinación de mezclas asfálticas, se han desarrollado con el transcurso de los años muchas alternativas en la aplicación de estabilizadores en las carpetas de rodadura, estas soluciones implementadas deben considerarse básicas y de bajos costo en su fabricación.

La utilización de diversas combinaciones está destinada para el mejoramiento de la capa de rodadura para darle una mejor funcionabilidad que facilite la corrección en la geometría y características de la vía a construir.

Desde un ámbito profesional, el utilizar estabilizadores permite mejorar su trabajabilidad y las condiciones al tráfico considerando las inclemencias del medio ambiente, esto hace posible un deterioro a largo plazo en su estructura y su mantenimiento vial se la puede ampliar, incrementando la vida útil de la vía.

El utilizar los estabilizadores incrementa el costo de la vía debido a que habrá una mayor inversión, sin embargo, el mantenimiento se lo realizará en periodos mucho más largos, su operación se desenvuelve de una forma correcta en épocas de lluvia y tendrá un mejor servicio para los usuarios en especial para el desarrollo económico el cual va ligado a una vía en buen estado trayendo consigo muchos beneficios.

La fatiga en las mezclas asfálticas es uno de los principales inconvenientes al momento del deterioro de la carpeta lo cual afecta al pavimento, esto es debido a un exceso de esfuerzos producido por las cargas vehiculares a la cual está expuesto, produciendo pérdida en su rigidez conllevando al apareamiento de fisuras y grietas. La vida útil de los pavimentos asfálticos está ligada con este fenómeno por tal motivo se debe realizar las correcciones adecuadas para reducir este deterioro.

El Módulo de Rigidez es una relación entre diversas tensiones junto con sus correspondientes deformaciones, particularmente en las mezclas asfálticas no se da como un valor único, como en el caso de otros materiales, sino más bien es dependiente de la Temperatura a la cual está sometida el ensayo y la frecuencia de aplicación de la carga. Para estos elementos, el Módulo de Rigidez es el que valora

la respuesta del pavimento asfáltico ante eventos de consecuencia dinámica, considerando el diferencial de temperaturas que pueda sufrir el pavimento en estado de servicio, el cual es normalmente conocido como el Módulo Dinámico (Leiva, 2004).

En términos generales puede decirse que el diferencial de las propiedades dinámicas va en función del diferencial de la temperatura que provoca una disminución considerable en el valor del Módulo Dinámico conforme que esta aumenta.

El efecto de la frecuencia de la aplicación de la carga se conoce a través del movimiento del tráfico pesado sobre la carpeta de rodadura, lo cual provoca módulos mayores en función que la velocidad aumenta, es decir a medida que se incrementa la frecuencia de carga.

2.2 Marco Teórico

En la investigación llevada a cabo la cual se denomina “Pavimento asfáltico en caliente con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno”.

Para la variable pavimento asfáltico se procede a usar el libro “Pavimentos, Materiales, construcción y diseño” publicado en Bogotá junio 2015 con sus respectivos autores Rondón Quintana y Reyes Lizcano.

Rigidez del Ligante Asfáltico

La rigidez de ligante asfáltico se puede determinar mediante métodos directos a altas temperaturas mediante viscosímetros capilares, y a pequeñas temperaturas mediante un viscosímetro que consta de un plato y cono, micro viscosímetro de placas deslizantes y reómetro espectrómetro de carácter mecánico (Rondón & Reyes, 2015).

Según el método tradicional el módulo de rigidez se lo puede obtener mediante la fórmula:

Fórmula empírica para obtener el módulo de rigidez

$$S_b = 1.157 \times 10^{-7} t^{-0.368} (T_{R\&B} - T_{mix})^5 \times \exp(-IPen)$$

Fuente: *Quintana y Reyes (2015)*

t: tiempo de aplicación de la fuerza dado en segundos

TR&B: Temperatura en grados centígrados del punto de ablandamiento del asfalto

Tmix: Temperatura en grados centígrados de la mezcla

exp: Frecuencia

Ipen: Índice de penetración del asfalto

$$t = \frac{L}{V} 10^{0.004h}$$

Fuente: *Quintana y Reyes (2015)*

L: Longitud de contacto de la llanta col pavimento

V: Velocidad del vehículo en cm/s

h: Profundidad estimada en el tiempo (cm)

$$F = \frac{1}{2\pi t_c}$$

Fuente: *Quintana y Reyes (2015)*

F: Ecuación de la frecuencia

Estructura física

La estructura de los pavimentos asfálticos está formada por los siguientes elementos: asfáltenos, resinas, aromáticos y saturados, los cuales se unen para proporcionar: rigidez, adherencia, manejabilidad y tiempo útil.

Cemento asfáltico modificado

El cemento asfáltico modificado se lo aplica para comprobar el comportamiento, al momento de verse sometido ante cargas y condiciones climáticas propias del medio ambiente, este elemento modificado puede estar conformado por polímeros u otras sustancias con la finalidad de comprobar y analizar la sostenibilidad de adaptación de las diversas propiedades.

Las propiedades del cemento asfáltico modificado se aplican a fin de poder mejorar las capacidades de rigidez, la fatiga, resistencia a cargas monotónica, mayor vida útil y disminución de daños propios del medio ambiente. Los elastómeros para modificar mezclas de cemento asfáltico tienden a mejorar la

recuperación elástica del mismo, al verse sometido a esfuerzos verticales propios del peso de los vehículos y liberación de las cargas.

Los plastómeros son un tipo de polímeros, su principal característica es la capacidad de ser reciclada y volverse a utilizar sin sufrir un cambio considerable en sus propiedades primarias, mejora la rigidez y funcionamiento en especial cuando persisten las altas temperaturas de servicio. Unas de las principales diferencias que se muestran en estos elementos, es su costo accesible.

Emulsiones asfálticas

Es la cantidad de agua que se agrega a la mezcla de cemento asfáltico, lo cual hace necesario la adición de otros componentes, estos se pueden clasificar de acuerdo a la resistencia de las emulsiones, siendo estas de 3 tipos:

RR: Rompimiento rápido

RM: Rompimiento medio

RL: Rompimiento lento

Las emulsiones se clasifican en dos tipos: clase catiónicas (C) y las de clase aniónicas (A), así mismo tiene su clasificación de acuerdo a su rango de viscosidad, siendo estos de baja viscosidad (0), viscosidad media (1) y alta viscosidad (2).

Finalmente, para diferenciar si el cemento asfáltico es modificado o no, se los procede a clasificar con las siguientes letras, cuando es modificado se selecciona el sufijo de (a) y cuando no lo está se procede a seleccionar (h).

Ejemplo: ARL-0a: Emulsión aniónicas de rompimiento lento, con viscosidad baja que utiliza cemento asfáltico modificado.

Mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas son el producto de mezclar materiales pétreos junto con un cemento asfáltico. Normalmente estas mezclas se procesan en plantas especiales, pero también se pueden llegar a fabricarse en sitio.

Algunos ejemplos de agregados asfálticos son los siguientes:

- Aleaciones abiertas en frío.
- Aleaciones abiertas en caliente.
- Aleaciones densas en frío.
- Cemento asfáltico o aleación densa en caliente.

- Arena junto con asfalto.
- Procesos superficiales.
- Procesos de lechadas
- Aleaciones asfálticas drenantes.
- Aleaciones discontinuas o aleaciones microaglomerados en caliente.
- Aleaciones tibias.
- Aleaciones asfálticas modificadas.
- Agregados granulares estabilizadores junto con asfalto en frío o en caliente.

Las principales características que se necesitan de carácter obligatorio en las aleaciones asfálticas son:

- Dureza bajo carga monotónica a tracción (estabilidad).
- Dureza a las deformaciones permanentes.
- Dureza a la fatiga.
- Dureza al deslizamiento.
- Que sea impermeable.
- Dureza al envejecimiento.
- Durabilidad.
- Dureza a las condiciones ambientales.
- Facilidad de su manejo.
- Óptimo para condiciones de factores económicos.

Los múltiples tipos de aleaciones asfálticas están formadas en su gran mayoría por materiales pétreos con cierta granulometría y requerimientos mínimos de calidad variadas y obligatorias en cualquiera que fuesen las situaciones. Además, se observan variaciones en función a su utilidad dentro de la estructura flexible y de carácter ligante con el cual se conforma.

Agregados pétreos

Los agregados pétreos en mezclas asfálticas se entienden como una acumulación de ciertos materiales es decir está conformado grava, arenas, finos que son utilizados para la producción de mezclas asfálticas. Su uso va desde el concreto hidráulico, capas de terraplén, subbase hasta en base granular.

La mayor cantidad de veces se realiza ensayos de granulometría por tamizado según las diversas normativas, según su diámetro estas partículas se

pueden clasificar si su diámetro esta entre 1.99 mm y 6.39 cm se toman como agregados gruesos. Cuando estas tienen un diámetro que va entre 0.075 y 2 mm son anotadas como arenas que pueden ser gruesas y finas, aquellas partículas que son de diámetro por debajo a 0.075 mm son tomadas como arcillas y limos.

Los materiales pétreos son mucho más rigurosos en cuanto a la estabilidad, a su resistencia, contextura en una estructura de pavimento asfáltico conllevando a las mezclas asfálticas. Los materiales pétreos asumen entre el 87.98% y el 95.98% de la masa y más del 75.02% del volumen. Las aleaciones asfálticas, son las encargadas de resistir y transmitir las cargas asignadas según su utilidad de servicio emitiendo menores compensaciones a las capas inferiores. Una de las propiedades de estos materiales va ligado mediante la innovación de los accionares de daño que suceden en estas mezclas asfálticas como por ejemplo el ahuellamiento seguido de la fatiga junto con el daño por humedad.

La granulometría ideal para los agregados pétreos debe tener de forma obligatoria ciertos requerimientos mínimos para poder conformar las aleaciones asfálticas. A pesar de ello, la capacidad de estos requerimientos mínimos de calidad que exigen a los materiales se debe por la resistencia al desgaste. Para poder medir la dureza a la abrasión o agotamiento por fricción entre estos elementos. Para poder experimentar con la partícula de la mezcla asfáltica cuando ésta esté oprimida bajo ciertas cargas vehiculares se debe de determinar los materiales de tal manera que sean lo más adecuados frente a desgaste por fricción.

Existe otro ensayo el cual toma como base los agregados gruesos, los cuales son sometidos dentro de un cilindro metálico, siendo el fin de simular un agotamiento por abrasión mucho más que por la fricción entre estos elementos que por impacto. Consecuentemente, este ensayo permite obtener una valoración por el impacto de la humedad sobre la dureza a la abrasión del material pétreo.

En ese mismo lugar se procede con el ensayo para valorar la resistencia a la fractura de las partículas del agregado grueso. Por lo mismo, en el ensayo se cuantifica la carga monotónica de compresión inevitable en donde se aplica partículas del material pétreo grueso para que de alguna u otra manera esta se rompa que en tal sentido que origine un 9.99% de material fino el mismo que pase por el tamiz No. 8.

Al mismo tiempo, el ensayo para obtener la dureza del agregado pétreo a la desintegración en función de sus poros, en la cual el agua se riega por el fenómeno

del congelamiento. Así mismo su fin es el de investigar y evaluar la dureza del material al intemperismo. Por consiguiente, esta prueba gira en torno a una muestra del agregado pétreo que se sume junto con el sulfato de sodio para posteriormente ser secada al horno. De igual manera, en el ensayo la sal que se encuentra en el interior de los poros del material procede a deshidratarse. La presión interna de expansión adentro de los poros que causa esta rehidratación de la sal produzca su desintegración de la propia muestra.

Lo correcto en una aleación asfáltica, es que el material pétreo revele una forma circular,á adjuntando caras con fines de fracturas. Estas partículas poseen un soporte de tipo granulares mucho más sólidos. Las partículas aplanadas y alargadas proceden a generar soportes granulares porosos y con una baja dureza tienden a fracturarse bajo un esfuerzo.

Mezcla en caliente asfáltica

Este tipo de aleaciones son más conocidas y clasificadas como: MAC-75, MAC-63 y MAC-50 de acuerdo con el artículo 451 de la normativa y reglamento Invías 2013. El número indica el tamaño máximo de partícula del agregado de carácter pétreo de la mezcla en mm.

Tabla 2

Granulometría del agregado pétreo para MAC

Tamiz		Porcentaje que pasa		
Normal	Alternativo	MAC-75	MAC-63	MAC-50
mm	''	MAC-60	MAC-50	MAC-40
74.99	2.99	99.99		
62.99	2.00 ½	94.99-100	99.99	
49.99	1.99			99.99
37.50	1.00 ½	29.99-70	34.99-70	74.99-95
18.99	¾	3-20	5-20	50-70
9.5	¾	0-5		
4.75	No. 4			8-20
2.36	No. 8		0-5	
150 um	No. 100			0-5

Fuente: Quintana y Reyes (2015)

Es una mezcla la cual su diferencia va en torno en que esta clase de aleaciones, la misma que se emplea como ligante en cemento asfáltico. Además, son mezclas mismas que se deben fabricar, extender y compactar a elevadas temperaturas, la cual oscila entre 110 y 120 °C

Tabla 3

Características de los materiales para mezclas MAC

Prueba	Metodología	NT-1	NT-2	NT-3
Agregado Grueso				
Dureza al desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV- E-218, 219	34.99% máx.	34.99% máx.	34.99% máx.
Micro Deval	INV- E-238	-	29.99% máx.	25.01% máx.
9.99% de finos en seco	INV- E-224	-	-	90.01 kN mín.
9.99% de finos relación húmedo/seco	INV- E-224	-	-	74.99% mín.
Pérdida en prueba de solidez en sulfato de magnesio	INV- E-220	17.99% máx.	17.99% máx.	17.99% máx.
1 cara fracturada	INV- E-227	60.01% mín.	75.01% mín.	75.01% mín.
2 caras fracturadas	INV- E-227	-	-	-
Elementos planos y alargados	INV- E-240	9.99% máx.	9.99% máx.	9.99% máx.
Presencia de impurezas	INV- E-237	0.49% máx.	0.49% máx.	0.49% máx.
Encubrimiento de los agregados con materiales asfálticos mediante el uso del agua hirviendo	INV- E-757	Reportar en porcentaje		

Fuente: *Quintana y Reyes (2015)*

Entre sus principales ventajas al momento de tomar en cuenta este tipo de aleación asfáltica, se dan a conocer a continuación:

- Disminuyen el porcentaje de accidentes en las vías porque baja considerablemente el fenómeno que se conoce como hidropelaje cuando ingresa del agua a la mezcla en el transcurso del periodo de lluvia.
- Excelente textura en la superficie de rodadura, mejorando notoriamente la fricción.
- Baja de manera notoria el ruido en la carpeta de asfalto.

