UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
SEDE SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

Evaluación de los parámetros volumétricos de mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico PET, utilizando un diseño de tránsito medio para la construcción sobre capas del cantón de San Carlos.

Trabajo de graduación presentado por ANTHONY J. QUESADA RUIZ,
ANA Y. SALAZAR MIRANDA para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

ANTHONY J. QUESADA RUIZ
ANA Y, SALAZAR MIRANDA
Estudiantes Bach. Ingeniería Civil

ING. LUIS GUILLERMO LORIA
DIRECTOR ACADÉMICO INGENIERÍA CIVIL

ING. LUIS GUILLERMO LORIA
TUTOR ACADEMICO TESIS INGENIERIA CIVIL

Noviembre, 2023

Tribunal Examinador

Este proyecto profesional fue aprobado por el Tribunal Examinador de la Licenciatura de Ingeniería Civil de la Universidad Isaac Newton

_____
PhD Luis Guillermo Loria Salazar
Tutor

_____
Ing. Rafael Ernesto Villegas Villegas
Lector

_____
Lcda. Laura Prendas Castillo.
Presidente

Universidad Issac Newton
Escuela de Ingeniería Civil
Licenciatura Ingeniería Civil

DECLARACIÓN JURADA

Yo Anthony Quesada Ruiz cédula de identidad N.º [redacted] estudiante de la carrera Ingeniería Civil de la Universidad Issac Newton declaro bajo fe de juramento y conscientes de las responsabilidades de los civiles y penales de este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de Licenciatura y tiene como título "Licenciatura en Ingeniería Civil".

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores, como si fueran de mi propia autoría, por el contrario, se han destacado en el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Issac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Issac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Issac Newton ubicada en San Carlos a los días 04 del mes de enero del 2023.

ANTHONY JOSUE QUESADA RUIZ (FIRMA)
Firmado digitalmente por ANTHONY JOSUE QUESADA RUIZ (FIRMA)
Fecha: 2024.01.08 22:10:00 -06'00'

Firma _____
Anthony Quesada Ruiz
Cédula: [redacted]

Universidad Issac Newton
Escuela de Ingenieria Civil
Licenciatura en Ingenieria Civil

DECLARACIÓN JURADA

Yo Ana Yancy Salazar Miranda cédula de identidad Nº [redacted] estudiante de la carrera Licenciatura en Ingenieria Civil de la Universidad Isaac Newton, declaro bajo fe de juramento y conscientes de las responsabilidades de los civiles y penales de este acto, que este Trabajo Final de Investigación es de mi autoría y es presentado con la finalidad de obtener el grado de Licenciatura y tiene como título Licenciatura en Ingenieria Civil.

Declaro que en él no se han reproducido informaciones parciales o totales de otros autores, como si fueran de mi propia autoría, por el contrario, se han destacado en el uso de citas textuales las informaciones de otros autores, consignando su origen. Debido a lo anterior, libero a la Universidad Issac Newton de cualquier responsabilidad en caso de que la declaración sea falsa.

Además, por este medio, autorizo la consulta de esta investigación para fines académicos por parte de la comunidad de usuarios de la Biblioteca de la Universidad Isaac Newton, bajo las modalidades de préstamo interno y a domicilio, así como su inclusión en repositorios o bases de datos digitales que la Universidad considere oportunas.

Entregado en las oficinas de la Dirección Administrativa de la Universidad Isaac Newton ubicada en San Carlos a los 04 días del mes de enero del 2024.

ANA YANCY SALAZAR MIRANDA (FIRMA)
Firmado digitalmente por ANA YANCY SALAZAR MIRANDA (FIRMA)
[redacted]
givenName=ANA YANCY, c=CR, o=PERSONA FISICA, ou=CIUDADANO, cn=ANA YANCY SALAZAR MIRANDA (FIRMA)
Fecha: 2024.01.08 19:58:26 -06'00'

Firma _____

Ana Yancy Salazar Miranda

Cédula [redacted]

CARTA DEL TUTOR

San José 04 de enero del 2024.

Señores
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de tutor (a) designado (a) a la Tesis elaborada el (la) estudiante Anthony Quesada Ruiz, titulada Evaluación de los parámetros volumétricos de mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico PET, utilizando un diseño de tránsito medio para la construcción sobre capas del cantón de San Carlos.,durante el período 2024, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

_____
Luis Guillermo Loria Salazar
Tutor (a) de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

CARTA DEL TUTOR

San José 04 de enero del 2024.

Señores
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de tutor (a) designado (a) a la Tesis elaborada el (la) estudiante Ana Yancy Salazar Miranda, titulada Evaluación de los parámetros volumétricos de mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico PET, utilizando un diseño de tránsito medio para la construcción sobre capas del cantón de San Carlos.,durante el período 2024, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

_____
Luis Guillermo Loria Salazar
Tutor (a) de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

CARTA DEL LECTOR

San José 04 de enero del 2024

Señores
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de Lector (a) designado (a) a la Tesis elaborada el (la) estudiante Anthony Quesada Ruiz, titulada Evaluación de los parámetros volumétricos de mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico PET, utilizando un diseño de tránsito medio para la construcción sobre capas del cantón de San Carlos. Durante el período 2024, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

_____

Ernesto Villegas
Lector (a) de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

CARTA DEL LECTOR

San José 04 de enero del 2024

Señores
UNIVERSIDAD ISAAC NEWTON
Presente

Estimados señores:

En mi calidad de Lector (a) designado (a) a la Tesis elaborada el (la) estudiante Ana Yancy Salazar Miranda, titulada Evaluación de los parámetros volumétricos de mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico PET, utilizando un diseño de tránsito medio para la construcción sobre capas del cantón de San Carlos. Durante el período 2024, al respecto hago de su conocimiento que doy mi aprobación para que este Trabajo Final de Graduación, sea desarrollado y presentado ante la Universidad Isaac Newton, contando con los lineamientos establecidos por esta reconocida Universidad.

Agradezco la oportunidad brindada para poder desarrollar junto este estudiante este trabajo que enriquecerá la estructura institucional de esta dependencia.

Sin más por el momento me despido cordialmente,

_____

Ernesto Villegas
Lector (a) de Tesis
Docente de la Universidad Isaac Newton

DEDICATORIA

Le dedico este proyecto, a Dios, por su amor, por su generosidad, por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y no desmayar a las situaciones que se presentan, por darme el don de la perseverancia, por llenarme de las virtudes necesarias para haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi familia especialmente, con todo mi amor y cariño a mis padres y hermanos, porque muchos de mis logros se los debo a ellos ya que son las personas que simplemente me hacen llenar de orgullo, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por enseñarme valores, carácter, empeño y perseverancia para lograr mis objetivos con éxito.

A mi esposo Allan Quesada Rojas por su amor, sacrificio y esfuerzo, por apoyarme incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional de la patria y por creer en mi capacidad, a pesar de los momentos difíciles me ha brindado su comprensión y cariño.

A mi hijo Allan Gabriel, por ser mi pilar y fuente de motivación e inspiración, por haber estado ahí incondicionalmente en todo este proceso tan arduo pero satisfactorio.

Finalmente, a todas las personas que me ayudaron y apoyaron a lo largo de mi formación profesional.

Ana Yancy Salazar Miranda.

Dedico este proyecto, en primer lugar, a Dios, porque es Él quien me brinda la oportunidad de abrir los ojos cada mañana. Agradezco su amor y misericordia, los cuales me han llevado hasta esta etapa de mi vida. Dios ha sido mi guía constante, sosteniéndome de su mano y dirigiéndome por el camino correcto. Cuando me he sentido tentado a darme por vencido, Él me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia, les dedico mi profundo agradecimiento. Siempre me han apoyado incondicionalmente, animándome a no rendirme cuando las adversidades parecían insuperables. Sus consejos y apoyo han sido fundamentales para mantenerme motivado y continuar avanzando.

A mi tío Carlos Quesada y tía Rebeca Salazar, quienes ocupan un lugar especial en mi corazón y a quienes considero como mis segundos padres, les dedico mi más sincero reconocimiento. Siempre han estado a mi lado, brindándome apoyo en todas las áreas de mi vida y guiándome en cada decisión que he tomado. Son un ejemplo para seguir.

Anthony Josué Quesada Ruiz

AGRADECIMIENTO

Este proyecto va dirigido primero a Dios, por protegerme, por darme la fuerza y el valor para enfrentar los obstáculos y por fin culminar esta etapa de mi vida.

Especialmente agradezco a mi familia, por el apoyo vital que me brindaron durante este proceso, gracias por la fuerza y energía que me han proporcionado para crecer como persona y profesional.

A la Empresa OJM Consultores De Calidad y Laboratorios S.A por darnos la oportunidad de utilizar las instalaciones centrales pero el desarrollo y análisis del tema de investigación.

Para concluir, gracias de corazón a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su ayuda, ya que un trabajo de investigación es fruto de ideas y esfuerzos que no se podrían lograr sin el apoyo de otras personas.

Ana Yancy Salazar Miranda

Primeramente, a Dios por ser la guía constante y fuente de fortaleza para seguir adelante en cada momento y poder llegar al final de esta etapa.

A mi familia por creer en mi incluso cuando yo no lo hacía, que fueron ese pilar tan importante e incondicional, alentarme para nunca rendirme en los momentos más difíciles.

A la Empresa OJM Consultores De Calidad y Laboratorios S.A por darnos la oportunidad de utilizar las instalaciones centrales pero el desarrollo y análisis del tema de investigación.

Para terminar, agradecer a todos las personas, docentes, director de carrera, tutor los cuales de una o otra manera brindaron su ayuda para la realización de este proyecto el cual es el resultado de un gran esfuerzo.

Anthony Josué Quesada Ruiz

Tabla de contenido

Índice de tablas 7

Índice de Figuras 8

Capítulo 1: Introducción 11

1.1 Planteamiento del problema de investigación 13

1.1.1 Contexto. 13

1.1.2 Justificación 13

1.1.3 Problema de Investigación. 14

1.1.4 Estado del Arte. 15

1.2 Objetivo de la investigación 17

1.2.1 Objetivo general 17

1.2.2 Objetivos específicos 17

1.3 Las variables o categorías de análisis. 18

1.3.1 Variables y categorías de la investigación. 18

1.3.2 Matriz de la investigación 19

1.4 Alcances 22

1.5 Formulación de hipótesis de la investigación 23

Capítulo 2: Marco Teórico 24

1.6 Antecedentes 24

1.6.1 Plástico PET 24

1.6.2 Aplicaciones de investigación del uso de plástico PET como agregado en la mezcla asfáltica. 26

1.7 Bases conceptuales 27

1.7.1 plástico PET (Polietileno Tereftalato) 27

1.7.2 Asfalto. 31

1.7.3 Agregados 31

1.7.4 Mezcla asfáltica en caliente 31

1.8 Marco Legal. 32

1.8.1 Leyes 32

1.8.2 Decretos ejecutivos 32

1.8.3 Normas técnicas 33

Capítulo 3: Marco Metodológico. 35

1.1 Tipo de investigación 35

1.2 Enfoque de la investigación 35

1.3 Desarrollo de los ensayos de laboratorio a realizar 36

1.3.1 Muestreo de materiales ASTM D-75. 36

1.3.2 Método para la reducción de muestras de agregados AASHTO R76, Norma de referencia ASTM C702 38

1.3.3 Método de ensayo para el análisis granulométrico en tamices y determinación por lavado del material pasando el tamiz de 0,075 mm (no 200) en agregado fino y grueso INTE C46 – INTE C49. 41

1.3.4 Método de ensayo para la determinación de partículas planas, partículas elongadas o partículas planas y elongadas en agregados gruesos. ASTM D 4791. 43

1.3.5 Método de gravedad específica y absorción de agregado fino Norma de referencia ASTM C128. 45

1.3.6 Método de gravedad específica y absorción de agregado grueso AASHTO T85 Norma de referencia ASTM C127 47

1.3.7 Método de ensayo para determinar la densidad masiva (peso unitario y los vacíos en agregado Norma de referencia ASTM C29/ C29M. 50

1.3.8 Método de ensayo para el contenido de humedad de mezclas asfálticas por método de horno. 53

1.3.9 Método de ensayo para determinar el contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente (MAC) mediante método de ignición. 55

1.3.10 Método de ensayo para determinar la gravedad especifica máxima teórica. 58

1.3.11 Método de ensayo para el análisis granulométrico de agregados extraídos de mezclas bituminosas. 61

1.3.12 Método de ensayo para el moldeo de especímenes de mezclas asfálticas usando equipo Marshall 64

1.3.13 Método para determinar la gravedad especifica bruta de mezclas asfálticas compactadas y el porcentaje de vacíos 68

1.3.14 Método Marshall de diseño de mezclas 73

Capítulo 4: Análisis e Interpretación de Resultados 86

4.1 Presentación de los resultados 86

4.1.1 Curva Granulométrica de diseño 86

4.1.2 Se realiza la preparación del plástico PET (trituración) 86

4.1.3 Modificación de Asfalto con plástico PET 87

4.1.4 Mezclado de Especímenes con Plástico PET 89

4.1.5 Masas Mezcladas para la preparación de análisis de los diferentes procedimientos ASTM 91

4.1.6 Cuarteo de la muestra 92

4.1.7 Pastillas Marshall con Asfalto Modificado Con Plástico PET 94

4.2 Graduación de diseño sin plástico 94

4.2.1 Graduación promedio de cada apilamiento de agregados 95

4.2.2 Resultados de los ensayos de gravedad específica y porcentaje de absorción de cada agregado utilizado en el diseño. 96

4.1.5 Formula de la Mezcla. 97

4.1.6 Parámetros de la mezcla con el óptimo de asfalto sin plástico. 97

4.1.7 Propiedades Marshall (Datos de las Pastillas Sin Plástico) 98

4.1.8 Máxima Teórica Sin Plástico 99

4.1.9 Resumen Diseño Marshall Sin Plástico 100

4.1.10 Resultados obtenidos de las pasillas Marshall con Asfalto Modificado con plástico PET 101

% 102

4.1.11 Resultados de Gravedad Máxima Teórica con Asfalto Modificado con plástico PET 103

4.1.12 Resumen de Resultados de especímenes con asfalto modificado con plástico PET VS Diseño Patrón..... 104

4.1.13 Pastillas Marshall añadiendo un 12% plástico PET al agregado fino 105

4.1.14 Resultados obtenidos de las pasillas Marshall modificando el agregado fino con plástico PET.....110

4.1.15 Resultados de Gravedad Máxima Teórica Modificando el agregado fino con plástico PET 111

4.1.16 Resumen de Resultados de especímenes modificando el agregado fino con plástico PET vs Especificación. 111

4.1.17 Resumen de Resultados de especímenes con asfalto modificado con plástico PET y Modificando el Agregado Fino VS Especificación de Diseño 112

Capítulo V: Limitaciones, conclusiones y recomendaciones. 114

5.1 Limitaciones: 114

5.2 Conclusiones 114

5.2.1 Conclusiones sobre mezcla asfáltica modificando el asfalto con plástico PET 114

5.2.2 Conclusiones sobre mezcla asfáltica modificando el asfalto y el agregado fino. 116

5.3 Recomendaciones.....116

Bibliografía 118

Índice de tablas

Tabla 1: Matriz de la primera categoría de análisis. 19

Tabla 2:Matriz de la segunda categoría de análisis. 20

Tabla 3:Matriz de la tercera categoría de análisis. 21

Tabla 4: Ventajas y desventajas del plástico PET. 28

Tabla 5: Informacion técnica del plástico PET. 29

Tabla 6: Mezclado y Pesos De Modificación de Asfalto Con Plástico PET. 88

Tabla 7:Graduación de diseño sin plástico. 95

Tabla 8: graduación promedio de cada apilamiento de agregado. 96

Tabla 9: Resultados de ensayo gravedad específica y porcentaje de absorción. 97

Tabla 10: Fórmula de la mezcla. 97

Tabla 11: Parámetros de mezcla óptimo de asfalto sin plástico. 97

Tabla 12: Propiedades Marshall sin plástico. 98

Tabla 13: Máxima teórica sin plástico. 100

Tabla 14: Resumen diseño Marshall sin plástico. 101

Tabla 15: Propiedades Marshall con Asfalto Modificado con Plástico PET. 102

Tabla 16: Resultados de Gravedad Máxima Teórica. 104

Tabla 17: Resumen de Resultados 104

Tabla 18: Resultado de pastillas Marshall con plástico PET sobre el agregado fino 110

Tabla 19: Resultado de la gravedad Máxima teórica con plástico PET sobre el agregado fino 111

Tabla 20: Resumen de Resultado de especímenes. 111

Tabla 21:Resumen de resultado de especímenes con asfalto modificado y agregado fino modificado. 113

Índice de Figuras

Figura 1: Formula química del PET 30

Figura 2: Proceso de obtención del Tereftalato de Polietileno. 30

Figura 3: Muestreo de Materiales 37

Figura 4: Cuarteo de material 40

Figura 5: Cuarteo de material 40

Figura 6: Granulometría de materiales 42

Figura 7: Lavado de material 43

Figura 8: Dimensiones de partícula 44

Figura 9: Dispositivo de calibración proporcional 45

Figura 10: determinación de la absorción del material para polvo de piedra. 46

Figura 11: Determinación de la Absorción del material para agregados gruesos. 50

Figura 12: Determinación de contenido de asfalto por Ignición. 57

Figura 13: Determinación de la gravedad máxima teórica. 61

Figura 14: Tamices 64

Figura 15: Curado de pastillas 67

Figura 16: Compactador Marshall 68

Figura 17: Revisión de Temperatura del agua para el cálculo dé % de vacíos 72

Figura 18: Extracción de pastillas de los moldes. 72

Figura 19: Preparación de materiales en condición húmeda para diseño de mezcla asfaltico método Marshall 76

Figura 20: Secado materiales en horno a temperatura de 110 °C 76

Figura 21: Materiales en condición seca 77

Figura 22: Materiales separados en los diferentes tamices establecidos por el método Marshall. 77

