

Información importante

La universidad Santo Tomas, informa que el autor ha autorizado a usuarios internos y externos a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite consultar a los usuarios interesados en el contenido de este documento para los usos con finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre que mediante la correspondiente cita bibliografía se dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomas informa que “los derechos morales sobre documentos son de propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescindibles, inembargables e inalienables”.

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca

Universidad Santo Tomas

Mezcla densa en caliente con incorporación de poliestireno expandido reciclado en porcentajes del 0,5%, 1% y 2% de la masa de mezcla, para analizar los cambios en la granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK, porcentajes de vacíos y determinar la funcionalidad en la construcción de pavimentos asfálticos según el criterio de las especificaciones INVIAS artículo 450.

Christian Orlando Marmolejo Casas

Código 2294158

Trabajo de grado para obtener el título en Construcción en Arquitectura e Ingeniería

Director:

Nurian Bibiana Munévar Pérez

Ingeniera Civil

Universidad Santo Tomás

Vicerrectoría de Universidad Abierta y a Distancia

Construcción en Arquitectura e Ingeniería

2023

Lista de tablas

Tabla 1	Resolución número 1524 de 6 de mayo de 2022	21
Tabla 2	Franja granulométrica según INVIAS Art.450 para una MDC19, tabla 450-5	23
Tabla 3	Criterios de aceptación de una MDC19 según INVIAS Art. 450-9	27
Tabla 4	Objetivos, actividades, equipos, materiales y normas	30
Tabla 5	Cantidad de ensayos a realizar	32
Tabla 6	Resumen de resultados de los ensayos realizados a las incorporaciones.....	71
Tabla 7	Comparaciones de los resultados del proyecto con relación a los valores promedios...	72

Lista de Figuras

Figura 1	Afectaciones del poliestireno en la fauna.....	11
Figura 2	Proceso de trituración del poliestireno expandido	12
Figura 3	Extensión de mezcla asfáltica.....	13
Figura 4	Cuarteo de mezcla asfáltica.....	24
Figura 5	Muestras cilíndricas para ensayos Marshall	25
Figura 6	Muestra de mezcla asfáltica en el molde de la centrifuga	34
Figura 7	Equipo centrifugo	34
Figura 8	Muestra luego de extraer el cemento asfaltico	35
Figura 9	Muestra lavada para retirar residuos de hidrocarburos	36
Figura 10	Granulometría del material.....	37
Figura 11	Toma de temperatura de la muestra de mezcla asfáltica.	37
Figura 12	Muestras de briquetas de MDC19 elaboradas	38
Figura 13	Ensayo para determinar la densidad de las briquetas	39
Figura 14	Equipo Marshall	40
Figura 15	Poliestireno expandido reciclado utilizado en la investigación.....	41
Figura 16	Materiales utilizados en la investigación.....	42
Figura 17	Proceso de reducción del poliestireno expandido reciclado.....	43
Figura 18	Muestra de volumen de poliestireno expandido reciclado utilizado	43
Figura 19	Diferencia de la distribución de poliestireno expandido reciclado usado en diferentes porcentajes.	44
Figura 20	Grumos hallados en la MDC	45
Figura 21	Grumos producto de la combinación de poliestireno con gasolina y agregado fino del material	46
Figura 22	Granulometría del material.....	47
Figura 23	Adherencia de poliestireno en el área del agregado grueso.	48
Figura 24	Poliestireno adherido a las áreas del agregado grueso	48
Figura 25	Poliestireno expandido reciclado adherido a la superficie del agregado.....	49
Figura 26	Resultados de estabilidad y flujo.....	50
Figura 27	Franja granulométrica muestra patrón.....	52

Figura 28 Franja granulométrica muestra patrón + 0,5% de incorporación de poliestireno expandido reciclado.	55
Figura 29 Franja granulométrica muestra patrón + 1% de poliestireno expandido reciclado.	58
Figura 30	61
Figura 31 Graficas de las franjas granulométricas de la muestra patrón y sus incorporaciones de poliestireno expandido reciclado (IPER)	64
Figura 32 Grafica tipo de muestra vs porcentaje de contenido de asfalto.	65
Figura 33 Grafica tipo de muestra vs estabilidad.	66
Figura 34 Grafica tipo de muestra vs flujo	67
Figura 35 Grafica tipo de muestra vs densidad BULK.	68
Figura 36 Grafica tipo de muestra vs % vacíos con aire.	69
Figura 37 Grafica tipo de muestra vs vacíos en agregados.....	70
Figura 38 Tabla con los resultados de ensayos de cada investigación.	71

Apéndices

Apéndice A Resultados de ensayos de muestra patrón.	54
Apéndice B Resultado de ensayos muestra patrón + 0,5% de incorporación de poliestireno expandido.	57
Apéndice C Resultado de ensayos muestra patrón +1% de incorporación de poliestireno expandido.	60
Apéndice D Resultados de ensayos muestra patrón +2% de incorporación de poliestireno expandido.	63

Anexos

Anexo 1 Fórmula de trabajo MDC19 muestra patrón.	79
--	----

Tabla de Contenido

Introducción	9
Planteamiento del problema.....	10
Pregunta problema	14
Justificación	15
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Antecedentes investigativos.....	17
Antecedentes internacionales.....	17
Antecedentes nacionales	18
Marco de referencia	20
Marco Geográfico	20
Marco Legal	20
Marco Teórico.....	22
Diseño metodológico	28
Enfoque	28
Tipo	28
Variable dependiente	28
Población y Muestra	29
Desarrollo de la investigación.....	33
Muestra patrón:	33
Muestras patrón con incorporaciones de poliestireno expandido reciclado al 0,5%, 1% y 2% ...	41
Análisis de resultados	52
Muestra Patrón	52
Granulometría:.....	52
Contenido de asfalto:	53
Estabilidad:	53
Flujo:.....	53
Densidad BULK:	53
Porcentajes de vacíos:.....	53
Vacíos en agregados:	53
Muestra Patrón + 0,5% de poliestireno expandido reciclado.	55
Granulometría:.....	55

Contenido de asfalto:	56
Estabilidad:	56
Flujo:.....	56
Densidad BULK:	56
Porcentajes de vacíos:.....	56
Vacíos en agregados:	56
Muestra Patrón + 1% de poliestireno expandido reciclado.	58
Granulometría:.....	58
Contenido de asfalto:	59
Estabilidad:	59
Flujo:.....	59
Densidad BULK:	59
Porcentajes de vacíos:.....	59
Vacíos en agregados:	59
Muestra Patrón + 2% de poliestireno expandido reciclado.	61
Granulometría:.....	61
Contenido de asfalto:	62
Estabilidad:	62
Flujo:.....	62
Densidad BULK:	62
Porcentajes de vacíos:.....	62
Vacíos en agregados:	62
Comparación de resultados de los parámetros de la mezcla con la incorporación de los porcentajes de 0,5%, 1% y 2% de poliestireno expandido reciclado.....	64
Granulometría:.....	64
Contenido de asfalto:	65
Estabilidad:	66
Flujo:.....	67
Densidad BULK:	68
Porcentajes de vacíos:.....	69
Vacíos en agregados:	70
Comparación de resultados con la tesis de Luther Letrado 2022	71
Conclusiones.....	73
Recomendaciones a futuras propuestas de proyectos con incorporaciones de poliestireno expandido reciclado a la MDC.	75
Referencias bibliográficas.....	76

Introducción

Desarrollamos un proyecto sobre los comportamientos en la granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentajes de vacíos según la especificación 450 del INVIAS de la mezcla asfáltica en caliente, incorporando poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5%, 1% y 2% de la masa de la muestra.

Presentamos algunos antecedentes de proyectos realizados con incorporaciones a las mezclas asfálticas.

Se realizó un análisis con la recopilación de resultados de los ensayos requeridos en las especificaciones en el artículo 450 del INVIAS para determinar los cambios en la granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, gravedad específica BULK y porcentajes de vacíos según la especificación 450 del INVIAS.

El propósito es del reutilizar los desechos de poliestireno expandido y disminuir la contaminación que genera la industria de la construcción.

Espero sea de su agrado.

Planteamiento del problema

El poliestireno expandido y los residuos de plásticos están afectando el medio ambiente, las aves se están alimentando con fragmentos de plásticos y poliestireno expandido, las tortugas marinas engullen bolsas confundiéndolas con medusas, provocando ulceraciones hemorrágicas, daños intestinales ocasionando una muerte agónica, (Jordán Chris, 2020).

Según el periódico (Espectador, 2019) en las playas de Buenaventura, (Colombia); en los lugares como La Bocana, zonas con gran influencia de turistas se observa continuamente desechos de plástico e ICOPOR; de acuerdo con los resultados preliminares del estudio realizado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira del grupo de investigación de Ecología y contaminación acuática dirigida por el profesor Guillermo Duque, el ICOPOR, fragmentos plásticos y tapas plásticas son los macro plásticos con mayor presencia en las playas, esto genera que las aves y animales marinos se enreden en estos materiales o los ingieran provocando su muerte por los compuestos de estos materiales que son altamente tóxicos. En la figura 1 se puede apreciar un ave en descomposición que ingirió residuos de poliestireno y plástico.

Figura 1*Afectaciones del poliestireno en la fauna*

Fuente, (Jordán Chris, 2020).

En Colombia se produce alrededor de 78000 toneladas anuales de poliestireno expandido y se recicla 200 toneladas al año eso equivale al 0,26 % del total de la producción, según un estudio de ACOPLASTICOS, se identificaron a 21 empresas de Bogotá y Medellín que reutilizan el poliestireno expandido reciclado mediante un proceso costoso llamado UPCYCLING, el cual mezcla varios tipos de plástico para que el producto final garantice su calidad (La república, 2021).

Para el reciclaje del poliestireno expandido se usan 4 tratamientos, el tratamiento primario utiliza la trituración mecánica o manual (Ver figura 2), una de sus ventajas es que no pierde las características químicas iniciales, de igual manera, los residuos de EPS (expended polystyrene) tras su molido a diferentes tamaños de granos, se pueden mezclar con materiales de construcción; el tratamiento secundario realiza procesos de calentamiento del material ocasionando cambio en su volumen, pueden aglutinarse y mezclarse con otros materiales en estado líquido; el tratamiento terciario o químico utiliza solventes que solubilizan el material, el reciclaje cuaternario consiste en la incineración del material para generar energía. (López y Pérez, 2019).

Figura 2

Proceso de trituración del poliestireno expandido



Fuente, (ANAPE, 2013)

(Infante et al, 2007). Llevaron a cabo una investigación en la Universidad Nacional de Colombia donde incorporaron poliestireno expandido a la mezcla asfáltica con el propósito de reutilizarlo; concluyeron que; la estabilidad Marshall obtenida con la incorporación de poliestireno expandido fue superior a la mezcla convencional, el flujo se conservó igual y el peso unitario disminuyó; lo que define que la incorporación de poliestireno expandido reciclado puede ser útil en la construcción de pavimentos asfálticos.

En Bogotá en el mes de junio del 2023 la unidad de mantenimiento vial, ACOPLASTICOS, GIZ y DARNEL; construyeron tramos de prueba de pavimento con incorporaciones de materiales reciclados el cuarto tramo de prueba fue de mezcla densa en caliente con poliestireno expandido por vía seca, también incorporaron granos de caucho y plástico reciclado; esta estrategia se realizó con el propósito de implementar nuevas tecnologías en la malla vial de Bogotá. (Loren Valbuena, 2023). En la figura 3 se observa la extensión de una mezcla tipo MDC19 en la construcción de un tramo de vía del proyecto Rumichaca – Pasto.

Figura 3*Extensión de mezcla asfáltica*

Fuente, El autor

(Téllez, 2012, pág. 14) con base en su estudio concluye que residuos de plástico tienen implicaciones ambientales y hacen parte de una problemática de gran impacto, la preocupación ambiental es creciente y gira en torno a su dificultad para degradarse y el problema ha representado su reciclaje; es por eso, que se pretende realizar un estudio mediante pruebas de laboratorio de materiales para determinar si la incorporación de poliestireno expandido reciclado en porcentajes del 0,5%, 1% y 2% en la mezcla asfáltica afectan o mejoran los parámetros como: granulometría, porcentajes de vacíos, estabilidad, flujo, densidad BULK y contenido de vacíos bajo el criterio de aceptación del artículo 450 del INVIAS, con la finalidad de que este material sea aprovechado en la industria de la construcción puntualmente en la pavimentación de vías y así reducir su impacto.

Pregunta problema

¿Cuáles son las variaciones en los parámetros: granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentajes de vacíos entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica convencional con incorporación de poliestireno expandido reciclado en porcentajes del 0,5%, 1% y 2% para determinar la funcionalidad en la construcción de pavimento asfáltico según el criterio de las especificaciones del INVIAS artículo 450?

Justificación

Por el impacto que produce los desechos del poliestireno expandido, se quiere evaluar el comportamiento del poliestireno expandido reciclado en la estructura de una mezcla asfáltica como componente de los agregados del pavimento asfáltico para determinar su uso en la elaboración de mezclas asfálticas analizando los comportamientos en la granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentajes de vacíos entre una mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica convencional con incorporación de poliestireno expandido reciclado en el 0,5%, 1% y 2% de la masa de muestra bajo el criterio de aceptación para construcción de pavimentos en Colombia, especificación del INVIAS artículo 450.

Ayudando a dar un uso más apropiado a los residuos del poliestireno expandido reciclado con el fin de evitar el impacto ambiental que este producto genera.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar las diferencias en la granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentajes de vacíos entre una mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica convencional con incorporación de poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5%, 1% y 2% de la masa de la mezcla para determinar la funcionalidad en la construcción de pavimento asfáltico según el criterio de las especificaciones INVIAS artículo 450.

Objetivos Específicos

- Realizar ensayos de granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentajes de vacíos según la especificación del INVIAS artículo 450 para la mezcla asfáltica convencional.
- Realizar ensayos de granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentajes de vacíos según criterio de la especificación del INVIAS artículo 450 para la mezcla asfáltica convencional con incorporación del poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 2%, 1% e 0,5%.
- Evaluar las diferencias de los parámetros de granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentajes de vacíos para determinar la funcionalidad en la construcción de pavimentos según el criterio de las especificaciones INVIAS artículo 450 mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.

Antecedentes investigativos

Antecedentes internacionales

(Putri y Dwinanda, 2018) en su artículo “el efecto de la adición de espuma de poliestireno basado en las características Marshall”, publicado en la revista internacional sobre tecnología de la información de ingeniería avanzada, concluyeron que la incorporación de espuma de poliestireno o también conocida como poliestireno expandido mejora la estabilidad de la mezcla y aumenta el flujo en proporciones de 0,5%, 1% y 1,5% en peso de contenido de asfalto de la mezcla; investigación realizada en Indonesia.

En Perú en el año 2019 realizaron una investigación denominada “Influencia de la incorporación de poliestireno en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente” (Arevalo Palomino, H., & Lucho Valle, J. Y., 2019). Donde incorporaron poliestireno en una mezcla asfáltica fabricada con cemento asfáltico PEN 60/70 de REPSOL la cual se procesó y realizaron ensayos bajos los criterios de especificación MCT (EG-2013); realizaron ensayos Marshall a la mezcla asfáltica convencional y otros 3 ensayos a las incorporaciones de poliestireno obteniendo estabilidad mayor, flujo y contenido de vacíos similares y rigidez mayor al incorporar 0,3% de poliestireno con relación al peso de la mezcla.