Entre sus desventajas de hacer uso estas aleaciones asfálticas se pueden encontrar:

- Al aumentar su porosidad disminuye la rigidez y la dureza mecánica.
- Tienden a que disgregan de una forma mucho más rápida.
- El asfalto al momento de estar dentro de la mezcla tiende a oxidarse y envejecer de manera rápida debido a que se produce la entrada y evaporación del agua.
- Las mezclas modificadas en su construcción deben ser extendidas y compactadas a una temperatura considerablemente alta.

Controles de forma obligatoria y rigurosa durante el proceso de construcción de MAC

- Control de calidad de la mezcla asfáltica.
- Control de calidad de los materiales pétreos.
- Control del contenido del porcentaje de asfalto, así mismo, de la granulometría de los agregados.
- Extender de forma correcta la mezcla con la máquina correspondiente, o, cuando se lo requiera con el uso de la motoniveladora.
- Prohibido el paso del tráfico mediante su construcción por las bajas cantidades del contenido del ligante.
- Prohibida la ejecución del proceso constructivo durante la lluvia, tampoco cuando la temperatura ambiente sea inferior a 5 °C.

Tabla 4*Tolerancias granulométricas*

Tamiz	Tolerancia en porcentaje sobre el peso seco de los agregados
4.749 mm (No. 4) junto con mayores	± 5%
Menores que 4.749 mm (No. 4)	± 3%

Fuente: *Quintana y Reyes (2015)*

- La altura de la capa que esta compactada no debe ser inferior a la altura del espesor de diseño.
- La capa superficial que esta compactada no tiene que presentar irregularidades en la sección transversal superior a los 14.99 mm.
- Se tiene que optar por tomar medidas de deflexión se debe realizar utilizando el dispositivo viga Benkelman para la toma de decisiones a futuro.

Evaluación

Inventario de perjuicios

La evaluación de daños en los pavimentos se debe a su severidad y extensión, estos daños se deben principalmente a los siguientes eventos:

Fisuras

Las fisuras en sentido longitudinal se presentan debido a las cargas de tránsito continuo, es decir, cargas continuas en la superficie del pavimento asfáltico que conlleva a una pérdida de rigidez, consecuentemente esto causa deformaciones que terminan fisuras a nivel de la carpeta rasante. Esta disminución de la rigidez se la conoce como fatiga la misma que sumada a factores externos tales como los líquidos y aire propio del medio ambiente, disminuyen de forma considerable la vida útil del pavimento asfáltico.

Entre otras fisuras se tiene:

- Agrietamiento debido a la disminución de la temperatura.
- Fatiga térmica por cambios bruscos de temperatura.

- Deformación por esfuerzos muy altos debido a los sobreesfuerzos causados por el tráfico.

Deformaciones

Las deformaciones se clasifican en tres: debido al hundimiento, ahuellamiento y ondulación.

- Ahuellamiento: Se lo conoce como un asentamiento de carácter longitudinal a lo largo de la llanta de los vehículos, esta falla se debe a una disminución de la rigidez junto con las elevadas temperaturas de servicio, etc.
- Hundimiento: Se las conoce como depresiones ubicadas en el pavimento, este evento se da por la ausencia de un debido drenaje, junto con procesos constructivos incorrectos, pérdida de agua en la carpeta subrasante, altos porcentajes de humedad, falta de un grado adecuado de compactación, etc.
- Ondulación: Se lo conoce como una distorsión lineal del pavimento asfáltico, sus principales causantes de que se produzca es una incorrecta dosificación en los agregados, un cemento asfáltico de pésima calidad, temperaturas muy altas, fricción a una velocidad muy baja, etc.

Pérdida de las capas de la estructura

La pérdida de las capas en la estructura vial se clasifica en: descaramiento, bache, y parches.

- Descaramiento: Se lo conoce como la separación de la carpeta asfáltica, pero sin que este fenómeno afecte la capa intermedia del pavimento, este hecho es causado por una altura de grosor de forma incorrecta de la capa superficial, ligante asfáltico de baja calidad, además, un proceso erróneo de compactado, vida útil del ligante asfáltico, o que el proceso constructivo se de a cabo durante un día lluvioso.
- Bache: Este fenómeno se produce por una considerable cantidad de humedad presente en la capa subrasante, siendo este el nivel consecuente de la deformación dejando sin protección la capa granular.
- Parche: Se da como una solución ante el desprendimiento de la carpeta de rodadura, el cual consiste en sellar las grietas con la finalidad de habilitar la calzada.

Daños superficiales

Estos daños se encuentran expuestos de forma continua al tránsito vehicular, ya que afecta básicamente a la capa de rodadura y entre sus clasificaciones están:

- Daño por desgaste

Este daño se presenta por el deslizamiento de los neumáticos de los vehículos en la capa rasante, conllevando a una pérdida rápida del ligante.

- Pérdida de agregado

Este daño consiste en la pérdida de agregados en la carpeta de rodadura lo cual deja sin protección a las demás capas y las expone a cargas y situaciones climáticas.

- Surcos

Es conocido como el agotamiento que se produce en los canales longitudinales.

- Pulimento de los agregados

Es cuando se observa una resistencia al deslizamiento muy baja y siendo su principal causante la enorme cantidad de tráfico junto con cargas realmente altas.

- Cabezas duras

Es un evento el cual produce ciertas vibraciones, las mismas pueden ser fastidiosas para el conductor, este hecho se produce debido a la presencia de agregados muy sólidos y de un tamaño considerable en la carpeta de rodadura.

Inspección de obra de drenaje

En esta inspección se debe realizar un proceso de estudio para el continuo control a la erosión, además comprobar la firmeza de los taludes y de las zanjas, para disminuir esta acumulación de líquidos se recurre al uso de los drenajes, mismos que pueden ser superficiales o subterráneos.

Estado superficial a través del MDR

$$MDR=100 - \sqrt{\left(\sum pn_i^2\right)}$$

Fuente: *Quintana y Reyes (2015)*

Pn: es el peso de ponderación del daño en función de su severidad y extensión

El estado superficial es uno de los parámetros más importantes al momento de analizar el estado de una carpeta de rodadura, el MDR también conocido como el índice de daños superficiales del pavimento.

Este valor es de carácter adimensional y se obtiene en función de la base de la información producto de un riguroso inventario de daños, además este valor puede estar entre 0 y 100, siendo el 0 una vía totalmente destruida, y el valor de 100, una superficie en un estado totalmente perfecto.

Determinación del PCI

Se lo conoce como el índice de condición actual de pavimentos abreviado con sus siglas PCI, este valor se calcula igual que el MDR, el PCI evalúa el estado del asfalto en función de una escala que va desde 0 lo cual significa que está en muy mal estado, hasta 99.99 que significa en perfecto estado.

Determinación de la irregularidad superficial

En los pavimentos se puede encontrar irregularidades lo cual desencadena en una inconformidad para los usuarios, los mismos que pueden llegar a producir aceleraciones verticales. Su clasificación varía en las siguientes descripciones:

- Medidas de precisión del perfil

Para este método se necesita de un equipo topográfico el cual puede ser la estación total, el mismo es progresivamente efectivo para determinar ciertas irregularidades presentes en la vía, pero, la recolección de estos datos conlleva a un trabajo de largo tiempo de ejecución, por lo que se considera una desventaja ya que a mayor tiempo mayor será el costo.

- Medidores de rugosidad

Se mide mediante el uso y aplicación del ensayo de cuarto de carro, con el mismo se determina la regularidad del perfil en la superficie de la vía, la mencionada técnica se basa en determinar el comportamiento de la deflexión mecánica de la carpeta y la reacción que podría obtener el usuario.

Determinación del PSI

El PSI, también conocido como el índice de serviciabilidad de un pavimento, junto con su valor que va entre 0 y 5, donde 5 el valor más alto y refiere que la vía está en perfecto estado y 0 refiere un pésimo estado. Para obtener el índice de serviciabilidad las referencias deben aplicarse con un inicio de índice que va entre 4 y 4,2 se debe considerar la vida útil del pavimento asfáltico, siendo este su valor final en un rango de 1.5 a 2.5 con una variación entre el inicial y final que ronda entre 1.5 a 2.7. La siguiente fórmula demuestra los valores que se intervienen para evaluar el PSI.

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 1.38(RD)^2 - 0.01(C + P)^{0.5}$$

Fuente: Quintana y Reyes (2015)

SV: es la varianza de la pendiente de la sección, esto se realiza con la ayuda del perfilómetro.

RD: es el daño del ahuellamiento que se mide en pulgadas.

C: es el área en donde se cuentan los agrietamientos (ft² /1000 ft²)

P: es el área que esta parchada (ft² /1000 ft²)

Determinación del OPI

Se lo conoce como el índice de condición global del pavimento O.P.I es un parámetro de valor adimensional, el mismo que se basa en la condición funcional y superficial del pavimento a través del IRI (en m/km) y del MDR correspondientemente. Un OPI igual a 0 y a 100 significa una vía en mal con su valor más bajo y buen estado con su valor más alto. Este parámetro se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$OPI = MDR \left(\frac{5 \exp^{0.198 - 0.261 \times IRI}}{5} \right)^{0.12}$$

Fuente: Quintana y Reyes (2015)

2.3 Marco referencial

Para la variable tereftalato de polietileno se usará el trabajo denominado “Incorporación de plástico reciclado mediante vía húmeda en una mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados pétreos del cantón Guamate”, tiene por objetivo desarrollar una mezcla asfáltica caliente con la adición del tereftalato de polietileno (PET) comparando las propiedades físicas y/o mecánicas de esta, con las de una mezcla asfáltica convencional. La granulometría utilizada corresponde a la Norma MOP-001-F 2002 (Anexo A). Se obtiene un resultado en el cual se mejora la estabilidad en 3300 lb versus 2450 lb, el flujo disminuye de 17.50 a 12.92 pulgada/100 y el porcentaje del ligante 18.10% a diferencia de la mezcla convencional que no alcanzó el porcentaje mínimo de 16%, relacionándolo con la investigación presente por el uso de tereftalato de polietileno en una mezcla asfáltica (Pilatuña & Rodríguez, 2021).

Continuando con la variable tereftalato de polietileno se usará el siguiente trabajo: “Mezcla asfáltica modificada con PET” el cual, tiene por objetivo determinar si la adición de PET con la mezcla asfáltica puede lograr resultados similares o mejores a las mezclas tradicionales reguladas por INVIAS a fin de reducir la contaminación por desechos plásticos en el medio ambiente. A partir de los resultados, se observó un aumento en los valores correspondientes a las briquetas con mezcla asfáltica modificada con PET. Es decir, esta diferencia aumenta significativamente la vida a fatiga de la mezcla asfáltica modificada con PET con un porcentaje promedio en un 220%. Una vez realizada la mezcla modificada con PET, se concluye que el porcentaje óptimo de ligante será de 4.5% con lo que cumple con las especificaciones técnicas dadas por el INVIAS en el artículo 450-13 para una vía de categoría de tráfico NT3, relacionándolo con la investigación presente por el uso de tereftalato de polietileno en una mezcla asfáltica (Herrera & Valencia, 2021).

Siguiendo con la variable tereftalato de polietileno se usará el siguiente trabajo de investigación “Aporte estructural de mezcla asfáltica en caliente con inclusión de plástico PET por vía seca a estructuras de pavimento flexible para vías de bajo tráfico según especificaciones invias”, teniendo por objetivo efectuar un análisis comparativo de la capacidad estructural de un pavimento flexible de estructuras convencionales respecto a estructuras con mezclas asfálticas modificadas con plástico tipo PET para vías de bajo tráfico empleando

especificaciones INVIAS. Como conclusión se obtiene la densidad de la inclusión óptima de PET se encuentra en un rango de 0.49% a 2.49% obteniendo un resultado de densidad que se catalogó en 2.382 gr/cm³. El grosor de la carpeta asfáltica en las aleaciones de asfalto con la incorporación del plástico tipo PET debe aumentar hasta en 34.99 milímetros su grosor, dependiendo del porcentaje que se agrega de PET, para lograr mantener un valor menor o igual el valor de esfuerzos verticales en la subrasante y deformación vertical en las fibras en el interior de la carpeta asfáltica (Serrato & Bohorquez, 2020).

Para la siguiente variable de la fibra celulosa de coco, se ejemplifica mediante el siguiente artículo científico “Influencia de la cáscara con la adición de la fibra de coco en mezclas asfálticas en caliente”, cuyo objetivo es determinar en qué influye de la cáscara y fibra de coco en una mezcla asfáltica caliente. En la conclusión se puede decir que los resultados obtenidos según las normativas vigentes cumplen con los requerimientos mínimos establecidos, así que se permite la incorporación de materiales eco-amigables y sostenibles en la construcción de vías y carreteras como en este caso es la fibra junto con la cáscara de coco; la adición de este material hace elevar en porcentaje en casi una unidad los porcentajes óptimos de asfalto, además, se determinó que si influye en la relación estabilidad junto con el flujo pues se obtuvo un valor muy por debajo del máximo permisible junto con una adecuada estabilidad en comparación a la mezcla tradicional (Castro, Romero, Vásquez, & Arriola, 2020).

Siguiendo con la variable de fibra celulosa de coco tenemos el siguiente trabajo de investigación “La incidencia de la integración de las fibras de coco y valor de pH de la fuente hídrica, en tiempos de la mezcla y del curado de los micro pavimentos”, siguiendo la normativa respectiva, se realizaron pruebas de tiempo de mezcla junto con las de cohesión en donde se pudo demostrar que la adición de la fibra de coco disminuye los tiempos de mezcla con los de rotura y curado debido a sus propiedades de absorción además de la aeración, aporta al desarrollo de cohesión de la mezcla en el tiempo. La inclusión de fibras de coco se abre paso a los diseños de mezcla mucho más eficientes, junto con la disminución de los costos. Adicional se analizó la influencia del pH del agua que fue utilizada en la mezcla de los micro pavimentos, observándose con evidencias que las fuentes ácidas desestabilizan las mezclas porque genera la formación de micelas y las fuentes básicas desestabilizan las mezclas debido a la disminución de la fuerza repulsiva

entre estas partículas confirmando que un pH neutro es lo ideal para poder obtener mezclas mucho más estables (Naranjo, 2020).