Figura 23: Mezclado de agregados con asfalto para pastillas 79

Figura 24: Compactación a 50 golpes 80

Figura 25: Pastillas Marshall 50 golpes 81

Figura 26: Curado de pastillas Marshall para estabilidad y flujo. 82

Ilustración 27:Máquina para Estabilidad y flujo Marshall 84

Figura 28: Curva granulométrica de diseño. 86

Figura 29: Preparación de plástico PET. 87

Figura 30: Equipo para Mezclado de Asfalto con plástico PET 88

Figura 31: Modificación Realizada con Plástico PET 89

Figura 32: Pesado del agregado con el Plástico modificado 90

Figura 33: Mezclado del Agregado con plástico PET 90

Figura 34: Mezclado de los Especímenes con 1% 6 y 12% con asfalto modificado PET. 91

Figura 35: Cuarteo con mariposa para Contenido de asfalto, Gravedad Máxima Teórica y Pastillas Marshall. 92

Figura 36: Pesos de Pastillas al 1% de Asfalto con Plástico Modificado. 92

Figura 37: Pesos de Pastillas al 6% de Asfalto con Plástico Modificado. 92

Figura 38: Pesos de Pastillas al 6% de Asfalto con Plástico Modificado. 93

Figura 39: Pesado de Especímenes antes de Ignición. 93

Figura 40: Pesado de Especímenes después de Ignición. 93

Figura 41: Pastillas Marshall. 94

Figura 42: Pastillas Marshall con Asfalto Modificado con Plástico PET. 103

Figura 43: Porcentaje de plástico para añadir al agregado fino. 106

Figura 44: Bache de agregado fino con adición de plástico PET _____ 106

Figura 45: Mezclado realizado de agregado fino con plástico PET al 12% y asfalto_____ 107

Figura 46: Cuarteo de mezcla con plástico PET al 12% adicionado al agregado fino _____ 107

Figura 47: Extracción de humedad para pastillas Marshall con plástico PET al 12% sobre agregado fino. _____ 108

Figura 48:Determinación de la gravedad máxima teórica _____ 108

Figura 49:Pastillas Marshall modificadas con 12% sobre el valor de mezcla de agregado fino. 109

Figura 50: Pastillas Marshall _____ 109

Figura 51: Pastillas Marshall con agregado fino modificado con plástico PET al 12%_____110

Capítulo 1: Introducción

Actualmente se estima la venta de un millón de botellas de plástico en el mundo por minuto, Costa Rica se enfrenta a uno de los retos más grandes en su historia, y en la búsqueda de la mitigar las consecuencias negativas es necesario desarrollar métodos constructivos que utilicen el plástico PET, el cual demora hasta 450 años en descomponerse y que resulta en una solución importante a un contaminante peligroso para el ambiente y la vida marítima. (Buteler, 2019, párr.4).

El principal problema de la basura plástica es no ser un compuesto biodegradable (no existen organismos que transformen el plástico en materia orgánica). Los plásticos también pueden absorber y acumular compuestos tóxicos y contaminantes del ambiente, estos plásticos a medida que pasa el tiempo no se biodegradan, se fragmentan en pedazos cada vez más pequeños.

Es de suma importancia eliminar progresivamente todo el plástico acumulado durante décadas de mal uso y acumulación, además de aprovechar los residuos con la finalidad de evitar la llegada de más plástico a los ríos y océanos.

Al degradarse el plástico no desaparece, también se encuentra en el ambiente en partículas más pequeñas ingresando en la cadena alimenticia de los animales acuáticos como micro plásticos por esta razón es fundamental abordar la problemática del plástico desde todas las áreas con la finalidad de reducir los desechos plásticos y aprovechar su uso de manera eficiente y ecológica con el planeta.

Costa Rica, en alianza con Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, La dirección de Calidad Ambiental del Ministerio de Ambiente y Energía y el Ministerio de Salud

buscan la metodología para reducir el impacto de los contaminantes plásticos en el ambiente. y desde la empresa privada es posible la utilización de plásticos PET en los procesos constructivos reduciendo la huella contaminante y brindando soluciones a largo plazo que permitan construcciones conforme a la normativa del País, para garantizar construcciones seguras.

La estrategia se fundamenta sobre el impacto en el ambiente debido a la contaminación por residuos plásticos y tomando en cuenta estudios del Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo y otros organismos internacionales; la producción de plástico continua en aumento y requiere la implementación de estrategias firmes para mitigar la problemática hasta su desaparición.

En el sector de la construcción se enfoca el análisis a los plásticos PET, enfocado a las propiedades como resistencia, rigidez, resistencia a la torsión, resistencia a la deformación térmica, alta resistencia a la intemperie entre otras características de importancia en el diseño de pavimentos que puede generar como consecuencia un aprovechamiento de material plástico contaminante de ríos u océanos aprovechado en el mantenimiento de caminos y carreteras que permitan mantener sus propiedades a lo largo del tiempo, resultando en un ahorro económico y un beneficio ecológico para el país.

Según (Instituto Tecnologico de Costa Rica, 2018, párr. 6) Costa Rica desecha cerca de 550 toneladas de plástico diariamente, distribuidos de la siguiente manera 80% (440 toneladas) son lanzadas al mar; el 11 % (60.5 toneladas) quedan en botaderos y el ambiente; y solamente el 9% (49.5 toneladas) es reciclado.

El tratamiento del 91% del plástico debe abordarse mediante prácticas de aprovechamiento de material con la finalidad de eliminar por completo que este quede en el ambiente.

1.1 Planteamiento del problema de investigación

1.1.1 Contexto.

Esta investigación se desarrolla a través de ensayos de laboratorio, en donde a partir de una mezcla asfáltica en caliente con un diseño desarrollado, en los que se busca modificar sus propiedades mecánicas con plástico PET en diferentes proporciones en relación con el porcentaje de asfalto.

Esto basado en las normativas vigentes en Costa Rica, el objetivo principal es obtener valores que permitan el uso de esta mezcla en la construcción de carreteras de tránsito medio de sobre capas en San Carlos debido a que la actualidad no es utilizada y se requiere de un estudio y análisis previo antes de su implementación.

Esta iniciativa tiene como propósito contribuir con procesos de reciclaje de la zona a partir de la incorporación del plástico en dicha mezcla cambiando así sus propiedades mecánicas y reduciéndolo del medio ambiente, además busca disminuir lo que es la huella de carbono, gases de efecto invernadero, esto permitirán disminuir las emisiones de CO2 y a su vez proponer nuevas ideas para el manejo de residuos en el cantón y lograr alcanzar las metas en los planes de carbono neutralidad de Costa Rica.

1.1.2 Justificación

Ante la emergencia que implica el porcentaje de residuos plásticos que se encuentran en ríos, botaderos ambientales y el océano es imperante desarrollar propuestas de la mano con la

tecnología y la industria que permita el aprovechamiento de estos materiales y las características de estos en procesos de la ingeniería que requieren maximizar el uso y alargar la vida útil de los pavimentos antes de llegar a la falla.

Los procesos de investigación van de la mano con resolver más de una necesidad poniendo como prioridad el medio ambiente y resolver el alto grado de contaminación que hoy en día presenta Costa Rica, debido al exceso de plásticos PET en el ambiente, y la creciente necesidad de solventar medios constructivos en pavimentos que faciliten un aprovechamiento de recursos, un ahorro económico en la producción de estos y una mayor vida útil para abarcar la mayor parte del territorio nacional en óptimas condiciones en su infraestructura vial.

La utilización de plástico PET como agregado en la producción de pavimentos a nivel como apoyo a los gobiernos locales de Costa Rica, es de suma importancia para segmentar el país en regiones y optimizar la recolección del plástico antes de que este llegue a los océanos que corresponde a la cifra de mayor proporción sobre la problemática de plásticos no tratados o reciclados en Costa Rica.

Al realizar la captación de los residuos plásticos antes de llegar al océano también se logra la contribución al sector salud debido a que está comprobado que algunos plásticos contienen químicos relacionados con problemas de reproducción, malformaciones genitales, problemas neurológicos entre otros.

1.1.3 Problema de Investigación.

La acumulación de residuos plásticos en el mundo procesados en comparación con la creciente producción de este agente contaminante hace obligatoria la investigación para encontrar nuevos métodos de uso para el plástico PET en la industria y producción general.

Por otra parte la creciente necesidad de mantenimiento a la infraestructura vial a nivel nacional e internacional implica grandes costos de inversión para mantenimiento de carreteras por lo que analizar los componentes físicos y químicos del plástico como aditivo al asfalto para aprovechar la durabilidad en el tiempo en el proceso de descomposición puede convertirse en un producto eficiente y económico para mitigar la huella de carbono y reducir los costos de producción de pavimentos con la calidad y resistencia que exige la norma técnica.

¿Es posible crear un diseño de mezcla asfáltica adicionado con plástico PET que cumpla con los parámetros de resistencia y funcionabilidad para reducir la cantidad de plástico sin tratar y mejorar las condiciones de las vías nacionales con equilibrio entre economía y funcionabilidad?.

1.1.4 Estado del Arte.

1.1.4.1 Antecedentes Internacionales.

Según (Maghanaki, 2005, párr.2) uno de los problemas medioambientales en las regiones de Irán es el gran número de botellas fabricadas con tereftalato de polietileno (PET) depositadas en residuos domésticos y vertederos para brindar tratamiento a estas botellas plásticas se realizó la investigación para utilizar los desechos de PET en mezclas de concreto asfaltico para comparar las propiedades mecánicas del diseño de mezcla adicionado con plástico PET con muestras de control, centrándose en los parámetros de estabilidad de Marshall, flujo, cociente de Marshall y densidad.

Producto de la investigación se logró determinar para las muestras con Plástico PET como reemplazo parcial del agregado la estabilidad y cociente de Marshall brindaron valores similares a la muestra de control.

(Sendoya, 2021, p. 28)en su trabajo de investigación para optar por su título de ingeniera Civil en la Universidad de los Andes cuyo objetivo era "analizar la influencia del uso de PET reciclado como reemplazo de agregados en la respuesta mecánica y durabilidad de mezclas asfálticas", el resultado de su investigación concluyó sobre las propiedades de desempeño de la mezcla asfáltica estudiada con PET brindaba parámetros aceptables en comparación con la muestra de control para satisfacer los requisitos estándar de calidad.

1.1.4.2 Antecedentes Nacionales

(José P. Aguilar Moya, 2020, p. 235) en su revista volumen especial- Jornadas de Investigación 2020 sobre " Mezcla asfáltica modificada con diferentes materiales de desecho" implementó el uso de tereftalato de polietileno (PET) para evaluar su potencial uso como parte de las mezclas asfálticas exponiendo el material a una rampa de temperatura de 40-1000°C, como resultado del estudio se observó que el material es resistente a las temperaturas evaluadas descartando que se experimenten descomposiciones químicas del material durante la producción y compactación de la mezcla obteniendo como resultado de la investigación resistencia a la fatiga del material con valores aceptables alcanzando los requisitos mínimos de desempeño requeridos para las mezclas asfálticas en Costa Rica.

1.2 Objetivo de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico PET, que cumpla con los parámetros de resistencia y funcionabilidad para reducir la cantidad de plástico sin tratar y mejorar las condiciones de las vías nacionales con equilibrio entre economía y sostenibilidad ambiental

1.2.2 Objetivos específicos

1. Realizar ensayos previos de los agregados destinados al diseño de la mezcla asfáltica en caliente con el propósito de conocer sus propiedades mecánicas. Los resultados de estos ensayos se utilizarán para desarrollar una mezcla que cumpla con los estándares de calidad definidos por las normas ASTM, garantizando que satisfaga los requisitos de desempeño necesarios para su aplicación en carreteras de uso cantonal.

2. Formular un diseño mezcla asfáltica en caliente utilizando una relación porcentual de plástico PET como agregado y llevar a cabo las pruebas de calidad correspondientes según las normas ASTM para verificar que cumpla con los estándares y resistencia requeridas.

3. Evaluar la viabilidad del diseño de la mezcla asfáltica modificada con PET para su implementación en el cantón de San Carlos considerando las externalidades económicas, analizando costos y beneficios como también el impacto ecológico en el medio ambiente que se tendrían al implementar este tipo de mezcla en relación con la política sostenible y de carbono de neutralidad nacional.

1.3 Las variables o categorías de análisis.

1.3.1 Variables y categorías de la investigación.

A continuación, se presentan las categorías de análisis de la investigación:

1. Formulación de un diseño de mezcla asfáltica caliente (MAC) que incluya una fracción del plástico PET sobre el porcentaje de asfalto, siguiendo las pautas establecidas en las normativas nacionales y asegurando que cumpla con los requisitos de desempeño necesarios para carreteras de uso cantonal.

2. Realización de un diseño mezcla asfáltica en caliente utilizando una relación porcentual de plástico PET como agregado y llevar a cabo las pruebas de calidad correspondientes según las normas ASTM para verificar que cumpla con los estándares y resistencia requeridas.

4. Evaluación la viabilidad del diseño de la mezcla asfáltica modificada con PET para su implementación en el cantón de San Carlos considerando las externalidades

económicas, analizando costos y beneficios como también el impacto ecológico en el medio ambiente que se tendrían al implementar este tipo de mezcla en relación con la política sostenible y de carbono de neutralidad nacional.

1.3.2 Matriz de la investigación

Tabla 1: Matriz de la primera categoría de análisis.

Categoría de análisis		
Formulación de un diseño de mezcla asfáltica caliente (MAC) que incluya una fracción del plástico PET sobre el porcentaje de asfalto, siguiendo las pautas establecidas en las normativas nacionales y asegurando que cumpla con los requisitos de desempeño necesarios para carreteras de uso cantonal.		
Definición conceptual	**Dimensiones**	**Indicadores**
Plástico PET: (Tereftalato de polietileno) plástico utilizado en envases de bebidas y textiles. Asfalto: Material viscoso a base de petróleo utilizado para pavimentar carreteras. Normativa nacional: leyes, reglamentos o parámetros en Costa Rica que rigen los valores mínimos de calidad que debe cumplir un material.	Brindar una solución efectiva al tratamiento de plástico sin reciclar adicionado a la mezcla asfáltica en el mantenimiento de carreteras.	Sostenibilidad ambiental. Costo y eficiencia.
Definición instrumental		
Revisión bibliográfica: Realizar una investigación exhaustiva en bases de datos académicas y fuentes especializadas para obtener información detallada sobre las técnicas de diseño de mezcla asfáltica adicionada con plástico PET características, ventajas y limitaciones.		

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Tabla 2:Matriz de la segunda categoría de análisis.

Categoría de análisis		
Realización de un diseño mezcla asfáltica en caliente utilizando una relación porcentual de plástico PET como agregado y llevar a cabo las pruebas de calidad correspondientes según las normas ASTM para verificar que cumpla con los estándares y resistencia requeridas.		
Definición conceptual	**Dimensiones**	**Indicadores**
Normas ASTM (American Society for Testing and Materials) normas internacionales que parametrizan los resultados mínimos aceptados para un material. Resistencia: capacidad máxima de una mezcla asfáltica sin sufrir deformación permanente.	Validar el diseño de mezcla asfáltica en comparación con los estándares de calidad en resistencia a la compresión y tensión.	Parámetros de resistencia aceptada.
Definición instrumental		
Ejecución de ensayos de laboratorio y análisis de materiales bajo las normas ASTM Falla a Tensión Diametral. Ensayo Resistencia Retenida utilizando un diseño patrón para comparación de resultados.		

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Tabla 3:Matriz de la tercera categoría de análisis.

Categoría de análisis			
Hipótesis	**Conceptos**	**Variables**	**Indicadores**
La incorporación del plástico PET en los diseños de mezcla asfáltica en caliente para carreteras tiene como fin darle una solución efectiva y económicamente viable al manejo de los residuos plásticos a su vez mejorando la calidad y resistencia de las carreteras de acuerdo a las normas técnicas que exige el país para la construcción de calles.	Plástico PET: (Tereftalato de polietileno) plástico utilizado en envases de bebidas y textiles. Mezcla asfáltica en caliente: mezcla de agregados (grava, arena y asfalto) Normas ASTM (American Society for Testing and Materials) normas internacionales que parametrizan los resultados mínimos aceptados para un material.	Eficacia de los parámetros de resistencia en la mezcla asfáltica en caliente, a través de los ensayos correspondiente para medir los parámetros de resistencia y tensión diametral. Sostenibilidad ambiental, medición del impacto ecológico al medirse cuantitativamente la cantidad de plástico PET a tratar mediante el proceso de diseño de mezcla asfáltica.	Resultados de los ensayos y análisis de los materiales. Resistencia de la mezcla asfáltica. Vida útil estimada. Resistencia a la tensión de la mezcla asfáltica. Análisis del impacto económico y ecológico del uso de Plástico PET en la construcción de carreteras.
	Definición instrumental		
	Análisis de resultados de la mezcla asfáltica resultante con plástico, medición de ensayos y comparativa estructural y ecológica sobre el impacto de la implementación a gran escala del proyecto.		

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.4 Alcances

Los estudios realizados por gran cantidad de expertos en la materia de pavimentos como lo explica (Sendoya, 2021, p. 28) han evidenciado la efectividad del uso de plástico PET, en la elaboración de pavimentos, obteniendo como resultado parámetros de resistencia aceptables que permitan disminuir la huella de carbono, la contaminación y colaborar con el mantenimiento de las carreteras a nivel nacional.

Se pretende verificar la viabilidad de la mezcla asfáltica modificada con PET para corroborar las propiedades volumétricas según (Maghanaki, 2005, párr.2) validando parámetros como volumetría, densidad, resistencia y durabilidad en carreteras de tránsito medio aplicado a las condiciones climáticas y a la normativa técnica de Costa Rica.

Costa Rica como país ecológico requiere la implementación de normas y procedimientos que permitan reciclar y procesar el 91% de plástico según (Instituto Tecnologico de Costa Rica, 2018, párr. 6) que se encuentran sin procesar y son desechados en el océano, lograr el procesamiento de 550.5 toneladas de plástico representaría una mejora significativa en el ecosistema y en la economía del país por convertirse en un agregado con un costo bajo y gran beneficio de uso, para el fin establecido.