También se han realizado investigaciones incorporando residuos vegetales como cascaras de semillas de Piñón de tempate que es un arbusto con propiedades medicinales y la cascara de Pistache que es un árbol; ambos se cultivan en México. Arrojaron como resultado que con un porcentaje de 2%, 4%, 6% y 8% en masa con respecto a la muestra de cemento asfáltico mejora las propiedades físicas y reológicas con mayor estabilidad de almacenamiento a las altas temperaturas e incremento la viscosidad mejorando la resistencia del cemento asfáltico. (Venegas Martinez, 2021)

(Díaz Bardalez, W. A, 2022) incorporaron PET (Tereftalato de Polietileno) reciclado en la mezcla asfáltica fabricada en la región de Iquitos (Perú); el procedimiento fue el de utilizar el PET como parte del agregado de la MDC; dando como resultado que con un porcentaje de agregado a emplear de un peso base de 1200 gramos el cemento asfáltico óptimo es del 5,9% luego realizaron incorporaciones de PET en porcentajes de 4%, 5%, 6% y 7% con respecto a los 1200 gramos de peso base, el comportamiento de la estabilidad de acuerdo a los ensayos Marshall realizados cumplió con los criterios de la normativa.

Antecedentes nacionales

En el artículo “El ICOPOR y el caucho como modificadores de mezclas drenantes; elaborado por (Reyes et al, 2006). Investigaron los comportamientos de la mezcla asfáltica drenante incorporando caucho e ICOPOR para optimizar sus características como capa de rodadura y proteger el medio ambiente, con el uso de desechos biodegradables. En la investigación encontraron un punto óptimo donde se relaciona el máximo porcentaje de vacíos compatible con una buena estabilidad a las cargas vehiculares.

El reciclaje del poliestireno expandido (EPS) consiste en la reducción del tamaño del grano y disminución del gas que contiene, lo que permite disminuir su volumen.. (Alliance, 2007).

(Figuerola y Reyes, 2007); en su proyecto titulado análisis de un asfalto modificado con ICOPOR y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente, realizaron ensayos de laboratorio de la MDC19 incorporando asfalto modificado con poliestireno expandido demostrando que la incorporación de poliestireno expandido disminuye la densidad de la mezcla asfáltica, aumenta la estabilidad y los flujos no se afectan.

Según la revista infraestructura vial de la Universidad de Costa Rica titulada “Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia”, define que la

tecnología en el asfalto a nivel mundial es una técnica ampliamente empleada la cual mejora las características de las mezclas asfálticas aumentando su estabilidad para someterse a mayores niveles de tránsito y aumentos de gradientes de temperatura. El artículo muestra los estudios que desarrollaron distintas instituciones con respecto a la investigación de mezclas asfálticas modificadas en Colombia. (Quintana et al, 2008)

(Betancourt y Solano, 2016) concluyeron que entre un 5% y un 7% de la extracción mundial de petróleo se destina a la producción de plásticos, se estima que para producir 1kg de plástico es necesario el uso de 2kg de petróleo. El sector industrial de plástico es versátil y tiene un alto desarrollo tecnológico, características por las que crece en la economía en porcentajes que se estiman en un 4% anualmente creando productos que son utilizados en envases, vivienda, vestido y todo tipo de bienes de consumo.

En el año 2021 se realizó los análisis y evaluaciones de mezclas asfálticas con incorporación de ICOPOR, que es el acrónimo de Industria Colombiana de Porosos empresa pionera en Colombia en la fabricación de poliestireno expandido, el proyecto de grado es una recopilación de las tesis y ensayos realizados incorporando poliestireno expandido en la MDC y realiza un análisis de los resultados obtenidos; concluyo que entre 1% y 1,5% es la cantidad optima de incorporación de poliestireno expandido en la MDC. (Herrera - Letrado, 2022, pág. 2).

(Cárdenas et al) Analizo las mezclas asfálticas modificándolas con materiales desechables, alternativos y no convencionales; evaluaron los cambios en su característica reológica y térmica, los comportamientos mecánicos, físicos y los cambios en los diseños de mezclas asfálticas al incorporar desperdicios plásticos, cenizas de cascarillas de arroz, polietileno de baja densidad e ICOPOR; lo cual mejoraron la mezcla asfáltica patrón.

“En la actualidad en Colombia y a nivel internacional no se reportan la producción exhaustiva en la fabricación de mezclas asfálticas con la incorporación del poliestireno expandido” (Herrera - Letrado, 2022, pág. 35).

Marco de referencia

Marco Geográfico

Los materiales granulares fueron extraídos del río Téllez del municipio de Iles (Nariño), utilizados para pavimentaciones con concreto asfáltico del departamento de Nariño y el cemento asfáltico proviene de la mezcla del petróleo de Barrancabermeja (Santander), el poliestireno expandido que se incorpora proviene de los alrededores del corregimiento del Pedregal del municipio de Imués (Nariño).

Marco Legal

La fabricación, transporte, extensión y compactación de mezclas asfálticas se rigen bajo las especificaciones generales de construcción de carreteras 2022, del ministerio de transporte y reguladas por el INVIAS (instituto nacional de vías) en todo el territorio nacional; esto se basa en el decreto 2618 de 2013 “por el cual se modifica la estructura del instituto nacional de vías (INVIAS) y se determinan las funciones de sus dependencias” correspondía al INVIAS, definir la regulación técnica relacionada con la infraestructura de los modos de transporte carretero, fluvial, férreo y marítimo.

En la resolución número 1524 del 6 de mayo del 2022 se adopta y actualiza las especificaciones generales de construcción de carreteras, como norma técnica para los proyectos de la red vial nacional.

Según el decreto 1292 de 2021 corresponde al INVIAS en virtud del numeral 2,20 del artículo 2, definir, expedir y adoptar la regulación técnica relacionada con la infraestructura de los

modos de transporte carretero, fluvial, férreo y marítimo; en la tabla 1 se identifican las especificaciones y normas que rigen para la elaboración de los ensayos de mezcla asfáltica.

Tabla 1

Resolución número 1524 de 6 de mayo de 2022

- Resolución número 1524 de 6 de mayo de 2022	Por la cual se adoptan y actualizan las especificaciones generales de Construcción de Carreteras, como Norma técnica para los proyectos de la red Vial Nacional.
- Artículo 450 de INVIAS	Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico), rige para la fabricación, transporte, extensión y compactación.
- Granulometría	El análisis granulométrico se realiza bajo el criterio de la norma INV E 782 con nombre análisis granulométrico de los agregados extraídos de mezclas asfálticas.
- Contenido de asfalto	Para determinar la cantidad de cemento asfáltico en la mezcla se realiza bajo el criterio de la norma INV E 732 con nombre extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos.
- Estabilidad	Se determina el valor máximo de carga de la mezcla asfáltica bajo el criterio de la norma INV E 748 con nombre resistencia de mezcla asfáltica en caliente empleando el aparato Marshall.
- Flujo	El procedimiento se realiza bajo el criterio de INV E 748 con nombre resistencia de mezcla asfáltica en caliente empleando el aparato Marshall.
- Densidad BULK	Se halla bajo el criterio de la norma INV E 733 con nombre gravedad específica BULK y densidad mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficie seca.

Continuación Tabla 1, Resolución número 1524 de 6 de mayo de 2022

-	Porcentajes de vacíos	Su valor se determina bajo el criterio de la norma INV E 799 con nombre análisis volumétricos de mezclas asfálticas compactadas en caliente
---	------------------------------	--

Fuente, El autor

Marco Teórico

Los ensayos para determinar la granulometría, contenido de asfalto, porcentaje de vacíos, densidad BULK, estabilidad y flujos se realizan bajo el criterio de las especificaciones INVIAS articulo 450 mezcla asfálticas en caliente de gradación continua para la construcción de pavimentos del territorio nacional.

La granulometría es un método donde se determina la distribución de los tamaños tanto gruesos como finos del material; el agregado grueso se considera en este caso desde el tamaño del tamiz 1” al tamiz No.4, el agregado fino que se considera desde el tamaño del tamiz No.4 al No.200 y la llenante mineral que es el comprendido de lo que pasa el tamiz No.200; se realiza la medición por medio de tamices con aberturas en tamaños decrecientes; el resultado obtenido del material debe estar comprendido dentro de las franjas de la tabla 450- 5 INVIAS la cual está distribuida de tal forma que no se segregue y garantice los niveles de compactación y resistencia exigidos en la tabla 2 se muestra la franja granulométrica que debe cumplir la MDC19.

Tabla 2

Franja granulométrica según INVIAS Art.450 para una MDC19, tabla 450-5

Tipo de mezcla	19	12,5	9,5	4,75	2	0,425	0,18	0,075
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
	¾"	½"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.80	No.200
	Pasa tamiz (%)							
MDC19	100	80-95	70 - 88	49 - 65	29 - 45	14 - 25	8 - 7	4 - 8

Fuente, Norma INVIAS Art. 450

El contenido de asfalto es la cantidad de cemento asfáltico usada en la mezcla. Esta cantidad depende de la densidad de los agregados y de la cantidad de vacíos que generen al mezclarse por ejemplo en mezclas densas y de buena distribución de partículas se usa bajo contenido de cemento asfáltico, al contrario de los agregados con alta absorción, baja densidad y que generan alto contenido de vacíos al mezclarse. El criterio del artículo en el numeral 450.5.2.3.1 dice que el contenido de asfalto debe de tener tolerancia superior o inferior al 0,3% del óptimo de diseño. Ese valor se determina en la fórmula de trabajo que solo es el diseño de la mezcla asfáltica con la mejor distribución de los agregados utilizados en su fabricación, en la figura 4 se observa el procedimiento para el cuarteo de una muestra de mezcla asfáltica para realizar el ensayo de extracción cuantitativa.

Figura 4*Cuarteo de mezcla asfáltica*

Fuente, El autor

La estabilidad de la mezcla asfáltica es la resistencia a la deformación plástica empleando el método Marshall, referido a las propiedades del planteamiento de vacíos de aire contra densidad a mayor densidad de un cuerpo mayor resistencia y menos cantidad de vacíos; el método utiliza la energía de compactación de un martillo de 4536 gramos que cae a 457,2 mm que compacta una muestra en un molde cilíndrico de diámetro 101,6mm y altura 76,2mm se compacta en ambas caras con una cantidad de 75 golpes. Las muestras cilíndricas llamados briquetas se dejan endurecer para luego ser saturados a una temperatura de 60°C que es la temperatura promedio de inicio de ablandamiento del cemento asfáltico por un tiempo de 30 minutos para luego ser sometidas a compresión dentro de una mordaza con un radio de curvatura interior de 50,8mm a la cual se aplica una carga gradual con una rata de 50,8mm por minuto hasta que falle la muestra y se anota el valor máximo de carga registrado en el medidor de estabilidad que es un anillo dinamométrico que se acopla a la prensa de 22,2 KN de capacidad y una sensibilidad de 44,5N a 4,45KN y 111,2N hasta 22,2KN, en la figura 5 se aprecia las muestras cilíndricas o briquetas elaboradas para realizar los ensayos del método Marshall.

Figura 5

Muestras cilíndricas para ensayos Marshall



Fuente, El autor

El flujo es la distancia de deformación de la mezcla asfáltica desde que se aplica la carga a la muestra cilíndrica hasta que produce la falla, esta se mide con un medidor deformímetro de lectura fija con divisiones en 0,25mm, al iniciar el ensayo se fija a la mordaza iniciando su lectura en 0 y se toma la lectura final que es la deformación según la resistencia de la muestra; el flujo para la mezcla asfáltica para un nivel de tránsito 3 según la tabla 450-9 del artículo 450 se encuentra entre 2mm a 3,5mm para ser aceptado.

La densidad BULK o peso unitario se refiere a la masa con respecto a un metro cubico del material a una temperatura de 25°C teniendo en cuenta los vacíos de aire atrapados; con este valor se determina la densidad de la mezcla; con este dato también se determinan los porcentajes de vacíos de la mezcla; el valor de la densidad no es un criterio de rechazo de la mezcla asfáltica ya que su resultado depende de las características de los agregados usados para la fabricación de la mezcla asfáltica; para determinar la densidad de la mezcla se realiza según el principio de

Arquímedes. Relacionando el valor de la masa de las muestras cilíndricas con el volumen hallado según su fuerza de empuje al estar sumergido en un recipiente con agua.

Los vacíos con aire de la mezcla asfáltica son la cantidad de aire atrapado dentro de las partículas de agregados que están empaquetados con cemento asfáltico en una mezcla compacta, los vacíos en el agregado mineral es un volumen intergranular entre las partículas del agregado y la mezcla asfáltica compacta y los vacíos llenos de asfalto es una fracción de los vacíos en los agregados que contiene cemento asfáltico representando el volumen de asfalto efectivo, para determinar estos valores se realiza por medio de cálculos donde se relacionan la gravedad específica de los agregados y el cemento asfáltico con la densidad BULK de la muestra; en la tabla 3 se puede referenciar los resultados obtenidos de los ensayos de estabilidad, flujo, vacíos con aire y vacíos de agregados con los criterios de aceptación según INVIAS artículo 450 tabla 450 -9 mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.

Tabla 3*Criterios de aceptación de una MDC19 según INVIAS Art. 450-9*

Características		Norma Ensayo INV	Mezclas densas, semidensas y gruesas			Mezcla de alto modulo
			Categoría de transito			
			NT1	NT2	NT3	
Compactación (golpes/cara)			50	75	75	75
Estabilidad mínima (N)			5000	7500	9000	15000
Flujo (mm)		E-748	2,0 - 4,0	2,0 – 4,0	2,0 – 3,5	2,0 – 3,0
Vacíos con aire (Va) (%)	Rodadura		3,0 – 5,0	3,0 – 5,0	4,0 – 6,0	NA
	Intermedia	E-736				
		E- 799	4,0 – 8,0	4,0 – 8,0	4,0 – 7,0	4,0 – 6,0
	Base		NA	5,0 – 8,0	5,0 – 8,0	4,0 – 6,0
Vacíos en los agregados minerales, mínimo (%)	T. Máx. 38mm		13,0	13,0	13,0	—
	T. Máx. 25mm	E-799	14,0	14,0	14,0	14,0
	T. Máx. 19mm		15,0	15,0	15,0	—
	T. Máx. 10mm		16,0	16,0	16,0	—

Fuente, Norma INVIAS Art. 450

Diseño metodológico

Enfoque

El enfoque que desarrollamos en la investigación propuesta es de comparar las diferencias entre una mezcla asfáltica convencional con una mezcla asfáltica convencional con incorporación de poliestireno expandido reciclado basadas en ensayos para determinar la granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentaje de vacíos bajo la especificación de mezclas asfálticas en caliente artículo 450.

Tipo

Investigación cuantitativa, se realizará ensayos de laboratorio bajo el criterio del artículo 450 del INVIAS para evaluar los cambios en la granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentaje de vacíos.

Variable dependiente

Incorporar los desechos del poliestireno expandido en las mezclas asfálticas para construcciones de pavimentos y comparar los cambios de los resultados.

Población y Muestra

El poliestireno expandido que se encuentra en nuestras calles, vías y playas como los desechos de construcciones y fábricas, este material será incorporado en una muestra de mezclas asfálticas en caliente tipo MDC19 que es el material de mayor uso en la producción de mezclas asfálticas.

Para el desarrollo de proyecto se establecieron 3 fases. En la fase 1 se realizaron los ensayos de granulometría, estabilidad, flujo, densidad y porcentaje de vacíos bajo el criterio de las especificaciones INVIAS artículo 450 mezclas asfálticas en caliente de gradación continua en la mezcla asfáltica convencional.

La fase 2 consistió en realizar ensayos de granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y porcentajes de vacíos según criterio de la especificación del INVIAS artículo 450 mezclas asfálticas en caliente de gradación continua en la mezcla asfáltica convencional con incorporación del poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 5%, 10% e 15%.

En la fase 3 se analizó las diferencias en los parámetros de granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK, y porcentajes de vacíos para determinar la funcionalidad en la construcción de pavimentos; según el criterio de las especificaciones INVIAS art. 450.

En la tabla 4. Se encuentran actividades realizadas, variables, equipo, materiales y normas utilizadas en el desarrollo del proyecto. En la tabla 5 se indican el número de ensayos a realizar por cada muestra.