Para concluir con la misma variable de fibra celulosa de coco, se detalla el trabajo denominado “Evaluación experimental de diferentes aditivos aplicados en una mezcla MDC - 19”, se evaluaron distintos aditivos en una mezcla densa en caliente de tamaño máximo nominal de 19 mm (MDC-19). Los aditivos seleccionados como modificadores de las mezclas bituminosas fueron: cal hidratada (CH), fibra de coco (FC), fibra de polipropileno (PP) y grano de caucho reciclado (GCR). Se concluye que el aditivo más favorable y prometedor en la mezcla asfáltica es la cal hidratada seguida de la fibra de coco ya que presenta mejoras en el comportamiento mecánico de la mezcla, esta presenta una mayor dureza a la deformación, junto con un menor daño por humedad además de una buena estabilidad. Relacionándolo con la investigación presente por el uso de la fibra celulosa de coco en una mezcla asfáltica (Avila & Velasco, 2021).

2.4 Marco Conceptual

Asfalto

El asfalto se lo conoce como un hidrocarburo con una viscosidad alta, con un tono oscuro a negro, el mismo que comienza a partir de la destilación del petróleo. La destilación puede ser de forma natural, como en lagos de asfalto, así mismo en una refinería de petróleo cuya materia prima viene siendo el petróleo crudo. Este es una mezcla natural o artificial. Suele estar en una temperatura entre 49.99 y 99.99 ° C, está en estado líquido, pero a una temperatura por debajo de la nominal, se encuentra en estado sólido. Es una mezcla de materia mineral inerte, cal, alúmina, sílice, etc. y un hidrocarburo conocido como betún asfáltico (Maldonado, 2021).

Pavimento flexible

Un pavimento flexible es un pavimento elaborado por una capa asfáltica a base de una mezcla bituminosa en caliente, aplicada sobre una capa de base y una capa de subbase. El objetivo principal es conectar dos puntos para el transporte y comercio junto con una seguridad adecuada y bajo normativas propias de cada lugar o región junto con una superficie cómoda y segura para el usuario. Esto se logra debido a la manera en que este pavimento transfiere las cargas. Las capas de un

pavimento flexible se colocan en orden descendente en capacidad de carga, lo cual enfoca que la capa superior es la que mayor capacidad portante tiene de todas las que se disponen.

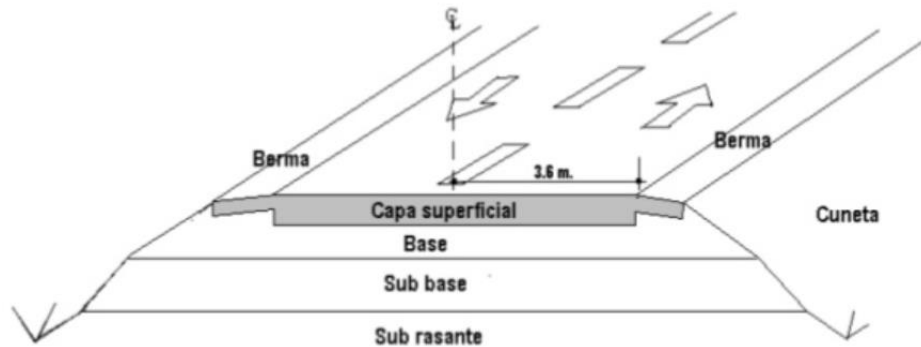


Figura 1 Estructura típica de un pavimento asfáltico

Fuente: Mocondino (2020)

Fibra celulosa de coco

La fibra de coco se obtiene del coco maduro, el proceso de maduración demora alrededor de doce meses. El mesocarpio es la parte fibrosa del coco cuyo espesor varía entre 1.00 a 5.00 cm alrededor del fruto y su contenido de celulosa va entre 35.99 - 42.99% y de lignina entre 40.99 – 44.99%. Esto hace que sus fibras sean resistentes y que su descomposición sea lenta, así mismo, su porosidad es mayor al 89.99% permitiendo la retención de agua de 537.99 ml/L además de una capacidad de aeración del 45.49%; finalmente goza de un pH neutro que varía entre 5.5 y 6.2.

Tabla 5

Propiedades mecánicas de la fibra de coco

Propiedades	Valores
La fuerza a tensión	219.99 Mega Pascales
El módulo de Young	6.00 Giga Pascales
La elongación al quiebre	15.01 – 25.01 %
La fuerza a flexión	29226.01 Mega Pascales
La fuerza de impacto	10.99 kJ/m ²

Fuente: Loaiza y Colorado (2018)

La fibra de coco colabora de forma positiva en cualquier aplicación, están presentes en mezclas asfálticas gruesas, es decir, mezclas en caliente mayores a 1.99 cm de grosor.

- Tiene un excelente aporte como aditivo estabilizador en mezclas que bordean los 180 °C.
- Aumenta el contenido de aglutinante en función que los agregados se cubren por una delgada capa, la cual previene la oxidación y separación de estas.
- Su estructura única compensa la propiedad frente al agrietamiento en bajas temperaturas y disminuye las fisuras de reflexión en la capa de asfalto.
- Aumenta el rango de temperaturas en los cuales el pavimento puede trabajar sin tender a degradarse o agrietarse, ni reducir su eficacia.
- Disminuye el flujo de aglutinante asfáltico disminuyendo la obstrucción de vacíos en la capa de rodadura.
- Puede incrementar la resistencia al momento que se presente tracción al compactar el pavimento mediante una metodología de Super Pave.

Tereftalato de Polietileno

El tereftalato de polietileno que también se lo conoce como PET es uno de los elementos plásticos más utilizados en el planeta, justamente al momento de la fabricación de envases cuyo uso es global. Debido a su composición química, el tereftalato de polietileno es un tipo de plástico de clase poliéster. Se lo obtiene a través de la policondensación con el ácido tereftálico y el etilenglicol; una vez obtenido el elemento, este se puede procesar de muchas maneras para obtener sus productos derivados.

Si se busca la transparencia de este elemento, el material debe ser enfriado lo más rápido de ser posible después de ser tratado. Las características de este elemento lo convierten en un material ideal para la fabricación de muchas piezas que son consideradas como necesarias.

Principales propiedades mecánicas

Tabla 6

Propiedades mecánicas del tereftalato de polietileno

Propiedades	Unidades	Valores
Densidad	grados/cm ³	1,339 – 1.399
La resistencia a la tensión	Mega Pascal	58.99 – 71.99
La resistencia a compresión	Mega Pascal	75.99 – 127.99
La resistencia al impacto	Jules/milímetros	0.009 – 0.039
La dureza		
La dilatación térmica	10 ⁻⁴ / °C	15.20 – 23.99
Su resistencia al calor	Grados Centígrados	80.01 – 120.01
Su resistencia dieléctrica	V/mm	13780.01 – 15750.01
Constante dieléctrica (60 Hz)		3.649
La absorción de agua (24 h)	Porcentaje	0.019
La velocidad de combustión	milímetros/minutos	Consumo tiende a lento
Efecto luz solar		Se decolora ligeramente
La calidad de mecanizado		Óptimo
La calidad óptica		Transparente tiende a opaco
La temperatura de fusión	Grados Centígrados	243.99 – 253.99

Fuente: Lokensgard y Richardson (1999)

Principales resistencias químicas:

Tabla 7

Resistencia del PET ante agentes químicos

Alcoholes	
Metanol	Su resistencia es muy alta
Etanol	Su resistencia es muy alta
Isopropanol	Su resistencia es alta
Ciclohexanol	Su resistencia es muy alta
Glicol	Su resistencia es muy alta
Glicerina	Su resistencia es muy alta
Alcohol bencílico	Su resistencia es alta

Aldehídos

Acetaldehído Su resistencia es muy alta

Formaldehído Su resistencia es muy alta

Compuestos de cloros

Tetracloruro de carbono Su resistencia es muy alta

Cloroformo Su resistencia es alta

Difenil clorado Su resistencia es muy alta

Tricloro etileno Su resistencia es muy alta

Disolventes

Éter Su resistencia es muy alta

Acetona Su resistencia es nula

Nitrobenceno Su resistencia es nula

Fenol Su resistencia es nula

Ácidos

Ácido fórmico Su resistencia es muy alta

Ácido acético Su resistencia es muy alta

Ácido clorhídrico 10% Su resistencia es alta

Ácido clorhídrico 30% Su resistencia es alta

Acido fluorhídrico 10 y 35% Su resistencia es muy alta

Ácido nítrico 10% Su resistencia es muy alta

Ácido nítrico 65% Su resistencia es nula

Ácido fosfórico 30 y 85% Su resistencia es muy alta

Ácido sulfúrico 20% Su resistencia es alta

Ácido sulfúrico 80% Su resistencia es nula

Anhídrido sulfuroso seco Su resistencia es muy alta

Álcalis

Hidróxido amónico Su resistencia es nula

Hidróxido cálcico Su resistencia es muy alta

Hidróxido sódico Su resistencia es nula

Sales

Dicromato Altamente resistente

Carbonatos alcalinos Altamente resistente

Cianuros Altamente resistente

Fluoruros	Altamente resistente
Sustancias varias	
Cloro	Altamente resistente
Agua	Altamente resistente
Peróxido de hidrógeno	Altamente resistente
Oxígeno	Altamente resistente

Fuente: Lokensgard y Richardson (1999)

Entre la clasificación de los plásticos se encuentran:

PET (Tereftalato de Polietileno)

Se trata del plástico más común empleado en la producción de envases como botellas de refrescos, agua, aceite... Este material tiene la ventaja de ser reciclable para obtener fibras con las que rellenar almohadas o confeccionar alfombras; por tanto, se recomienda introducirlo en el contenedor correspondiente. Así mismo, es reutilizable si está profundamente limpio.

HDPE (Polietileno de alta densidad)

Se distingue por su mayor grosor y rigidez, lo que le confiere más resistencia tanto al calor como al frío. Se emplea para fabricar botellas de lácteos, garrafas, detergentes, bolsas de plástico... Es reciclable y se puede emplear para hacer macetas o contenedores de basura. También es reutilizable si está en óptimas condiciones higiénicas

PVC (Polivinilo)

Este material, por sus características, es perfecto para la fabricación de botellas de champú y detergentes, juguetes, tuberías, mangueras e incluso envoltorios de alimentos. A diferencia de los materiales anteriores, no es reciclable y no conviene reutilizarlo.

LDPE (Polietileno de baja densidad)

Destaca por ser un material muy seguro. De ahí que esté presente en envases como botellas de agua, bolsas de supermercado, plásticos para envolver y guantes. Puede ser reciclado, especialmente como bolsa.

PP (Polipropileno)

Es un material resistente al calor y no deja pasar la humedad, grasa o productos químicos. Esta propiedad lo hace idóneo para la fabricación de envases de mantequilla y yogures, así como para pajitas y tapas de botellas. Se puede reutilizar con toda seguridad y, además, permite ser reciclado (peldaños para registros de drenaje, cajas de baterías para automóvil, etc.).

PS (Poliestireno)

Su uso está muy extendido entre las cafeterías y restaurantes de comida rápida porque, concretamente, se encuentra en los envases de las hamburguesas, vasos desechables para bebidas calientes, cubiertos y tarrinas de helado. Hay que tener en cuenta su alto grado de contaminación, por lo que no debe reutilizarse para contener otro alimento. Sin embargo, puede reciclarse porque es indicado para hacer viguetas de plástico o macetas.

2.5 Marco Legal

Objetivos de Desarrollo Sostenible

Plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos. Se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia (UN, 2020).

Constitución de la República del Ecuador

En el siguiente artículo de la Constitución nos menciona lo siguiente:

Sección segunda Ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 30 y 31.- Derecho de contar con una vivienda de manera segura, así como el respeto a cualquier ideología que puede tener el ser humano.

Art. 264. 7 y 281. 8. Los implementos de salud, educación, los espacios públicos deportivos y el desarrollo de la investigación científica y de la innovación tecnológica que debemos contar.

Art. 350 y 385.- La educación superior será una formación académica superior con visión científica, tecnológica, humanista e impulsar la producción nacional que sea eficiente y productiva (CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, 2008).

Ley Orgánica de Educación Superior LOES

Art. 8.- Fines de la Educación Superior. - en la que encontramos los siguientes fines:

a) Aportar al desarrollo del pensamiento universal, al despliegue de la producción científica, de las artes y de la cultura y a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas.

b) Fortalecer en las y los estudiantes un espíritu reflexivo orientado al logro de la autonomía personal, en un marco de libertad de pensamiento y de pluralismo ideológico.

c) Contribuir al conocimiento, preservación y enriquecimiento de los saberes ancestrales y de la cultura nacional.

d) Formar académicos y profesionales responsables, en todos los campos del conocimiento, con LEY ORGÁNICA DE EDUCACIÓN SUPERIOR, LOES.

f) Fomentar y ejecutar programas de investigación de carácter científico, tecnológico y pedagógico que coadyuven al mejoramiento y protección del ambiente y promuevan el desarrollo sustentable nacional en armonía con los derechos de la naturaleza constitucionalmente reconocidos, priorizando el bienestar animal (LEY ORGANICA DE EDUCACION SUPERIOR, LOES, 2018).

Artículo 28.- La educación responderá al interés público y no estará al servicio de intereses individuales y corporativos.

Artículo 344.- Régimen del Buen Vivir, determina que el sistema nacional de educación, así como acciones en los niveles de educación inicial, básica y bachillerato, y estará articulado con el Sistema de Educación Superior.

Artículo 350.- El Sistema de Educación Superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y

Artículo 351.- El Sistema de Educación Superior estará articulado al Sistema Nacional de Educación y al Plan Nacional de Desarrollo; la ley establecerá los mecanismos de coordinación del Sistema de Educación Superior

REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ORGÁNICA DE EDUCACIÓN SUPERIOR (decreto ejecutivo 742, 2019).

Artículo 352.- El Sistema de Educación Superior estará integrado por universidades y escuelas politécnicas; institutos superiores técnicos, tecnológicos y pedagógicos; y conservatorios superiores de música y artes, debidamente acreditados y evaluados.

Reglamento de Titulación de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil

Que la unidad de titulación es la unidad curricular que incluye las asignaturas, cursos o sus equivalentes, que permiten la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera para la resolución de problemas, dilemas o desafíos de una profesión (Universidad Laica Vicente Rocafuerte, 2019).

Que el resultado final de esta unidad curricular es:

- a) El desarrollo de un trabajo de titulación, o,
- b) La preparación y aprobación de un examen de grado de carácter complejo, con los cuales se realiza la validación académica de los conocimientos, habilidades y desempeños adquiridos en la carrera por los estudiantes (Universidad Laica Vicente Rocafuerte, 2019).

Que en ambas modalidades el estudiante deberá demostrar el manejo integral de los conocimientos adquiridos a lo largo de su formación profesional, así como las destrezas alcanzadas al término de la misma, sin que le sea permitido realizar otra unidad curricular distinta a las señaladas en la Ley (Universidad Laica Vicente Rocafuerte, 2019).