1.5 Formulación de hipótesis de la investigación

La incorporación del plástico PET como un aditivo al asfalto en la construcción y elaboración de pavimentos se podría ver una mejoría en durabilidad en las carreteras y así reducir costos de producción a lo que también ayudaría en la mitigación de la huella de carbono y a la gestión de eficientes de los residuitos plásticos.

La incorporación del plástico PET en los diseños de mezcla asfáltica en caliente para carreteras tiene como fin darle una solución efectiva y económicamente viable al manejo de los residuos plásticos a su vez mejorando la calidad y resistencia de las carreteras de acuerdo a las normas técnicas que exige el país para la construcción de calles.

La mezcla asfáltica caliente trae un impacto positivo en los parámetros volumétricos de la mezcla será evidente en carreteras de tránsito medio, y traerá un buen manejo de los desechos plásticos, ya que favorece al medio ambiente y aporta una disminución en la huella de carbono en comparación con mezclas convencionales.

Se espera que con esta modificación contribuya al manejo de los recursos y cumplimientos ambientales de la región, con la introducción del plástico a la mezcla no solo puede tener beneficios de rendimiento vial sino también en el entorno ambiental ya que los plásticos tendrán un mejor manejo y no estarán contaminando otros sitios o incluso afectando distintos lugares de la región.

Capítulo 2: Marco Teórico

1.6 Antecedentes

1.6.1 Plástico PET

En el año 1941 se presentó el uso del (Tereftalato de Polietileno) como polímero desde entonces el PET, ha presentado un desarrollo constante hasta lograr un alto nivel de sofisticación basado en la demanda mundial debido a sus diversas posibilidades de uso. (QuimiNet, 2005).

Es un tipo de plástico ampliamente utilizado en la fabricación de botellas y envases transparentes y resistente utilizado principalmente para bebidas y empacado de productos finales provocando una demanda de crecimiento a gran escala a nivel mundial y ocasionando una necesidad de control, manejo de estos residuos requiriendo un plan de acción para el reciclaje y plantas de tratamiento para el plástico PET, debido a la larga duración en los periodos de degradación en el medio ambiente de hasta 1000 años.

Actualmente se estima un promedio de 62 millones macro basuras flotando en los océanos incluyendo enormes concentraciones de macro plásticos y micro plásticos (Montoto, 2017).

En la construcción de carreteras los estudios sobre el uso del tereftalato de polietileno (PET) se remonta a la década de 1970 cuando se iniciaron las investigaciones sobre las propiedades físicas y químicas para evaluar el potencial como material de construcción.

Entre las primeras investigaciones sobre el uso del plástico PET en carreteras fue la realizada por el Departamento de Ingenieria Civil de la Universidad de California, Berkeley. En el cual se evaluaron las propiedades mecánicas del PET y se compararon con las del asfalto tradicional. Los resultados mostraron una resistencia a la compresión y al impacto similar o superior al asfalto.

En la década de 1980 continuaron las investigaciones en este caso por el departamento de Ingenieria Civil de la Universidad de Minnesota, que evaluó el rendimiento en condiciones de tráfico pesado obteniendo resultados donde la durabilidad era similar o superior al asfalto tradicional.

Para 1990, se realizaron estudios sobre el uso del PET en carreteras en varios países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Europa definiendo los parámetros que hacen del PET un agregado atractivo para su uso en la construcción de carreteras entre los que se encuentran:

1. Resistencia mecánica: El PET es un material fuerte y resistente a la compresión, al impacto y abrasión.
2. Durabilidad: El PET tiene buena resistencia a la a la degradación por los rayos UV.
3. Manejo y procesamiento: Es un material fácil de manejar y procesar.
4. Costo: El PET es un material relativamente económico.

Además de tratarse de un material relativamente económico se busca mitigar la cantidad de plástico no reciclado el cual solo para Costa Rica representa un promedio de 550 toneladas según (Instituto Tecnologico de Costa Rica, 2018, párr. 6)

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el consumo de plástico se ha cuadriplicado en los últimos 30 años y solo el 9% de los residuos plásticos alrededor del mundo son reciclados por esta razon Costa Rica ha venido creando reglamentos y leyes como 9876 la cual busca mitigar el efecto negativo de la cantidad excesiva de material no reciclado en Ciudades, ríos y Océanos fomentando un programa de recuperación de envases para las empresas que incluyen dentro de sus procesos productos el uso de plástico PET.

En búsqueda de un cambio positivo hacia el impacto climático que produce el manejo de plásticos PET, se requiere implementar procedimientos que permitan controlar la cantidad de

material en el ambiente y los porcentajes recuperados que han sido utilizados de forma ecológica en la construcción de carreteras.

1.6.2 Aplicaciones de investigación del uso de plástico PET como agregado en la mezcla asfáltica.

La mezcla asfáltica se puede intervenir con diferentes porcentajes de PET, no obstante, los porcentajes menores a 4.6% y 4.8% de asfalto disminuyen la estabilidad pudiendo producir ahuellamiento y hundimientos (Buitrago Buitrago, 2017 (p.88))

Deacuerdo con (Lizarazo Moncada, 2016) se puede demostrar que a partir de 1% la adición de PET es inversamente proporcional a la estabilidad, a mayor porcentaje de PET disminuye la estabilidad de la mezcla haciéndola vulnerable a cargas. (p.30).

Es necesario conocer la dosificación exacta de PET, debido a que la mezcla asfáltica puede verse afectada por la presencia de vacíos provocando baja durabilidad, alta permeabilidad y baja resistencia a la fatiga haciéndola vulnerable a fallas.

Una propiedad importante sobre el porcentaje de incremento de PET en la mezcla asfáltica está representada sobre la disminución del peso específico de la mezcla a partir de un pico máximo de 2.22(g/cm^3) en un porcentaje de 3.81% de PET. Esto permite validar como la adición de PET en el asfalto ofrece una reducción del peso de la mezcla y del impacto ambiental como expresa (Revelo Corella, 2014) los materiales elastómeros(caucho y tereftalato de polietileno PET), pueden ser usados en la modificación de mezcla asfáltica, como modificadores en lugar de polímeros ya existentes en el mercado, de esta manera se genera una alternativa de aplicación de desechos no biodegradables que contribuya a la conservación del medio ambiente.(p4).

La incorporación de PET en la mezcla asfáltica deacuerdo con (Fausto, 2017) presenta una leve reducción en el flujo en relación con la mezcla de control, lo que indica además de proporcionar propiedades elásticas a la mezcla, también aportan rigidez, obteniendo cualidades importantes para la resistencia a deformaciones permanentes.

1.7 Bases conceptuales

1.7.1 plástico PET (Polietileno Tereftalato)

Es el plástico presente en las botellas de refresco, agua, enjuague bucal, vinagre, aceite entre otros, Por lo general es de un solo uso y los envases son transparentes. Son termoplásticos reciclables y pueden ser procesados mediante extrusión, inyección, soplado de preforma y termo conformado (al, 2021).

El tereftalato de polietileno corresponde a polímero de los plásticos usado en envases de bebidas y textiles (Diaz Martínez, 2016).

Según (Gonzales Barrera, 2016)”un kilo de PET se compone por 64% de petróleo,23% de derivados líquidos de gas natural y 13% de aire” (p.13)

Tabla 4: Ventajas y desventajas del plástico PET.

Ventajas	Desventajas
Es transparente, pero admite colorantes.	Cuenta con un numero finito de reciclado.
irrompible	No se destruye de forma natural.
Liviano	Sufre desprendimiento de sustancias toxicas cuando es sometido a temperaturas superiores a los 230°C.
Impermeable	
No toxico	
Inerte al contenido	
Resistencia a esfuerzos permanentes y al desgaste, debido a alta rigidez y dureza.	
Alta resistencia química.	
Buenas propiedades térmicas.	
Totalmente reciclable.	

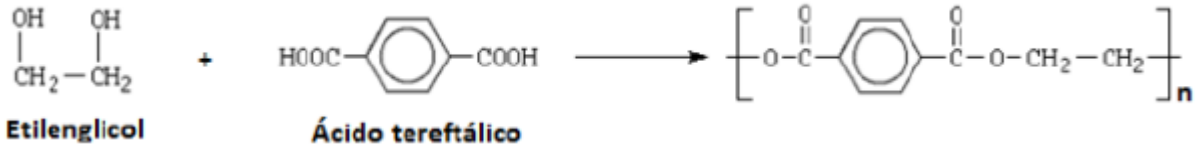
Fuente: Juárez N, Santiago J, & Vera M, 2011, pág. 2 "Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de PET Reciclado"

Tabla 5: Informacion técnica del plástico PET.

Propiedades	Unidad	Valor
Densidad	g/cm^3	1.34-1.39
Resistencia a la tensión	MPA	59-72
Resistencia a la compresión.	MPA	76-128
Resistencia al impacto.	J/mm	0.01-0.04
Dureza	----	Rockwell M94-M101
Dilatación térmica.	10^{-4}/ °C	15.2-24
Resistencia al calor.	°C	80-120
Resistencia dieléctrica.	V/mm	13780-15750
Constante dieléctrica (60 Hz).	----	3.65
Absorción de agua.	%	0.02
Velocidad de combustión.	Mm/min	Consumo lento
Efecto de luz solar.	-----	Se decolora ligeramente.
Calidad de mecanizado.	-----	Excelente.
Calidad óptica.	-----	Transparente a opaco.
Temperatura de fusión.	°C	244-254

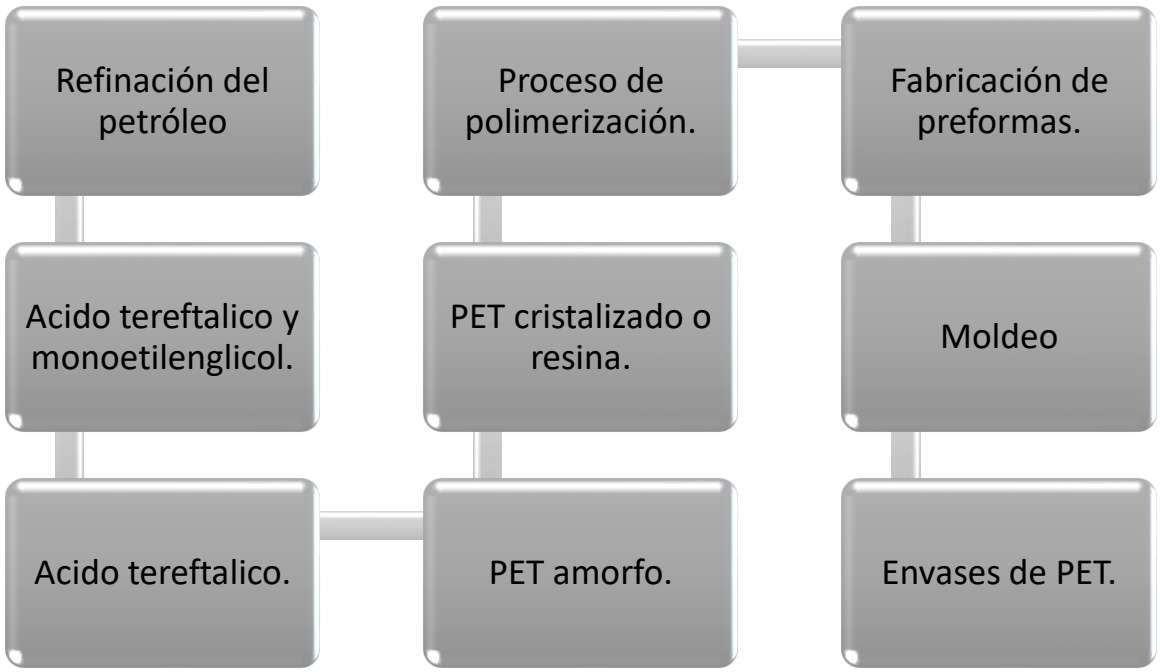
Fuente: Industria del plástico. RPET. Richardson & Lokensgard.

Figura 1: Formula química del PET



Fuente: *(Arnaiz Arnaiz, 2016)*

Figura 2: Proceso de obtención del Tereftalato de Polietileno.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.7.2 Asfalto.

Material constituido por una mezcla de hidrocarburos de origen natural con propiedades aglutinantes e hidrofóbicas que permiten ser ampliamente utilizados en impermeabilizaciones y construcción de carreteras (Cristian E Sánchez Herrera, 2018 (p.17))

1.7.3 Agregados

Los agregados son un componente esencial en la mezcla asfáltica representando entre un 93% y el 97% del peso total y su función es brindar resistencia estructural y durabilidad.

En la construcción de carreteras los agregados utilizados deben cumplir con requisitos como:

- Durabilidad: deben tener resistencia a la abrasión y degradación química.
- Pureza: deben encontrarse libres de materiales contaminantes como polvo, materia orgánica y sales.
- Conformidad: deben cumplir con las especificaciones establecidas por las normas de construcción de obra vial.

1.7.4 Mezcla asfáltica en caliente.

Resulta del producto de una combinación entre un ligante hidrocarbonado y agregados, también pueden ser necesarios aditivos para que la totalidad de las partículas que conforman el agregado sean revestidas de una fina y homogénea capa de ligante. Son empleadas en la construcción de carreteras, vías urbanas o aeropuertos y también se puede agregar a distintas capas del pavimento.

1.8 Marco Legal.

Para asegurarse que los materiales utilizados en la construcción de carreteras sean de la calidad especificada, deben realizarse los ensayos correspondientes sobre muestras representativas de los materiales, en cumplimiento con las Normas ASTM y las Normas Técnicas nacionales.

El marco legal aplicable en Costa Rica en la construcción de carreteras está compuesto por una serie de leyes, decretos ejecutivos y normas técnicas.

1.8.1 Leyes

- Ley N° 7798: Crea el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) y establece sus funciones.
- Ley N° 8114: Modifica la Ley N° 7798 y establece el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) como institución responsable de velar por la calidad de la inversión en infraestructura vial.

1.8.2 Decretos ejecutivos

- Decreto Ejecutivo N° 33148-MOPT: Establece los lineamientos para la planificación y construcción de obras viales o programas de transportes.
- Decreto Ejecutivo N° 43397-MOPT: Actualiza el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes, CR-2020.

1.8.3 Normas técnicas

- Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes, CR-2020: Establece las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras, caminos y puentes en Costa Rica.
- Norma Técnica Costarricense (NTC) 102-01: Aglomerados asfálticos para carreteras.
- NTC 103-01: Agregados para mezclas asfálticas.

Este marco legal establece los requisitos que deben cumplirse en la construcción de carreteras en Costa Rica. Estos requisitos incluyen la seguridad, la durabilidad y la sostenibilidad.

1.8.3.1 Requisitos de seguridad:

Las carreteras deben diseñarse y construirse de manera que sean seguras para los usuarios. Esto significa que deben tener la capacidad de soportar el tráfico vehicular, así como las condiciones climáticas.

1.8.3.2 Requisitos de durabilidad:

Las carreteras deben ser duraderas para que puedan servir durante muchos años. Esto significa que deben utilizar materiales de alta calidad y técnicas de construcción adecuadas.

1.8.3.3 Requisitos de sostenibilidad:

Las carreteras deben ser construidas de manera sostenible para minimizar su impacto ambiental. Esto significa que deben utilizar materiales reciclados y técnicas de construcción que reduzcan la contaminación.

Capítulo 3: Marco Metodológico.

1.1 Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativa, debido a que se analiza y describen los procesos de la producción de la mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico PET sobre el porcentaje de asfalto de la mezcla, determinando su resistencia a la tensión diametral y resistencia retenida, además de sus diferentes análisis volumétricos obtenidos de los diferentes ensayos aplicados a la mezcla y así poder aplicarlo en las construcciones de carreteras de tránsito media del cantón de San Carlos o en las diferentes provincias de Costa Rica.

Se requiere de la medición de las variables implicadas en los diferentes procesos de calidad y resistencias de la mezcla mencionada eso con los diferentes ensayos que se realizan en laboratorios los cuales se detallan en el apartado, 3.3 Desarrollo de los ensayos de laboratorio a realizar.

1.2 Enfoque de la investigación

El enfoque central de esta investigación se basa en un método experimental destinado a evaluar el diseño de mezclas en diferentes etapas. En una primera fase, se utiliza un diseño patrón como punto de partida para comprender las variaciones a la mezcla base, posteriormente, se incorporan distintas proporciones de plástico PET a la mezcla en porcentajes del 1%, 6%, y 12%.

Este proceso tiene como objetivo primordial el análisis detallado de las variaciones en las propiedades mecánicas de la mezcla en caliente, se requiere en el diseño encontrar el punto óptimo de plástico para garantizar que la mezcla mantenga un comportamiento mecánico adecuado a los estándares de calidad, lo que permitirá optimizar el rendimiento y la durabilidad de las estructuras construida añadiéndole el plástico PET.

1.3 Desarrollo de los ensayos de laboratorio a realizar

En el apartado 3.3 se desarrollan las metodologías teóricas que se realizan en un laboratorio en las diferentes etapas del proceso de la elaboración de diseños de mezcla asfáltica, tomando las normas ASTM, en el siguiente orden.

1.3.1 Muestreo de materiales ASTM D-75.

El muestreo es tan importante como la prueba, y el encargado deberá usar todas las precauciones para obtener muestras que se asemejen a la naturaleza y condición de los materiales que representan.

La investigación preliminar y el muestreo de posibles fuentes y tipos de agregados influyen la calidad de la construcción, costos de esta, por lo que el control de calidad de los materiales involucrados es un parámetro esencial en la durabilidad de la obra.

Siempre que sea posible, las muestras que se sometan a prueba de calidad se obtendrán del producto ya terminado, por lo tanto, se debe estar seguro de que en los apilamientos de extracción para las pruebas el mismo este ya procesado según el tipo de fino o grueso que se vaya a utilizar. (la figura 4 refleja el apilamiento de un producto terminado de agregado grueso y fino).