Tabla 4*Objetivos, actividades, equipos, materiales y normas*

Objetivos específico	Actividades	Equipo	Materiales	Normas
Realizar ensayos de granulometría, densidad, estabilidad, flujo y porcentajes de vacíos según criterio de la especificación del INVIAS artículo 450 mezclas asfálticas en caliente de gradación continua en la mezcla asfáltica convencional.	Toma de muestra asfáltica	No aplica	MDC19 Recipientes	INVIAS E731
	Elaboración de ensayos:	Balanza con exactitud de 0,1%	MDC19 Recipientes	INVIAS E782
	Granulometría		Brocha	INVIAS E732
	Contenido de asfalto residual	Tamices	Cepillo	INVIAS E748
	Estabilidad y flujo	Horno de temperatura regulable	Probeta de 500ml	INVIAS E733
	Densidad BULK	Centrifuga	Gasolina	INVIAS E736
	Vacíos con aire	Estufa	Termómetro	INVIAS E799
	Vacíos en los agregados minerales.	Prensa Marshall	Detergente	INVIAS E736
			Briquetas	INVIAS E799
			Recipientes	

Continuación Tabla 4, Objetivos, actividades, equipos, materiales y normas

Realizar ensayos de granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK, gravedad específica máxima teórica y porcentajes de vacíos según criterio de la especificación del INVIAS artículo 450 mezclas asfálticas en caliente de gradación continua en la mezcla asfáltica convencional con incorporación del poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5%, 1% e 2%.	Los mismos ensayos del objetivo 1 incluyendo el poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5%, 1% y 2%	Los mismos equipos del objetivo 1 incluyendo el poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5%, 1% y 2%	Los mismos materiales del objetivo 1 incluyendo el poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5%, 1% y 2%	Especificación INVIAS artículo 450, INVIAS E731, INVIAS E782, INVIAS E732, INVIAS 748, INVIAS 733, INVIAS 736, INVIAS 799, INVIAS
Evaluar las diferencias de los parámetros de granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK, y porcentajes de vacíos para determinar la funcionalidad en la construcción de pavimentos según el criterio de las especificaciones INVIAS art. 450.	Informes y tablas de resultados	Computador	Microsoft office (Word, Excel) Calculadora Cuadernos	Especificación INVIAS artículo 450

Fuente, *El autor*

Tabla 5*Cantidad de ensayos a realizar*

Ensayos de laboratorio	Muestra patrón (unidad)	+ 0,5% incorporación de poliestireno expandido (unidad)	+ 1% incorporación de poliestireno expandido (unidad)	+ 2% incorporación de poliestireno expandido (unidad)
Granulometría INV E 782	1	1	1	1
Extracción INV E 732	1	1	1	1
Toma de briquetas de 4" INV E 748	4	4	4	4
Estabilidad mínima INV E 748	4	4	4	4
Flujo INV E 748	4	4	4	4
Vacíos con aire (%) INV E 799	4	4	4	4
Vacíos en los agregados minerales mínimo (%) INV E 799	4	4	4	4

Fuente, *El autor*

Desarrollo de la investigación

Muestra patrón:

Las mezclas densas en caliente son materiales producto de la combinación de agregados de triturados, con la arena de trituración o de río, cemento asfáltico y llenante mineral que es un material pasa tamiz No200.

La mezcla asfáltica se seleccionó de la planta de producción bajo el criterio de toma de muestras asfálticas bajo la norma INV E 731. El muestreo tiene la misma importancia que el ensayo se realizó con la mejor precaución para que la muestra obtenida tenga un resultado estimativo aceptable; en el muestreo se tuvo atención para evitar segregaciones y evitar la contaminación con otros materiales, la muestra de MDC19 se extrajo en recipientes metálicos del volcú de un vehículo transportador de seis zonas diferentes con una profundidad de 31cm luego se mezclaron estas porciones y se retiró 50 kilos de material para realizar los ensayos de la muestra patrón y las muestras con las incorporaciones de poliestireno expandido.

El material se transportó al laboratorio de materiales (JCT laboratorio de suelos y materiales S.A.S) de la ciudad de Pasto, luego se calentó la muestra a una temperatura de 150°C en un horno de temperatura regulable, para tener una mejor manejabilidad y muestrear el material necesario para determinar el contenido de asfalto residual de la muestra bajo la norma INV E 732.

En la figura 6 observamos la mezcla patrón en el molde del equipo centrifugo, se seleccionó 1616,5 gramos pesados en una balanza con exactitud de 0,1%. La MDC19 se vertió en el molde de la centrifuga y se colocó un papel filtro previamente pesado para evitar la pérdida de partículas finas, se selló herméticamente luego se fue vertiendo la gasolina en un volumen

medido en una probeta de 500ml al molde de la centrifuga donde está la muestra, al poner el equipo en marcha por medio de electricidad, el centrifugado retiro el cemento asfaltico. Se observa en la figura 7 el equipo centrifugo usado para retirar el cemento asfaltico de la muestra.

Figura 6

Muestra de mezcla asfáltica en el molde de la centrifuga



Fuente, *El autor*

Figura 7

Equipo centrifugo



Fuente, *El autor*

Tras extraer el cemento asfáltico, se retiró el molde de la centrifuga con el material y se vertió la mezcla en un recipiente, el material fino adherido al molde se retiró con una brocha, la muestra humedecida con la gasolina se secó en una estufa, el material sin humedad se dejó enfriar para luego ser pesado en la balanza, como se observa en la figura 8, se suma al peso de los 1521 gramos, los dos gramos del peso del papel filtro que corresponde a los finos de la muestra.

Figura 8

Muestra luego de extraer el cemento asfáltico



Fuente, *El autor*

Luego se lavó el material para retirar residuos de hidrocarburos por medio de detergente y agua, en este proceso se filtró el material lavado por un tamiz No.200 para no perder el material fino se agregó agua y se fue moviendo hasta que el agua que paso por el tamiz se observó limpia. El lavado del material se puede observar en la figura 9, ya retirado estas sustancias se secó a una temperatura de 110°C en un horno de temperatura regulable.

Figura 9

Muestra lavada para retirar residuos de hidrocarburos



Fuente, *El autor*

Luego de secar el material después del lavado, se determinó su distribución granulométrica de acuerdo a la norma INVIAS E782. Se ordenó la serie de tamices para mezclas asfálticas desde el tamiz de abertura mayor en este caso 3/4" luego 1/2", 3/8", No.4, No.10, No.40, No.80 y No.200 se vertió la muestra del recipiente a los moldes de tamices. Se tamizo manualmente tomando individualmente cada tamiz en una posición inclinada se golpeó con la palma de la mano con movimiento circular girando el tamiz y se repitió el procedimiento con la muestra en las diferentes series de tamices se limitó la cantidad de material en el tamiz para que todas las partículas pasen por la abertura del tamiz, se tamizo por un periodo suficiente hasta que se observó que no paso material por el tamiz, se fue pesando los retenidos en una balanza. El material fino que se adhiere al tamiz se retiró por medio de brocha y cepillo; se registró la masa del material retenido en los tamices; el material fino que se perdió en el lavado del material se referencio como pasa del tamiz No.200; en la figura 10 se observa el material retenido en el tamiz 1/2" y el pasa del tamiz 1/2".

Figura 10

Granulometría del material



Fuente, *El autor*

Para realizar los ensayos de estabilidad y flujo de acuerdo a la norma INV E 748 iniciamos calentando el material a una temperatura medida por termómetro de 135°C como se observa en la figura 11. Luego se mezcló y selecciono la muestra de unos 1250 gramos aproximadamente que se pesó y almaceno en un recipiente.

Figura 11

Toma de temperatura de la muestra de mezcla asfáltica.



Fuente, *El autor*

Se moldeó y compactó a peso en una distribución de 75 golpes por cara. Estas fueron moldeadas en un dispositivo para muestras cilíndricas que consta de un molde de diámetro interior de 101,6 mm y de altura de 76,2 mm que se asegura en un pedestal de compactación, se lubrica con ACPM y una brocha toda la superficie interior para evitar que el material se adhiera y se vertió unos 1250 gramos aproximadamente de MDC19; se golpeó dentro del molde para homogeneizar el material por medio de una espátula delgada de 1" con una periodicidad de 15 veces alrededor del perímetro del molde y 10 en el centro del molde. Se moldeó por medio de impacto con un martillo de compactación de 4536 gramos, para formar muestras cilíndricas como se observa en la figura 12 también se conocen como briquetas se realizó este procedimiento para elaborar 4 muestras.

Figura 12

Muestras de briquetas de MDC19 elaboradas



Fuente, El autor

Las briquetas se dejaron por un periodo de 24 horas para que endurecieran, luego se pesaron las 3 briquetas en una balanza se anotó el resultado como peso en el aire, luego se sumergieron en un tanque de almacenamiento con agua a una temperatura medida por termómetro de 25°C

se realizó el peso dentro del agua para determinar su volumen ese valor se anotó como peso en el agua. Luego se retiró la briqueta del tanque con unos guantes de caucho se secaron con una toalla en la superficie para determinar su peso saturado superficialmente seco se anotó su resultado y con estos datos se realiza los cálculos de vacíos con aire y vacíos en los agregados minerales de acuerdo a los ensayos para determinar su densidad BULK de acuerdo a INV E733 y análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente INV E 799 en la figura 13 se observa cuando realizamos el ensayo para determinar el volumen y densidad de la briquetas. Este ensayo consiste en determinar su masa y relacionarse con su volumen, el cual se determina por la fuerza de empuje que produce la briqueta dentro un volumen de agua cuya densidad es de $1\text{gr}/\text{cm}^3$ a una temperatura de 25°C .

Figura 13

Ensayo para determinar la densidad de las briquetas



Fuente, *El autor*

Tras determinar su densidad se almacena en un tanque con agua y un controlador de temperatura a una temperatura de 60°C o también conocido como baño María el cual trabaja por medio de un sistema eléctrico, se incorporan las briquetas con un intervalo de 5 minutos

cada briqueta dentro del tanque con agua por un periodo de 30 minutos, luego se retira la briqueta del agua con unos guantes de caucho, se seca la superficie, se instalan dentro de una mordaza que tienen dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50,8 mm, la mordaza inferior va sobre la base plana que tiene dos guías en varillas perpendiculares para la mordaza superior. Luego se instala el deformímetro graduado en una lectura inicial de 0 se aplica carga controlada con una rata de 50,8mm por minuto por medio de prensa Marshall hasta que falle la muestra y se determinó su estabilidad máxima y flujo, en la figura 14 se puede observar la prensa Marshall con las mordazas, deformímetro, prensa y medidor de estabilidad. Se registraron los valores de estabilidad y flujo para las 4 muestras cilíndricas.

Figura 14

Equipo Marshall



Fuente, *El autor*

Los ensayos evaluados para caracterizar los requerimientos según el artículo 450 son requeridos en la tabla 450 – 9, para evaluar las propiedades físicas de la mezcla asfáltica, la estabilidad mínima es la resistencia a la compresión – flexión que debe cumplir el material deberá ser mayor a los 9000N para una categoría de tránsito NT3, la de mayor cantidad de

cargas de vehículos de diseño, cumplirá con flujo entre 3mm a 5,3 mm refiriéndose a la ductilidad del material hasta su máximo valor de deflexión.

Muestras patrón con incorporaciones de poliestireno expandido reciclado al 0,5%, 1% y 2%

El poliestireno expandido reciclado utilizado se encontró en las calles y sitios de trabajo en la figura 15 podemos apreciar el material usado como portables para el transporte de alimentos y materiales de construcción. El poliestireno expandido reciclado usado en la investigación se cortó en trozos pequeños con un rallador para usarlo en partículas granulares manejable al mezclarse.

Figura 15

Poliestireno expandido reciclado utilizado en la investigación.



Fuente, *El autor*

En la figura 16, podemos apreciar de izquierda a derecha la mezcla densa en caliente de tamaño máximo de agregado de 19mm (MDC19) fabricada en la planta de la empresa

PANAVIAS, el poliestireno en fragmentos encontrado en las calles y el estado del poliestireno expandido reciclado luego de ser rallado.

Figura 16

Materiales utilizados en la investigación.



Fuente, *El autor*

El método utilizado para tener mejor manejabilidad del poliestireno expandido reciclado y que abarque más áreas al incorporar la mezcla asfáltica consiste en reducir la masa del poliestireno expandido reciclado para formar esferas con un rallador dando formas esféricas se aprecia en la figura 17. El poliestireno expandido es un material polimérico y espumado es utilizado en construcción de viviendas en el aislamiento de la temperatura y el sonido, la producción de embalaje de diversos artefactos y envases para comida son los sectores de mayor uso. El peso del ICOPOR es menor que el peso de la muestra, pero su volumen es mayor al de la muestra, en la figura 18 observamos como con tan solo 75 gramos se llenó la totalidad del recipiente.

Figura 17

Proceso de reducción del poliestireno expandido reciclado



Fuente, *El autor*

Figura 18

Muestra de volumen de poliestireno expandido reciclado utilizado



Fuente, *El autor*

Calentamos la MDC19 a una temperatura de 150°C luego pesamos aproximadamente 7500 gramos para luego seleccionar la muestra en un peso entre 1280gramos a 1617gramos para determinar el contenido de asfalto mediante centrifugado, el resto de material se calentó a una temperatura entre 135°C para seleccionar aproximadamente 4 muestras de 1250gramos para compactar y formar briquetas para ensayos de densidad BULK, estabilidad y flujo.

En la figura 19 observamos como a diferente porcentaje de incorporación de poliestireno expandido reciclado se observa la cantidad de distribución en la MDC19 a la izquierda con un contenido del 0,5% y a la derecha con un contenido de 1%. A mayor contenido la distribución de poliestireno expandido reciclado se observa con mayor frecuencia.

Figura 19

Diferencia de la distribución de poliestireno expandido reciclado usado en diferentes porcentajes.



Fuente, *El autor*

Observamos en la figura 20 que al incorporar poliestireno expandido reciclado se adhiere el material fino del agregado a las partículas más gruesas formando grumos.

Figura 20

Grumos hallados en la MDC



Fuente, *El autor*

La muestra seleccionada para la extracción cuantitativa según la norma INV E 732; se vierte en el molde del recipiente de la centrifuga luego pesamos e instalamos el papel filtro en el molde, colocamos la tapa del molde y se cierra herméticamente la centrifuga, vertimos la gasolina en volúmenes de 500ml en aproximadamente 7 lavadas pusimos el equipo en marcha, luego de retirar el cemento asfaltico por centrifugado.

La combinación de gasolina y poliestireno expandido crean un pegante que hace que las partículas finas se adhieran a la superficie del agregado grueso, A mayor contenido de poliestireno expandido reciclado la formación de grumos aumenta, con el 2% de incorporación la cantidad de grumos fue mayor, como se observa en la figura 21.

Figura 21

Grumos producto de la combinación de poliestireno con gasolina y agregado fino del material



Fuente, *El autor*

Luego secamos el material en una estufa para retirar los residuos de gasolina. Removimos los finos adheridos al papel filtro incorporándolos en la mezcla, luego secamos el papel filtro para pesar al igual que la mezcla y extraer el cemento asfáltico. Se anotaron los pesos, se lavó con detergente y agua y se dejó en el horno a una temperatura de 110°C este procedimiento se realizó para las tres diferentes incorporaciones de poliestireno expandido reciclado al 0,5%, 1% y 2%, luego de estar seca a peso constante se dejaron enfriar, para luego tamizar por la serie de tamices de mezclas asfálticas, $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No.4, No.10, No.40, No.80 y No.200, y se realizó los ensayos de granulométrica bajo los criterios de norma INV 782. Los grumos que se forman afectan la distribución granulométrica ya que los finos se incorporan dentro de la superficie de los granos más grandes y disminuye el porcentaje de pasa como se observa en la figura 22.

Se observa que la incorporación de poliestireno expandido reciclado aumenta el porcentaje de agregado grueso eso se debe a que los agregados finos se adhieren al poliestireno expandido y a la superficie de los agregados gruesos.