Que en ejercicio de la autonomía universitaria establecida en el Art. 351 de la Constitución de la República y al amparo de la potestad reglamentaria ejercida por el Órgano Colegiado Superior (OCAS) de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

Art.17.- Proyecto de Investigación. - Es una propuesta que pretende encontrar resultados que den respuesta a un problema que surja de las prácticas pre-profesionales, vinculación con la sociedad o de su experiencia laboral. En esta opción se puede hacer uso de cualquiera de los métodos y tipos de investigación existentes que apliquen al tema motivo de la propuesta, una investigación

exploratoria y diagnóstica, la base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta (Universidad Laica Vicente Rocafuerte, 2019).

Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F 2002

- Capítulo 400 Estructura del pavimento
- Capítulo 600 Instalación de drenaje y alcantarillado
- Capítulo 800 Instalación de drenaje y alcantarillado

(REPÚBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES, 2002).

Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12-MTOP

- Volumen 1: Procedimientos para proyectos viales
- Volumen 2A-B: Norma para estudios y diseños viales
- Volumen 3: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes
- Volumen 4: Estudios y criterios ambientales para proyectos viales
- Volumen 5: Procedimientos de operación y seguridad vial
- Volumen 6: Operaciones de mantenimiento vial (MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS DEL ECUADOR, 2013).

Norma Técnica Ecuatoriana

- NTE INEN-ISO 16039: Construcción de carreteras y mantenimiento de equipo (INEN, 2015).
- NTE INEN-ISO 15143-1 Maquinaria para movimiento de tierras y máquinas móviles de construcción de carreteras (INEN, 2014).
- NTE INEN 2060:2009 Productos derivados del petróleo. Cementos asfálticos. Requisitos (INEN, 2002).
- NTE INEN 2061:2009 Productos derivados del petróleo. Asfaltos diluidos. Requisitos (INEN, 2009).
- NTE INEN 2062:2009 Productos derivados del petróleo. Emulsiones asfálticas catiónicas. Requisitos (INEN, 2009).

ASTM International (American Society for Testing and Materials)

- ASTM D3496
- ASTM D3497
- ASTM D1559 (ASTM, 1989)

American Association of State Highway and Transportation Officials

- AASTHO T225
- AASTHO TP62 (AASHTO, 2007).

Ley de Gestión Ambiental

- Ley de Gestión Ambiental LEY NO. 37. RO/ 245 DE 30 DE JULIO DE 1999 (LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL, 2004).

Ley orgánica de Economía Circular inclusiva

- Ley orgánica de Economía Circular inclusiva (ASAMBLEA NACIONAL, 2021).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de la investigación: (cuantitativo, cualitativo o mixto)

La metodología de la investigación es el conjunto de técnicas y procedimientos que se aplican de forma sistemática y ordenada en la elaboración de un estudio durante un proceso de investigación, la metodología forma parte del trabajo en sí, de acuerdo a las características de trabajo, la presente investigación se apega más al método deductivo.

El método deductivo es un método científico que se basa en estrategias de razonamiento lógico, sin embargo, el método deductivo se profundiza mucho más en la conclusión, porque llega a esta de una manera específica, rigurosa y válida a partir de leyes, teorías generales e investigaciones referenciadas. Se relaciona con esta investigación, al momento que se busca comportamientos desconocidos, adicionando fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno a un pavimento asfáltico tradicional, previamente evaluándolo bajo las debidas normativas junto con las propiedades de estos materiales mediante diferentes pruebas, obteniendo resultados y conclusiones.

El enfoque de la investigación es una manera de ver las ideas propuestas asociadas con la investigación, siendo este un proceso sistemático, disciplinado y controlado mediante la conexión natural lineal entre elementos (variable dependiente y variable independiente).

En esta investigación el enfoque será cuantitativo, se basa en la recolección de datos para comprobar la hipótesis relacionándolo con la medición numérica y el campo de la estadística.

El enfoque cuantitativo se aplicará cuando; se recolecten datos de una muestra mediante las herramientas de investigación, estos datos se tomarán de los diferentes ensayos tales como: estabilidad, porcentaje de vacíos, entre otros, con los datos recolectados, se realizará el análisis estadístico, representando porcentajes y proporciones, determinando con cada resultado si es factible o cual de la dosificación propuesta es la que cumple las normas mínimas apropiadas.

3.2 Alcance de la investigación

La Investigación Experimental es aquella que se realiza con un enfoque científico y cuantitativo, el objeto a estudiar o investigar toma el nombre de variable pueden ser varias variables, pero el fin de esta investigación es manipular, evaluar o examinar diversos efectos que ocurren en las variables al momento de que interviene el sujeto o experimentador, es decir, establecer una relación causa-efecto con el propósito de conseguir un resultado.

La Investigación Experimental se relacionará en este proyecto, porque sin ella no se podrá concluir el trabajo, desde el momento que dice “Pavimento asfáltico en caliente con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno”. Esto significa que se tendrá que experimentar; las variables: fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno; el sujeto o experimentador, las personas que experimentarán con los materiales y la relación causa-efecto será probar en diferentes dosificaciones, obteniendo diversos prototipos los cuales se someterán a pruebas mecánicas manifestando diferentes comportamientos y resultados únicos permitiendo concluir la investigación.

Se propone un alcance exploratorio, debido a que se desconoce cómo reaccionará el nuevo elemento, cómo será el comportamiento mecánico y físico al momento de juntar el plástico tereftalato de polietileno con la fibra celulosa de coco en variadas dosificaciones, cuál será la mejor dosificación frente al ensayo Marshall, el mismo que define los rangos mínimos permitidos en los ítems a evaluar en los pavimentos asfálticos.

3.3 Técnica e instrumentos para obtener los datos

Para este proyecto de investigación la técnica utilizada fue el ensayo Marshall el cual permite por varios procesos determinar el flujo y estabilidad del pavimento asfáltico en caliente usando plástico polipropileno y policarbonato.

Los instrumentos usados por el ensayo son: Hornilla, horno, molde para la briqueta, balanza, martillo Marshall, tamices, máquina de compresión universal y dial.

3.4 Población

Se conoce como población al grupo o a un conjunto de elementos que tienen características similares o comunes observables en un lugar y en un momento

determinado. A su vez estos forman parte de un gran universo total. La población es muy importante porque toda investigación requiere de la identificación de la población objeto de estudio y la selección del tamaño de la muestra que va a ser analizada.

Por lo cual, para el presente trabajo de investigación se tiene una población de 22 briquetas con diferentes dosificaciones de plástico tereftalato de polietileno, fibra celulosa de coco y ligante tradicional.

3.5 Muestra

Es un subconjunto de la población, también conocida como una parte de la población o de ese gran Universo total, la muestra es una proporción más pequeña que posee características de gran similitud de la población y son los individuos a los cuales se les aplicarán las técnicas para la debida recolección de datos con el fin de obtener respuestas concretas y veraces.

Cuando la población es reducida se puede decir que la muestra es igual a la población, concluyendo que para este trabajo de investigación la muestra se consolida por 22 briquetas subdivididas de la siguiente forma: 4 dosificaciones con 2 porcentajes de asfalto a 2 ejemplares de briquetas modificados, además con 6 ejemplares subdivido en 3 porcentajes de asfalto a dos ejemplares por cada uno sin modificar para poder realizar las respectivas comparaciones.

Tabla 8

Diseño de pavimento modificado

Dosificaciones para el diseño de pavimento modificado						
# de dosif.	Dosif. fibra de coco	Dosif. de tereftalato de polietileno	Dosif. total de adición	% (1) de Ligante Asfáltico	% (2) de Ligante Asfáltico	Total de briquetas Modif.
1	0.50 %	0.50 %	1.00 %	5.00 %	6.00 %	4
2	0.75 %	0.75 %	1.50 %	5.00 %	6.00 %	4
3	1.00 %	1.00 %	2.00 %	5.00 %	6.00 %	4
4	1.25 %	1.25 %	2.50 %	5.00 %	6.00 %	4
Número total de briquetas:				8	8	16

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Así mismo se procede a ensayar las muestras, pero sin modificar, de manera que se tenga unas propiedades bases y comprobadas en el laboratorio mediante sus respectivas pruebas.

Tabla 9

Numero de briquetas sin modificar

Briquetas en estado natural (sin modificar)	
% de Ligante Asfáltico	# de briquetas
5.00 %	2
5.50 %	2
6.00 %	2
# total de briquetas (S.M)	6

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

3.6 Presentación y análisis de resultados

Para entender de mejor forma el proceso para la obtención de resultados acerca de la mezcla asfáltica en caliente utilizando plástico tereftalato de polietileno y fibra celulosa de coco se la clasificará por fases.

Fase 1: La obtención de los materiales.



Figura 2 *Obtención de plástico PET*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

El plástico PET, fue obtenido mediante el reciclaje del mismo, fue recolectado, lavado y finalmente troceado, recordando que es el material que más abunda en nuestro entorno.



Figura 3 *Obtención de la fibra de coco*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

La fibra celulosa de coco, fue obtenido mediante el reciclaje del mismo, su recolección, luego de proceder a remojar por 24 horas para que se poder obtener de mejor forma la fibra, se procede a curar con lechada de cal por 48 horas para evitar cualquier proceso bacteriano el cual pueda perjudicar a la mezcla asfáltica, finalmente se deja secar al sol para su posterior corte con una longitud de 2cm.



Figura 4 *Material Granular*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

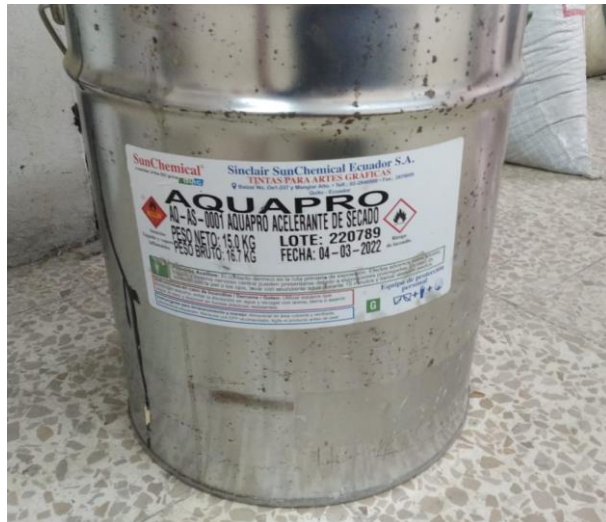


Figura 5 *Ligante Asfáltico*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

Fase 2: Determinar los porcentajes de dosificación.

Tabla 10

Determinar el porcentaje de dosificación

Proceso	Fotografía
<p>Material obtenido en laboratorio como un material ya unificado, se usa de base para elaborar la dosificación tradicional y modificada (está compuesto por grava y arena); se procede a realizar un ensayo granulométrico usando los tamices para determinar su respectiva granulometría.</p>	
<p>Se coloca en la balanza con la ayuda de taras y se toman los valores de los respectivos pesos sin modificar, así como los modificados según las dosificaciones establecidas.</p>	

Luego, tras determinar los diferentes pesos en gramos de los agregados según sea los modificados o los tradicionales, se procede a realizar la correcta integración de los mismos con un continuo mezclado para así obtener una mezcla uniforme, que busca alcanzar resultados más eficientes.

Para la mezcla tradicional se usará un total de 1100 gramos de agregado granular más el agregado de ligante asfáltico.

Para la mezcla modificada se restará del total de agregado granular los pesos correspondientes al plástico y a la fibra de coco, de igual forma llegando a 1100 gramos más el ligante asfáltico.

Se tendrá que tener previamente calentado los materiales, en una hornilla, así mismo, una vez agregado cada material con su debido mezclado se la debe mantener a una constante temperatura para que facilite su manejo.



Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Fase 3: Obtención de las briquetas

La obtención de briquetas de las muestras se realizó mediante la preparación de un molde cilíndrico y luego tras tener las diferentes mezclas listas se procede a depositar en el molde para golpear 75 veces por cada lado usando el martillo Marshall, finalmente dejando enfriar hasta que se llegue a la temperatura ambiente. Se tiene que contar los 75 golpes debido a un diseño de tráfico pesado.



Figura 6 *Vertido de mezcla en molde cilíndrico*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)



Figura 7 *Martillo de Compactación Marshall automático*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)



Figura 8 *Obtención de briquetas en estado tradicional y modificadas*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

Se procede a obtener las 22 briquetas especificada en la dosificación; se detalla 2 briquetas por cada dosificación 2 de modo tradicional con asfalto a 5%, 5.5% y 6%, seguida de las briquetas modificadas, 4 briquetas al 0.50%, 0.75%, 1.00% y 1.25% con agregados de asfalto de 5% y 6%.

Fase 4: Análisis del peso

En este paso se procede a pesar la briqueta, la primera vez al momento que alcance la temperatura ambiente, la segunda se procede a mojarla en un balde saturándola, se repite el mismo proceso, luego se las ubica en el horno para secarla y volver a pesar la briqueta, finalmente se debe tomar el peso saturado, se registran todos estos datos.



Figura 9 *Toma de dimensiones de briqueta*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)



Figura 9 *Toma de peso de briqueta*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)



Figura 10 *Saturado de briquetas*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)



Figura 11 Toma de peso una vez tomado su peso saturado y secado en el horno

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

Fase 5: Ensayo de estabilidad y determinación de flujo

En el proceso final de las briquetas tradicionales y modificadas se procedió a sumergirlas en baño María, por aproximadamente 15 minutos a una temperatura de 30°C para luego proceder a retirarlos e inmediatamente utilizar la máquina de compresión universal para determinar la estabilidad dial y el flujo correspondiente.



Figura 12 Briquetas sometidas a baño maría

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)



Figura 13 *Colocación de briqueta en la máquina para el ensayo*
Elaborado: Carnero y Parrales (2023)



Figura 14 *Ensayo en máquina de compresión universal*
Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Método de diseño de mezclas asfálticas Marshall

Este diseño se aplica en mezclas asfálticas en caliente, para esta investigación se realizaron 3 diseños de mezcla asfáltica convencional con, 5%, 5.5% y 6% de asfalto.

4.2 Ensayos al cemento asfáltico

4.2.1 Ensayos de penetración

Se tomaron 10 lecturas cuyo promedio alcanzó 67.90 mm (Ver Tabla 11). El ensayo se lo realizó bajo los parámetros de la norma (ASTM D5 / D5M-13).

Tabla 11

Ensayo de penetración

Ensayo de Penetración	
No.	Penetración (mm)
1	69
2	75
3	52
4	68
5	65
6	75
7	77
8	64
9	64
10	70
Promedio	67.90

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

4.2.2 Punto de ablandamiento

Este procedimiento consiste en la determinación del punto de ablandamiento del asfalto, el cual debe estar en un rango de 30 °C a 157 °C según

como lo establece la norma AASHTO T-53/ASTM D-95. En la tabla 2 se visualiza el resultado de 55.1 °C de punto de ablandamiento.