Las muestras del producto terminado que se analizarán no estarán sujetas a aplastamiento adicional o reducción manual, a menos que el tamaño del producto terminado sea tal que requiera una reducción adicional para fines de prueba.

Figura 3: Muestreo de Materiales



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

El material por muestrear se debe inspeccionar visualmente para determinar variabilidad, si estas son relevantes se tomarán medidas correctivas para establecer la homogeneidad en el material antes del muestreo, si es necesario indicar el grado de variabilidad existente dentro del apilamiento principal, se tomarán muestras separadas de áreas separadas.

Se seleccionan las unidades muestreadas mediante un método aleatorio. Obteniendo al menos tres incrementos aproximadamente iguales, seleccionados al azar de la unidad que se está muestreando, y combine para formar una muestra de campo cuya masa sea igual o superior al mínimo recomendado, tomar cada incremento de toda la sección transversal del material a medida que se descarga. Por lo general, es necesario tener un dispositivo especial construido para su uso en cada planta en particular. Este dispositivo consiste en una bandeja de tamaño suficiente para interceptar toda la sección transversal de la corriente de descarga y contener la cantidad requerida

de material sin desbordamiento. En la medida de lo posible, mantener los contenedores continuamente llenos o casi llenos para reducir la segregación.

1.3.2 Método para la reducción de muestras de agregados AASHTO R76, Norma de referencia ASTM C702

Las especificaciones para agregados requieren porciones de muestras del material para someterlas a ensayos. Las muestras más grandes tenderán a ser más representativas de la muestra total.

Los métodos aquí descritos son apropiados para reducir el tamaño de la muestra obtenida en el campo a tamaños convenientes para realizar varios ensayos a fin de describir el material y medir su calidad, de tal manera que la porción de muestra de ensayo más pequeña no deje de ser representativa de la muestra más grande.

1.3.2.1 Selección del método

La muestra de campo de agregado fino que está seca en condición de saturada superficialmente seca, se debe reducir de tamaño por medio de un cuarteador, las muestras de campo deben de estar libres de humedad superficial.

Alternativamente, si la humedad de la muestra de campo es muy grande, una división preliminar se debe realizar utilizando un cuarteador mecánico que tenga una abertura de 38 mm (1 ½ pulg) o más para reducir la muestra a no menos de 5 000 g. La porción así obtenida se seca y se reduce al tamaño de muestra de ensayo.

A manera de aproximación, si el agregado fino mantiene su forma, cuando se moldea con la mano, se puede considerar que posee dicha condición.

Agregado grueso y mezcla de agregados grueso y fino. La muestra se reduce usando un cuarteador.

1.3.2.2 Muestreo

La muestra de campo se coloca en la tolva distribuyendo uniformemente de extremo a extremo de tal manera que, aproximadamente igual cantidad fluya a través de cada cajuela.

La razón por la cual la muestra se deposita en la tolva es tal que se debe alcanzar un flujo libre a través de las cajuelas hasta los recipientes colocados abajo. La muestra de uno de los recipientes se introduce al aparato las veces que sea necesario para reducir el tamaño de la muestra a la cantidad especificada para el ensayo.

Cuarteo: El aparato consiste en un cucharón metálico, pala o badilejo y una lona para cubrir aproximadamente 2 m x 2.5 m. Se coloca la muestra sobre una superficie dura, limpia y horizontal evitando cualquier pérdida de material o la adición de sustancias extrañas. Se mezcla bien la muestra hasta formar una pila en forma de cono; se mezcla de nuevo hasta formar un nuevo cono, repitiendo esta operación tres veces. Cada palada tomada de la base se deposita en la parte superior del cono, de modo que el material caiga uniformemente por los lados del cono. Cuidadosamente se aplana y extiende la pila cónica hasta darle base circular y espesor y diámetro uniforme presionando hacia abajo con la cuchara de la pala, de tal manera que cada cuarto del sector contenga el material original, la figura 7 muestra en detalle lo descrito.

El diámetro debe ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor. Se procede luego a dividir diametralmente el material en cuatro partes iguales, de las cuales se separan dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino limpiando luego con cepillo o escoba

los espacios libres. Los dos cuartos restantes se mezclan sucesivamente y se repite la operación hasta obtener la cantidad de muestra (ICG, 2000)

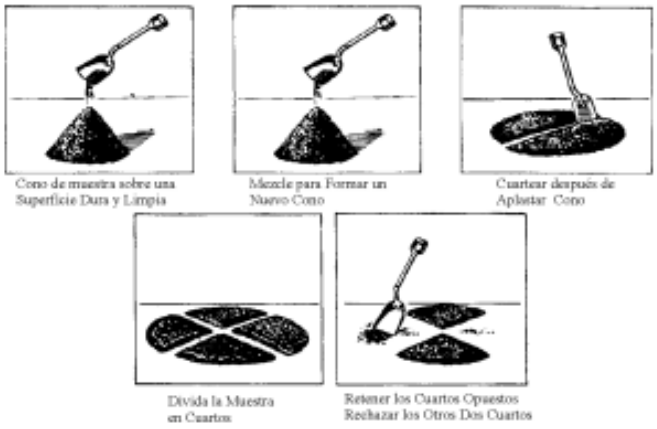
Figura 7: Reducción de muestras con cuarteo

Figura 4: Cuarteo de material



Fuente: Lanamme UCR ensayos de laboratorio, (s.f.)

Figura 5: Cuarteo de material



Fuente: Lanamme UCR ensayos de laboratorio, (s.f.)

1.3.3 Método de ensayo para el análisis granulométrico en tamices y determinación por lavado del material pasando el tamiz de 0,075 mm (no 200) en agregado fino y grueso INTE C46 – INTE C49.

El método INTE C46 – INTE C49 se divide en dos partes:

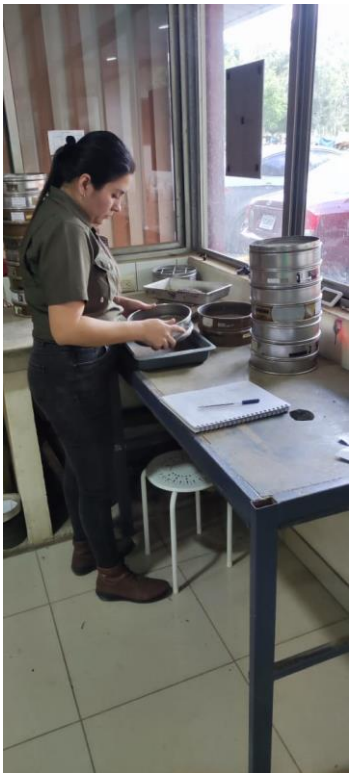
1.3.3.1 Parte 1: análisis granulométrico en tamices.

Se utiliza para determinar la cantidad de partículas de agregado que pasan por una serie de tamices de malla cuadrada. Estos tamices están dispuestos en orden de tamaño con el tamiz de malla más grande en la parte superior y el tamiz de malla más pequeña en la parte inferior.

Para realizar el análisis granulométrico en tamices, se pesa una muestra de agregado y se coloca en la parte superior del conjunto de tamices. Luego, se agita el conjunto de tamices durante un periodo de tiempo especificado. AL final del período de agitación, se pesan las cantidades de agregado que quedan en cada tamiz.

Esta parte del método se utiliza para determinar la cantidad de partículas de agregado que pasan por el tamiz de malla 0.075 mm (no 200). Las partículas que pasan por este tamiz se denominan material fino.

Figura 6: Granulometría de materiales



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Para realizar la determinación por lavado, se pesa una muestra de agregado y se coloca en un recipiente con agua. Luego se agita el recipiente durante un periodo de tiempo especificado. Al final del periodo de agitación se filtra el agua y se pesa el material fino que queda en el filtro.

Los resultados del análisis granulométrico son importantes para el diseño de mezclas de concreto y asfalto.

Las mezclas de concreto y asfalto deben tener una distribución granulométrica adecuada para garantizar que sean uniformes y que tengan las propiedades mecánicas deseadas.

Los resultados del análisis granulométrico también pueden ser utilizados para evaluar la calidad del agregado.

Figura 7: Lavado de material



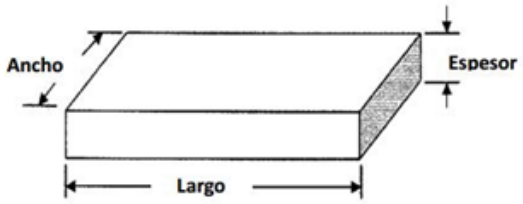
Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.3.4 Método de ensayo para la determinación de partículas planas, partículas elongadas o partículas planas y elongadas en agregados gruesos. ASTM D 4791.

1.3.4.1 Propósito y alcance.

Este método de prueba cubre la determinación de los porcentajes de partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en agregados gruesos.

Figura 8: Dimensiones de partícula

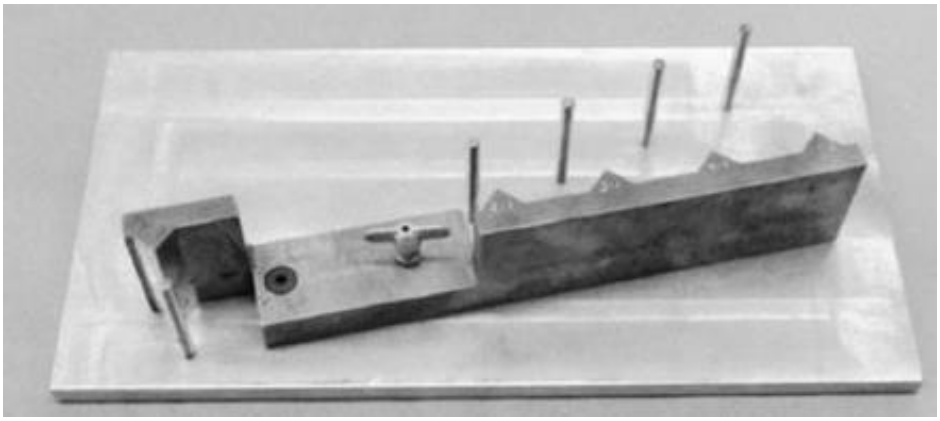


Fuente: Laboratorio OJM San Carlos (2015)

Las partículas planas o elongadas de los agregados, para algunos usos de construcción, pueden interferir en la consolidación y resultan en la dificultad del acomodo de los materiales, este ensayo brinda un medio para verificar el cumplimiento de las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar la forma relativa característica de los agregados gruesos, la figura 9 muestra cuales son las dimensiones a revisar de los agregados a una escala comprensible. (Lanamme UCR, s.f.)

Equipos: El aparato usado debe estar equipado adecuadamente para ensayar partículas de agregados en cumplimiento con las definiciones de largo, espesor y ancho en las relaciones dimensionales deseadas, la figura 10 muestra el equipo a utilizar en este ensayo y respectivamente la Tabla 3 se detallan las equivalencias métricas de esas muestras.

Figura 9: Dispositivo de calibración proporcional



Fuente: Laboratorio OJM San Carlos (2015)

1.3.5 Método de gravedad específica y absorción de agregado fino Norma de referencia ASTM C128.

El método de gravedad especifica y absorción de agregado fino ASTM C128 se utiliza para determinar la gravedad especifica y la absorción de agregado fino. La gravedad especifica es una medida de la densidad mientras que la absorción es una medida de la cantidad de agua que puede absorber un material.

El método C128 se divide en dos partes:

1.3.5.1 Parte 1: Determinación de la gravedad especifica.

En esta parte se pesa una muestra de agregado seco y se coloca en un recipiente con agua. Luego se coloca el recipiente en un horno a 110(+/-)5 °C durante 24 horas. Después de que el agregado se haya secado, se pesa nuevamente.

La gravedad especifica se calcula dividiendo el peso del agregado seco por el peso del agregado saturado y superficialmente seco (SSD).

1.3.5.2 Parte 2: Determinación de la Absorción.

Se pesa una muestra del agregado seco y se coloca en un recipiente de agua. Luego se coloca el recipiente en un horno a 110(+/-)5 °C durante 24 horas. Después de que el agregado se haya secado, se pesa nuevamente.

La absorción de calcula dividiendo la diferencia entre el peso del agregado saturado y el peso del agregado seco por el peso del agregado seco y multiplicando por 100.

Los resultados se utilizan en el diseño de mezclas de concreto y asfalto, dado que deben tener una gravedad especifica y una absorción adecuada para garantizar que sean uniformas y que posean las propiedades mecánicas requeridas.

Los resultados del método C128 también se pueden utilizar para evaluar la calidad del agregado.

Figura 10: determinación de la absorción del material para polvo de piedra.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.3.6 Método de gravedad específica y absorción de agregado grueso

AASHTO T85 Norma de referencia ASTM C127

Se utiliza para determinar la gravedad especifica y la absorción de agregado grueso. La gravedad especifica es la medida de la densidad y la absorción es una medida de cantidad de agua que puede absorber un material.

El método T85 se divide en dos partes:

1.3.6.1 Parte1: Determinación de la gravedad especifica.

Se pesa una muestra de agregado seco y coloca en un recipiente con agua, luego se coloca el recipiente en un horno a 110(+/-)5 °C durante 24 horas. Después de que el agregado se haya secado, se pesa nuevamente.

La gravedad especifica se calcula dividiendo el peso del agregado seco por el peso del agregado saturado y superficialmente seco (SSD).

La fórmula de gravedad específica es la siguiente:

$$G = \left(\frac{w_{SSD}}{WSSD}\right) \cdot 2.65$$

Donde:

G= Gravedad especifica

WSD= peso del agregado seco.

WSSD= peso del agregado saturado y superficialmente seco.

2.65= factor de conversión

1.3.6.2 Parte 2: Determinación de la absorción.

Se pesa una muestra de agregado seco y se coloca en un recipiente de agua. Luego se coloca en un horno a 110(+/-)5 °C durante 24 horas. Después de que el agregado se haya secado, se pesa nuevamente.

La absorción se calcula dividiendo la diferencia entre el peso del agregado saturado y el peso del agregado seco por el peso del agregado seco y multiplicando por 100.

La fórmula para calcular la absorción es la siguiente:

$$Absorción = (WSSD - WSD)/WSD \cdot 100$$

Donde

Absorción = Absorción

WSSD= peso de agregado saturado y superficialmente seco.

WSD = Peso del agregado seco.

1.3.6.3 Procedimiento:

3.3.6.3.1 Parte 1: Determinación de la gravedad especifica.

1. Prepare una muestra de agregado con un peso de al menos 500gramos.
2. Seque la muestra de agregado en un horno a 110(+/-)5 °C durante 24 horas.
3. Retire la muestra de agregado del horno y déjela enfriar a temperatura ambiente.
4. Pese la muestra de agregado seco.
5. Coloque la muestre de agregado seco en un recipiente de agua.
6. Coloque el recipiente en un horno a 110(+/-)5 °C durante 24 horas.

7. Retire el recipiente del horno y deje que el agregado se enfríe a temperatura ambiente.
8. Pese el recipiente con el agregado saturado.
9. Retire el agregado del recipiente.
10. Seque el agregado en un horno a 110(+/-)5 °C durante 24 horas.
11. Retire el agregado del horno y déjelo enfriar a temperatura ambiente.
12. Pese el agregado saturado y superficialmente seco.

3.3.6.3.2 Parte 2: Determinación de la absorción.

1. Repita los pasos 1 al 12 de la parte 1.
2. Calcule la gravedad especifica utilizando la formula anterior.
3. Calcule la absorción utilizando la formula anterior.

3.3.6.3.3 Precauciones:

- La muestra de agregado debe estar seca antes de pesarla.
- Utilizar agua destilada o desionizada para el procedimiento.
- El horno debe estar a la temperatura correcta antes de colocar la muestra de agregado.
- No deje que la muestra de agregado seque demasiado en el horno.

3.3.6.3.4 Interpretación de resultados:

La gravedad especifica y la absorción son propiedades importantes del agregado grueso. La gravedad especifica se utiliza para calcular el contenido de aire en las mezclas de concreto y asfalto. La absorción se utiliza para calcular el contenido de agua en las mezclas de concreto y asfalto.

Una gravedad especifica baja puede indicar que el agregado está contaminado, una absorción alta puede indicar que el agregado es poroso o tiene alta superficie especifica.

Figura 11: Determinación de la Absorción del material para agregados gruesos.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.3.7 Método de ensayo para determinar la densidad masiva (peso unitario y los vacíos en agregado Norma de referencia ASTM C29/ C29M.

Se utiliza para determinar la densidad masiva (peso unitario) y los vacíos en agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos.

La densidad masiva es la masa de un volumen unitario de agregado, mientras que los vacíos son el espacio vacío entre las partículas de agregado.

El método C29/C29M se divide en dos partes:

1.3.7.1 Parte 1: Determinación de la densidad masiva:

Se mide el volumen de una muestra de agregado y se pesa. La densidad masiva se calcula dividiendo el peso de la muestra por su volumen.

1.3.7.2 Parte 2: Determinación de los vacíos:

Se determina la densidad aparente del agregado. La densidad aparente es la masa de un volumen unitario de agregado compactado.

La diferencia entre la densidad masiva y la densidad aparente es igual al porcentaje de vacíos en el agregado.

1.3.7.3 Procedimiento

3.3.7.3.1 Parte 1: Determinación de la densidad masiva

1. Prepare una muestra de agregado con un peso de al menos 500 g.
2. Seque la muestra de agregado en un horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas.
3. Retire la muestra de agregado del horno y déjela enfriar a temperatura ambiente.
4. Mida el volumen de la muestra de agregado utilizando un cilindro graduado.
5. Pese la muestra de agregado seca.
6. Calcule la densidad masiva utilizando la siguiente fórmula:

Densidad masiva = (Peso de la muestra seca) / (Volumen de la muestra)

3.3.7.3.2 Parte 2: Determinación de los vacíos.

1. Repita los pasos 1 a 4 de la Parte 1.
2. Compacte la muestra de agregado en un recipiente de compactación.
3. Pese la muestra de agregado compactada.
4. Calcule la densidad aparente utilizando la siguiente fórmula:

Densidad aparente = (Peso de la muestra compactada) / (Volumen del recipiente de compactación)

Calcule el porcentaje de vacíos utilizando la siguiente fórmula:

Porcentaje de vacíos = (Densidad aparente - Densidad masiva) / Densidad masiva * 100

3.3.7.3.3 Precauciones

La muestra de agregado debe estar seca antes de pesarla.