Figura 22

Granulometría del material



Fuente, *El autor*

En la figura 23 se aprecia cómo se adhiere el poliestireno expandido reciclado a la superficie de las partículas gruesas formando grumos que hacen que la medición de la granulometría se afecte ya que aumenta su volumen y que, al medir en los tamices, tengan una medición mayor y la cantidad de finos disminuya al estar adheridas a la superficie de las partículas gruesas. Podemos apreciar la adherencia del poliestireno expandido reciclado y las partículas finas en la superficie de los agregados gruesos en las figuras 24 y 25. Para realizar trabajos con el poliestireno expandido reciclado es indispensable el uso de tapabocas ya que el producto al mezclarse con la MDC19 a temperaturas mayores de su punto de ablandamiento destila sustancias de olores desagradables y gases nocivos.

Figura 23

Adherencia de poliestireno en el área del agregado grueso.



Fuente, *El autor*

Figura 24

Poliestireno adherido a las áreas del agregado grueso



Fuente, *El autor*

Figura 25

Poliestireno expandido reciclado adherido a la superficie del agregado



Fuente, *El autor*

Luego de determinar la granulometría de las tres muestras con incorporaciones de 0,5%, 1% y 2% se procedió a calentar las muestras para ensayos de toma de briquetas a una temperatura de 135°C se pesaron en recipientes metálicos para luego verter en los moldes cilíndricos según la norma E 748 resistencia de mezcla asfáltica en caliente empleando el aparato Marshall para determinar la densidad, estabilidad y flujo, luego se compactaron con una energía de compactación de 75 golpes por cara, por medio de un martillo de 4536 gramos que cae a 457,2 mm se fabricaron 4 briquetas por cada incorporación de poliestireno expandido reciclado para un total de 12 briquetas, estas se dejaron endurecer por un periodo de 24 horas para luego pesar en aire, se sumergieron en agua para medir su volumen, se tomó el peso saturados superficialmente seco todo de acuerdo a la norma INV E 733 gravedad específica BULK y densidad mezclas asfálticas compactadas no absorbentes empleando especímenes saturados y superficie seca, se toman los datos de los resultados y se calculan

los vacíos de aire y vacíos en los agregados minerales de acuerdo a la norma INV E 799 análisis volumétricos de mezclas asfálticas compactadas en caliente.

Luego se sumergieron en agua en un tanque o baño María a una temperatura de 60°C por un periodo de 30 minutos puestas a intervalos de diferencia cada una de 5 minutos, luego se secaron se instalaron en la mordaza del equipo Marshall se instaló el deformímetro y se aplicó carga gradual hasta el punto de falla de la briqueta de acuerdo a la norma INV E 748 resistencia de mezcla asfáltica en caliente empleando el aparato Marshall y se registraron los resultados de los ensayos en la figura 26 se muestra los resultados de estabilidad y flujo para una de las muestras cilíndricas de la muestra patrón más incorporación del 1%.

Figura 26

Resultados de estabilidad y flujo.



Fuente, *El autor*

Tras los ensayos de laboratorio bajo las especificaciones INVIAS artículo 450, que fueron la granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo, densidad BULK y contenido de vacíos, se calculan los resultados para determinar las propiedades de la muestra patrón y las diferencias con las incorporaciones al 0,5%, 1% y 2% del peso de la muestra.

La mezcla densa en caliente utilizada en la investigación fue producida por la empresa PANAVIAS, su fuente y distribución de agregado es mezcla 17% de triturado pétreo de $\frac{3}{4}$ " y material de río $\frac{1}{2}$ " en porcentaje 50-50 del río Guáitara y Téllez más 11% de triturado pétreo de $\frac{1}{2}$ " del río Guáitara y 72% triturado pétreo de $\frac{1}{2}$ " del río Téllez este agregado se mezcló con cemento asfáltico 60-70, se incluye la fórmula de trabajo de la MDC19 de la empresa PANAVIAS en el anexo 1; donde podemos apreciar los resultados de los ensayos de laboratorio de la muestra patrón y los criterios que rigen para la producción del material con respecto a su granulometría, contenido de asfalto, estabilidad, flujo y contenido de vacíos .

Análisis de resultados

Muestra Patrón

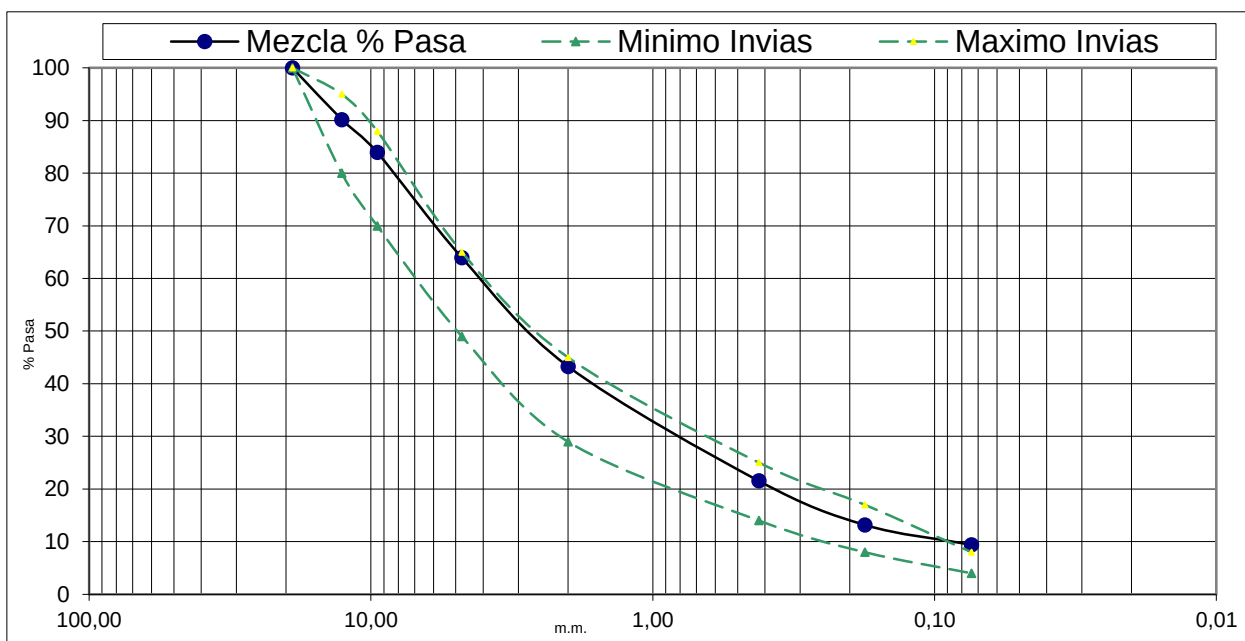
A continuación, se presenta los resultados de la muestra patrón, con relación a las variables:

Granulometría:

De acuerdo a los resultados de la muestra patrón, todos los tamices cumplen con la especificación técnica según tabla 450-5 del artículo 450 del INVIAS, con relación al porcentaje que pasa, excepto en el tamiz No. 200 que se encuentra por fuera del rango. Por otra parte, según la fórmula de trabajo de diseño de la mezcla asfáltica no cumple en los tamices 3/8", No. 4, No. 40 y No. 200 todos por mayor porcentaje que pasa. (Ver figura 27)

Figura 27

Franja granulométrica muestra patrón.



Fuente, *El autor*

Contenido de asfalto:

Con un resultado de 5,8% no cumple criterio del artículo 450 ni fórmula de trabajo por estar por encima en 0,4% del porcentaje de contenido de asfalto del diseño.

Estabilidad:

La mezcla arrojó un valor de estabilidad de 105% mayor que el valor de estabilidad de acuerdo a la especificación INVIAS, cumplió y en el caso de la fórmula de trabajo el valor de la estabilidad de la mezcla es menor con un porcentaje de 70,89%, no cumplió.

Flujo:

La mezcla arrojó un resultado de 3,6 mm, no cumplió según la tabla 450 – 9 criterios para el diseño preliminar de la mezcla en caliente de gradación continua, del artículo 450 de la especificación INVIAS; ni con la fórmula de trabajo de la mezcla al estar 0,1mm por encima del valor máximo permitido.

Densidad BULK:

Con respecto al ensayo de gravedad específica BULK la mezcla arrojó 2,346 gramos/cm³, con este resultado compararemos las densidades BULK de las incorporaciones.

Porcentajes de vacíos:

% de vacíos con aire tiene un valor de 4,6%, cumplió según la tabla 450 – 9 criterios para el diseño del artículo 450 de la especificación INVIAS y con respecto a la fórmula de trabajo también cumplió encontrándose en el rango establecido.

Vacíos en agregados:

Con un valor de 18% cumplió con el rango establecido en la especificación 450 INVIAS y fórmula de trabajo. Se adjunta informe de resultados en el informe apéndice A, resultados de la muestra patrón.

Apéndice A

Resultados de ensayos de muestra patrón.

Mezcla asfaltica con incorporacion de poliestireno expandido																				
CONTROL DE MEZCLA ASFALTICA																				
Proyecto :		Mezcla asfaltica con incorporacion de poliestireno expandido																		
Cliente :		Crhistian Orlando Marmolejo Casas																		
Tipo de Mezcla		MDC19											Codigo		001		Patron			
Localización		Empresa		Tomada		Temp ° C		Hora Toma		Peso Esp Agregados			P.E. Asfalto			Fecha Toma				
Planta Pilcuan		Panavias		Volco		150		9:30:00		2,694			1,017			15-ago-23				
Briqueta	%	Peso Grs		Vol	Densidad bulk		Volumen % Total			Vacios %			P.Unit.	Estabilidad				Flujo %		
#	Asf.	Aire	Agua	cms.	Actual	Teoric.	Asf.	Agr.	Vacio	Agreg.	Llenos	Total	Lb/p3	Lect.(Kn)	Med.	Lbs.	N	pulg/100	m.m.	
1	5,8	1250,0	720,8	529,2	2,362									9,4	9400,0	2113,2	9400	0,96		
2	5,8	1250,5	732,9	517,6	2,416									10,1	10100,0	2270,6	10100	0,87		
3	5,8	1246,7	706,1	540,6	2,306									9,2	9200,0	2068,2	9200	0,91		
4	5,8	1247,4	705,3	542,1	2,301									9,1	9100,0	2045,8	9100	0,92		
	5,8	Promedio			2,346	2,459	13,3	82,1	4,6	17,9	74,4	4,6	146,5	9,5	9450,0	2124,4	9450	0,91	3,6	
GRANULOMETRIA													EXTRACCION DE ASFALTO							
TAMIZ		Peso	%	%Ret.	%	Especificación			Formula de trabajo			Peso Mezcla		Peso Agregados		% de Asfalto				
#	m.m.	Ret.	Rte.	Acum.	Pasa	minimo	maximo	Cumple	minimo	maximo	Cumple	1616,5		1523,0		5,8				
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100	SI	100,0	100,0	SI	CHEQUEO CON ESPECIFICACIONES								
1/2"	12,7	149,5	9,8	9,8	90,2	80	95	SI	84,3	90,3	SI									
3/8"	9,51	95,0	6,2	16,1	83,9	70	88	SI	73,9	79,9	NO									
No. 4	4,76	304,5	20,0	36,0	64,0	49	65	SI	51,7	57,7	NO									
No.10	2,00	314,2	20,6	56,7	43,3	29	45	SI	34,3	40,3	SI									
No 40	0,420	331,5	21,8	78,4	21,6	14	25	SI	13,3	19,3	NO	Ensayo		INVIAS	Form. Trab		Mezcla			
No.80	0,177	127,0	8,3	86,8	13,2	8	17	SI	10,0	13,0	SI	% Asfalto Diseño		(+/-0.3)	-0,3	0,3	5,8			
No.200	0,074	57,5	3,8	90,6	9,4	4	8	NO	2,8	8,8	NO	Estab Mín(N)		9000	13300		9450			
												Flujo(m.m.)		2 a 3,5	2,5	3,5	3,6			
												Vacios con aire(%)		4 a 6	4,0	6,0	4,6			
												Vacios en agregado(%)		> 15	> 15	18				
													Observaciones							
													Ensayo		Cumple					
															con Invias		Form.Trab			
													Granulometria		NO		NO			
													% de Asfalto		NO		NO			
													Estab Min(N)		SI		NO			
													Flujo(m.m.)		NO		NO			
													Vacios total(%)		SI		SI			
													Vac.en agregado		SI		SI			

chistianmarmolejo@usantotomas.edu.co

Nota. Se resalta en color verde los parámetros que cumplen los criterios según chequeo con especificaciones; Fuente El autor.

Muestra Patrón + 0,5% de poliestireno expandido reciclado.

A continuación, se presenta los resultados de la muestra patrón + 0,5% de poliestireno expandido reciclado, con relación a las variables:

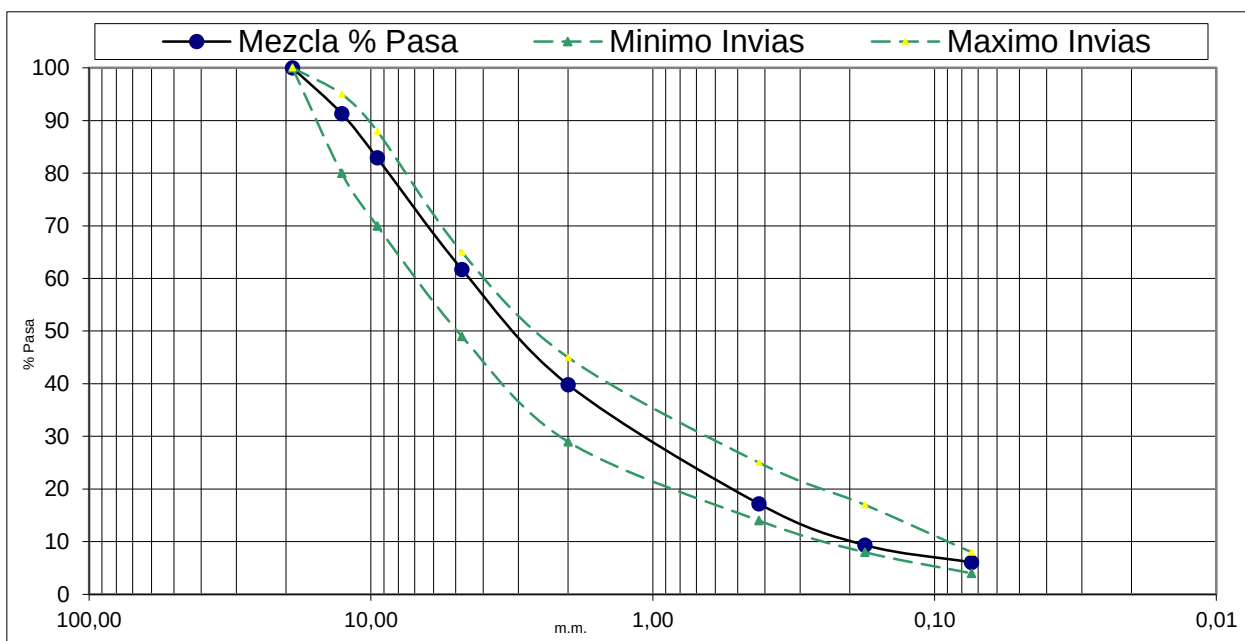
Granulometría:

De acuerdo a los resultados de la muestra patrón + 0,5% de poliestireno expandido reciclado, todos los tamices cumplen con la especificación técnica según tabla 450-5 del artículo 450 del INVIAS, con relación al porcentaje que pasa. (Ver figura 28)

Por otra parte, cumplió el porcentaje que pasa en todos los tamices según la fórmula de trabajo de diseño de la mezcla asfáltica.

Figura 28

Franja granulométrica muestra patrón + 0,5% de incorporación de poliestireno expandido reciclado.