Tabla 12

Resultado para la mezcla asfáltica convencional

Ensayo de punto de Ablandamiento		
Peso (g)	Esfera 1	Esfera 2
	8.4	5.6
Tiempo de descenso (seg)	23	38
Temperatura	55.1	55.1

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

4.2.3 Índice de penetración

El índice de penetración está basado en la temperatura al momento del ablandamiento junto con el promedio de las lecturas del ensayo de penetración, se usarán fórmulas establecidas por el MTOP.

$$A = 50 * \left(\frac{\log 800 - \log 67.9}{55.1 - 25} \right) = 1.78$$

$$IP = \frac{20 - 10(1.78)}{1.78 + 1} = 0.79$$

Según como establece la clasificación de la norma ASTM-946 según los grados de penetración, los límites del Índice de Penetración que corresponde al Cemento Asfáltico Grado I es: -1.5 para el límite inferior y +1.5 para el límite superior. El ligante dio como resultado un índice de penetración de 0.79, se encuentra en la clasificación según el Grado de Penetración I.

Este valor corresponde a un cemento asfáltico con baja susceptibilidad a la temperatura en donde presenta cierta elasticidad, este resultado se considera bueno en el caso de la región costa, gracias a que no hay cambios bruscos de temperatura en comparación con la región sierra. Generalmente la mayoría de los cementos oxidados pertenecen a este grupo, se los conoce como cemento tipo gel o soplado.

4.2.4 Ensayo de ductilidad



Figura 15 *Estiramiento de las muestras de asfalto*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)



Figura 16 *Mordazas con muestras de asfalto*

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

Tabla 13*Ensayo de ductilidad*

Ensayo de Ductilidad	
Molde	Rango de estiramiento (cm)
1	140
2	140
3	140

Elaborado por: Carnero y PARRALES (2023)

El ensayo de ductilidad a 25 grados centígrados a 5 cm/min, según lo especifica la norma NTE INEN 916, establece que el mínimo rango de estiramiento para un asfalto AC-20 debe de ser de 50 cm, el resultado fue de 140 cm y cumple con las especificaciones.

4.3 Diseño Marshall de la mezcla convencional

Las mezclas asfálticas en caliente se caracterizan por contener agregados con un tamaño máximo de 25 mm o menor, este método utiliza briquetas de altura y diámetro estándar de 6.4 cm y 10.2 cm respectivamente, está diseñado bajo un procedimiento específico siguiendo la norma ASTM D1559 y como principales características del método de diseño es analizar los vacíos, la prueba de estabilidad y flujo de las briquetas previamente compactadas.

Elaboración de briquetas

Se elaboraron 3 diseños de esta mezcla, para cada diseño se elaboraron 2 briquetas con cada uno de los porcentajes de asfalto (5%, 5.5% y 6%), en total 6 briquetas de mezcla convencional. Los cilindros tienen un diámetro interno de 10.2 cm y una altura aproximada de 6.2 cm. Cada una de las briquetas establecen una suma total de 1100 gramos cada una.

Los agregados deben calentarse a una temperatura de 150 °C y el cemento asfáltico a una temperatura de 160 °C, se coloca aceite en los moldes Marshall para evitar que se adhiera al molde el asfalto.

La mezcla se la coloca en los moldes y luego se la compacta con 50 golpes por cara correspondiente a un tráfico medio. Luego se dejan enfriar las briquetas a temperatura ambiente durante un día, para proceder con los ensayos Marshall.

4.4 Ensayos Marshall

4.4.1 Peso específico Bulk

El peso específico Bulk está definido por la siguiente fórmula:

$$Gb = \frac{Wa}{W_{ss} - Ww}$$

Dónde:

Wa=Peso de la probeta seca en el aire.

W_{ss}= Peso en el aire de la probeta saturada superficialmente seca.

W_w= Peso de la probeta en el agua.

4.4.2 Estabilidad y flujo

Este ensayo se lo realiza con los cilindros previamente compactados, se los coloca por 30 minutos a baño maría, luego de este tiempo se retiran las briquetas y se secan, para finalmente ser insertan en el equipo ajustando los anillos del centro y se aplica la carga a una velocidad de 2 pulg/min hasta que falle.

En el momento que se está aplicando la carga, se coloca el dial medidor del flujo sobre la barra guía, se retira una vez que ocurra la falla de deformación en la muestra.

El valor obtenido en el dial se lo denomina flujo y está expresado en centésimas de pulgada y el valor obtenido mediante la lectura del dial de carga en el instante de deformación por la carga se denomina estabilidad Marshall.

4.5 Ensayo para determinar la gravedad específica máxima teórica o RICE (Gmm)

Tabla 14

Determinación de la gravedad máxima teórica (RICE)

Determinación del peso específico del asfalto						
Peso enrasador (gr)	Peso frasco (gr)	Peso asfalto+ frasco(gr)	A	B	C	A/A-(C-B)
			Peso muestra (gr)	Peso probeta+ agua+ enrasador (gr)	Peso asfalto+ frasco+ agua+ enrasador	Peso específico del asfalto
9.1	80	122	40	162.8	163.5	1.02

Elaborado por: Carnero y Pinales (2023)



Figura 17 Frasco con muestra de asfalto y bomba de vacíos
Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

Tabla 15

Diseño mezcla asfáltica para 5% asfalto

Diseño mezcla asfáltica convencional para 5% de asfalto					
	Vacío con aire	Vacío en agregados minerales	Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad (lbs)	Flujo (pulg/100)
Datos obtenidos	4.96%	13.92%	64%	3023.5	10.5
Especificaciones	3 a 5%	Min. 14.5%	65 a 78%	Min. 1200	8 a 16

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Tabla 16*Diseño mezcla asfáltica para 5.5% asfalto*

Diseño mezcla asfáltica convencional para 5.5% de asfalto					
	Vacío con aire	Vacío en agregados minerales	Vacíos lentos de asfalto	Estabilidad (lbs)	Flujo (pulg/100)
Datos obtenidos	4.13%	14.62%	71%	3773	10.6
Especificaciones	3 a 5%	Min. 14.5%	65 a 78%	Min. 1200	8 a 16

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)**Tabla 17***Diseño mezcla asfáltica para 6% asfalto*

Diseño mezcla asfáltica convencional para 6% de asfalto					
	Vacío con aire	Vacío en agregados minerales	Vacíos lentos de asfalto	Estabilidad (lbs)	Flujo (pulg/100)
Datos obtenidos	4.79%	14.97%	67.94%	4031.6	9.2
Especificaciones	3 a 5%	Min. 14.5%	65 a 78%	Min. 1200	8 a 16

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

En la Fig. 19 se observa la variación del peso unitario de la mezcla asfáltica en función del contenido de asfalto.

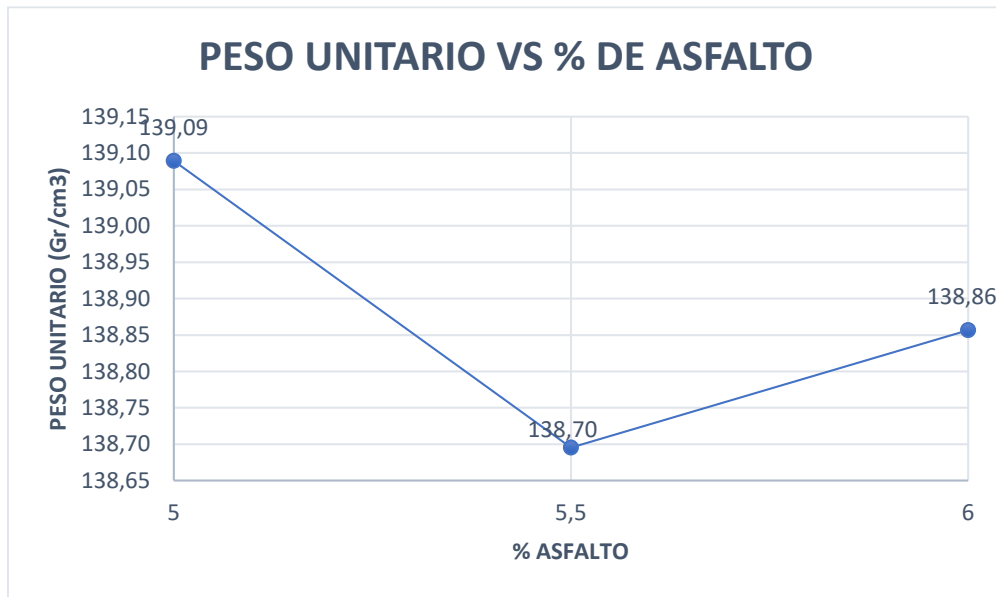


Figura 18 Variación del peso unitario con el contenido de asfalto

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

En la Fig. 20 se muestra la variación del porcentaje de vacíos con el contenido de asfalto, se presenta que el porcentaje de vacíos de la mezcla disminuye con el incremento del contenido de asfalto.

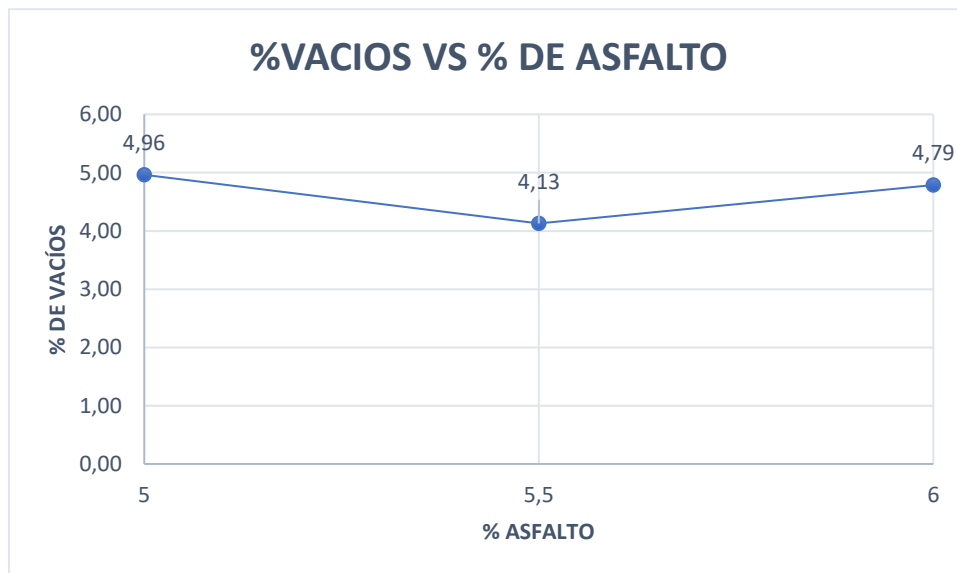


Figura 19 Variación del peso unitario con el contenido de asfalto

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

En la Fig. 21 se evidencia mejores resultados de estabilidad para los porcentajes de 5.5% y 6% de asfalto.

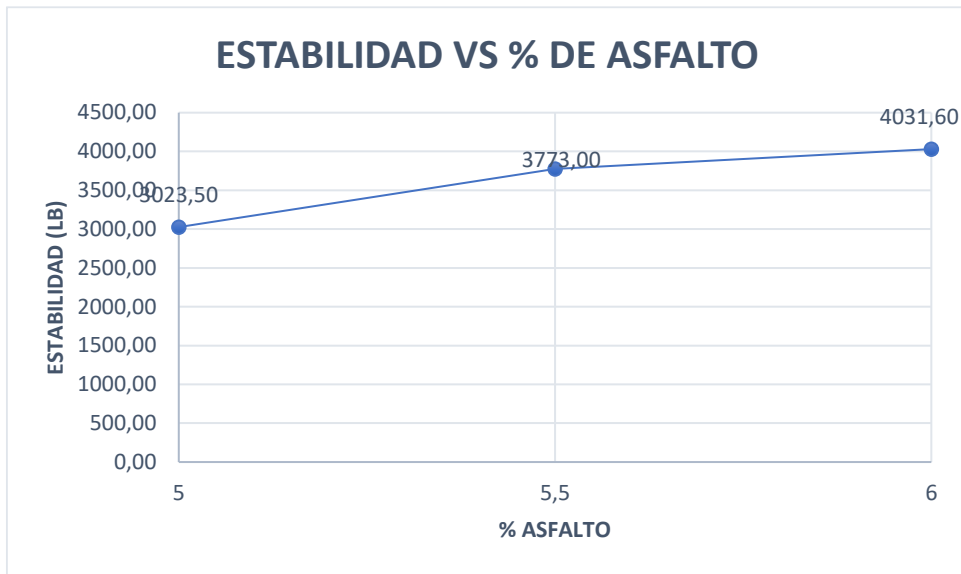


Figura 20 Variación de la estabilidad con el contenido de asfalto

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

En la Fig. 22 se muestra el cambio del flujo de la mezcla con el contenido de asfalto en la cual se observa que el flujo tiene su pico más alto en 5.5% de contenido de asfalto. El máximo valor de flujo es de 10.60 mm.

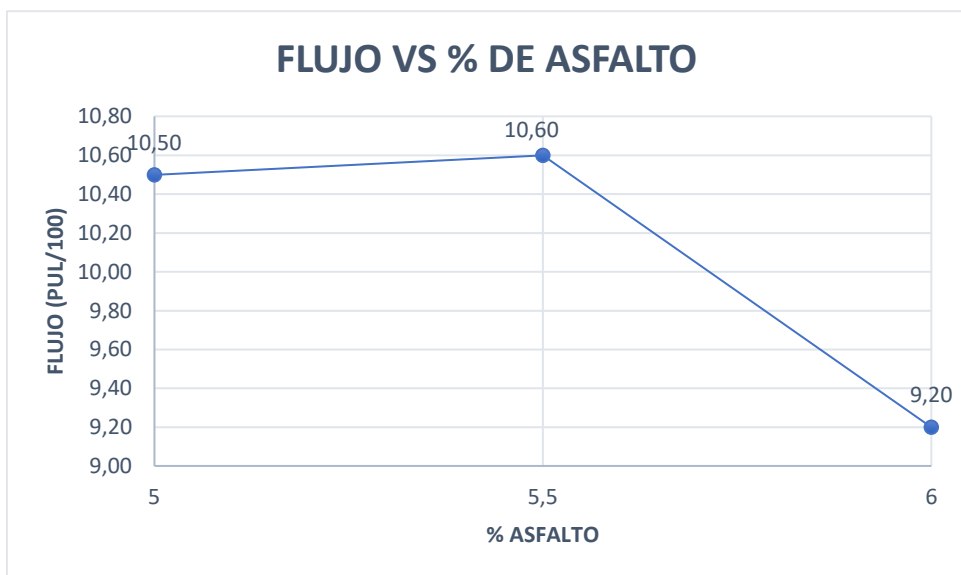


Figura 21 Variación del flujo de la mezcla con el contenido de asfalto

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

En la Fig. 23 se muestra el porcentaje de vacíos en los agregados para los diferentes contenidos de asfalto.