Utilice agua destilada o desionizada para el procedimiento.

Asegúrese de que el horno esté a la temperatura correcta antes de colocar la muestra de agregado.

No deje que la muestra de agregado seque demasiado en el horno.

3.3.7.3.4 Interpretación de los resultados

La densidad masiva y el porcentaje de vacíos son propiedades importantes de los agregados.
La densidad masiva se utiliza para calcular el contenido de aire en las mezclas de concreto y asfalto. El porcentaje de vacíos se utiliza para calcular el contenido de agua en las mezclas de concreto y asfalto

. Una densidad masiva baja puede indicar que el agregado está contaminado. Un porcentaje de vacíos alto puede indicar que el agregado es poroso o tiene una alta superficie específica.

3.3.7.3.5 Aplicaciones

El método C29/C29M se utiliza para determinar la calidad de los agregados. Los resultados del ensayo se utilizan para diseñar mezclas de concreto y asfalto que tengan las propiedades mecánicas deseadas.

1.3.8 Método de ensayo para el contenido de humedad de mezclas asfálticas por método de horno.

Este método se utiliza para determinar el contenido de agua en las mezclas asfálticas. El contenido de humedad es una propiedad importante de las mezclas asfálticas, ya que puede afectar sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

El método de ensayo se basa en la evaporación del agua contenida en la mezcla asfáltica. La muestra de mezcla asfáltica se coloca en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas. Durante este tiempo, el agua se evapora y la mezcla asfáltica se seca.

1.3.8.1 Procedimiento

1. Prepare una muestra de mezcla asfáltica con un peso de al menos 500 g.
2. Coloque la muestra de mezcla asfáltica en un horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas.
3. Retire la muestra de mezcla asfáltica del horno y déjela enfriar a temperatura ambiente.
4. Pese la muestra de mezcla asfáltica seca.

Calcule el contenido de humedad utilizando la siguiente fórmula:

Contenido de humedad = (Peso de la muestra húmeda - Peso de la muestra seca) / Peso de la muestra húmeda * 100

1.3.8.2 Precauciones

- Asegúrese de que la muestra de mezcla asfáltica esté seca antes de pesarla.
- Utilice un horno que esté limpio y en buen estado.
- No deje que la muestra de mezcla asfáltica seque demasiado en el horno.

1.3.8.3 Interpretación de los resultados

El contenido de humedad de las mezclas asfálticas debe cumplir con los requisitos especificados en las normas de construcción. Un contenido de humedad alto puede indicar que la

mezcla asfáltica está contaminada con agua. Un contenido de humedad bajo puede indicar que la mezcla asfáltica está seca y puede ser susceptible de agrietamiento.

1.3.8.4 Aplicaciones

El método de ensayo se utiliza en la industria de la construcción para determinar la calidad de las mezclas asfálticas. Los resultados del ensayo se utilizan para garantizar que las mezclas asfálticas cumplan con los requisitos especificados.

1.3.9 Método de ensayo para determinar el contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente (MAC) mediante método de ignición.

El método de ensayo para determinar el contenido de asfalto de mezclas asfálticas en caliente (MAC) mediante método de ignición se utiliza para determinar la cantidad de asfalto en una mezcla asfáltica. El asfalto es un material bituminoso que se utiliza para unir los agregados en una mezcla asfáltica.

El método de ensayo se basa en la combustión del asfalto a una temperatura de 538 °C. El asfalto se quema, pero los agregados no se queman. La diferencia entre el peso de la muestra original y el peso de los residuos es igual al peso del asfalto.

1.3.9.1 Procedimiento

1. Prepare una muestra de mezcla asfáltica con un peso de al menos 1500 g.
2. Coloque la muestra de mezcla asfáltica en un crisol de porcelana

3. Coloque el espécimen en un horno a una temperatura de 538 °C durante 2 horas.
4. Retire el crisol del horno y déjelo enfriar a temperatura ambiente.
5. Pese el espécimen con los residuos.

Calcule el contenido de asfalto utilizando la siguiente fórmula:

Contenido de asfalto = (Peso de la muestra original - Peso de los residuos) / Peso de la muestra original * 100

1.3.9.2 Precauciones

- Asegúrese de que la muestra de mezcla asfáltica esté seca antes de pesarla.
- Utilice un horno que esté limpio y en buen estado.
- No deje que la muestra de mezcla asfáltica se queme demasiado en el horno.

1.3.9.3 Interpretación de los resultados

El contenido de asfalto de las mezclas asfálticas debe cumplir con los requisitos especificados en las normas de construcción. Un contenido de asfalto alto puede indicar que la mezcla asfáltica es pegajosa y puede ser susceptible de agrietamiento. Un contenido de asfalto bajo puede indicar que la mezcla asfáltica es quebradiza y puede ser susceptible de desgaste.

1.3.9.4 Aplicaciones

El método de ensayo se utiliza en la industria de la construcción para determinar la calidad de las mezclas asfálticas. Los resultados del ensayo se utilizan para garantizar que las mezclas asfálticas cumplan con los requisitos especificados.

1.3.9.5 Consideraciones adicionales.

El contenido de asfalto de las mezclas asfálticas puede variar según el tipo de mezcla, la temperatura y la humedad ambiental. Es importante tener en cuenta estas variables al interpretar los resultados del ensayo.

Figura 12: Determinación de contenido de asfalto por Ignición.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.3.10 Método de ensayo para determinar la gravedad especifica máxima teórica.

Se utiliza para determinar la gravedad especifica máxima teórica de una mezcla asfáltica. La gravedad específica máxima teórica es la gravedad específica de una mezcla asfáltica que contiene la máxima cantidad de asfalto posible.

El método de ensayo se basa en el principio de que la gravedad específica de una mezcla asfáltica aumenta a medida que aumenta el contenido de asfalto. El método de ensayo se realiza en dos etapas:

1.3.10.1 Etapa 1: Determinación de la gravedad específica del agregado

En esta etapa, se determina la gravedad específica del agregado utilizado en la mezcla asfáltica. La gravedad específica del agregado se determina utilizando el método de ensayo ASTM C29/C29M.

3.3.10.1.1 Etapa 2: Determinación de la gravedad específica máxima teórica

En esta etapa, se determina la gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica. La gravedad específica máxima teórica se calcula utilizando la siguiente fórmula:

Gmm = (Gm - Gs) / (1 - As)

donde:

- Gmm = gravedad específica máxima teórica

- Gm = gravedad específica del asfalto
- Gs = gravedad específica del agregado
- As = contenido de asfalto de la mezcla asfáltica

1.3.10.2 Procedimiento

3.3.10.2.1 Etapa 1: Determinación de la gravedad específica del agregado

1. Prepare una muestra de agregado con un peso de al menos 500 g.
2. Seque la muestra de agregado en un horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas.
3. Retire la muestra de agregado del horno y déjela enfriar a temperatura ambiente.
4. Pese la muestra de agregado seca.
5. Mida el volumen de la muestra de agregado utilizando un cilindro graduado.
6. Calcule la gravedad específica del agregado utilizando la siguiente fórmula:

   Gs = (Peso de la muestra seca) / (Volumen de la muestra)

3.3.10.2.2 Etapa 2: Determinación de la gravedad específica máxima teórica

1. Determine la gravedad específica del asfalto utilizando el método de ensayo ASTM D70.
2. Determine el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica utilizando el método de ensayo ASTM D2170.
3. Calcule la gravedad específica máxima teórica utilizando la fórmula anterior.

3.3.10.2.3 Precauciones

- Asegúrese de que la muestra de agregado esté seca antes de pesarla.
- Utilice un horno que esté limpio y en buen estado.
- No deje que la muestra de agregado seque demasiado en el horno.

3.3.10.2.4 Interpretación de los resultados

La gravedad específica máxima teórica se utiliza para determinar la cantidad de asfalto que se necesita para obtener una mezcla asfáltica con las propiedades deseadas.

3.3.10.2.5 Aplicaciones

El método de ensayo se utiliza en la industria de la construcción para determinar la calidad de las mezclas asfálticas. Los resultados del ensayo se utilizan para garantizar que las mezclas asfálticas cumplan con los requisitos especificados.

3.3.10.2.6 Consideraciones adicionales

La gravedad específica máxima teórica puede variar según el tipo de asfalto y agregado utilizados en la mezcla asfáltica.

Figura 13: Determinación de la gravedad máxima teórica.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.3.11 Método de ensayo para el análisis granulométrico de agregados extraídos de mezclas bituminosas.

Se utiliza para determinar la distribución por tamaño de las partículas de agregados extraídos de mezclas bituminosas. La distribución por tamaño de las partículas es una propiedad importante de los agregados, ya que puede afectar sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

El método de ensayo se basa en la separación de las partículas de agregado por tamaño utilizando una serie de tamices. Las partículas de agregado que pasan por un tamiz se consideran más pequeñas que el tamaño del tamiz.

1.3.11.1 Procedimiento

1. Prepare una muestra de agregado con un peso de al menos 500 g.
2. Seque la muestra de agregado en un horno a 110 ± 5 °C durante 24 horas.
3. Retire la muestra de agregado del horno y déjela enfriar a temperatura ambiente.
4. Coloque la muestra de agregado en un tamiz de 25 mm.
5. Coloque el tamiz en un tamizador mecánico.
6. Encienda el tamizador mecánico y deje que la muestra de agregado se tamice durante 5 minutos.
7. Retire el tamiz de 25 mm del tamizador mecánico.
8. Pesar el material retenido en el tamiz de 25 mm.
9. Coloque el material retenido en el tamiz de 25 mm en un tamiz de 19 mm.
10. Repita los pasos 5 a 9 para cada tamiz.

Calcule el porcentaje de material retenido en cada tamiz utilizando la siguiente fórmula:

% Retenido = (Peso del material retenido / Peso de la muestra original) * 100

1.3.11.2 Precauciones

- Asegúrese de que la muestra de agregado esté seca antes de pesarla.
- Utilice un horno que esté limpio y en buen estado.
- No deje que la muestra de agregado seque demasiado en el horno.

1.3.11.3 Interpretación de los resultados

Los resultados del ensayo se presentan en forma de curva granulométrica. La curva granulométrica muestra el porcentaje de material retenido en cada tamiz.

La distribución por tamaño de las partículas de agregado debe cumplir con los requisitos especificados en las normas de construcción. Una distribución por tamaño de las partículas de agregado uniforme es deseable, ya que proporciona una mezcla con propiedades mecánicas y de durabilidad equilibradas.

1.3.11.4 Aplicaciones

El método de ensayo se utiliza en la industria de la construcción para determinar la calidad de los agregados extraídos de mezclas bituminosas. Los resultados del ensayo se utilizan para garantizar que los agregados cumplan con los requisitos especificados.

1.3.11.5 Consideraciones adicionales

El método de ensayo puede variar según el tipo de mezcla bituminosa. Es importante tener en cuenta estas variables al interpretar los resultados del ensayo.

1.3.11.6 Equipo necesario

- Balanza
- Tamices
- Tamizador mecánico
- Cuchara

Figura 14: Tamices



Fuente: Foto tomada de internet (2023)

1.3.12 Método de ensayo para el moldeo de especímenes de mezclas asfálticas usando equipo Marshall

El Método de ensayo para el moldeo de especímenes de mezclas asfálticas usando equipo Marshall se utiliza para preparar especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para ensayos de

laboratorio. Los especímenes Marshall se utilizan para determinar la resistencia al flujo plástico de las mezclas asfálticas, que es una propiedad para el diseño de pavimentos.

El método de ensayo se basa en la compactación de la mezcla asfáltica en un molde cilíndrico a una temperatura y una velocidad específicas.

1.3.12.1 Procedimiento

1. Prepare una muestra de mezcla asfáltica con un peso de al menos 1.5 kg.
2. Caliente la mezcla asfáltica a una temperatura de 163 ± 3 °C.
3. Vierta la mezcla asfáltica caliente en un molde Marshall.
4. Coloque el molde Marshall en el equipo Marshall.
5. Encienda el equipo Marshall y deje que la mezcla asfáltica se compacte durante 50 golpes.
6. Retire el molde Marshall del equipo Marshall.
7. Retire el espécimen Marshall del molde Marshall.
8. Deje que el espécimen Marshall se enfríe a temperatura ambiente.

1.3.12.2 Precauciones

- Asegúrese de que la mezcla asfáltica esté caliente a la temperatura especificada antes de compactarla.
- No deje que la mezcla asfáltica se enfríe demasiado antes de compactarla.
- No supere la velocidad especificada al compactar la mezcla asfáltica.

1.3.12.3 Interpretación de los resultados

La resistencia al flujo plástico del espécimen Marshall se determina utilizando el ensayo Marshall. El ensayo Marshall mide la cantidad de deformación plástica que experimenta el espécimen Marshall bajo una carga constante.

La resistencia al flujo plástico de las mezclas asfálticas debe cumplir con los requisitos especificados en las normas de construcción. Una resistencia al flujo plástico alta es deseable, ya que proporciona una mezcla con una buena resistencia a la deformación plástica.

1.3.12.4 Aplicaciones

El método de ensayo se utiliza en la industria de la construcción para determinar la calidad de las mezclas asfálticas. Los resultados del ensayo se utilizan para garantizar que las mezclas asfálticas cumplan con los requisitos especificados.

1.3.12.5 Equipo necesario

- Báscula
- Molino
- Calentador
- Molde Marshall
- Equipo Marshall

1.3.12.6 Detalles del equipo Marshall

El equipo Marshall consta de los siguientes componentes:

- Un molde cilíndrico con un diámetro interior de 101,6 mm y una altura de 63,5 mm.
- Una placa de base que se coloca en el fondo del molde.
- Un pistón que se coloca en la parte superior del molde.
- Un sistema de pesaje que se utiliza para medir la fuerza que se aplica al pistón.

El equipo Marshall se utiliza para compactar la mezcla asfáltica en el molde cilíndrico. El pistón se baja a una velocidad específica, compactando la mezcla asfáltica en 50 golpes.

Figura 15: Curado de pastillas



Fuente: Laboratorio OJM San Carlos (2015)

Figura 16: Compactador Marshall



Fuente: Laboratorio OJM San José (2015)

1.3.13 Método para determinar la gravedad especifica bruta de mezclas asfálticas compactadas y el porcentaje de vacíos

El Método para determinar la gravedad especifica bruta de mezclas asfálticas compactadas y el porcentaje de vacíos se utiliza para determinar la gravedad específica bruta y el porcentaje de vacíos de las mezclas asfálticas compactadas.

La gravedad específica bruta es la masa de un volumen unitario de mezcla asfáltica compactada, mientras que el porcentaje de vacíos es el porcentaje de espacio vacío en una mezcla asfáltica compactada.

El método se basa en la medición del peso y el volumen de un espécimen de mezcla asfáltica compactada.

1.3.13.1 Procedimiento

1. Prepare una muestra de mezcla asfáltica con un peso de al menos 1.5 kg.
2. Compacte la muestra de mezcla asfáltica en un molde cilíndrico a una temperatura y una velocidad específicas.
3. Retire el espécimen compactado del molde.
4. Mida el diámetro y la altura del espécimen compactado.
5. Calcule el volumen del espécimen compactado utilizando la siguiente fórmula:

   Volumen = π * (Diámetro² / 4) * Altura

6. Pese el espécimen compactado.
7. Calcule la gravedad específica bruta utilizando la siguiente fórmula:

   Gravedad específica bruta = Peso / Volumen

8. Calcule el porcentaje de vacíos utilizando la siguiente fórmula:

   Porcentaje de vacíos = (1 - Gravedad específica bruta / Gravedad específica del agregado) * 100

1.3.13.2 Precauciones

- Asegúrese de que la mezcla asfáltica esté caliente a la temperatura especificada antes de compactarla.
- No deje que la mezcla asfáltica se enfríe demasiado antes de compactarla.
- No supere la velocidad especificada al compactar la mezcla asfáltica.

1.3.13.3 Interpretación de los resultados

Una gravedad específica bruta alta es deseable, ya que proporciona una mezcla con una buena resistencia a la compresión.

Un porcentaje de vacíos bajo es deseable, ya que proporciona una mezcla con una buena resistencia a la compresión y al desgaste.

1.3.13.4 Aplicaciones

Los resultados del ensayo se utilizan para garantizar que las mezclas asfálticas cumplan con los requisitos especificados.

1.3.13.5 Equipo necesario

- Báscula
- Molino
- Calentador

- Molde cilíndrico
- Regla

1.3.13.6 Detalles del molde cilíndrico

El molde cilíndrico consta de los siguientes componentes:

- Un cilindro de acero con un diámetro interior de 101,6 mm y una altura de 63,5 mm.
- Una base de acero que se coloca en el fondo del molde.
- Un tope de acero que se coloca en la parte superior del molde.

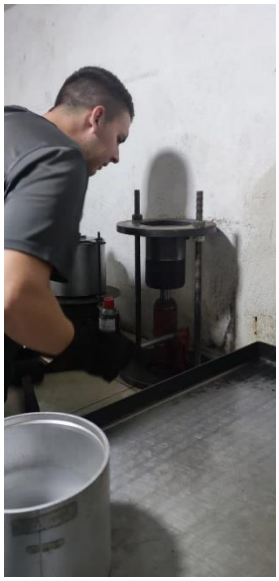
El molde cilíndrico se utiliza para compactar la mezcla asfáltica en un cilindro. La mezcla asfáltica se coloca en el molde y se compacta con un pistón.