Fuente, *El autor*

Contenido de asfalto:

Con un resultado de 6,1% es mayor por 0,7% del estipulado en la fórmula de trabajo y mayor por 0,3% con respecto al contenido de asfalto de la muestra patrón, no cumplió.

Estabilidad:

La estabilidad arrojó un valor de 119,1% mayor que el valor de estabilidad de acuerdo a la especificación INVIAS, cumplió y en el caso de la fórmula de trabajo el valor de la estabilidad de la mezcla es menor con un porcentaje de 80,6%, no cumplió.

Flujo:

La mezcla arrojó un resultado de 4 mm, no cumplió según la tabla 450 – 9, del artículo 450 de la especificación INVIAS ni con la fórmula de trabajo de la mezcla al estar 0,5mm por encima del valor máximo permitido.

Densidad BULK:

Con respecto al ensayo de gravedad específica BULK la mezcla arrojó 2,301 gramos/cm³; equivalente a 98,08% con respecto a la densidad de la muestra patrón.

Porcentajes de vacíos:

% Vacíos con aire, tiene un valor de 6%, cumplió según la tabla 450 – 9 criterios para el diseño del artículo 450 de la especificación INVIAS y con respecto a la fórmula de trabajo también cumplió encontrándose en el rango establecido.

Vacíos en agregados:

Con un valor de 20% cumplió con el rango establecido en la especificación 450 INVIAS y fórmula de trabajo. Se adjunta informe de resultados en el informe apéndice B, resultados de la muestra patrón + 0,5% de incorporación de poliestireno expandido reciclado.

Apéndice B

Resultado de ensayos muestra patrón + 0,5% de incorporación de poliestireno expandido.

Mezcla asfáltica con incorporación de poliestireno expandido																					
CONTROL DE MEZCLA ASFALTICA																					
Proyecto :		Mezcla asfáltica con incorporación de poliestireno expandido																			
Cliente :		Christian Orlando Marmolejo Casas																			
Tipo de Mezcla		MDC19												Codigo		002		Patron + 0,5%			
Localización		Empresa		Tomada		Temp ° C		Hora Toma		Peso Esp Agregados		P.E. Asfalto		Fecha Toma							
Planta Pilcuan		Panavias		Planta		150		9:30:00		2,694		1,017		15-ago-23							
Briqueta		%		Peso Grs		Vol		Densidad bulk		Volumen % Total		Vacios %		P.Unit.		Estabilidad		Flujo %			
#	Asf.	Aire	Agua	cms.	Actual	Teoric.	Asf.	Agr.	Vacio	Agreg.	Llenos	Total	Lb/p3	Lect.(Kn)	Med.	Lbs.	N	pulg/100	m.m.		
1	6,1	1247,0	728,4	518,6	2,405									11,3	11300,0	2540,3	11300	1,02			
2	6,1	1240,0	690,9	549,1	2,258									10,3	10260,0	2306,5	10260	1,01			
3	6,1	1243,0	694,9	548,1	2,268									10,8	10820,0	2432,4	10820	1,04			
4	6,1	1242,0	695,7	546,3	2,273									10,5	10500,0	2360,5	10500	1,03			
	6,1	Promedio			2,301	2,448	13,8	80,2	6,0	19,8	69,7	6,0	143,7	10,7	10720,0	2410,0	10720	1,02	4,0		
GRANULOMETRIA										EXTRACCION DE ASFALTO											
TAMIZ		Peso	%	%Ret.	%	Especificación			F.Trab			Peso Mezcla		Peso Agregados		% de Asfalto					
#	m.m.	Ret.	Rte.	Acum.	Pasa	minimo	maximo	Cumple	minimo	maximo	Cumple	1616,5		1518,0		6,1					
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100	SI	100,0	100,0	SI	CHEQUEO CON ESPECIFICACIONES									
1/2"	12,7	132,0	8,7	8,7	91,3	80	95	SI	84,3	90,3	SI										
3/8"	9,51	127,5	8,4	17,1	82,9	70	88	SI	73,9	79,9	SI										
No. 4	4,76	321,5	21,2	38,3	61,7	49	65	SI	51,7	57,7	SI										
No.10	2,00	332,5	21,9	60,2	39,8	29	45	SI	34,3	40,3	SI										
No.40	0,420	344,0	22,7	82,8	17,2	14	25	SI	13,3	19,3	SI	Ensayo		INVIAS		Form. Trab		Mezcla			
No.80	0,177	119,0	7,8	90,7	9,3	8	17	SI	10,0	13,0	SI	% Asfalto Diseño		(+/-0.3)		-0,3		0,3			
No.200	0,074	50,0	3,3	94,0	6,0	4	8	SI	2,8	8,8	SI	Estab Mín(N)		9000		13300		10720			
												Flujo(m.m.)		2 a 3,5		2,5		3,5		4,0	
												Vacios con aire(%)		4 a 6		4,0		6,0		6,0	
												Vacios en agregado(%)		> 15		> 15		20			
												Observaciones									
												Ensayo		Cumple							
														con Invias		Form.Trab					
												Granulometria		SI		SI					
												% de Asfalto		NO		NO					
												Estab Min(N)		SI		NO					
												Flujo(m.m.)		NO		NO					
												Vacios total(%)		SI		SI					
												Vac.en agregado		SI		SI					
												CHRISTIAN ORLANDO MARMOLEJO CASAS									

Nota. Se resalta en color verde los parámetros que cumplen los criterios según chequeo con especificaciones; Fuente El autor.

Muestra Patrón + 1% de poliestireno expandido reciclado.

A continuación, se presenta los resultados de la muestra patrón + 1% de poliestireno expandido reciclado, con relación a las variables:

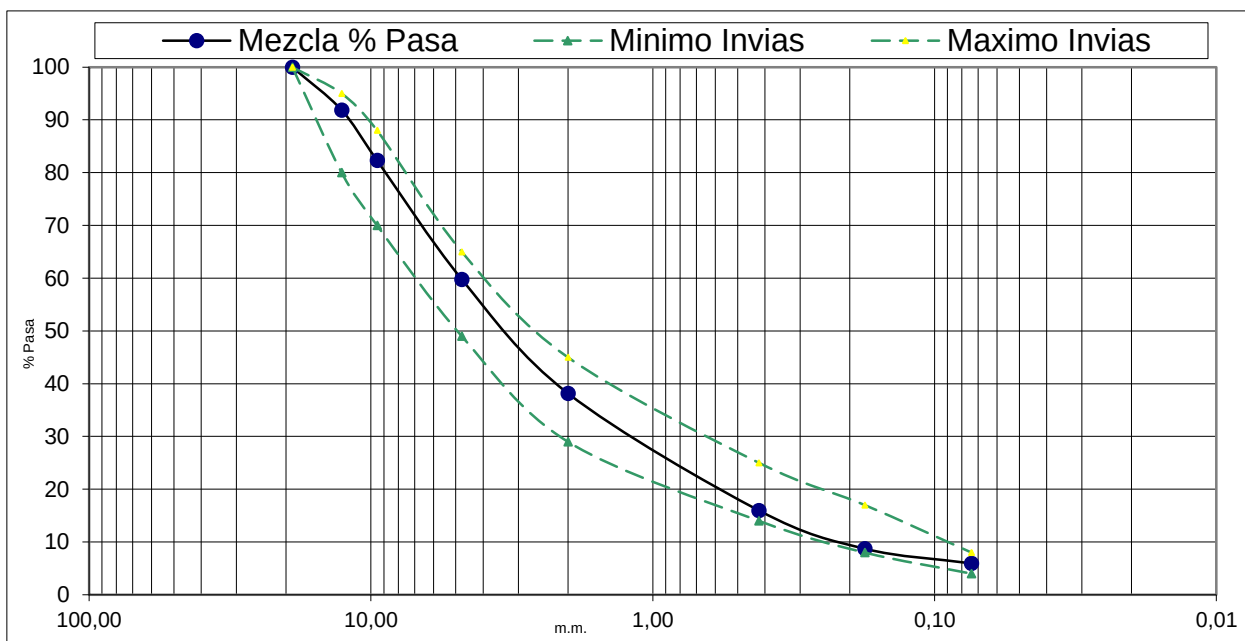
Granulometría:

De acuerdo a los resultados de la de la muestra patrón + 1% de poliestireno expandido reciclado, todos los tamices cumplen con la especificación técnica según tabla 450-5 del artículo 450 del INVIAS, con relación al porcentaje que pasa. (Ver figura 29)

Por otra parte, cumplió el porcentaje que pasa en todos los tamices según la fórmula de trabajo de diseño de la mezcla asfáltica.

Figura 29

Franja granulométrica muestra patrón + 1% de poliestireno expandido reciclado.



Fuente, *El autor*

Contenido de asfalto:

Con un resultado de 6,6% es mayor por 1,2% del estipulado en la fórmula de trabajo y mayor por 0,8% con respecto al contenido de asfalto de la muestra patrón; no cumplió.

Estabilidad:

La mezcla arrojó un valor de estabilidad de 152,74% mayor que el valor de estabilidad de acuerdo a la especificación INVIAS, cumplió y en el caso de la fórmula de trabajo el valor de la estabilidad de la mezcla es mayor con un porcentaje de 103,4%, cumpliendo con el criterio.

Flujo:

La mezcla arrojó un resultado de 4,4 mm, no cumplió según la tabla 450 – 9, del artículo 450 de la especificación INVIAS ni con la fórmula de trabajo al estar 0,9 mm mayor del valor máximo del criterio.

Densidad BULK:

Con respecto al ensayo de gravedad específica BULK la mezcla arrojó 2,252 gramos/cm³, equivalente a 95,99% con respecto a la densidad de la muestra patrón.

Porcentajes de vacíos:

% Vacíos con aire, tiene un valor de 7,4%, no cumplió según la tabla 450 – 9 criterios para el diseño del artículo 450 de la especificación INVIAS y con respecto a la fórmula de trabajo no cumplió al estar 1,4% por encima del valor máximo permitido.

Vacíos en agregados:

Con un valor de 22% cumplió con el rango establecido en la especificación 450 INVIAS y fórmula de trabajo. Se adjunta informe de resultados en el informe apéndice C, resultados de la muestra patrón + 1% de incorporación de poliestireno expandido reciclado.

Apéndice C

Resultado de ensayos muestra patrón +1% de incorporación de poliestireno expandido.

Mezcla asfaltica con incorporacion de poliestireno expandido																			
CONTROL DE MEZCLA ASFALTICA																			
Proyecto :		Mezcla asfaltica con incorporacion de poliestireno expandido																	
Cliente :		Crhistian Orlando Marmolejo Casas																	
Tipo de Mezcla		MDC19												Codigo		003		Patron + 1%	
Localización		Empresa		Tomada		Temp ° C		Hora Toma		Peso Esp Agregados				P.E. Asfalto		Fecha Toma			
Planta Pilcuan		Panavias		Planta		150		9:30:00		2,694				1,017		15-ago-23			
Briqueta	%	Peso Grs		Vol	Densidad bulk		Volumen % Total			Vacios %			P.Unit.	Estabilidad				Flujo %	
#	Asf.	Aire	Agua	cms.	Actual	Teoric.	Asf.	Agr.	Vacio	Agreg.	Llenos	Total	Lb/p3	Lect.(Kn)	Med.	Lbs.	N	pulg/100	m.m.
1	6,6	1244,0	702,9	541,1	2,299									14,0	13980,0	3142,8	13980	1,09	
2	6,6	1244,0	690,9	553,1	2,249									13,7	13670,0	3073,1	13670	1,18	
3	6,6	1241,0	679,4	561,6	2,210									13,6	13640,0	3066,4	13640	1,11	
4	6,6	1245,0	691,5	553,5	2,249									13,7	13700,0	3079,9	13700	1,10	
	6,6	Promedio			2,252	2,431	14,5	78,1	7,4	21,9	66,3	7,4	140,6	13,7	13747,5	3090,6	13747	1,12	4,4
GRANULOMETRIA													EXTRACCION DE ASFALTO						
TAMIZ		Peso	%	%Ret.	%	Especificación			F.Trab			Peso Mezcla		Peso Agregados		% de Asfalto			
#	m.m.	Ret.	Rte.	Acum.	Pasa	minimo	maximo	Cumple	minimo	maximo	Cumple	1616,5		1510,5		6,6			
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100	SI	100,0	100,0	SI	CHEQUEO CON ESPECIFICACIONES							
1/2"	12,7	123,0	8,1	8,1	91,9	80	95	SI	84,3	90,3	SI								
3/8"	9,51	144,0	9,5	17,7	82,3	70	88	SI	73,9	79,9	SI								
No. 4	4,76	340,5	22,5	40,2	59,8	49	65	SI	51,7	57,7	SI								
No.10	2,00	326,5	21,6	61,8	38,2	29	45	SI	34,3	40,3	SI	Ensayo	INVIAS	Form. Trab		Mezcla			
No 40	0,420	335,5	22,2	84,0	16,0	14	25	SI	13,3	19,3	SI	% Asfalto Diseño	(+/-0.3)	-0,3	0,3	6,6			
No.80	0,177	109,5	7,2	91,3	8,7	8	17	SI	10,0	13,0	SI	Estab Min(N)	9000	13300		13748			
No.200	0,074	42,0	2,8	94,1	5,9	4	8	SI	2,8	8,8	SI	Flujo(m.m.)	2 a 3,5	2,5	3,5	4,4			
												Vacios con aire(%)	4 a 6	4,0	6,0	7,4			
												Vacios en agregado(%)	> 15	> 15		22			
													Observaciones						
Ensayo		Cumple																	
		con Invias Form.Trab																	
Granulometria		SI																	
% de Asfalto		NO																	
Estab Min(N)		SI																	
Flujo(m.m.)		NO																	
Vacios total(%)		NO																	
Vac,en agregado		SI																	
CRHISTIAN ORLANDO MARMOLEJO CASAS																			

christianmarmolejo@usantotomas.edu.co

Nota. Se resalta en color verde los parámetros que cumplen los criterios según chequeo con especificaciones; Fuente El autor.

Muestra Patrón + 2% de poliestireno expandido reciclado.

A continuación, se presenta los resultados de la muestra patrón + 2% de poliestireno expandido reciclado, con relación a las variables:

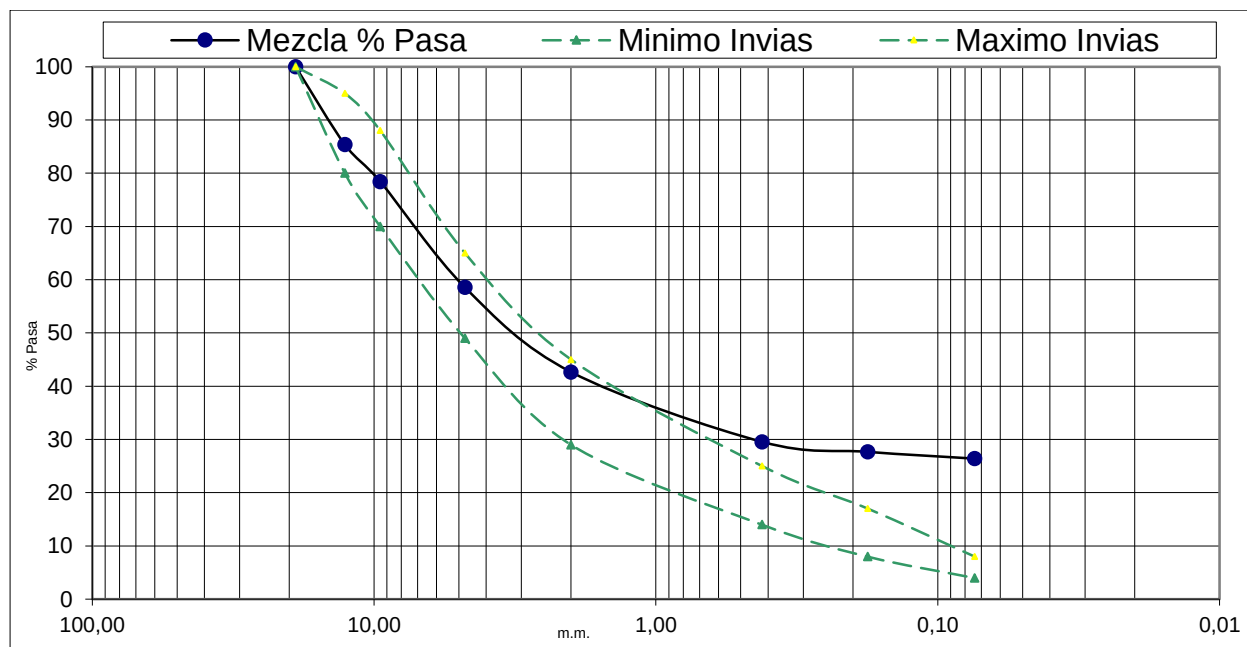
Granulometría:

De acuerdo a los resultados de la muestra patrón, en la mayoría de los tamices cumplen con la especificación técnica según tabla 450-5 del artículo 450 del INVIAS, con relación al porcentaje que pasa, excepto en los tamices No. 40, No. 80 y No. 200 que se encuentra por fuera del rango. (Ver figura 30)

Por otra parte, según la fórmula de trabajo de diseño de la mezcla asfáltica no cumple en los tamices No. 40, No. 80 y No. 200 todos por mayor porcentaje que pasa.