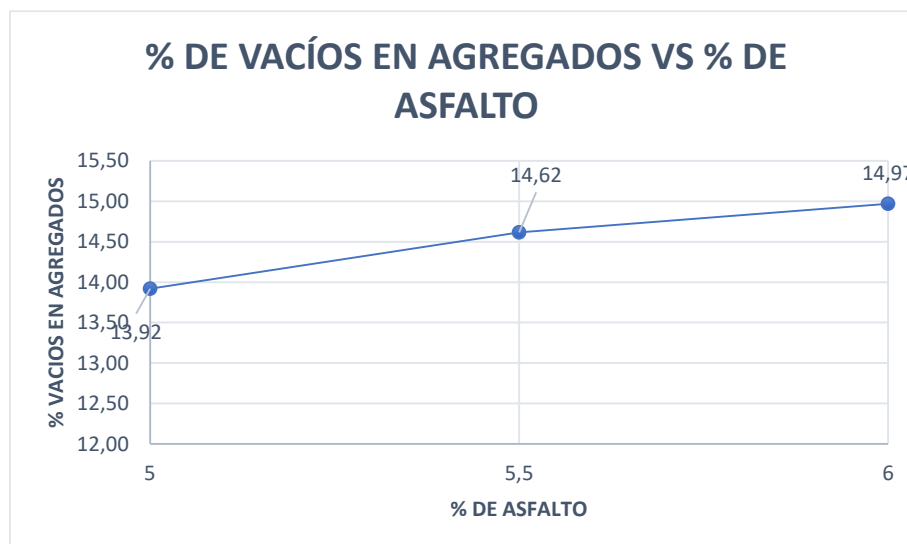


Figura 22 Variación del porcentaje de vacíos de agregados con el de asfalto
Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

Las figuras presentadas, se puede determinar que el valor óptimo de porcentaje de asfalto es del 6% puesto que refleja mejor desempeño en los ítems analizados.

4.6 Diseño de mezcla asfáltica modificada

Los cilindros tienen un diámetro interno de 10 cm y una altura aproximada de 6.2 cm. Las briquetas suman un total de 1100 gramos cada una.

Se calientan los agregados a una temperatura de 150 °C y el cemento asfáltico a una temperatura de 160 °C, se colocan los moldes Marshall en aceite para evitar que se adhiera al molde el asfalto.

La mezcla se la coloca en los moldes y luego se la compacta con 50 golpes por cara. Luego se dejan enfriar las briquetas a temperatura ambiente durante un día, para proceder con los ensayos Marshall.

Elaboración de briquetas de asfalto modificado

Se elaboraron 8 briquetas con el porcentaje de asfalto óptimo (6%), 2 con cada porcentaje de agente modificador. Los cilindros tienen un diámetro interno de 10.2 cm y una altura que varía de 6 cm a 6.6 cm. Las briquetas suman en peso un total de 1100 gramos cada una.

Porcentaje de Asfalto 6%

Tabla 18

Diseño mezcla asfáltica con 0.5% de modificadores y 6% de asfalto

Diseño mezcla asfáltica con 0.50% de modificadores y 6% de asfalto					
	Vacío con aire	Vacío en agregados minerales	Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad (lbs)	Flujo (pulg/100)
Datos obtenidos	5.86%	17.98%	67.45%	3050.3	14
Especificaciones	3 a 5%	Min. 14.5%	65 a 78%	Min. 1800	8 a 14

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Tabla 19

Diseño mezcla asfáltica con 0.75% de modificadores y 6% de asfalto

Diseño mezcla asfáltica con 0.75% de modificadores y 6% de asfalto					
	Vacío con aire	Vacío en agregados minerales	Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad (lbs)	Flujo (pulg/100)
Datos obtenidos	6.09%	19.26%	68.40%	2368.11	18
Especificaciones	3 a 5%	Min. 14.5%	65 a 78%	Min. 1800	8 a 14

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Tabla 20*Diseño mezcla asfáltica con 1% de modificadores y 6% de asfalto*

Diseño mezcla asfáltica con 1.00% de modificadores y 6% de asfalto					
	Vacío con aire	Vacío en agregados minerales	Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad (lbs)	Flujo (pulg/100)
Datos obtenidos	9.10%	20.46%	55.62%	2953.02	13.8
Especificaciones	3 a 5%	Min. 14.5%	65 a 78%	Min. 1800	8 a 14

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)**Tabla 21***Diseño mezcla asfáltica con 1.25% de modificadores y 6% de asfalto*

Diseño mezcla asfáltica con 1.25% de modificadores y 6% de asfalto					
	Vacío con aire	Vacío en agregados minerales	Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad (lbs)	Flujo (pulg/100)
Datos obtenidos	4.85%	19.29%	74.89%	2803.95	14
Especificaciones	3 a 5%	Min. 14.5%	65 a 78%	Min. 1800	8 a 14

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

En la Fig. 24 se evidencia que el valor más alto de la estabilidad es cuando el porcentaje de modificador es 0.5%

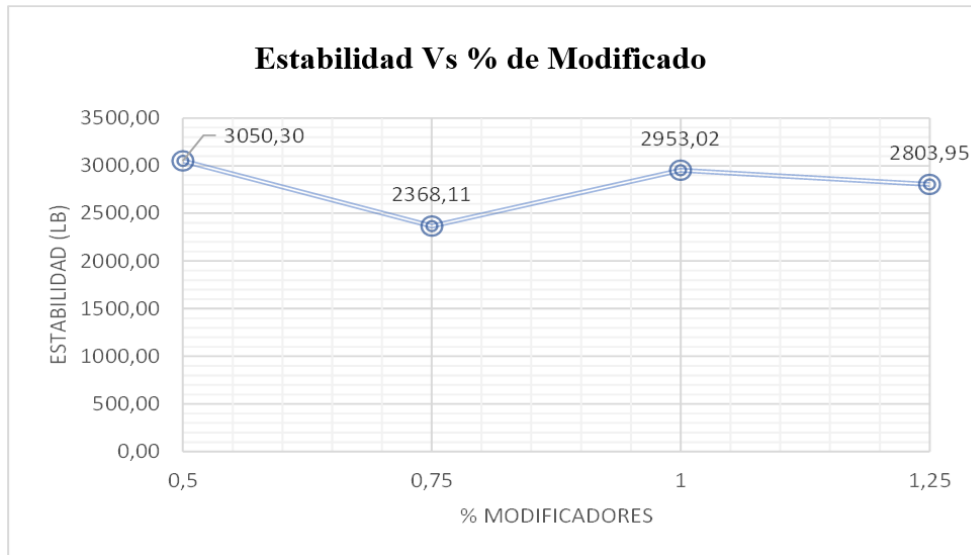


Figura 23 Variación de la estabilidad con el contenido de asfalto

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

En la Fig. 25 se muestra el cambio del flujo de la mezcla con el contenido de asfalto, se observa que el flujo incrementa a medida que el asfalto aumenta en su contenido. Pero, con el 0.75% de modificadores tiene un pico y sube a 18 la deformación.

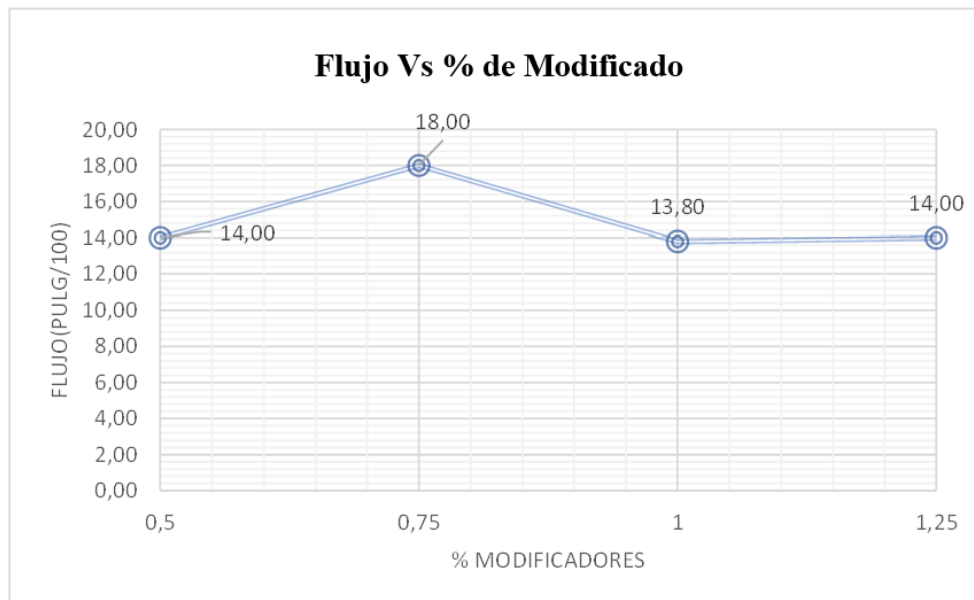


Figura 24 Variación de la estabilidad con el contenido de asfalto

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

En la Fig. 26 se presenta la variación del porcentaje de vacíos en los agregados con el porcentaje de contenido PET y fibra de coco. Se puede observar que se obtuvo un valor mínimo de 17.98 mm para 0.5% en la mezcla.

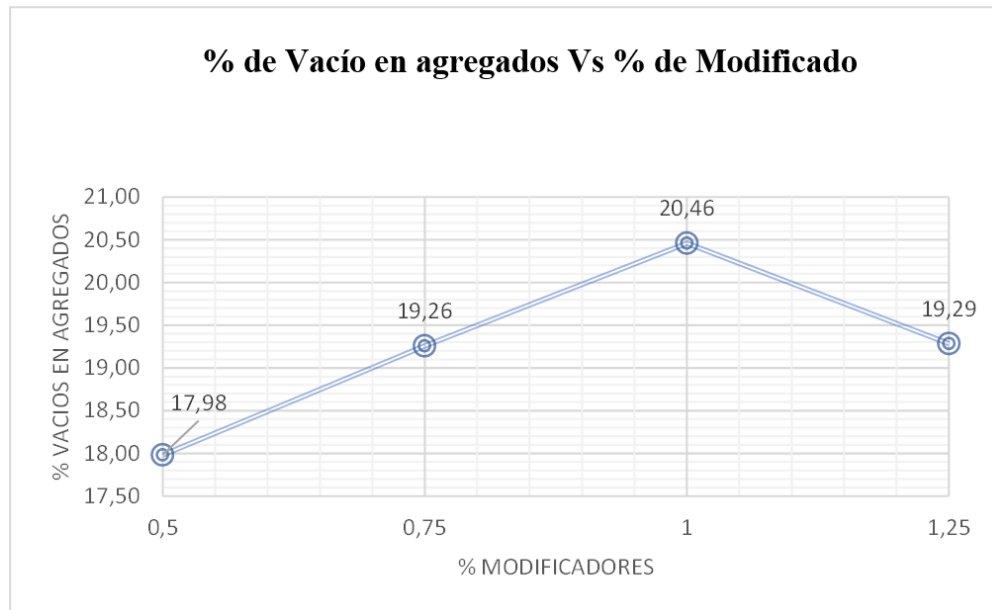


Figura 25 Variación del porcentaje de vacíos en agregados con el de modificador

Elaborado: Carnero y Parrales (2023)

Se determina que el porcentaje de fibra adecuado y que cumple con las propiedades es de 1.25%

4.7 Análisis de precios unitarios

Mezcla Patrón

Para el análisis de costos se calculó el volumen del recipiente en el que se colocaban los materiales para la mezcla.

- Diámetro del recipiente = 20 cm
- Radio del recipiente = $r = 10$ cm
- Altura del recipiente = $h = 5$ cm
- Altura total de la mezcla en el recipiente = $h V = 2,5$ cm

Cálculo área del recipiente

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * 10^2 = 314.15 \text{ cm}^2$$

Cálculo volumen del recipiente

$$V = A * h$$

$$V = 314.15 * 5 = 1570.75 \text{ cm}^3$$

Cálculo volumen de la mezcla en el recipiente

$$V = A * h \quad V = 314.15 * 2.5 = 785.37 \text{ cm}^3$$

Conversión de cm^3 a m^3

$$V1 = 785.37 \text{ cm}^3 * (1\text{m}^3 / 1000000 \text{ cm}^3) = 0.000785 \text{ m}^3$$

Se realizó un artificio multiplicando un valor para obtener 1 m^3

$$VT = 0.000785 \text{ m}^3 * 1273.89 = 1 \text{ m}^3$$

Se obtienen las proporciones para 1 m^3 para la mezcla con 6% de asfalto.

Tabla 22

Cálculo de cantidades mezcla sin modificar

Materiales para la mezcla Asfáltica sin modificar para 1m3			
Grava (gr)	790.8		1007392.212
Arena (gr)	337.2		429555.708
Asfalto (gr)	72	1273.89	91720.08
Total	1200		1528668

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Se obtuvo un total de 1528668 gr es decir 15.29 toneladas para 1 m^3

Tabla 23

Valores totales para mezcla sin modificar para 1m3

Materiales para mezcla para 1m3	Cantidad total (gr)	Cantidad total (Kg)	Cantidad total (m3)
Grava triturada 3/4	1007392.212	1007.39	0.6584
Arena	429555.708	429.56	0.2603
Asfalto	91720.08	91.72	0.0813
Total			1

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Tabla 24*Precios unitarios de mezcla convencional*

Análisis de Precios Unitarios					
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa (B)	Costo hora C= A*B	Rendimiento (R)	Costo D= C*R
Planta asfáltica	1	134.2	134.2	0.05	6.71
Cargadora	1	45	45	0.05	2.25
Subtotal (M)					8.96
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa (B)	Costo hora C= A*B	Rendimiento (R)	Costo D= C*R
Op. Planta asfáltica	1	3.48	3.48	0.05	0.174
Op. Cargadora	1	3.66	3.66	0.05	0.183
Laboratorista	2	3.26	6.52	0.05	0.326
Subtotal (N)					0.683
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad (A)	Tarifa (B)	Costo D= C*R	
Grava triturada 3/4	m3	0.6584	15	9.88	
Arena	m3	0.2603	12	3.12	
Asfalto AC-20	Kg	91.7201	0.68	62.37	
Gasolina	gl	14	1.9	26.6	
Subtotal (O)				101.97	
Costo total				111.61	

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Se realiza el mismo procedimiento para la mezcla modificada, para lo cual se tomaron los pesos diseñados para la mezcla con 6% de asfalto y 1% PET y fibra de coco.