Figura 17: Revisión de Temperatura del agua para el cálculo dé % de vacíos



Fuente: Laboratorio OJM San José (2015)

Figura 18: Extracción de pastillas de los moldes.



Fuente: Laboratorio OJM San José (2015)

1.3.14 Método Marshall de diseño de mezclas

El método Marshall de diseño de mezclas es para mezclas HMA de gradación densa. Y es el método de diseño de mezclas predominante para pavimentos de aeropuertos.

Los procedimientos están dados por las normas

- ASTM D6926, preparación de bituminosas mezclas utilizando aparatos Marshall.
- ASTM D6927, método de prueba estándar para estabilidad Marshall y flujo de bituminoso mezclas.
- AASHTO T245, Resistencia al flujo plástico de mezclas bituminosas utilizando aparatos Marshall.

El procedimiento del método Marshall comienza con la preparación de las probetas. Los pasos previos a la preparación de la muestra son:

Todos los materiales propuestos para su uso cumplen con los requisitos físicos de las especificaciones del proyecto.

Las combinaciones de mezclas de agregados cumplen con los requisitos de granulometría de las especificaciones del proyecto.

Las dos características principales del método Marshall de diseño de mezclas son: Un análisis de la densidad de huecos y una prueba de estabilidad y flujo de las muestras de pruebas compactadas.

Para proporcionar datos adecuados, se preparan al menos tres especímenes de prueba para cada contenido de asfalto seleccionado. Un diseño de mezcla Marshall que utilice cinco contenidos diferentes de asfalto normalmente requiere al menos de 15 especímenes de prueba.

1.3.14.1 Equipo.

El equipo requerido para la preparación de especímenes de prueba es:

- Recipientes metálicos de fondo plano para calentar áridos.
- Cacerolas redondas de metal o un tazón para mezclar capacidad aproximadamente de 4 litros para mezclar asfalto y agregado.
- Horno y placa calefactora preferentemente controlada termostáticamente, para calentar áridos, asfalto y equipos.
- Pala para dosificar áridos.
- Recipientes: latas con branquias, vasos, cacerolas y cacerolas para calentar asfalto.
- Termómetros y otros dispositivos termométricos, blindados.
- Cuchara mezcladora grande o paleta pequeña.
- Espátula grande.
- Mezclador mecánico.
- Pedestal de compactación. (Los martillos compactadores mecánicamente dejan caer el martillo a una velocidad de 64 +- 4 golpes por minuto).
- Molde de compactación.
- Soporte del molde.
- Discos de papel 100 mm.
- Guantes de soldador para manipular equipos calientes.

1.3.14.2 Preparación de las probetas.

(a) Número de muestras: preparar al menos tres

Muestras para cada combinación de áridos y contenido de aglomerantes. de agregados: seque los agregados hasta peso constante a entre 105 °C y 110 °C (220 °F a 230 °F) y separe los agregados mediante tamizado en seco en las fracciones de tamaño deseado. Se recomiendan estas fracciones de tamaño:

- 25,0 a 19,0 mm (1 a ¾ pulg.)
- 19,0 a 9,5 mm (¾ a ⅜ pulg.)
- 9,5 a 4,75 mm (⅜ pulg. a No. 4)
- 4,75 a 2,36 mm (N° 4 a N° 8)
- Pasando 2,36 mm (No. 8)

Figura 19: Preparación de materiales en condición húmeda para diseño de mezcla asfaltico método Marshall



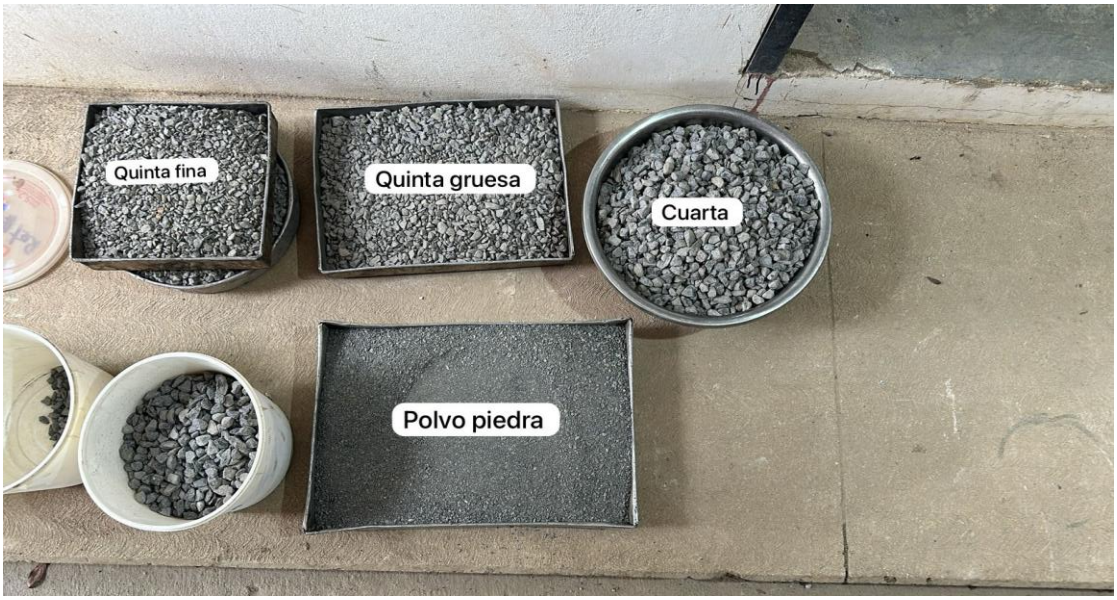
Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 20: Secado materiales en horno a temperatura de 110 °C



Fuente: Laboratorio OJM San Carlos (2015)

Figura 21: Materiales en condición seca



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 22: Materiales separados en los diferentes tamices establecidos por el método Marshall.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

(c) Determinación de la temperatura de mezclado y compactación: se establecerá como temperatura de mezclado la temperatura a la cual se debe calentar el asfalto para producir viscosidades de 170 ‡ 20 centistokes cinemáticos y 280 ‡ 30 centistokes cinemáticos y temperaturas de compactación.

d) Preparación del molde y el martillo: limpie a fondo el conjunto del molde de muestra y la cara del martillo de compactación y caliéntelos en un baño de agua o en la placa caliente a una temperatura entre 95 y 150 °C (200 y 300 °F).

(e) Preparación de mezclas: pesar en porciones separadas.

recipientes para cada muestra de prueba, la cantidad de cada fracción de tamaño de agregado requerida para producir la gradación requerida y un lote que dará como resultado una muestra compactada de 63,5 ± 1,27 mm (2,5 ± 0,05 pulgadas) de altura. Normalmente será de aproximadamente 1,2 kg (2,7 libras).

$$Masa\ ajustada\ del\ agregado = \frac{63.5\ (masa\ del\ agregado\ utilizado)}{altura\ de\ la\ muestra\ (mm) obtenida}$$

Colocar los moldes en el horno o en la placa caliente y calentar a una temperatura que no exceda los 28°C.

Cargar el tazón de mezcla con los agregados calentados y mezcle bien en seco. Forme un cráter en el agregado seco mezclado y pese la cantidad requerida de cemento asfaltico en mezcla de acuerdo con los pesos de lote calculados.

El cemento asfaltico no debe mantenerse a la temperatura de la mezcla durante más de una hora antes de su uso.

Mezcle el agregado y el cemento asfaltico, preferiblemente con mezcladora mecánica o a mano con una llanta lo más rápida.

Figura 23: Mezclado de agregados con asfalto para pastillas



Fuente: Laboratorio OJM San Carlos (2015)

f) empacar el molde

Disco de papel absorbente cortado a medida en el fondo del molde. Coloque todo el lote en el molde con cuello y luego pala la mezcla vigorosamente con una espátula o paleta caliente.

g) Compactación de muestras:

coloque un disco de papel encima de la mezcla y coloque el conjunto del molde sobre el pedestal de compactación en el soporte del molde.

Aplique 35, 50 o 75 golpes con el martillo compactador usando una caída libre de 457 mm, (18 pul) mantenga el eje del martillo compactador lo más perpendicular posible a la base del conjunto del molde durante la compactación. Se retira la placa base y el collar y se invierte y vuelve a montar el molde, se debe aplicar el mismo número de golpes a la cara de la muestra invertida. Después de la compactación se debe retirar la placa base y los discos de papel y se deja enfriar a temperatura ambiente hasta que no se produzca deformación al retirarla del molde.

Figura 24: Compactación a 50 golpes



Fuente: Laboratorio OJM San Carlos (2015)

Retire la muestra del molde por medio de un gato de extrusión u otro dispositivo de compresión y luego colóquela sobre una superficie lisa y nivelada hasta que esté listo para la prueba.

El Instituto del asfalto recomienda utilizar únicamente martillos mecánicos para el diseño de mezclas y verificación en campo.

Pruebas y análisis.

- Determinación de la altura de la muestra.
- Determinación del peso específico aparente.
- Análisis de densidad y vacíos.
- Prueba de estabilidad y flujo.

1.3.14.3 Determinación del peso específico a granel

La prueba de gravedad especifica aparente se puede realizar tan pronto como las muestras recién compactadas se hayan enfriado a temperatura ambiente de acuerdo con la norma ASTM D1188.

Figura 25: Pastillas Marshall 50 golpes



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.3.14.4 Prueba Marshall

3.3.14.4.1 Equipos para la prueba de estabilidad y flujo.

- La máquina de prueba Marshall es un dispositivo de prueba de compresión que cumplen con ASTMD6927.
- El baño de agua debe tener al menos 150 mm (6 pulg.) de profundidad y estar controlado termostáticamente a 60 °C ± 1 °C (140 °F ± 1,8 °F). El tanque debe tener un fondo falso perforado o estar equipado con un estante para suspender las muestras al menos a 50 mm (2 pulgadas) por encima del fondo del baño.

Figura 26: Curado de pastillas Marshall para estabilidad y flujo.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

1.3.14.5 Procedimientos de la prueba de estabilidad y flujo**.**

(a) determinación de la altura de la muestra;

(b) sumergir la muestra en un baño de agua a 60°C ± 1°C (140°F ± 1,8°F) durante 30 a 40 minutos antes del ensayo, o en un horno a la misma temperatura durante 120 a 130 minutos

(c) utilizar un dispositivo de registro automático, o utilizar un anillo de prueba y medidor de flujo.

(d) Limpie a fondo las superficies interiores de los cabezales de prueba. La temperatura de los cabezales se mantendrá entre 21,1 y 37,8 °C (70 y 100 °F) utilizando un baño de agua,

(e) Con el aparato de prueba listo, retire la muestra de prueba del baño de agua y seque cuidadosamente la superficie con una toalla. Coloque la muestra en el cabezal de prueba inferior y en el centro.

(f) Aplicar carga de prueba a la muestra a una velocidad constante. velocidad de deformación, 51 mm (2 pulg.) por minuto, hasta que se produzca la falla. El punto de falla se define cuando se obtiene la lectura de carga máxima. La fuerza total en Newtons (N) requerida para producir la falla de la muestra se registrará como su valor de estabilidad Marshall.

La estabilidad Marshall es la carga de resistencia máxima obtenida durante una tasa de deformación constante. El flujo Marshall es una medida de la deformación (elástica más plástica).

Las mezclas con conglomerantes modificados pueden presentar deformaciones importantes ante los picos de resistencia a la carga (estabilidad Marshall), elevando artificialmente los valores de fluidez.

Ilustración 27:Máquina para Estabilidad y flujo Marshall



Fuente: Laboratorio OJM San Carlos (2015)

1.3.14.6 análisis de densidad y vacíos.

(a) Promedie los valores de gravedad específica aparente para todas las muestras de ensayo de un determinado contenido de asfalto. Determine el peso unitario promedio para cada contenido de asfalto multiplicando el valor de gravedad específica aparente promedio por la densidad del agua.

(c) Determine la gravedad específica máxima teórica (Gmm según ASTM D2041).

d) Utilizar los métodos eficaces (Gse) y específicos a granel gravedad (Gsb) del agregado total, las gravedades específicas aparentes promedio de la mezcla compactada. (Gmb), la gravedad específica del asfalto (Gb) y la gravedad específica máxima de la mezcla. (Gmm) determinado anteriormente en (c), calcule el porcentaje de asfalto absorbido (Pba) por peso de agregado seco,

el porcentaje de huecos de aire (Pa), el porcentaje de huecos llenos de asfalto (VFA) y el porcentaje de huecos en el agregado mineral (VMA). (Asfalto, 2014)

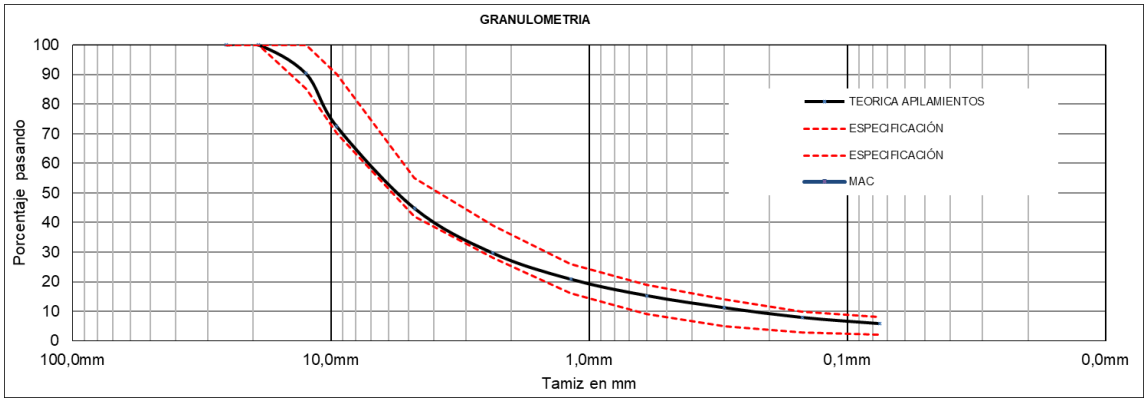
Capítulo 4: Análisis e Interpretación de Resultados

4.1 Presentación de los resultados

4.1.1 Curva Granulométrica de diseño

La curva granulométrica es una guía para conocer con los parámetros inferiores y superiores según la Especificación de diseño del CR2020 el cual es utilizada para el bache de prueba para analizar que sus porcentajes de pasando anden dentro de las líneas de los parámetros establecidos y cumplan su combinación según las formula de trabajo a utilizar.

Figura 28: Curva granulométrica de diseño.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.2 Se realiza la preparación del plástico PET (trituración)

El plástico PET el cual se utiliza en la modificación del asfalto en porcentajes de manera ascendente en 1% 6% y 12 % en relación de peso asfalto más la cantidad de plástico, haciendo así una modificación asfalto virgen haciéndolo de una manera más espesa y cambiando totalmente sus propiedades.

Figura 29: Preparación de plástico PET.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.3 Modificación de Asfalto con plástico PET

La modificación del asfalto con plástico PET se realiza de primera instancia manteniendo las temperaturas adecuadas de mezclado es con la finalidad de que al momento de ser mezclado con el plástico tenga una buena homogenización al incorporar el plástico, el cual previamente se realizan los cálculos para conocer cuánto es el porcentaje que se deberá añadir al momento de mezclado como se muestra en la tabla 14.

Tabla 6: Mezclado y Pesos De Modificación de Asfalto Con Plástico PET.

DISEÑO DE MEZCLA CON AGREGADO PET SOBRE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	PORCENTAJE PET AGREGADO 1%	PORCENTAJE PET AGREGADO 6%	PORCENTAJE PET AGREGADO 12%
	3123.4*1% =31.2 g	2970 g * 6%=178.2 g	2579.8 *12% =309.6 g

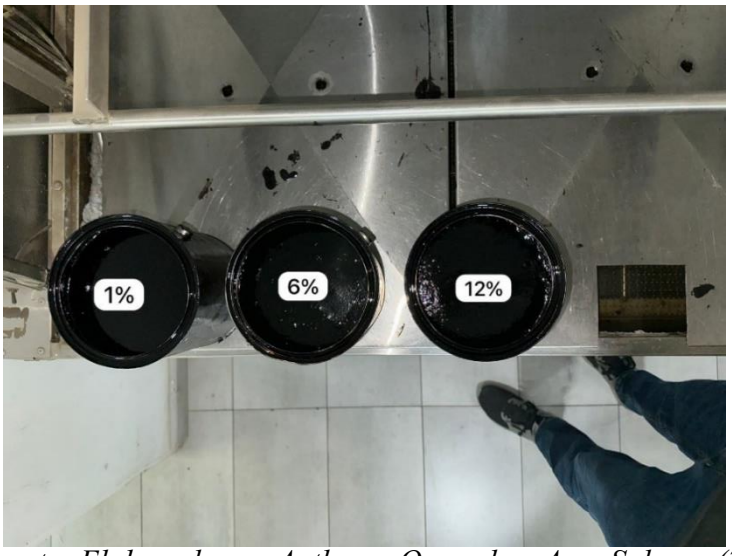
Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 30: Equipo para Mezclado de Asfalto con plástico PET



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 31: Modificación Realizada con Plástico PET



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.4 Mezclado de Especímenes con Plástico PET

Al haber analizado el diseño original sin modificación PET se realizan las pruebas con el el asfalto optimo del diseño el cual es asfalto sobre el agregado el cual se usó como punto el 6.00% para comparar con el diseño los cambios que se puedan presentar en relación con el diseño inicial esto consiste en pesar el agregado caliente y añadirle el asfalto modificado a él siempre manteniendo la temperatura de mezclado por 2 minutos para después llevar a curarlos al horno para continuar ensayando.

Figura 32: Pesado del agregado con el Plástico modificado



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 33: Mezclado del Agregado con plástico PET



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.5 Masas Mezcladas para la preparación de análisis de los diferentes procedimientos ASTM

Una vez mezclados los especímenes se deben de llevar al horno a curar al menos durante 2 horas para poder ser cuarteados para los diferentes procedimientos de análisis que se realizan.