Figura 30

Franja granulométrica muestra patrón + 2% de poliestireno expandido reciclado.



Fuente, *El autor*

Contenido de asfalto:

Con un resultado de 5,4% cumple con lo estipulado en la fórmula de trabajo

Estabilidad:

La mezcla arrojó un valor de estabilidad de 75,07% menor que el valor de estabilidad de acuerdo a la especificación INVIAS, no cumplió y en el caso de la fórmula de trabajo el valor de la estabilidad de la mezcla es menor con un porcentaje de 50,80%, no cumplió.

Flujo:

La mezcla arrojó un resultado de 4,7 mm, no cumplió según la tabla 450 – 9 del artículo 450 de la especificación INVIAS; ni con la fórmula de trabajo la mezcla al estar 1,2mm por encima del valor máximo permitido.

Densidad BULK:

Con respecto al ensayo de gravedad específica BULK la mezcla arrojó 2,162 gramos/cm³, equivalente a 92,15% con respecto a la densidad de la muestra patrón.

Porcentajes de vacíos:

% Vacíos con aire, tiene un valor de 12,7%, no cumplió según la tabla 450 – 9 criterios para el diseño del artículo 450 de la especificación INVIAS y con respecto a la fórmula de trabajo no cumplió al estar 6,7% mayor a lo máximo permitido.

Vacíos en agregados:

Con un valor de 24% cumplió con el rango establecido en la especificación 450 INVIAS y fórmula de trabajo. Se adjunta informe de resultados en el informe apéndice D, resultados de la muestra patrón + 2% de incorporación de poliestireno expandido reciclado.

Apéndice D

Resultados de ensayos muestra patrón +2% de incorporación de poliestireno expandido.

Mezcla asfáltica con incorporación de poliestireno expandido																			
CONTROL DE MEZCLA ASFALTICA																			
Proyecto :		Mezcla asfáltica con incorporacion de poliestireno expandido																	
Cliente :		Crhistian Orlando Marmolejo Casas																	
Tipo de Mezcla		MDC19												Codigo		004		Patron + 2%	
Localización		Empresa		Tomada		Temp ° C		Hora Toma		Peso Esp Agregados		P.E. Asfalto		Fecha Toma					
Planta Pilcuan		Panavias		Planta		150		9:30:00		2,694		1,017		15-ago-23					
Briqueta	%	Peso Grs		Vol	Densidad bulk		Volumen % Total			Vacios %			P.Unit.	Estabilidad				Flujo %	
#	Asf.	Aire	Agua	cms.	Actual	Teoric.	Asf.	Agr.	Vacio	Agreg.	Llenos	Total	Lb/p3	Lect.(Kn)	Med.	Lbs.	N	pulg/100	m.m.
1	5,4	1238,1	665,4	572,7	2,162									6,84	6840,0	1537,7	6840	1,17	
2	5,4	1231,5	670,9	560,6	2,197									6,80	6800,0	1528,7	6800	1,16	
3	5,4	1232,2	655,4	576,8	2,136									6,79	6790,0	1526,5	6790	1,21	
4	5,4	1234,0	661,2	572,8	2,154									6,6	6600,0	1483,7	6600	1,24	
	5,4	Promedio			2,162	2,476	11,4	76,0	12,7	24,0	47,3	12,7	135,0	6,8	6757,5	1519,1	6757	1,19	4,7
GRANULOMETRIA												EXTRACCION DE ASFALTO							
TAMIZ		Peso	%	%Ret.	%	Especificación			F.Trab			Peso Mezcla		Peso Agregados		% de Asfalto			
#	m.m.	Ret.	Rte.	Acum.	Pasa	minimo	maximo	Cumple	minimo	maximo	Cumple	1289,5		1220,5		5,4			
3/4"	19,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100	100	SI	100,0	100,0	SI	CHEQUEO CON ESPECIFICACIONES							
1/2"	12,7	178,5	14,6	14,6	85,4	80	95	SI	84,3	90,3	SI								
3/8"	9,51	85,0	7,0	21,6	78,4	70	88	SI	73,9	79,9	SI								
No. 4	4,76	242,5	19,9	41,5	58,5	49	65	SI	51,7	57,7	SI								
No.10	2,00	194,0	15,9	57,4	42,6	29	45	SI	34,3	40,3	SI								
No 40	0,420	160,0	13,1	70,5	29,5	14	25	NO	13,3	19,3	NO	Ensayo		INVIAS	Form. Trab		Mezcla		
No.80	0,177	23,0	1,9	72,3	27,7	8	17	NO	10,0	13,0	NO	% Asfalto Diseño		(+/-0.3)	-0,3	0,3	5,4		
No.200	0,074	15,5	1,3	73,6	26,4	4	8	NO	2,8	8,8	NO	Estab Min(N)		9000	13300		6758		
												Flujo(m.m.)		2 a 3,5	2,5	3,5	4,7		
												Vacios con aire(%)		4 a 6	4,0	6,0	12,7		
												Vacios en agregado(%)		> 15	> 15		24,0		
														Observaciones					
Ensayo		Cumple																	
		con Invias Form.Trab																	
Granulometria		NO NO																	
% de Asfalto		SI SI																	
Estab Min(N)		NO NO																	
Flujo(m.m.)		NO NO																	
Vacios total(%)		NO NO																	
Vac,en agregado		SI SI																	
CHRISTIAN ORLANDO MARMOLEJO CASAS																			

crhistianmarmolejo@usantotomas.edu.co

Nota. Se resalta en color verde los parámetros que cumplen los criterios según chequeo con especificaciones; Fuente El autor

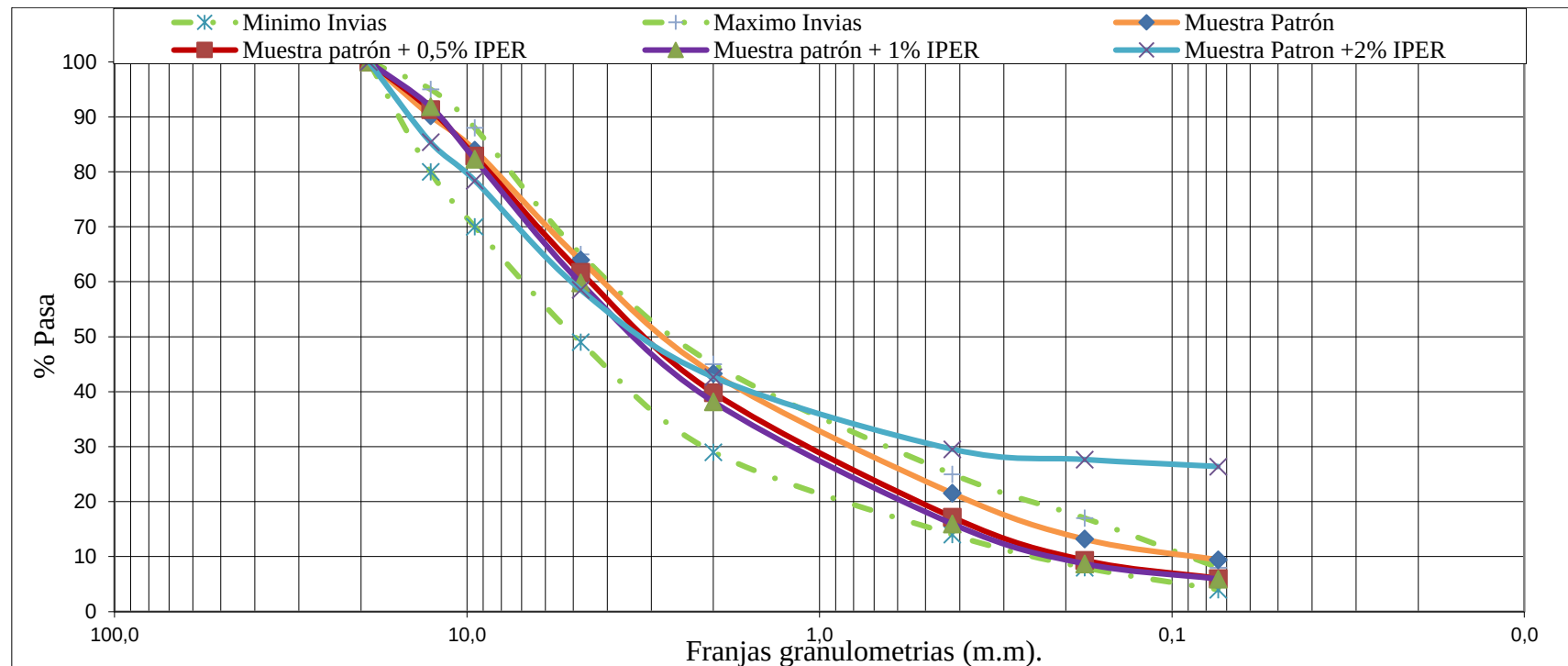
Comparación de resultados de los parámetros de la mezcla con la incorporación de los porcentajes de 0,5%, 1% y 2% de poliestireno expandido reciclado.

Granulometría:

En la figura 31 se observan los resultados de las granulometrías de las diferentes muestras.

Figura 31

Graficas de las franjas granulométricas de la muestra patrón y sus incorporaciones de poliestireno expandido reciclado (IPER)



Fuente, El Autor

De acuerdo a los resultados de las franjas granulométricas se observa una mejora de la granulometría de la muestra patrón al incorporar poliestireno expandido reciclado al 0,5% y 1% ya que disminuye el porcentaje que pasa en los tamices 3/8", No.4, No.40, No.80 y No.200.

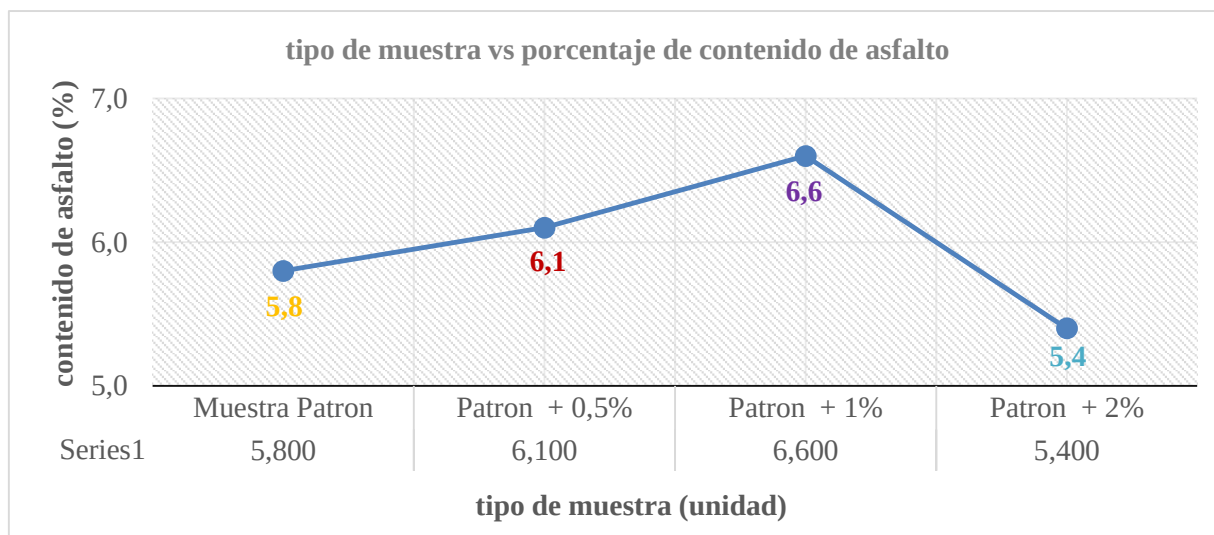
Al incorporar poliestireno expandido reciclado al 2% la franja granulometría incrementa su porcentaje que pasa tanto así que no cumplió en los tamices No.40, No.80 y No.200.

Contenido de asfalto:

En el porcentaje de contenido de asfalto se puede apreciar de acuerdo a la figura 32 el incremento de incorporación de poliestireno expandido reciclado al 0,5% y 1% incrementaron el contenido de asfalto al 6,1% y 6,6%, pero con la dosificación al 2% de poliestireno expandido reciclado dio un resultado de 5,4%, la incorporación de poliestireno expandido reciclado al 0,5% y 1% incrementan el contenido de asfalto y con la incorporación de poliestireno expandido reciclado al 2% disminuyó en 0,4% con respecto al resultado de la muestra patrón.

Figura 32

Grafica tipo de muestra vs porcentaje de contenido de asfalto.



Fuente, *El autor*

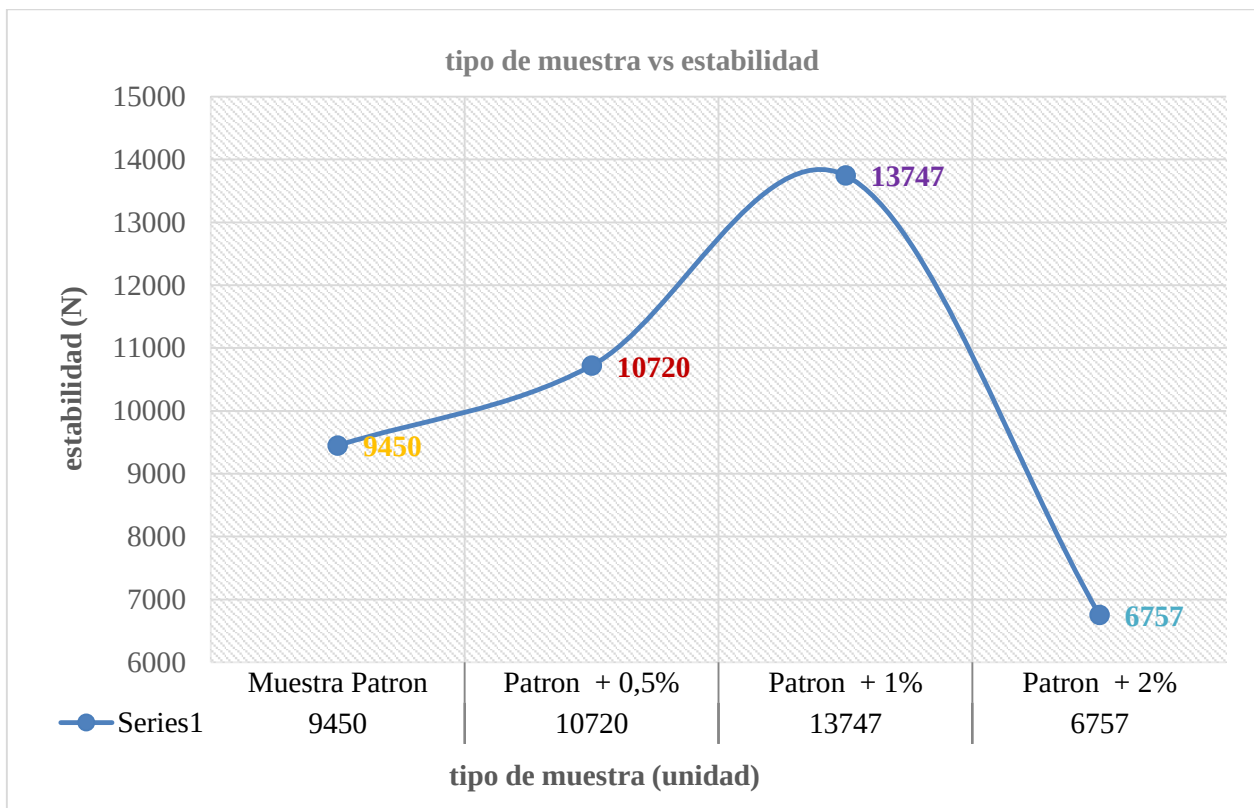
El contenido de asfalto aumenta con incorporaciones de poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5% hasta 1% y disminuye con el 2% de incorporación de poliestireno expandido reciclado de acuerdo al peso de la muestra.