Tabla 25

Cálculo de cantidades mezcla modificada

Materiales para modificar mezcla asfáltica sin modificar para 1m3			
Grava (gr)	808.8		1030322.232
Arena (gr)	319.2		406625.688
PET y fibra de coco (gr)	12		15286.68
Asfalto (gr)	60	1273.89	76433.4
Total	1200		1528668

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Tabla 26

Valores totales para mezcla modificada para 1m3

Materiales para mezcla patrón para 1m3	Cantidad total (gr)	Cantidad total (Kg)	Cantidad total (m3)
Grava triturada 3/4	1030322.232	1030.32	0.6256
Arena	406625.688	406.63	0.2724
PET y fibra de coco	15286.68	15.29	0.0104
Asfalto	76433.4	76.43	0.0916
Total			1

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

Tabla 27*Precios unitarios de mezcla modificada*

Análisis de Precios Unitarios					
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo	Rendimiento	Costo
	(A)	(B)	hora (C)	(R)	D= C*R
Planta asfáltica	1	130	130	0.05	6.75
Cargadora	1	45	45	0.05	2.25
Subtotal (M)					8.75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo	Rendimiento	Costo
	(A)	(B)	hora (C)	(R)	
Op. Planta asfáltica	1	3.48	3.48	0.05	0.17
Op. Cargadora	1	3.66	3.66	0.05	0.18
Laboratorista	2	3.26	6.52	0.05	0.33
Subtotal (N)					0.68
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa (B)	Costo	
	d	(A)			
Grava triturada 3/4	m3	0.63	15	9.38	
Fibra de coco	Kg	7.64	0.19	1.45	
PET reciclado	Kg	7.64	0.05	0.38	
Arena	m3	0.27	12	3.27	
Asfalto AC-20	Kg	76.3	0.68	51.97	
Gasolina	gl	14	1.9	26.6	
Subtotal (O)					93.06
Costo total					102.49

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

4.8 Análisis comparativo de resultados de los dos tipos de mezcla asfálticas

Para este análisis se toma como base los datos finales en las propiedades de cada una de las mezclas, la convencional (mezcla patrón) con la mezcla modificada.

Tabla 28

Análisis comparativo de resultados de los dos tipos de mezcla asfálticas

Tipo de mezcla	Asfalto	Modificador	Bulk	Estabilidad	Flujo	VA M	Costo por m3
	%	%	g/cm ³	lb	0.01"		
Mezcla patrón	6	0	2.23	2031.21	9.2	14.97	111.61
Mezcla modificada	6	1.25	2.11	2803.95	14	19.29	102.49

Elaborado por: Carnero y Parrales (2023)

De la tabla 28 se determina lo siguiente:

En cuanto a la densidad Bulk, aumenta de manera leve en la mezcla convencional, esto se debe al incremento del volumen de las briquetas. Según la norma de referencia ASTM C29 / C 29M-97, este medio tiene como objetivo medir la densidad de los agregados que tiene relación con el contenido de vacíos.

La estabilidad es una propiedad que mide la resistencia del pavimento hacia las cargas vehiculares, se obtuvieron valores de estabilidad muy buenas, teniendo en la mezcla patrón una estabilidad de 2031.21 lb, en la mezcla de asfalto modificado una excelente estabilidad de 2803.95 lb, se comprueba que las mezclas modificadas con PET y fibra de coco en el porcentaje de modificadores señalados son más estables. Los resultados de estabilidad cumplen con el mínimo de lo que establece el MTOP que es de 1200 lb.

El flujo de la mezcla convencional es de 9.2 mm, en la mezcla de asfalto modificado es de 14 mm, se concluye que se presenta un aumento con respecto a la mezcla convencional, se debe al incremento de vacíos en la mezcla. De manera satisfactoria en el diseño de mezcla con la adición de plástico junto con las fibras

del coco se cumple con las especificaciones de la MTOP, en donde menciona que la estabilidad corregida debe estar entre un mínimo de 8 y un máximo de 14.

Con relación al porcentaje de vacíos en el agregado mineral, en ambas mezclas cumplen con el mínimo del 13% de acuerdo con las especificaciones técnicas del EG 2013 del MTC, este porcentaje de vacíos tiende a aumentar si se adiciona más porcentaje de modificadores, esto se debe a que, al no ser agregados muy finos generan más vacíos.

En cuanto a costos, en la mezcla patrón se obtuvo un costo por metro cúbico de 219.90 dólares y en la mezcla con asfalto drenante un costo de 241.99 dólares, aumenta en comparación a la mezcla asfáltica tradicional, este aumento se debe a las obras de drenaje que se consideraron.

En cuanto a costos, este disminuye 9.12 dólares en comparación a la mezcla asfáltica tradicional, esta disminución se debe a que, al usar un material modificador mucho más económico que el asfalto como es el PET y la fibra de coco, este genera beneficios.

CONCLUSIONES

Luego de concluir el presente trabajo, se ha determinado que cada elemento posee características y propiedades de gran aporte al campo de la Ingeniería Civil, específicamente al diseño de pavimentos, así también, en razón que los PET y la fibra de coco, dejarían de ser un desecho para convertirse en materia prima, lo cual mejorará las actuales condiciones ambientales, ya que se estaría disminuyendo la cantidad de estos desechos.

La dosificación se realizó en pequeñas cantidades para poder observar las ligeras variaciones de comportamiento siendo estas dosificaciones elegidas en valores teóricos y muy similares al momento de llevarlos a la práctica de 0.50%, 0.75%, 1.00% y 1.25% por cada modificador, no se puede elevar mucho más allá de eso debido a que la fibra de coco resulta un material esponjoso, puesto que el exceso afectaría la mezcla de asfalto, además de que se necesitaría una máquina de mucha más potencia para su compactación.

Se elaboraron 22 briquetas de las cuales 6 fueron sin modificadores, con el propósito de utilizarlas para comparar con las mezclas modificadas, de las cuales se tiene 2 testigos por cada una en dosificaciones de asfalto al 5%, 5.5% y 6%. Continuando, se procedieron a realizar las briquetas modificadas, siendo estas al 5% y 6% de asfalto, así mismo, 2 testigos por cada dosificación al 0.50% de cada elemento modificador dando un total de 1.00% de modificadores, para el siguiente se tiene 0.75% de cada elemento modificador dando un total de 1.50% de modificadores, para el siguiente se tiene 1.00% de cada elemento modificador dando un total de 2.00% de modificadores, finalmente con 1.25% de cada elemento modificador dando un total de 2.50% de modificadores.

Los resultados mostraron que el porcentaje de contenido de PET y fibra de coco que cumplió con los requisitos del MTOP y la ASTM fue el diseño (6%) en el que se sustituyó 1.25% del asfalto por 1.25% de los modificadores. Cuando se adicionó el PET triturado, las mezclas asfálticas modificadas incrementaron propiedades como la estabilidad en comparación con la mezcla sin modificadores. Los modificadores aumentaron los vacíos en la mezcla siendo mayores al 5% lo cual está dentro de la norma, sin embargo, es necesario utilizar un método de compactación de mayor energía, pudiendo ser un martillo de compactación electrónica en vez del mecánico, para así asegurar menor porcentaje de vacíos.

Y, por último, en cuanto a los costos se concluye que la mezcla asfáltica patrón en caliente para 1m³ tiene un costo de \$111.61, mientras que el costo de la mezcla asfáltica modificada es de \$102.49, lo que indica que se puede ahorrar \$9.12 por metro cúbico, equivalente a 8.17% de ahorro.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a los nuevos estudiantes tener en cuenta la calidad de la fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno mediante su punto de fusión y degradación el mismo debido a que expuesto a muy altas temperaturas conlleva a que se bajen sus propiedades mecánicas.

Para los nuevos profesionales se debe tener muy en cuenta la dosificación utilizada para el nuevo pavimento asfáltico modificado porque se los elaboró en base a los rangos específicos ligados a los antecedentes, es donde los plásticos y la fibra de coco tienen mejor rendimiento como adición al pavimento asfáltico tradicional en caliente.

Se recomienda a las personas interesadas en explotar mucho más allá el proyecto se utilicen las herramientas y equipos en buena calidad ya que una mala elaboración de las muestras afectará en su resultado final distorsionando y provocando resultados no adecuados.

Se aconseja de la manera más allegada a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte se adquieran equipos y maquinarias de una gran calidad para que de esa manera se puedan realizar ensayos más relacionados a temas similares mediante una instalación propia y adecuada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (2007). <https://es.scribd.com>. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/320545554/AASHTO-TP-62-07-Dynamic-Modulus-of-HMA>
- ASAMBLEA NACIONAL. (2 de Julio de 2021). Obtenido de <http://www.edicioneslegales-informacionadicional.com>: <http://www.edicioneslegales-informacionadicional.com/webmaster/directorio/4S488.pdf>
- ASTM. (1989). <https://www.astm.org>. Obtenido de <https://www.astm.org>: <https://www.astm.org/d1559-89.html>
- Avila, J., & Velasco, D. (2021). <https://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de Google Académico: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26586/1/TESIS%20506972-505894.pdf>
- Castro, H., Romero, B., Vásquez, C., & Arriola, G. (30 de Noviembre de 2020). <http://revistas.uss.edu.pe>. Obtenido de Google Académico: <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/1506>
- CIEL. (27 de Septiembre de 2021). *Google Académico*. Obtenido de <https://zerowastemad.es>: <https://zerowastemad.es/por-que-los-plasticos-son-un-problema/>
- CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR. (2008). <https://www.oas.org>. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- decreto ejecutivo 742. (2019). *procuraduria.utpl.edu.ec*. Recuperado el 2021, de procuraduria.utpl.edu.ec. [web site: https://procuraduria.utpl.edu.ec/sitios/documentos/NormativasPublicas/REGLAMENTO%20GENERAL%20A%20LA%20LEY%20ORGANICA%20DE%20EDUCACION%20SUPERIOR.pdf](https://procuraduria.utpl.edu.ec/sitios/documentos/NormativasPublicas/REGLAMENTO%20GENERAL%20A%20LA%20LEY%20ORGANICA%20DE%20EDUCACION%20SUPERIOR.pdf)
- Herrera, J., & Valencia, A. (2021). <https://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de Google Académico: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/27098>
- INEN. (2002). <https://www.normalizacion.gob.ec>. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec>: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2060.pdf>
- INEN. (2009). <https://www.normalizacion.gob.ec>. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec>: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2061.pdf>
- INEN. (2009). <https://www.normalizacion.gob.ec>. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec>: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2062.pdf>

- INEN. (Enero de 2014). *https://www.normalizacion.gob.ec*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec>: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_15143_1.pdf
- INEN. (2015). *https://www.normalizacion.gob.ec*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec>: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_16039.pdf
- Leiva, F. (2004). *Google Académico*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr>: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/425/MODULO_DINAMICO_MEZCLAS_ASFALTICAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LEY DE GESTION AMBIENTAL. (10 de Septiembre de 2004). Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec>: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
- LEY ORGANICA DE EDUCACION SUPERIOR, LOES. (12 de Agosto de 2018). *https://www.ces.gob.ec*. Obtenido de <https://www.ces.gob.ec/documentos/Normativa/LOES.pdf>
- Loaiza, A., & Colorado, H. (2018). *https://scielo.conicyt.cl*. Obtenido de Google Académico: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v17n3/0718-915X-rconst-17-03-00542.pdf>
- Lokensgard, & Richardson. (1999). *Industria del Plástico*. Ediciones Paraninfo, S.A., Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/search/label/Propiedades%20PET>
- Maldonado, Y. (27 de Octubre de 2021). *Google Académico*. Obtenido de <https://geologiaweb.com>: <https://geologiaweb.com/materiales/asfalto/>
- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS DEL ECUADOR. (2013). *https://www.obraspublicas.gob.ec*. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- Mocondino, J. (2021 de Marzo de 2020). *Google Académico*. Obtenido de <https://es.linkedin.com>: <https://es.linkedin.com/pulse/qué-son-los-pavimento-y-cómo-se-clasifican-jhonn-jairo-mocondino-r>
- Naranjo, J. (11 de mayo de 2020). *https://repositorio.usfq.edu.ec*. Obtenido de Google Académico: <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/9196>
- NATIONAL GEOGRAPHIC. (5 de Diciembre de 2022). *Google Académico*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.com.es>: https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/20-datos-sobre-problema-plastico-mundo_15282

- NATURE SUSTAINABILITY. (11 de Junio de 2021). *Google Académico*.
Obtenido de <https://www.residuosprofesional.com/80-basura-marina-es-plastico/>
- ONU. (21 de Octubre de 2021). *Google Académico*. Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>
- Pilatuña, D., & Rodríguez, J. (15 de Abril de 2021). *http://dspace.unach.edu.ec*.
Obtenido de *Google Académico*: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7535>
- REPUBLICA DEL ECUADOR MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y COMUNICACIONES. (2002). <https://www.obraspublicas.gob.ec>.
Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf
- Rondón, H., & Reyes, F. (Junio de 2015). *Google Académico*. Bogota: ECOE.
Obtenido de <https://books.google.com/pe/books?id=zuwcDgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Serrato, G., & Bohorquez, E. (Diciembre de 2020). <https://repository.ucatolica.edu.co>. Obtenido de *Google Académico*: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25824/1/APORTE~1.PDF>
- Universidad Laica Vicente Rocafuerte. (2019). *Google Académico*. Obtenido de <https://www.ulvr.edu.ec>: <https://www.ulvr.edu.ec/academico/unidad-de-titulacion/proyecto-de-investigacion>
- universidad laica vicente rocafuerte. (10 de febrero de 2019). *universidad laica vicente rocafuerte*. Recuperado el 2020, de *universidad laica vicente rocafuerte* web site: https://www.ulvr.edu.ec/static/uploads/pdf/file_1556661631.pdf