Figura 34: Mezclado de los Especímenes con 1% 6 y 12% con asfalto modificado PET.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.6 Cuarteo de la muestra

Figura 35: Cuarteo con mariposa para Contenido de asfalto, Gravedad Máxima Teórica y Pastillas Marshall.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 36: Pesos de Pastillas al 1% de Asfalto con Plástico Modificado.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 37: Pesos de Pastillas al 6% de Asfalto con Plástico Modificado.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 38: Pesos de Pastillas al 12% de Asfalto con Plástico Modificado.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 39: Pesado de Especímenes antes de Ignición.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 40: Pesado de Especímenes después de Ignición.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.7 Pastillas Marshall con Asfalto Modificado Con Plástico PET

Las pastillas fueron moldeadas con 50 Golpes en cada cara con un aumento del 1% 6% y 12% de asfalto modificado con plástico PET.

Figura 41: Pastillas Marshall.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.2 Graduación de diseño sin plástico

Para este apartado se toma la especificación del CR2020 para los parámetros mínimos y máximos de la mezcla en los resultados de los % de los pasando por los diferentes tamices

utilizados en el ensayo de tamizado en la mezcla asfáltica, conociendo los parámetros se realiza la araña para conocer los porcentajes de combinación que se deben realizar para cumplir con los parámetros requeridos en los resultados de pasando de cada tamiz, se pueden identificar los resultados en la Tabla 6.

Tabla 7:Graduación de diseño sin plástico.

-	RESULTADO	Especificación Diseño	Especificación
Muestreo		-	CR2020 DG-12
Proporción	100%		
25,4 mm(1 plg)	100	100	100
19,1 mm (3/4 plg)	100	100	100
12,7 mm (1/2 plg)	90	85 - 95	85 - 100 (±5)
9,5 mm (3/8 plg)	73	70 - 78	70 - 90 (±5)
4,75 mm (Nº 4)	45	42 - 49	42 - 55 (±4)
2,36 mm (Nº 8)	30	28 - 34	28 - 39 (±4)
1,18 mm (Nº 16)	21	17 - 25	16 - 26 (±4)
0,600 mm (Nº 30)	15	11 - 19	9 - 19 (±4)
0,300 mm (Nº 50)	11	7 - 14	5 - 14 (±4)
0,150 mm (Nº 100)	8	6 - 10	3 - 10 (±2)
0,075mm (Nº 200)	5,8	3,8 - 7,8	2 - 8 (±2)

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.2.1 Graduación promedio de cada apilamiento de agregados

Con los resultados que se obtienen de los diferentes porcentajes de los pasando de los 4 diferentes agregados utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica y conociendo el resultado de la mezcla de los 4 puntos se debe realizar los baches de prueba tamizando para conocer si la fórmula de mezcla está acorde a la granulometría de diseño, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 8: graduación promedio de cada apilamiento de agregado.

-	CUARTA	QUINTA GRUESA	QUINTA FINA	POLVO	RESULTADO
Proporción	**11,0%**	**35,0%**	**13,0%**	**41,0%**	**100%**
25,4 mm(1 plg)	100	100	100	100	**100**
19,1 mm (3/4 plg)	100	100	100	100	**100**
12,7 mm (1/2 plg)	35	93	100	100	**90**
9,5 mm (3/8 plg)	13	59	72	100	**73**
4,75 mm (Nº 4)	8	7	9	98	**45**
2,36 mm (Nº 8)	6	3	4	67	**30**
1,18 mm (Nº 16)	5	3	3	47	**21**
0,600 mm (Nº 30)	4	2	2	34	**15**
0,300 mm (Nº 50)	4	2	2	24	**11**
0,150 mm (Nº 100)	3	2	2	17	**8**
0,050 mm (Nº 200)	2,5	1,4	1,4	11,9	**5,8**

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.2.2 Resultados de los ensayos de gravedad específica y porcentaje de absorción de cada agregado utilizado en el diseño.

Los resultados de la gravedad especifican y porcentajes de absorción se deben de conocer esto con el fin de conocer las propiedades mecánicas de los agregados como lo son en condiciones Secas, Superficie saturadas secas y sumergida con la finalizad de conocer el comportamiento de los agregados en diferentes condiciones.

Tabla 9: Resultados de ensayo gravedad específica y porcentaje de absorción.

-	Cuartilla	Quinta Gruesa	Quinta Fina	Polvo	Combinada
GBS	2,672	2,672	2,668	2,605	2,644
ABS	1,60	1,79	1,94	2,71	2,17

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.5 Formula de la Mezcla.

Tabla 10: Fórmula de la mezcla.

Cuarta	Quinta Gruesa	Quinta Fina	Polvo
11,0%	**35,0%**	**13,0%**	**41,0%**

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.6 Parámetros de la mezcla con el óptimo de asfalto sin plástico.

El diseño de tránsito medio a 50 golpes al conocer los comportamientos en los diferentes puntos de diferentes porcentajes de asfalto se debe de buscar los óptimos obtenidos de los diferentes ensayos realizados para conocer los rangos de trabajo los cuales se especifican en la Tabla 11.

Tabla 11: Parámetros de mezcla óptimo de asfalto sin plástico.

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN	RANGO DE TRABAJO		
Contenido de asfalto sobre mezcla	%	5,50	6,00	6,50
GBS Pastillas (50 golpes)	-	2,339	2,357	2,372
GEMT	-	2,474	2,456	2,444
Vacíos de aire	3,0%-5,0%	5,5	4,0	2,9
VMA	14% mínimo	16,4	16,2	16,1
VFA ($0.3X10^6$< ESALs<$10X10^6$)	65% - 78%	66,8	75,3	81,8
Razón polvo / asfalto	0,8 – 1,6	1,29	1,16	1,07

Estabilidad	8 000 N mínimo	10 818,3	10 428,1	10 700,1
Flujo	1,5 – 3,5 mm	2,88	3,12	3,38
% Asfalto efectivo	%	4,80	5,34	5,77

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.7 Propiedades Marshall (Datos de las Pastillas Sin Plástico)

Se deben tirar puntos con diferentes porcentajes de asfalto pero con la misma combinación de agregados con la diferencia del asfalto agregado a la mezcla eso con el fin de analizar el comportamiento a más asfalto añadido, se debe compactar a temperatura la cual especifica en el certificado de calidad del asfalto para ser compactadas en caliente, se tiran 5 puntos con unas diferencia entre el punto inicial de ascendentemente de 0.50 gramos de asfalto por cada una de las pruebas que se vayan a realizas para así poder tener una variedad de comportamientos en parámetros de menor a mayor, des pues de eso se le hacen diferentes procedimientos para obtener los resultados presentes en la tabla 12.

Tabla 12: Propiedades Marshall sin plástico.

Porcentaje de asfalto / Mezcla	Número Pastilla	Peso Seco	Peso Sumergido	Peso S.S.S	Gsss	Gsb	% Absorción	Volumen	Estabilidad Corregida	Flujo
5,00	1	1189,5	679,8	1192,9	2,325	2,318	0,663	513,1	11 071	2,64
	2	1184,4	677,5	1188,2	2,327	2,319	0,744	510,7	12 145	2,74
	3	1189,8	679,2	1193,5	2,321	2,313	0,719	514,3	12 288	2,69
	4	1189,9	681,2	1193,9	2,329	2,321	0,780	512,7	12 002	2,67
Promedio		**1188,4**	**679,4**	**1192,1**	**2,325**	**2,318**	**0,727**	**512,7**	**11 835**	**2,69**
5,50	5	1183,0	677,7	1184,4	2,337	2,335	0,276	506,7	10 713	2,90
	6	1188,3	681,3	1189,8	2,340	2,337	0,295	508,5	10 856	2,84
	7	1186,4	680,3	1187,8	2,340	2,338	0,276	507,5	11 143	2,92
	8	1188,3	680,9	1189,9	2,338	2,335	0,314	509,0	10 856	2,84
Promedio		**1186,5**	**680,1**	**1188,0**	**2,339**	**2,336**	**0,290**	**507,9**	**10 904**	**2,88**

6,00	9	1185,2	683,6	1186,2	2,360	2,358	0,199	502,6	9 997	3,25
	10	1185,1	684,0	1186,1	2,362	2,360	0,199	502,1	10 283	3,20
	11	1187,7	684,8	1188,7	2,359	2,357	0,198	503,9	10 563	3,15
	12	1187,1	684,1	1188,1	2,357	2,355	0,198	504,0	10 856	2,84
Promedio		**1186,3**	**684,1**	**1187,3**	**2,360**	**2,358**	**0,199**	**503,2**	**10 281**	**3,11**
6,50	13	1187,5	689,4	1188,1	2,382	2,381	0,120	498,7	10 427	3,30
	14	1186,1	688,1	1187,0	2,379	2,377	0,180	498,9	10 856	3,43
	15	1185,9	687,9	1186,8	2,379	2,377	0,180	498,9	11 143	3,51
	16	1186,6	685,7	1187,4	2,367	2,365	0,159	501,7	10 785	3,38
Promedio		**1186,5**	**687,8**	**1187,3**	**2,377**	**2,375**	**0,160**	**499,6**	**10 808,5**	**3,40**
7,00	11	1188,1	690,2	1189,4	2,386	2,380	0,260	499,2	11 859	3,68
	12	1186,4	690,3	1187,8	2,389	2,385	0,281	497,5	11 429	3,81
	13	1187,6	690,5	1189,2	2,385	2,381	0,321	498,7	11 572	3,56
	14	1187,8	691,1	1189,5	2,386	2,383	0,341	498,4	11 715	3,61
Promedio		**1187,5**	**690,5**	**1189,0**	**2,387**	**2,382**	**0,301**	**498,5**	**11 620,0**	**3,68**

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.8 Máxima Teórica Sin Plástico

La gravedad máxima teórica se utiliza en el cálculo de los vacíos al aire de la mezcla asfáltica tanto los resultados obtenidos en laboratorio o también para la compactación en campo al momento de utilizar densímetros nucleares y a en el momento de la extracción del núcleo de igual forma conocer el porcentaje de compactación obtenido de campo, se indica también en el ensayo cuando se realiza en laboratorio la cantidad de asfalto absorbido por el agregado ese dato es muy importante ya que si no cumple con los parámetros de diseño especificados puede afectar su propiedades mecánicas.

Tabla 13: Máxima teórica sin plástico.

Porcentaje de asfalto / Mezcla	Número Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Calibración	Mezcla SSS	G.E.M.T. sin abs	G.E.M.T. corregida
5,0	**1**	1603,8	2321,8	1360,2	1603,9	2,497	2,497
	2	1605,6	2323,1	1360,2	1605,8	2,498	2,497
Promedio		**1604,7**	**2322,5**	**1360,2**	**1604,9**	**2,498**	**2,497**
5,5	**3**	1603,2	2318,0	1360,2	1605,2	2,484	2,476
	4	1606,1	2317,8	1360,2	1606,4	2,477	2,475
Promedio		**1604,7**	**2317,9**	**1360,2**	**1605,8**	**2,480**	**2,476**
6,0	**5**	1608,1	2314,0	1360,2	1609,2	2,458	2,454
	6	1606,4	2312,5	1360,2	1606,7	2,456	2,455
Promedio		**1607,3**	**2313,3**	**1360,2**	**1608,0**	**2,457**	**2,454**
6,5	**7**	1604,3	2308,2	1360,2	1604,6	2,444	2,443
	8	1602,8	2307,1	1360,2	1603,1	2,444	2,443
Promedio		**1603,6**	**2307,7**	**1360,2**	**1603,9**	**2,444**	**2,443**
7,0	**9**	1606,1	2308,4	1360,2	1606,3	2,441	2,441
	10	1604,8	2306,7	1360,2	1605,4	2,438	2,436
Promedio		**1605,5**	**2307,6**	**1360,2**	**1605,9**	**2,440**	**2,438**

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.9 Resumen Diseño Marshall Sin Plástico

De los resultados que se obtienen de los diferentes procedimientos ASTM se realiza un resumen en todos los resultados obtenidos de los diferentes puntos realizados con diferentes porcentajes de asfalto para así poder determinar el rango de trabajo optimo del diseño se observa en la Tabla 14.

Tabla 14: Resumen diseño Marshall sin plástico.

% Asfalto	Gmb	Max. Teorica	Gsb Ponderado	Estabilidad	Flujo	Vacios	VMA	VFA	Gse	Pbe	Polvo / Asfalto
5,00	2,318	2,497	2,643	11 834,7	2,69	7,18	16,68	57,0	2,698	4,24	1,46
5,50	2,336	2,476	2,643	10 904,0	2,88	5,65	16,48	65,7	2,694	4,80	1,29
6,00	2,358	2,454	2,643	10 281,0	3,11	3,93	16,15	75,7	2,690	5,36	1,16
6,50	2,375	2,443	2,643	10 808,5	3,40	2,77	15,97	82,6	2,698	5,75	1,08
7,00	2,382	2,438	2,643	11 620,0	3,68	2,28	16,17	85,9	2,715	6,03	1,03

. Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.10 Resultados obtenidos de las pasillas Marshall con Asfalto Modificado con plástico PET

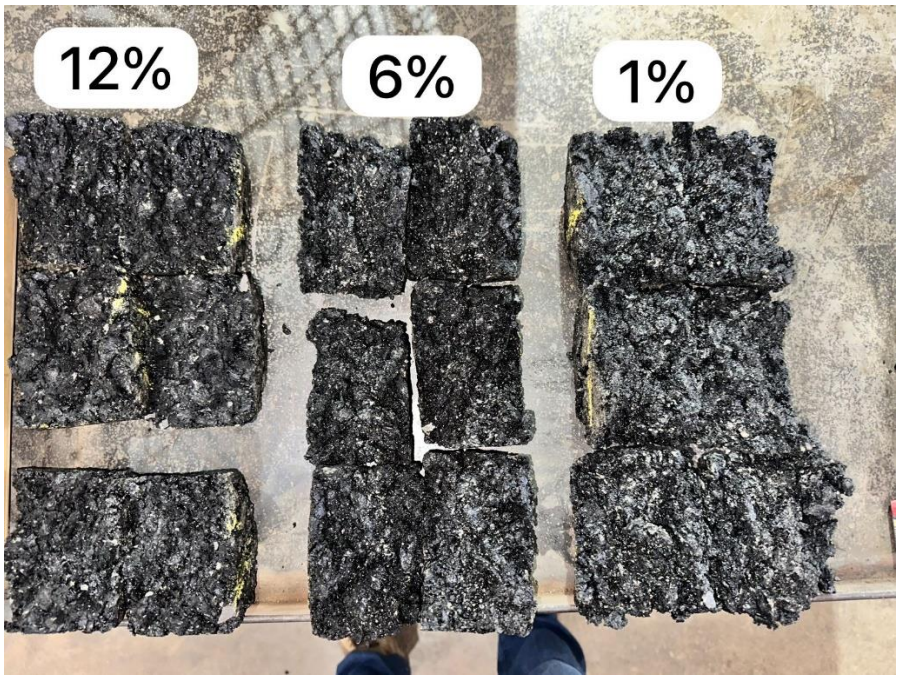
Se ponen a prueba 3 especímenes con el mismo porcentaje de agregados retenidos en los diferentes tamices con la diferencia que cada uno tiene un porcentaje de asfalto modificado con plástico PET de mayor volumen en cada punto como son 1% 6% y 12% obteniendo como resultado una alteración entre el diseño actual son modificar y el modificado esto evaluando la alteración que sufrió al ser modificado el asfalto con plástico los resultados de pueden observaren la tabla 15.

Tabla 15: Propiedades Marshall con Asfalto Modificado con Plástico PET.

Porcentaje de asfalto con plástico	Número Pastilla	Peso Seco	Peso Sumergido	Peso S.S.S	Gsss	Gsb	% Absorción	Volumen	Estabilidad Corregida	Flujo
1,00	1	1204,8	690,3	1206,4	2,338	2,334	0,310	516,1	9 000	1,80
	2	1205,0	690,0	1206,3	2,336	2,334	0,252	516,3	1 100	1,90
	3	1205,3	690,0	1209,6	2,328	2,320	0,828	519,6	1 100	1,70
	4	1203,6	690,3	1206,7	2,337	2,331	0,600	516,4	9 000	2,00
Promedio		**1204,7**	**690,2**	**1207,3**	**2,335**	**2,330**	**0,497**	**517,1**	**3 733**	**1,85**
6,00	5	1204,6	683,0	1208,4	2,300	2,293	0,723	525,4	8 900	1,80
	6	1203,2	684,0	1206,0	2,310	2,305	0,536	522,0	8 800	1,81
	7	1202,2	682,1	1204,6	2,305	2,301	0,459	522,5	9 000	1,80
	8	1204,3	682,0	1207,4	2,298	2,292	0,590	525,4	8 900	1,90
Promedio		**1203,6**	**682,8**	**1206,6**	**2,303**	**2,298**	**0,577**	**523,8**	**8 900**	**1,83**
12,00	9	1204,0	682,8	1210,0	2,295	2,284	1,138	527,2	11 000	1,90
	10	1157,2	655,0	1165,0	2,284	2,269	1,529	510,0	9 000	1,80
	11	1158,5	658,8	1167,7	2,295	2,276	1,808	508,9	7 000	2,00
	12	1200,4	683,7	1206,4	2,308	2,297	1,148	522,7	10 000	1,90
Promedio		**1180,0**	**670,1**	**1187,3**	**2,296**	**2,281**	**1,406**	**517,2**	**9 000**	**1,90**

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 42: Pastillas Marshall con Asfalto Modificado con Plástico PET.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.11 Resultados de Gravedad Máxima Teórica con Asfalto Modificado con plástico PET

Tabla 16: Resultados de Gravedad Máxima Teórica.