Estabilidad:

En la figura 33 se puede apreciar las estabildades, se observa un incremento con los porcentajes de incorporación del poliestireno expandido reciclado; aumento de 9450N a 10720N con el 0,5 % y de 9450N a 13747N con el 1% y disminuyo de 9450N a 6810N con el 2%, con respecto a la estabilidad de la muestra patrón.

Figura 33

Grafica tipo de muestra vs estabilidad.



Fuente, *El autor*

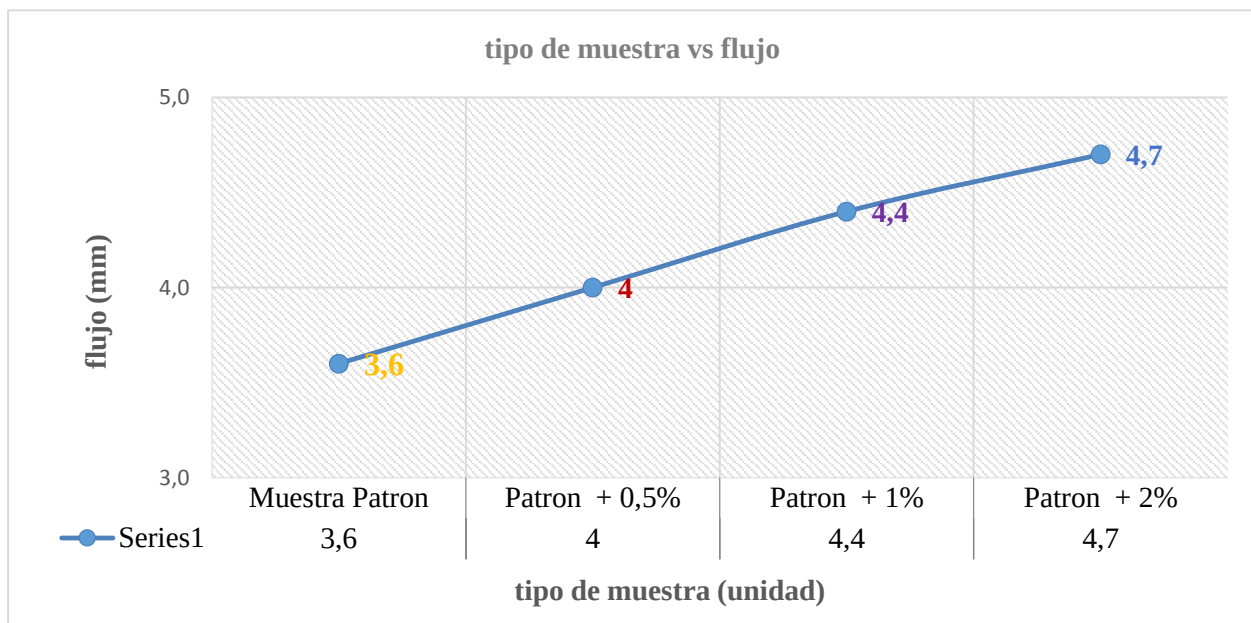
La estabilidad con un porcentaje de incorporación de poliestireno expandido reciclado de 0,5% y 1% ayuda a incrementar la resistencia a la carga de los vehículos de la mezcla asfáltica, pero con una incorporación de poliestireno expandido reciclado al 2% afecta la estabilidad de la mezcla asfáltica.

Flujo:

En la figura 34 se puede apreciar los resultados del parámetro flujo con las diferentes combinaciones de poliestireno expandido reciclado, junto a la muestra patrón, se define que hay una relación directamente proporcional al incrementar el porcentaje de incorporación de poliestireno expandido reciclado a la mezcla asfáltica, a mayor contenido de poliestireno mayor flujo.

Figura 34

Grafica tipo de muestra vs flujo



Fuente, *El autor*

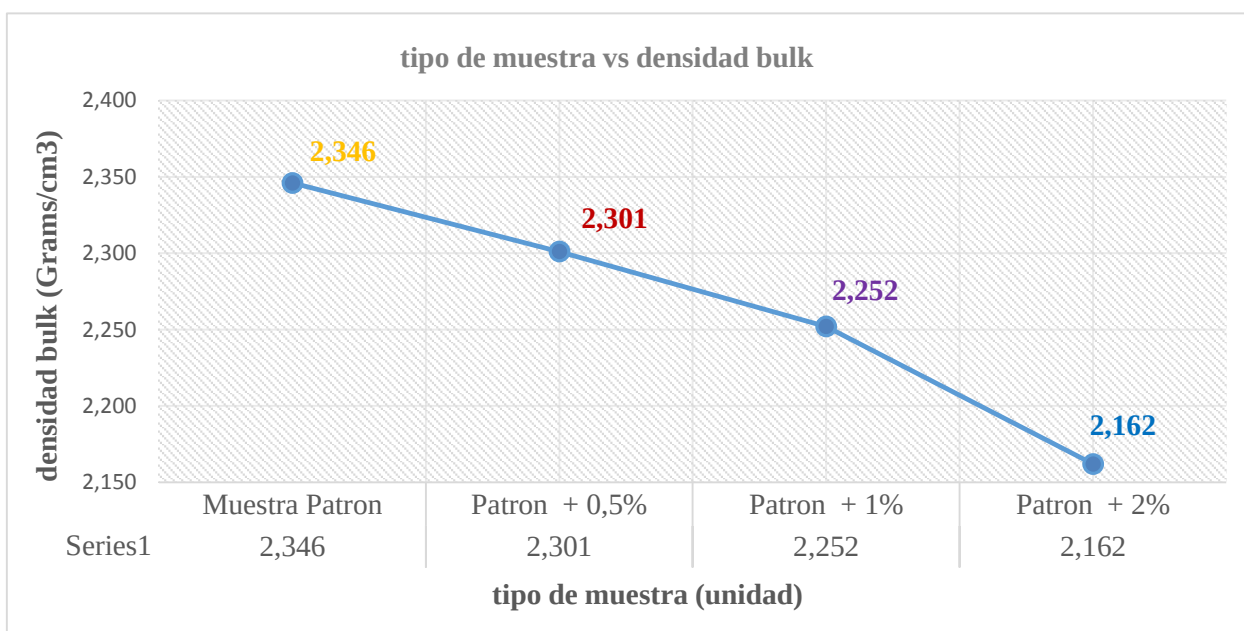
Lo que se aprecia es que al incrementar la cantidad de poliestireno expandido reciclado los vacíos de aire incrementan y el flujo también aumentara; favoreciendo a la MDC19 en tener mayor envergadura de deformación.

Densidad BULK:

La densidad BULK es inversamente proporcional a las incorporaciones con poliestireno expandido reciclado a mayor cantidad de poliestireno expandido reciclado disminuye la densidad, se puede observar los cambios de densidad en la figura 35.

Figura 35

Grafica tipo de muestra vs densidad BULK.



Fuente, *El autor*

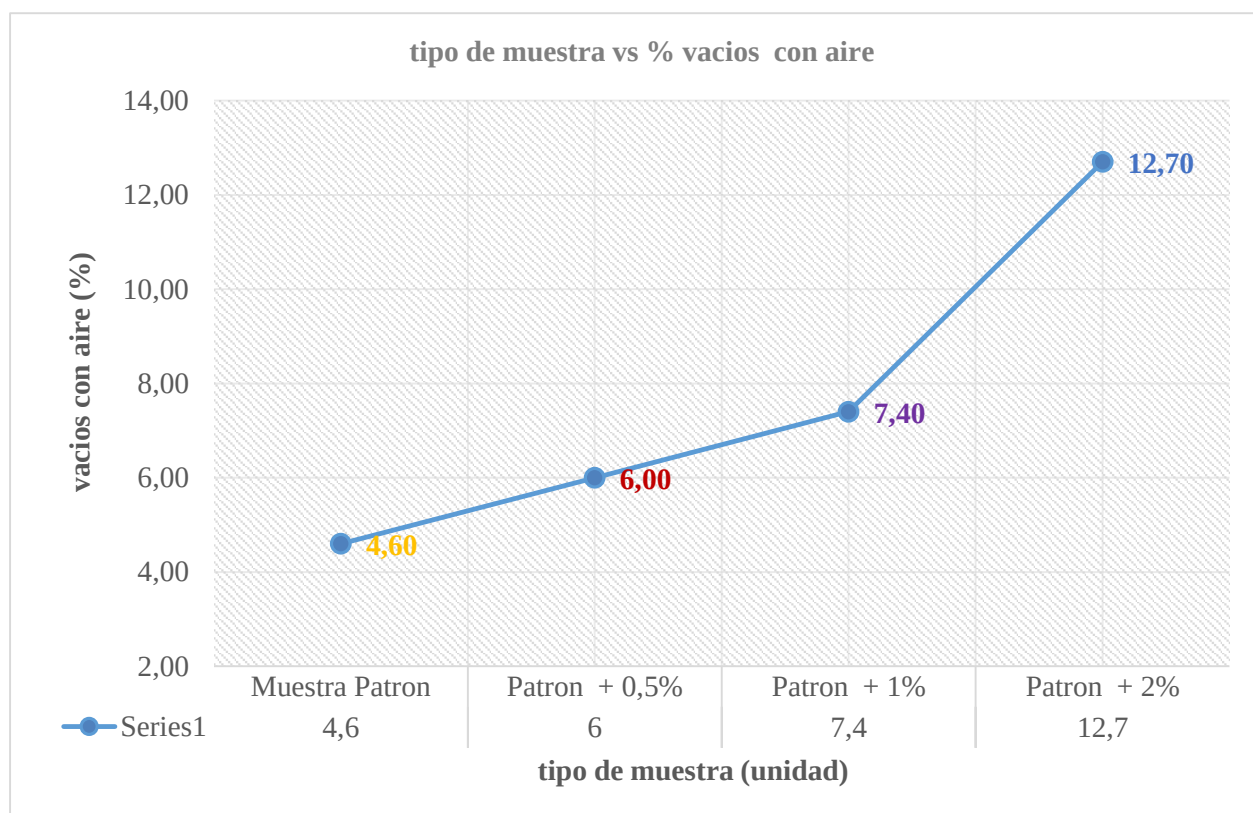
Por lo tanto, la incorporación de poliestireno expandido reciclado tiene la ventaja de aumentar el volumen de la mezcla y disminuir la densidad.

Porcentajes de vacíos:

En los porcentajes de vacíos de aire se aprecia una proporcionalidad directa al aumentar el contenido de poliestireno expandido reciclado aumenta los vacíos de aire, es una ventaja si se desea aumentar el volumen de la mezcla asfáltica, aumentar vacíos y disminuir la densidad, se puede observar el incremento de porcentaje de vacíos de las muestras analizadas en la figura 36.

Figura 36

Grafica tipo de muestra vs % vacíos con aire.



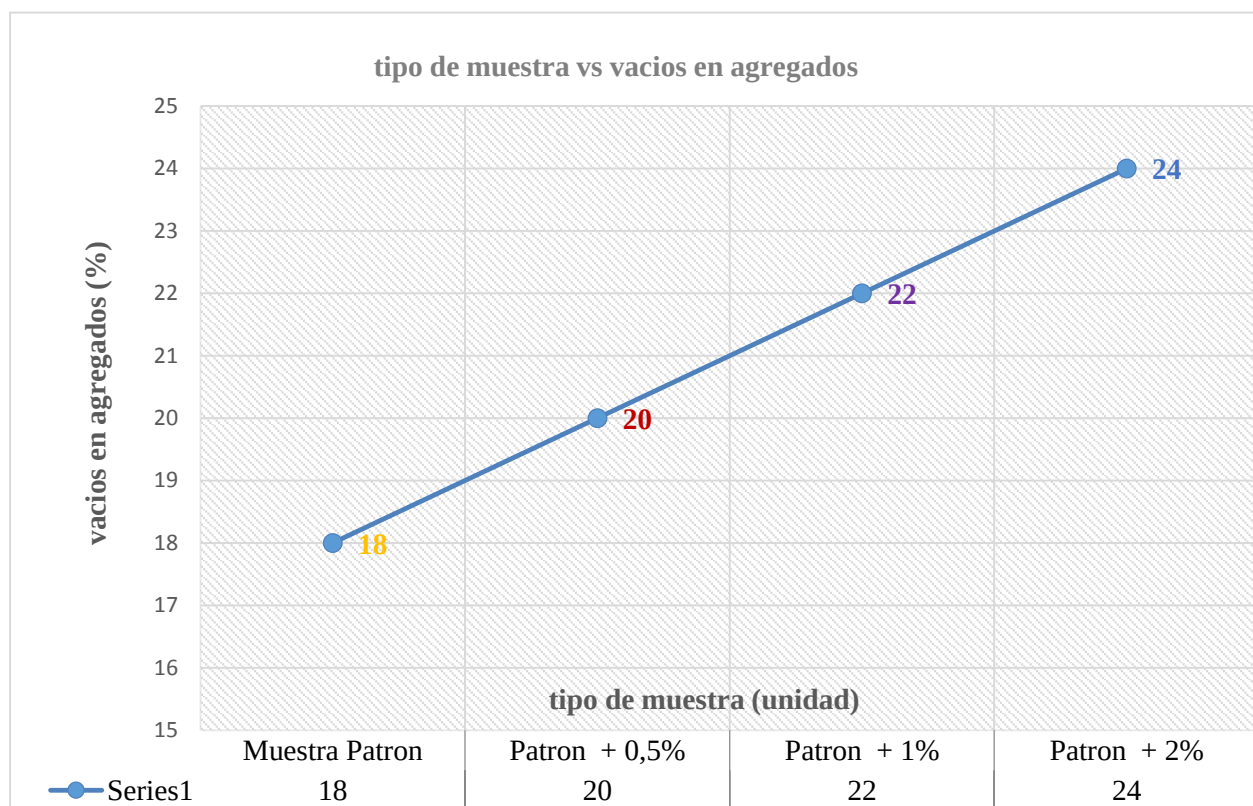
Fuente, *El autor*

Vacíos en agregados:

En relación con los vacíos en agregados de la muestra según la figura 37, se evidencia un incremento proporcional a la incorporación de poliestireno expandido reciclado a mayor cantidad de poliestireno expandido reciclado en la mezcla asfáltica aumenta el contenido de vacíos.

Figura 37

Grafica tipo de muestra vs vacíos en agregados



Fuente, *El autor*

Al incrementar los vacíos en la MDC19 ayuda a que la mezcla tenga mayor volumen y disminuye su densidad este factor puede colaborar en las mezclas producidas con materiales pétreos de alta densidad que al mezclarse con el cemento asfáltico y producir mezclas asfálticas tienden a tener poco contenido de vacíos.