ANEXOS

Anexo 1 Diseño mezcla asfáltica para 5% asfalto

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA- METODO MARSHALL																										
No. Muestra	Peso muestra (g)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	% Asfalto			Peso (g)			Volumen (cm3)	Peso específico				%asfalto absorbido	Volumen total %			Vacíos en agregados minerales	%Asfalto efectivo	%Vacíos llenos de asfalto	Peso unitario (lbs/pie3)	Estabilidad (Lb)			Flujo (pulg/100)
				En agua	En aire	Peso SSS	En agua	En aire	Peso SSS		Aparente (gr/cm3)	Bulk (Gb)	Máx. Técnico	Máx. Medido (Gmm)		Agregado	Vacíos con aire	Asfalto efectivo					Estabilidad (Lb)	Factor corrección	Corregida	
1,02	Gravedad específica del asfalto													Flujo												
2,46	Gravedad específica de agregados													Estabilidad (Lb)												
50	No. de golpes													Estabilidad (Lb)												
1	1147	10,2	6,3	5	647,4	1163,9	1164,7	516,5	2,25	2,25	2,30	2,32	0,44	86,89	5,10	8,01	13,11	4,58	61,10	140,40	3007	1	3007,00	10,20		
2	1122	10,2	6,2	5	624,8	1137,8	1140,1	513	2,22	2,21	2,30	2,32	0,44	85,27	4,83	9,90	14,73	4,58	67,24	137,78	3040	1	3040,00	10,80		
PROMEDIO									2,23	2,30				86,08	4,96	8,96	13,92		64,17	139,09			3023,50	10,50		
ESPECIFICACIONES														3 a 5	Mín. 14,5	65-78%	Mínimo	1200	8 a 16							

Anexo 2 Diseño mezcla asfáltica para 5.5% asfalto

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA-METODO MARSHALL																								
No. Muestra	Peso muestra (g)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	% Asfalto	Peso (g)			Volumen (cm ³)	Peso específico			Volumen total %			Vacíos en agregados minerales	%Asfalto efectivo	%Vacíos llenos de asfalto	Peso unitario (lbs/pie ³)	Estabilidad (Lb)			Flujo (pulg/100)		
					En agua	En aire	Peso SSS		Aparente (gr/cm ³)	Bulk (Gb)	Máx. Teórico	Máx. Medido (Gmm)	%asfalto absorbido	Agregado					Vacíos con aire	Asfalto efectivo	Estabilidad (Lb)		Factor corrección	Corregida
1	1156	10,3	6,3	5,5	641,4	1172,5	1175,3	531,1	2,21	2,20	2,28	2,32	0,74	84,36	4,51	11,13	15,64	480	71,16	137,04	3500	0,96	3360,00	11,60
2	1112	10,2	6,2	5,5	630,2	1130,7	1132,9	500,5	2,26	2,25	2,28			86,40	3,75	9,85	13,60	480	72,42	140,35	4025	1,04	4186,00	9,60
PROMEDIO														85,38	4,13	10,49	14,62		71,79	138,70			3773,00	10,60
														ESPECIFICACIONES			3 a 5	Mín. 14,5	65-78%	Mínimo	1200	8 a 16		

Anexo 3 Diseño mezcla asfáltica para 6% asfalto

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA- METODO MARSHALL																												
No. Muestra	Peso muestra (g)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	% Asfalto	Peso (g)			Volumen (cm3)	Peso específico				Volumen total %			Vacios en agregados minerales	%Asfalto efectivo	%Vacios llenos de asfalto	Peso unitario (lbs/pie3)	Estabilidad (Lb)			Flujo (pulg/100)					
					En agua	En aire	Peso SSS		Aparente (gr/cm3)	Bulk (Gb)	Máx. Teórico	Máx. Medido (Gmm)	%asfalto absorbido	Agregado	Vacios con aire					Asfalto efectivo	Estabilidad (Lb)	Factor corrección		Corregida				
																									1,02 Gravedad específica del asfalto	2,46 Gravedad específica de agregados	50 No. de golpes	
1	1142	10,2	6,7	6	635,6	1159,2	1160,4	523,6	2,21	2,21	2,27	2,32	1,05	84,40	4,79	10,81	15,60	5,87	69,28	137,83	4220	0,96	4051,20	8,40				
2	1148	10,3	6,4	6	643,7	1160,3	1161,3	516,6	2,25	2,24	2,27			85,66	4,79	9,55	14,34	5,87	66,60	139,88	4012	1	4012,00	10,00				
PROMEDIO									2,23	2,27				85,03	4,79	10,18	14,97		67,94	138,86			4031,60	9,20				
ESPECIFICACIONES															3 a 5			Mín. 14,5			65-78%			Mínimo 1200			8 a 16	

Anexo 4 Diseño mezcla asfáltica con 0.5% de modificadores y 6% de asfalto

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA-METODO MARSHALL CON 0,5% DE MODIFICADORES Y 6% DE ASFALTO																								
No. Muestra	Peso muestra (g)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	% Asfalto	Peso (g)			Volumen (cm3)	Peso específico				Volumen total %			Vacos en agregados minerales	%Asfalto efectivo	%Vacos llenos de asfalto	Peso unitario (lbs/pie3)	Estabilidad (Lb)			Flujo (pulg/100)	
					En agua	Enaire	Peso SSS		Aparente (gr/cm3)	Bulk (Gb)	Máx. Teórico	Máx. Medido (Gmm)	%asfalto absorbido	Agregado	Vacos con aire					Asfalto efectivo	Estabilidad (Lb)	Factor corrección		Corregida
1	1123	10,5	7,4	6	62,53	1164,4	1165,8	539,1	2,16	2,15	2,27	2,28	0,25	82,32	5,51	12,17	17,68	5,20	68,82	134,43	2866	0,93	2665,19	13,60
2	1080	10,2	7	6	598,6	1101,8	1103,8	513,2	2,15	2,14	2,27			81,72	6,20	12,08	18,28	5,20	66,07	133,45	3435	1	3435,40	14,40
PROMEDIO									2,15	2,27				82,02	5,86	12,12	17,98		67,45	133,94			3050,30	14,00
														ESPECIFICACIONES			3 a 5	Mín. 14,5	65-78%	Mínimo	1800	8 a 14		

Anexo 5 Diseño mezcla asfáltica con 0.75% de modificadores y 6% de asfalto

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA- METODO MARSHALL CON 0,75% DE MODIFICADORES Y 6% DE ASFALTO																								
No. Muestra	Peso muestra (g)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	% Asfalto	Peso (g)			Volumen (cm3)	Peso específico				Volumen total %	Vacios en agregados minerales	%Asfalto efectivo	%Vacios llenos de asfalto	Peso unitario (lbs/pie3)	Estabilidad (Lb)			Flujo (pulg/100)			
					En agua	En aire	Peso SSS		Aparente (gr/cm3)	Bulk (Gb)	Máx. Teórico	Máx. Medido (Gmm)						%asfalto absorbido	Agregado	Vacios con aire		Asfalto efectivo	Estabilidad (Lb)	Factor corrección
1	1141	10,6	7,5	6	623,2	1184,9	1185,6	561,7	2,11	2,11	2,27	2,25	-0,37	80,51	6,36	13,13	19,49	5,20	67,37	131,47	2812	0,86	2418,66	18,00
2	1114	10,8	7,2	6	612,4	1157,3	1158,5	544,9	2,12	2,12	2,27	2,25	-0,37	80,98	5,81	13,21	19,02	5,20	69,44	132,24	2492	0,93	2317,56	18,00
PROMEDIO									2,11	2,27				80,74	6,09	13,17	19,26		68,40	131,85		2368,11	18,00	
														ESPECIFICACIONES			3 a 5	Mín. 14,5	65-78%	Mínimo	1800	8 a 14		

Anexo 6 Diseño mezcla asfáltica con 1.00% de modificadores y 6% de asfalto

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA- METODO MARSHALL CON 1% DE MODIFICADORES Y 6% DE ASFALTO																																
No. Muestra	Peso muestra (g)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	% Asfalto	Peso (g)			Volumen (cm3)	Peso específico				Volumen total %			Vacos en agregados minerales	%Asfalto efectivo	%Vacos llenos de asfalto	Peso unitario (lbs/pie3)	Estabilidad (Lb)			Flujo (pulg/100)									
					En agua	En aire	Peso SSS		Aparente (gr/cm3)	Bulk (Gb)	Máx. Teórico	Máx. Medido (Gmm)	%asfalto absorbido	Agregado	Vacos con aire					Asfalto efectivo	Estabilidad (Lb)	Factor corrección		Corregida								
1	1062	10,3	6,9	6	572,2	1089,6	1090,4	517,4	2,11	2,10	2,27	2,29	0,45	80,35	8,18	11,47	19,65	5,20	58,38	131,21	3542	1	3542,20	14,00								
2	1151	10,3	7,6	6	609,8	1183,3	1184,1	573,5	2,06	2,06	2,27			78,73	10,03	11,24	21,27	5,20	52,86	128,57	2848	0,83	2363,84	13,60								
PROMEDIO										2,08	2,27			79,54	9,10	11,36	20,46		55,62	129,89			2953,02	13,80								
														ESPECIFICACIONES			3 a 5			Mín. 14,5			65-78%			Mínimo			1800		8 a 14	

Anexo 7 Diseño mezcla asfáltica con 1.25% de modificadores y 6% de asfalto

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA- METODO MARSHALL CON 1,25% DE MODIFICADORES Y 6% DE ASFALTO																													
No. Muestra	Peso muestra (g)	Diámetro (cm)	Espesor (cm)	% Asfalto	Peso (g)			Volumen (cm3)	Peso específico				Volumen total%			Vacíos en agregados minerales	%Asfalto efectivo	%Vacíos llenos de asfalto	Peso unitario (lbs/pie3)	Estabilidad (Lb)			Flujo (pulg/100)						
					En agua	En aire	Peso SSS		Aparente (gr/cm3)	Bulk (Gb)	Máx. Teórico	Máx. Medido (Gmm)	%asfalto absorbido	Agregado	Vacíos con aire					Asfalto efectivo	Estabilidad (Lb)	Factor corrección		Corregida					
1	1115	10,3	8,1	6	592,3	1127,5	1128,9	535,2	2,11	2,10	2,27	2,22	-1,01	80,29	5,35	14,36	19,71	5,20	72,85	131,11	2777	0,89	2471,53	14,00					
2	1246	10,3	8,1	6	667,2	1259,2	1260,2	592,2	2,13	2,12	2,27			81,14	4,35	14,51	18,86	5,20	76,94	132,50	3524	0,89	3136,36	14,00					
PROMEDIO									2,11	2,27				80,71	4,85	14,43	19,29		74,89	131,81			2803,95	14,00					
														ESPECIFICACIONES			3 a 5			Mín. 14,5			65-78%			Mínimo 1800			8 a 14

Anexo 8 Carta de intención a la Universidad de Guayaquil



SALUDOS

MASTER DANIEL DOUGLAS ITURBURU SALVADOR

DECANO DE LA FACULTAD DE MATEMATICAS DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Correo: douglas.iturburus@ug.edu.ec

SEÑOR MARCOS CEVALLOS ALTAMIRANO

JEFE DE SEGURIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Correo: marcos.cevallosa@ug.edu.ec

Les saludamos de la forma más cordial posible como estudiantes de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Carrera de Ingeniería Civil nuestro motivo de recurrir a ustedes como autoridades de la institución es para que se nos permita el acceso a las instalaciones del laboratorio de asfalto para poder realizar la ejecución de los ensayos de nuestro proyecto de titulación denominado "Pavimento asfáltico con agregado de fibra celulosa de coco y plástico tereftalato de polietileno" para lo cual solicitamos se nos conceda el correspondiente permiso.

De la manera más cordial quedamos agradecidos de antemano a la espera de su amable respuesta, gracias.

Firma: *Diana Carnero*

DIANA STEPHANIE CARNERO ELIZALDE

C.I. 0942363490

Firma: *Miguel Parrales*

MIGUEL JOSUE PARRALES PARRALES

C.I. 0951741461

Anexo 9 Datos recolectados según pruebas de laboratorio



Universidad de Guayaquil
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli"



	Porcentajes	Muestra No	Diametro y altura cm	Peso inicial g	Peso en el aire	Peso seco superficialmente	Peso sumergido	Rotura	Deformación
Sin Modificar (N)	A5%	1	10.2 x 6.3	1146.8	1163.9	1164.7	647.4	168	5.1
		2	10.2 x 6.2	1121.9	1137.8	1140.1	624.8	170	5.4
	A5.5%	1	10.3 x 6.8	1155.9	1172.5	1175.3	641.4	287	5.8
		2	10.2 x 6.2	1111.6	1130.7	1132.9	630.2	368	4.8
	A6%	1	10.2 x 6.7	1141.6	1159.2	1160.4	635.6	417	4.2
		2	10.3 x 6.4	1147.9	1160.3	1161.3	643.7	400	5.0
Modificadas (M)	A5%-P0.50%-F0.50%	1	10.5 x 7.1	1112.4	1153.8	1154.5	609.7	207	7.1
	A5%-P0.50%-F0.50%	2	10.6 x 7.0	1137.9	1171.0	1172.9	623.7	214	7.0
	A6%-P0.50%-F0.50%	1	10.5 x 7.4	1123.3	1164.4	1165.8	625.3	161	6.8
	A6%-P0.50%-F0.50%	2	10.2 x 7.0	1080.3	1101.8	1103.8	588.6	193	7.2
	A5%-P0.75%-F0.75%	1	10.5 x 6.9	1062.4	1102.7	1104.2	582.5	154	7.0
	A5%-P0.75%-F0.75%	2	10.6 x 7.5	1100.0	1134.1	1135.6	607.2	146	7.0
	A6%-P0.75%-F0.75%	1	10.6 x 7.5	1140.9	1184.9	1185.6	623.2	158	9.0
	A6%-P0.75%-F0.75%	2	10.8 x 7.2	1113.9	1157.3	1158.5	612.4	140	9.0
	A5%-P1.00%-F1.00%	1	10.3 x 7.2	1111.0	1148.6	1151.0	608.4	297	6.0
	A5%-P1.00%-F1.00%	2	10.2 x 7.7	1103.3	1132.7	1133.4	612.8	270	6.8
	A6%-P1.00%-F1.00%	1	10.3 x 6.9	1062.1	1089.6	1090.4	572.2	199	7.0
	A6%-P1.00%-F1.00%	2	10.3 x 7.6	1150.9	1183.3	1184.1	609.8	160	6.8
	A5%-P1.25%-F1.25%	1	10.2 x 7.8	1133.0	1149.0	1152.2	592.3	370.5	7.0
	A5%-P1.25%-F1.25%	2	10.3 x 7.6	1150.6	1171.7	1173.6	621.3	360	7.5
	A6%-P1.25%-F1.25%	1	10.3 x 8.1	1114.6	1127.5	1128.9	592.3	425.4	5.0
	A6%-P1.25%-F1.25%	2	10.3 x 8.1	1246.4	1259.2	1260.2	667.2	419.2	6.5



Universidad de Guayaquil
Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Laboratorio de Suelos y Materiales "Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli"



Nomenclatura		Firma: Diana Carnero	Firma: Miguel PARRALES
N	Sin modificar		
M	Modificada	ELIZALDE	PARRALES
A%	Porcentaje de asfalto	C.I. 0942363490	C.I. 0951741461
P%	Porcentaje de PET		
F%	Porcentaje de fibra		