Porcentaje de asfalto / Mezcla	Número Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Calibración	Mezcla SSS	G.E.M.T. sin abs	G.E.M.T. corregida
1,0	**1**	1607,7	2659,7	1698,1	1609,0	2,488	2,483
	2					-	-
Promedio		**1607,7**	**2659,7**	**1698,1**	**1609,0**	**2,488**	**2,483**
6,0	**3**	1604,4	2655,8	1698,1	1606,0	2,481	2,475
	4					-	-
Promedio		**1604,4**	**2655,8**	**1698,1**	**1606,0**	**2,481**	**2,475**
12,0	**5**	1621,3	2663,7	1698,1	1623,0	2,473	2,466
	6					-	-
Promedio		**1621,3**	**2663,7**	**1698,1**	**1623,0**	**2,473**	**2,466**

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.12 Resumen de Resultados de especímenes con asfalto modificado con plástico PET VS Diseño Patrón

Tabla 17: Resumen de Resultados

Especificación Diseño	Fecha	2023-10-01		
	N°Muestra	**1,00%**	**6,00%**	**12,00%**
	Proyecto	**Tesis de grado licenciatura**		
	Lugar de Muestreo:	**Lab. Central**		
-	% Asfalto/ Agregado	6,15%	6,39%	5,90%
5,50%-6,00%-6,50%	% Asfalto/ Mezcla	5,79%	6,00%	5,57%
-	GBS Pastillas	2,330	2,298	2,281
-	GEMT	2,483	2,475	2,466
3,0%-5,0'%	% Vacíos	6,2%	7,2%	7,5%
>800	Estabilidad	1377	1315	1312
15,0-35,0	Flujo (1/100cm)	25,4	22,6	23,5
> 14,0	VMA	16,9%	18,2%	18,4%
65%-78%	VFA	63,4%	60,7%	59,3%

0,8 - 1,6	Relación Polvo/Asfalto		1,1%	1,3%	1,0%
100	Granulometría	19,1 mm	100	100	100
85-95		12,5 mm	89	90	91
70-77		9,5 mm	76	76	76
42-47		N° 4	46	45	46
28-33		N° 8	30	31	30
17-25		N°16	21	21	20
11-19		N°30	15	15	13
7-14		N°50	11	11	10
6-10		N° 100	8	8	7
4,2-8,0		N° 200	5,2	6,3	4,9

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.13 Pastillas Marshall añadiendo un 12% plástico PET al agregado fino

Se modifica el agregado con plástico PET en valor del porcentaje que la fórmula de mezcla en la incorporación del agregado fino el cual es el polvo piedra, Se obtiene un bache de un valor de 1600g el cual se modifica de tal manera que 1600g*41%=656g de agregado fino al 656g de material fino se le incorpora un 12% de plástico PET dándonos como resultado 734,7g de agregado fino más plástico PET obteniendo un nuevo bache de 1678.7g ya con la incorporación del Plástico PET en relación del agregado Polvo, se le añade el porcentaje de asfalto sobre el agregado esta vez sin modificar el asfalto ya que se requiere obtener un resultado más acorde al diseño patrón con mejores resultados.

El material plástico PET se agregado sacando el porcentaje de agregado fino que lleva el total del bache para el diseño en proporción de la fórmula de mezcla de agregado fino que es del 41% del valor total del espécimen de muestra, tal y como se muestra en la figura 43.

Figura 43: Porcentaje de plástico para añadir al agregado fino.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 44: Bache de agregado fino con adición de plástico PET



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 45: Mezclado realizado de agregado fino con plástico PET al 12% y asfalto



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 46: Cuarteo de mezcla con plástico PET al 12% adicionado al agregado fino



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 47: Extracción de humedad para pastillas Marshall con plástico PET al 12% sobre agregado fino.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 48:Determinación de la gravedad máxima teórica



Fuente: Laboratorio OJM San Carlos (2015)

Figura 49:Pastillas Marshall modificadas con 12% sobre el valor de mezcla de agregado fino.



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 50: Pastillas Marshall modificado el agregado con plástico PET



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Figura 51: Pastillas Marshall con agregado fino modificado con plástico PET al 12%



Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.14 Resultados obtenidos de las pasillas Marshall modificando el agregado fino con plástico PET.

Tabla 18: Resultado de pastillas Marshall con plástico PET sobre el agregado fino

Porcentaje de Plástico PET añadido al agregado fino	Número Pastilla	Peso Seco	Peso Sumergido	Peso S.S.S	Gsss	Gsb	% Absorción	Volumen	Estabilidad Corregida	Flujo
12%	13	1194,5	708,0	1200,0	2,439	2,428	1,118	492,0	9 000	1,50
	14	1185,2	703,0	1190,0	2,444	2,434	0,986	487,0	10 000	1,80
	15	1185,3	702,0	1190,0	2,439	2,429	0,963	488,0	11 000	1,80
	16	1189,7	705,0	1195,0	2,439	2,428	1,082	490,0	11 000	1,80
Promedio		**1188,7**	**704,5**	**1193,8**	**2,440**	**2,430**	**1,037**	**489,3**	**10 250,00**	**1,73**

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.15 Resultados de Gravedad Máxima Teórica Modificando el agregado fino con plástico PET

La gravedad máxima teórica al incorporarse plástico PET el resultado obtenido es mayor debido a que al ser sumergido da un valor más alto por lo tanto hace que ese valor de más elevado en relación con el dato obtenido sin modificar, pero si está dentro de los parámetros de la mezcla, se indica en la tabla

Tabla 19: Resultado de la gravedad Máxima teórica con plástico PET sobre el agregado fino

Porcentaje de Plástico PET añadido al agregado fino	Número Muestra	Peso Inicial	Peso Final	Calibración	Mezcla SSS	G.E.M.T. sin abs	G.E.M.T. corregida
12%	**1**	1723,0	2400,0	1351,0	1725,0	2,556	2,549
Promedio		**1723,0**	**2400,0**	**1351,0**	**1725,0**	**2,556**	**2,549**

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.16 Resumen de Resultados de especímenes modificando el agregado fino con plástico PET vs Especificación.

Tabla 20: Resumen de Resultado de especímenes.

Especificación Diseño	Fecha	2023-12-08
	N°Muestra	
	Proyecto	Tesis
	Lugar de Muestreo:	Lab 17
-	% Asfalto/ Agregado	6,62%
5,50%-6,00%-6,50%	% Asfalto/ Mezcla	6,21%

-	GBS Pastillas		2,430
-	GEMT		2,549
3,0%-5,0'%	% Vacíos		4,7%
>800	Estabilidad		1212
15,0-35,0	Flujo (1/100cm)		26,0
> 14,0	VMA		13,7%
65%-78%	VFA		65,6%
0,8 - 1,6	Relación Polvo/Asfalto		1,3%
100	Granulometría	*19,1 mm*	100
85-95		*12,5 mm*	91
70-77		*9,5 mm*	74
42-47		*N° 4*	45
28-33		*N° 8*	30
17-25		*N°16*	21
11-19		*N°30*	15
7-14		*N°50*	10
6-10		*N° 100*	7
4,2-8,0		*N° 200*	5,0

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

4.1.17 Resumen de Resultados de especímenes con asfalto modificado con plástico PET y Modificando el Agregado Fino VS Especificación de Diseño

Tabla 21:Resumen de resultado de especímenes con asfalto modificado y agregado fino modificado.

Especificación Diseño	Detalle		Modificando el asfalto			Modificando el agregado fino
	Muestra		**1,00%**	**6,00%**	**12,00%**	**12,00% sobre fino**
	Proyecto		**Tesis**			
	Lugar de Muestreo:		**Lab. Central**			**Lab 17**
-	% Asfalto/ Agregado		6,15%	6,39%	5,90%	6,62%
5,50%-6,00%-6,50%	% Asfalto/ Mezcla		5,79%	6,00%	5,57%	6,21%
-	GBS Pastillas		2,330	2,298	2,281	2,430
-	GEMT		2,483	2,475	2,466	2,550
3,0%-5,0'%	% Vacíos		6,2%	7,2%	7,5%	4,7%
>800	Estabilidad		1377	1315	1312	1212
15,0-35,0	Flujo (1/100cm)		25,4	22,6	23,5	26,0
> 14,0	VMA		16,9%	18,2%	18,4%	13,7%
65%-78%	VFA		63,4%	60,7%	59,3%	65,6%
0,8 - 1,6	Relación Polvo/Asfalto		1,1%	1,3%	1,0%	1,3%
100	Granulometría	*19,1 mm*	100	100	100	100
85-95		*12,5 mm*	89	90	91	91
70-77		*9,5 mm*	76	76	76	74
42-47		*N° 4*	46	45	46	45
28-33		*N° 8*	30	31	30	30
17-25		*N°16*	21	21	20	21
11-19		*N°30*	15	15	13	15
7-14		*N°50*	11	11	10	10
6-10		*N° 100*	8	8	7	7
4,2-8,0		*N° 200*	5,2	6,3	4,9	5,0

Fuente: Elaborado por Anthony Quesada y Ana Salazar (2023)

Capítulo 5: Limitaciones, conclusiones y recomendaciones.

5.1 Limitaciones:

Entre las principales limitaciones encontradas se refiere a la falta de recursos sobre la investigación recurrente hacia lograr la mayor cantidad de porcentaje de plástico utilizada en el diseño de mezcla, de contar con los recursos suficientes para continuar con los ensayos seria posible hacer mayores pruebas agregando plástico a 15%, 20%, 25% hasta llegar a un 50% a fin de medir la capacidad máxima soportada de porcentaje plástico por diseño de mezcla.

Existe una gran demanda de plástico que aún no es procesado en reciclaje y que se encuentra en basureros, ambiente, afluentes y mares que pueden ser aprovechados para bajar costos de producción y reducción en la huella de carbono ambiental, sin embargo, la inversión necesaria es grande y requiere una importante inversión económica además de tiempo de ejecución de pruebas de laboratorio y materiales.

Otra limitación refiere a la falta de recursos hacia la realización de mayores ensayos de durabilidad como ensayos de resistencia a la abrasión o ensayo de resistencia a la fatiga Marshall y ensayos de desempeño como el ensayo de resistencia al deslizamiento a fin de determinar el comportamiento de la mezcla asfáltica con plástico PET a largo plazo.

5.2 Conclusiones

5.2.1 Conclusiones sobre mezcla asfáltica modificando el asfalto con plástico PET

En relación con los resultados obtenidos de los especímenes modificados para asfalto con plástico PET, se puede observar que el incremento de la cantidad de plástico en la mezcla asfáltica provoca una disminución de la gravedad específica y un aumento en los porcentajes de vacíos. también la estabilidad de la mezcla se reduce esto sucede porque se reduce la cantidad de asfalto

que debe adicionarse, es decir a mayor cantidad de plástico PET menor cantidad de asfalto agregado a la mezcla.

En el caso del porcentaje de asfalto con plástico PET de 1%, se observa que la gravedad específica y la estabilidad de la mezcla se mantienen dentro de los parámetros de diseño establecidos por el CR2020. Sin embargo, a medida que se incrementa el porcentaje de asfalto con plástico PET, la gravedad específica y la estabilidad de la mezcla disminuyen.

En el caso del porcentaje de asfalto con plástico PET de 6%, la gravedad específica se encuentra dentro de los parámetros de diseño, pero la estabilidad se encuentra por debajo del valor establecido.

En el caso del porcentaje de asfalto con plástico PET de 12%, la gravedad específica se encuentra por debajo de los parámetros de especificación de diseño y la estabilidad se encuentra muy por debajo del valor establecido.

En conclusión, se puede afirmar que el incremento del porcentaje de asfalto con plástico PET en la mezcla asfáltica provoca una disminución de la gravedad específica y un aumento en los vacíos conforme se agrega más plástico en las pastillas compactadas a 50 golpes y el asfalto con plástico PET al 1%, si bien cumple con la normativa, no refiere a un cambio importante en el impacto ambiental, que requiere el proyecto.

5.2.2 Conclusiones sobre mezcla asfáltica modificando el asfalto y el agregado fino.

Los resultados muestran que la adición de plástico PET al asfalto provoca una disminución de la gravedad específica y de la estabilidad. Sin embargo, la disminución de la estabilidad es más pronunciada cuando se modifica el agregado fino que cuando se modifica el asfalto.

En el caso del porcentaje de plástico PET de 12%, la gravedad específica y la estabilidad de la mezcla se encuentran dentro de los parámetros de diseño establecidos por el CR2020.

El porcentaje de vacíos de la mezcla es de 6.2%,7.2% y 7.5% en el caso de la modificación del asfalto y de 4.7% en el caso de la modificación del agregado fino. Ubicando la mezcla con plástico PET sobre agregado fino dentro de los parámetros de la especificación de diseño.

El flujo de la mezcla es de 25.4, 22.6 y 23.5 mm en el caso de la modificación del asfalto y de 26.0 mm en el caso de la modificación del agregado fino. Todos los valores se encuentran dentro de los parámetros de la especificación de diseño.

La relación polvo/asfalto de la mezcla es de 1.1%,1.3%, 1.0% en el caso de la modificación del asfalto y de 1,3% en el caso de la modificación del agregado fino. Todos los valores se encuentran dentro de los parámetros de la especificación de diseño.

La granulometría de la mezcla es adecuada en ambos casos.

5.3 Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos, se recomienda utilizar un porcentaje de plástico PET de 12% sobre la fórmula de mezcla del agregado fino para el diseño de la mezcla asfáltica con tránsito medio a 50 golpes. Este porcentaje de plástico PET proporciona una mejora en la resistencia al deslizamiento de la mezcla, sin comprometer la estabilidad y la durabilidad de esta.

Es importante realizar ensayos adicionales para confirmar los resultados obtenidos. También los resultados obtenidos son preliminares y es necesario la realización de más ensayos para confirmarlos.

Los resultados obtenidos se basan en una mezcla asfáltica con tránsito medio a 50 golpes. Es posible que los resultados varíen para otros tipos de mezclas o tránsitos.

La adición de plástico PET a la mezcla asfáltica puede tener un impacto en el comportamiento de la mezcla en diferentes condiciones climáticas por lo que es importante estudiar este impacto en ensayos que permitan validar estas condiciones.

Bibliografía

al, G. e. (2021). *https://ingenieriaindustrialitt.org/.* Obtenido de https://ingenieriaindustrialitt.org/publicacion/semana-academica/article/view/42/25

Arnaiz Arnaiz, N. (2016). *Reciclaje de polímeros mediante la producción de materiales de alto valor añadido.* Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=62604

Asfalto, I. d. (2014). *Métodos de diseño de mezcla asfáltica MS-2.* Instituto del Asfalto. Obtenido de Design_Methods_Asphalt_Mix_7th_Edition_M

Buitrago Buitrago, N. V. (2017 (p.88)). *Viabilidad técnica de obtención de un diseño de mezcla asfáltica adicionada con 1.6% de fibra de pet, con porcentajes de asfalto entre el 4.5% y el 6% que cumplan con la normatividad del invias.* Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/74518e48-574e-450a-af7a-718e9f410711/content

Buteler, M. (2019, párr.4). *¿Cuáles son los efectos nocivos de esta basura plástica para el ambiente y la salud?* San Carlos de Bariloche: Repositorio Institucional CONICET Digital.

Cristian E Sánchez Herrera, J. P. (2018 (p.17)). *Identificación de los usos actuales del tereftalato de polietileno (PET) Reciclado en la Ingeniería Civil.* Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/1f478396-d08a-4408-b078-6849b76b67d7/content

Diaz Martínez, B. H. (2016). *Cimentación, nivelación y construcción de viga y placa para casa modelo bioecologico en mampostería estructural con bloques y su respectiva cubierta a base de pet. .*

Fausto, S. V. (2017). *Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de lima-2017.* Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1506/Silvestre_VDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gonzales Barrera, J. &. (2016). *Elaboración de paneles a partir de fibra y micropartículas de botellas (pet) en Villavicencio.*

ICG. (2000). *Instituto de la Construcción y Gerencia, Manual de Ensayo de Materiales (EM-2000).* Obtenido de docplayer.es: https://docplayer.es/69536799-Metodos-para-la-reduccion-de-muestras-de-campo-a-tamanos-de-muestras-de-ensayo-mtc-e.html

Instituto Tecnologico de Costa Rica. (05 de 05 de 2018, párr. 6). *Costa Rica tira al mar 15 caminiones de plastico por dia.* Obtenido de https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2018/06/05/costa-rica-tira-mar-15-camiones-plastico-dia#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20PNUD%2C%20por%20d%C3%ADa,%2C5%20toneladas)%20es%20reciclado.

José P. Aguilar Moya, P. A. (2020, p. 235). *memoria de conferencias: II Jornadas de Investigacion de la facultad de Ingenieria 2020.* UCR.

Juárez N, M. S. (2011). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA MANUFACTURA DE EMPUÑADURAS DE PET RECICLADO .* Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73020063002

Lanamme UCR. (s.f.). *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.* Obtenido de lanamme.ucr.ac.c: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/labs/ensayos-laboratorios

Lizarazo Moncada, F. A. (2016). *Viabilidad técnica de un diseño de mezcla asfáltica con adición en fibra de PET en proporción de mezcla entre el 0 y el 2,5%.* Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/items/a4ad3890-e8d7-4e9e-8c1e-e9fdd81ec1d6

Maghanaki, A. H. (Agosto de 2005, párr.2). "Uso de residuos Plásticos (Tereftalato de polietileno) en mexclas de hormigón asfáltico como reemplazo de áridos. *23*(4). Obtenido de https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X05056739

Montoto, E. R. (2017). *Basuras Marinas, plásticos y microplásticos, origenes, impactos y consecuencias de una amenaza global.* España: Ecologistas en acción.

QuimiNet. (22 de Noviembre de 2005). *https://www.quiminet.com.* Obtenido de https://www.quiminet.com/articulos/historia-del-pet-2561181.htm

Revelo Corella, M. E. (2014). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente modificadas con elastómeros (caucho) y tereftalato de polietileno reciclado con ligante AC-20.* Obtenido de https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9635/1/T-ESPE-048139.pdf

Sendoya, L. V. (2021, p. 28). *Influencia del Uso de PET reciclado como reemplazo de agregados en la respuesta mecanica y durabilidad de las mezclas asfálticas.*