Comparación de resultados con la tesis de Luther Letrado 2022

En los análisis y evaluaciones de mezclas asfálticas adicionadas con ICOPOR realizada por Luther Letrado en el año 2022, realizaron un resumen con los resultados de los ensayos realizados con sus diferentes porcentajes de incorporaciones en la figura 38 se puede apreciar los valores.

Figura 38

Tabla con los resultados de ensayos de cada investigación.

ENSAYO	ESPECIFICACION	2.				3.		
		5%	10%	15%	20%	0,50%	1,00%	1,50%
ESTABILIDAD (N)	>9000	14278,575	15481,251	16168,965	15113,604	15568,78	20906,64	15123,95
FLUJO (mm)	2 A 4	3,45	4,5	5,4	6,45	3,2	3,3	3,5
VACIOS CON AIRE (Va) %	%	4,9507	4,5967	4,226	3,398	13,4	12,5	14,6
VACIOS EN LOS AGREGADOS MINERALES (VAM)%	>15	18,2301	17,2261	16,201	14,7376	14	14,3	16,5
VACIOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)%	65-75	72,8441	73,3212	73,9257	76,9452	0	0	0
DENSIDAD g/cm ³	2-3	2,388	2,3973	2,4067	2,4215	2,158	2,16	2,1

Fuente, (Herrera - Letrado, 2022, pág. 18)

Para comparar los resultados se realiza un resumen de los valores de los ensayos realizados con incorporación de poliestireno expandido reciclado al 0,5%, 1% y 2% realizados en este proyecto y la tolerancia de la especificación se puede apreciar en la tabla 6.

Tabla 6

Resumen de resultados de los ensayos realizados a las incorporaciones

Ensayo	Especificación	0,50%	1%	2%
Estabilidad (N)	>9000	10720	13747	6757
Flujo (mm)	2 a 4	4	4,4	4,7
Vacíos con aire (%)	4 a 6	6	7,4	12,7
Vacíos en agregados (%)	>15	20	22	24
Densidad (g/cm ³)		2,301	2,252	2,162

Fuente, El autor

En la tabla 7 se puede observar las variaciones de los resultados del presente proyecto con relación a los valores promedios de los análisis y evaluaciones de Luther Letrado. Donde se comparó el resultado de la incorporación del 0,5% de poliestireno expandido reciclado con el valor promedio de la incorporación al 0,5% de los análisis de Luther Letrado, los resultados de la incorporación al 1% de poliestireno expandido reciclado con el valor promedio de la incorporación al 1% de los análisis de Luther Letrado y los resultados de la incorporación al 2% de poliestireno expandido reciclado con el valor promedio de la incorporación al 1,5% de los análisis de Luther Letrado.

Tabla 7

Comparaciones de los resultados del proyecto con relación a los valores promedios

Ensayo	0,50%	1%	2%
Estabilidad (N)	69%	66%	45%
Flujo (mm)	125%	133%	134%
Vacíos con aire (%)	45%	59%	87%
Vacíos en agregados (%)	143%	154%	145%
Densidad (g/cm ³)	107%	104%	103%

Fuente, El autor

Se puede concluir que los valores de los resultados en las incorporaciones de poliestireno expandido reciclado al 0,5%, 1% y 2% en la estabilidad fueron menores que el valor promedio, en el flujo fue mayor que el valor promedio, en los vacíos con aire fueron menores que el valor promedio, en los vacíos en agregados fueron mayores que el valor promedio y en las densidades fueron mayores que el valor promedio.

Conclusiones

De acuerdo a las especificaciones del INVIAS articulo 450 mezclas asfálticas en caliente de gradación continua se concluye:

Para la muestra patrón en la granulometría que la distribución de agregados no cumplió con el porcentaje que pasa en el tamiz No.200, ya que tiene un porcentaje de 1,4% mayor del requerido. El contenido de asfalto no cumplió con el criterio de la especificación al arrojar una diferencia por encima de 0,4% siendo requerido un máximo de 0,3%. La estabilidad cumplió con un porcentaje de 105% con relación a lo especificado. El flujo no está dentro del rango requerido con un resultado de 3,6 mm, el porcentaje de vacíos con un valor de 4,5% y los vacíos en agregados con un valor de 18% cumplieron criterio.

Se concluye que la incorporación de poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5% y 1% cumplió con el criterio de la franja granulométrica, con la incorporación del 2% de poliestireno expandido reciclado se incrementa el porcentaje que pasa desde el tamiz No.40 no cumpliendo con los criterios de la especificación. El contenido de asfalto con incorporaciones de poliestireno expandido reciclado en porcentajes de 0,5% y 1% no cumplieron con el criterio al estar 0,6% y 1,2% por encima del contenido de asfalto optimo, en cambio con el 2% de incorporación de poliestireno expandido reciclado si cumplió al tener el 5,4%. En la estabilidad los porcentajes de 0,5% y 1% cumplieron al arrojar un porcentaje de 119,1% y 152,74% con relación a la estabilidad máxima exigida, en cambio con la incorporación del 2% no cumplió al tener un porcentaje de 75,07%. El flujo al incorporar poliestireno expandido reciclado al 0,5%, 1% y 2% no cumplió ya que los resultados son superiores al criterio de la especificación con valores de 4mm, 4,4mm y 4,7mm. La densidad BULK es inversamente proporcional con relación a la incorporación de poliestireno expandido reciclado a mayor incorporación la densidad disminuye

los valores fueron 2,301 gramos/cm³ con el 0,5%, 2,252 gramos/cm³ con el 1% y 2,162 gramos/cm³ con el 2%. Los porcentajes de vacíos con la incorporación de poliestireno expandido reciclado al 0,5% cumplió con un valor de 6%, con la incorporación de poliestireno expandido reciclado al 1% y 2% no cumplió al estar 1,4% y 6,7% por encima del valor máximo de porcentajes de vacíos según la especificación. Con relación a los vacíos en agregados cumplió con las incorporaciones de poliestireno expandido reciclado con valores respectivos de 20%, 22% y 24%, se incrementa el valor a mayor contenido de poliestireno expandido reciclado siendo una proporcionalidad directa.

Los resultados de los análisis nos definen que efectivamente si hay cambios de la muestra patrón con respecto a la granulometría, contenido de asfalto, densidad BULK, estabilidad, flujo y porcentajes de vacíos; como es el caso en la incorporación de poliestireno expandido reciclado a 0,5% del peso de la muestra disminuyo el porcentaje de pasa en el tamiz No.200 de la mezcla patrón, ayudando a disminuir los finos de la mezcla asfáltica y cumpliendo con el criterio INVIAS 450 tabla 450-5 franja granulométricas MDC. Los contenidos de asfaltos se incrementaron con la incorporación de poliestireno expandido reciclado a 0,5% y 1% y disminuyo el contenido de asfalto con la incorporación de poliestireno expandido al 2% con respecto al contenido de asfalto de la muestra patrón. Las estabilidades aumentaron con incorporación de poliestireno expandido reciclado a 0,5% y 1% y disminuyo con la incorporación de poliestireno expandido reciclado al 2%. Los flujos aumentaron gradualmente con la incorporación de poliestireno expandido reciclado. Las densidades BULK todas fueron inferiores a la densidad de la muestra patrón ósea que la incorporación de poliestireno expandido genera mayor cantidad de vacíos en la mezcla asfáltica disminuyendo su densidad BULK. Los vacíos de aire y en agregados incrementaron

proporcionalmente con las incorporaciones de poliestireno expandido reciclado a mayor contenido de poliestireno expandido reciclado aumenta la cantidad de vacíos.

La incorporación de poliestireno expandido reciclado genera mayor contenido de vacíos en la mezcla asfáltica, se puede incorporar en las mezclas asfálticas producidas con agregados de alta densidad que generan bajo contenido de vacíos; si se incorpora el poliestireno expandido reciclado mejora los contenidos de vacíos y cumple con el criterio de la especificación del artículo 450 INVIAS tabla 450-9.

La combinación de poliestireno expandido con la gasolina genera un pegante que en este caso adhirió los agregados finos en las áreas de los agregados gruesos.

Recomendaciones a futuras propuestas de proyectos con incorporaciones de poliestireno expandido reciclado a la MDC.

Para tener en cuenta la temperatura de mezclado debe de ser igual para todas incorporaciones de poliestireno expandido reciclado para que no haya diferencia en la homogeneidad de distribución dentro de mezcla asfáltica.

Para evitar que se formen grumos causados por la adherencia de un pegante producto de la combinación del poliestireno expandido y la gasolina, se recomienda usar otro tipo de solvente o determinar el contenido de asfalto utilizando un medidor nuclear de acuerdo a la norma INVIAS E743.

Realizar más cantidad de ensayos para tener mayor estadísticas y valoración.

Incorporando estos desechos como agregados en las mezclas asfálticas aportamos a disminuir la contaminación que generan las obras de construcción y damos un nuevo uso a estos desechos.

Referencias bibliográficas

- 1524, R. n. (6 de mayo de 2022). Por el cual se adopta y actualizan las Especificaciones generales de construcción de carreteras, como Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional número de boletín 52092 emisor establecimientos públicos INVIAS. Colombia.
- Alliance, G. R. (abril de 2007). *Reciclado de materiales: Perspectivas, Tecnologías y Oportunidades*. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/read/14508413/reciclado-de-materiales-perspectivas-tecnologias-y-bizkaia-21>
- ANAPE. (22 de julio de 2013). *AIRPOP (EPS) - La opción más inteligente*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=sakbyBIG_rs
- ANAPE, A. n. (2023). *Asociación nacional de poliestireno expandido*. Obtenido de <https://anape.es/envase-embalaje/#propiedades>
- Arevalo Palomino, H., & Lucho Valle, J. Y. (2019). Influencia de la incorporación de poliestireno en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas en caliente. Lima-2019. doi:<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44768>
- Betancourt y Solano. (Julio - diciembre de 2016). *Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (ICOPOR) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes*. Luna Azul, (43), 286 - 310. doi:[org/10.17151/luaz.2016.43.13](https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.13)
- Cárdenas, C.I. (s.f.). Análisis de mezclas asfálticas modificadas con materiales desechables, alternativos, no convencionales. Obtenido de [ES/links/5fe0c2be45851553a0df059a/ANALISIS-DE-MEZCLAS-ASFALTICAS-MODIFICADAS-C](https://es.links/5fe0c2be45851553a0df059a/ANALISIS-DE-MEZCLAS-ASFALTICAS-MODIFICADAS-C)
- Díaz Bardalez, W. A. (2022). efectos de la incorporación de pet reciclado en mezclas asfálticas en caliente para cargas de bajo tránsito en la ciudad de Iquitos–Perú, 2021.
- Espectador, E. (26 de septiembre de 2019). *playas de Buenaventura contaminadas por ICOPOR y plástico, agencia de noticias de la universidad Nacional*.

- doi:www.elspectador.com/ambiente/playas-de-buenaventura-contaminadas-por-icopor-y-plastico-article-883067/
- Figuerola y Reyes. (2007). Análisis de un asfalto modificado con ICOPOR y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *Revista Ingeniera e investigación*, Vol. 27 (3), 5 - 15 septiembre 14, 2023. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300001&lng=en&tlng=es
- Herrera - Letrado, L. (2022). *Análisis y evaluación de mezclas asfálticas adicionadas con ICOPOR*. Universidad Católica de Colombia.
- Herrera, L. (2022). *Análisis y evaluación de mezclas asfálticas adicionadas con ICOPOR {tesis de especialización de ingeniería de pavimentos}*. Universidad católica de Colombia, Bogotá, Colombia: Disponible en el sitio web: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5bf76aa5-1751-4b3e-88c3-be55252ab06e/content>.
- Infante, A. S. F. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *Ingenieria e investigación* 27(3, 5-15.
- Jordán Chris, D. p. (Dirección). (2020). *Albatros* [Película]. Obtenido de <https://www.albatrossthefilm.com/>
- La república. (17 de septiembre de 2021). *La revolución del plástico*, pág. 3. doi:<https://www.larepublica.co/especiales/la-revolucion-del-plastico/al-menos-21-empresas-del-pais-reciclan-mas-de-200-toneladas-de-icopor-anualmente-3233869>
- López y Pérez. (2019). Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. *SENA, Informador técnico*, Vol. 83, 209-219.
- Loren Valbuena. (28 de junio de 2023). Este es el primer tramo de Bogotá pavimentado con icopor reciclado. *El Tiempo*, págs. 1-4. doi:<https://www.eltiempo.com/bogota/bogota-este-es-el-primer-tramo-pavimentado-con-icopor-reciclado-781809>
- Mata, E. P. (2023). *El Plástico Mata*. Obtenido de <https://elplasticomata.com/el-plastico-mata-animales/>
- Putri y Dwinanda. (2018). The effect of Styrofoam addition into based on Marshall. *International journal on advanscience engineering*, Vol.8.2018.7p.

doi://www.researchgate.net/publication/328919768_The_Effect_of_Styrofoam_Addition_into_HRS-Base_on_Marshall_Characteristics

- Quintana, H.A.R. (2008). Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. *Infraestructura Vial*, 10(19), 10-20. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2046>
- Reyes F.A. (2006). El icopor y el caucho como modificadores de mezclas drenantes. *Épsilon*, 1(7), 43-64. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep/vol1/iss7/5/>
- Téllez, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: Una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá (Tesis de maestría en medio ambiente y desarrollo)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10015>
- Venegas Martinez, A. (2021). Evaluación de la adición de cáscara de semilla en formulación de mezclas asfálticas en caliente. doi:<http://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/4750>

Anexo 1

Fórmula de trabajo MDC19 muestra patrón.

		FORMULA DE TRABAJO DADA POR DISEÑO MARSHALL		LAB-034 Versión 1
Planta de asfalto		El Capulí	Asfalto	CAN 60-70
Tipo de mezcla		MDC19 NT3 / ASFALTO 60-70	FECHA (Formula de Trabajo):	10 de julio de 2022
Fuente de materiales		MEZCLA 17% TRIT P 3/4 R 1/2 50-50 GUAITARA TELLEZ + 11% TRIT P 1/2 GUAITARA + 72% TRIT P 1/2 TELLEZ		
Características	Especificación	Diseño MARSHALL (Fórmula de trabajo)	Tolerancia de la fórmula de trabajo	
			+	-
1. Porcentaje de Agregados	Art.400. Aparte 400.2 - Art 450 INVIAS 2013	MEZCLA 17% TRIT P 3/4 R 1/2 50-50 GUAITARA TELLEZ + 11% TRIT P 1/2 GUAITARA + 72% TRIT P 1/2 TELLEZ	No aplica	
2. Porcentaje de Asfalto	+/- 0,3% de fórmula de trabajo	5,4%	5,1%	5,7%

3. Gradación	Inferior	Superior		1"-No4 (+/-4%); No.10 - No.80 (+/-3%) y No.200(+/-2%)	
3/4"	100	100	100	96	100
1/2"	80	95	87,29	83,29	91,29
3/8"	70	88	76,78	72,78	80,78
No. 4	49	65	54,67	50,67	58,67
No.10	29	45	37,31	34,31	40,31
No.40	14	25	16,34	14	19,34
No.80	8	17	9,99	8	12,99
No.200	4	8	5,76	4	7,76
4. Flujo (mm)	2	3,5	3,1	2,5	3,5
5. Vacíos con aire Va%	4	6	4,95	4	6
6. Vacíos en Agregados minerales % min	>15		17,56	>15	
7. Estabilidad (N)	>7500		13303	11972,6	1,25Et ≥ Ei ≥ V min
8. Relación Estabilidad/flujo (KN/mm)	3	6	4,29	No aplica	
9. Relación llenante/Ligante	0,8		1,2	No aplica	
10. Vacíos llenos con asfalto %	65		75	No aplica	

Fuente: PANAVIAS Formula de trabajo MDC19