

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico

Línea de investigación: Ingeniería de Transportes

Sub línea de investigación: Transportes

Autores:

Díaz Plasencia, Freider Javier

Plasencia León, Jheison Levi

Jurado evaluador:

Presidente: Sánchez Malpica, Carmen Esperanza

Secretario: Henríquez Ulloa, Juan Paul Edward

Vocal: Velásquez Díaz, Gilberto Anaximandro

Asesor:

Burgos Sarmiento, Tito Alfredo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2143-1566>

TRUJILLO - PERÚ

2024

Fecha de sustentación: 2024/11/15

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico

Línea de investigación: Ingeniería de Transportes

Sub línea de investigación: Transportes

Autores:

Díaz Plasencia, Freider Javier

Plasencia León, Jheison Levi

Jurado evaluador:

Presidente: Sánchez Malpica, Carmen Esperanza

Secretario: Henríquez Ulloa, Juan Paul Edward

Vocal: Velásquez Díaz, Gilberto Anaximandro

Asesor:

Burgos Sarmiento, Tito Alfredo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2143-1566>

TRUJILLO - PERÚ

2024

Fecha de sustentación: 2024/11/15

Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	documentos.uru.edu Fuente de Internet	1%
5	idoc.pub Fuente de Internet	1%
6	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%

Handwritten signature and stamp in blue ink. The signature is a stylized 'M' with a large loop. To the right, there is a stamp that reads 'RUP: 82596'.

9

Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego

Trabajo del estudiante

1 %

10

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

Handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops. To the right of the signature, the text "RUP: 82596" is written in blue ink.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

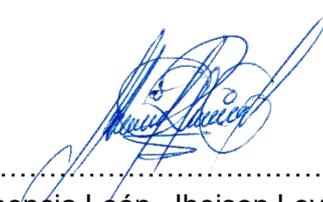
Yo, **Burgos Sarmiento Tito Alfredo**, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada **“Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico”**, del (los) autor (es) **Díaz Plasencia Freider Javier** y **Plasencia León Jheison Levi**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 9%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 30 de octubre del 2024
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico”**, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Trujillo, 30 de octubre del 2024



.....
Díaz Plasencia, Freider Javier
DNI: 72454885



.....
Plasencia León, Jheison Levi
DNI: 72230952



RUP: 82796

.....
Burgos Sarmiento, Tito Alfredo
DNI: 42141206
Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2143-1566>

DEDICATORIA

A Dios, fuente de toda sabiduría y conocimiento, por guiarme en cada paso de este camino. A mis padres, por su amor incondicional, por ser mi inspiración y apoyo incesante. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la humildad y el trabajo bien hecho. Este logro también es suyo. A mis hermanos, por su complicidad y palabras de aliento, su presencia en mi vida ha sido un pilar de fortaleza y motivación en los momentos más difíciles. A mi novia, por brindarme su amor, comprensión y apoyo; este logro no habría sido posible sin su fe en mí y su valentía para enfrentar juntos cada desafío. A mi primo hermano, compañero de tesis y de vida, por su lealtad y compromiso. Haber compartido este reto con él no solo lo ha hecho más llevadero, sino también más significativo.

F. Díaz Plasencia

Esta tesis se la dedico a mis padres por darme la fuerza necesaria, por su amor y motivación en las buenas y en las malas, también a mis hermanos, abuelos y familia en general, gracias infinitas, finalmente a mi compañero de tesis, que siempre me ha brindado su apoyo y juntos poder cumplir esta gran meta.

J. Plasencia León

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, por su guía y bendiciones a lo largo de este camino profesional y en mi vida. A mis padres, por su amor incondicional, su constante respaldo y por inculcarme los valores que me han llevado hasta este preciso momento. Este logro es reflejo de todo lo que me han enseñado y del apoyo que siempre me han brindado. A mi primo hermano y compañero de tesis, por ser el pilar fundamental durante todo este proceso, gracias por tu amistad, compromiso y por trabajar hombro a hombro en este gran desafío. A nuestro asesor de tesis, el Ing. Tito Burgos Sarmiento, por su dedicación, paciencia y valiosas orientaciones para poder lograr satisfactoriamente este importante objetivo. Al Ing. Jorge Luis Quipuzcoa Urdanivia, gerente del laboratorio GECONSAC y a todo su equipo, en especial al técnico Luis Mario Sarachaga Alva, por su generosa disposición y apoyo técnico durante la etapa experimental de nuestra investigación. A la plana docente de la Universidad Privada Antenor Orrego, por compartir su conocimiento, experiencia y por sembrar en nosotros las bases del aprendizaje.

F. Díaz Plasencia

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme guiado siempre, por darme la fortaleza, resiliencia y sabiduría para poder afrontar dificultades que se presentaron a lo largo de la carrera profesional, y principalmente a mis padres, por brindarme su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos, ellos me han impulsado con su cariño, también son los que me han brindado soporte material y económico para poder seguir adelante, mi profundo agradecimiento con toda mi familia por todo su apoyo, en especial a mi primo hermano, amigo y compañero de tesis por el apoyo brindado siempre, a mi asesor el ingeniero Tito Burgos Sarmiento por guiarnos en este proyecto, también a todos mis docentes que han sido parte de mi camino universitario, a todos ellos agradecer por brindarme los conocimientos necesarios, finalmente agradecido con mi universidad UPAO, que me ha exigido tanto y haberme formado para así poder obtener mi título profesional.

J. Plasencia León

RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo principal mejorar las propiedades de resistencia de las mezclas asfálticas y promover el reciclaje mediante la incorporación de plástico reciclado (PET) con adirap-s, en respuesta a la deficiente infraestructura vial en el Perú y la escasa reutilización del plástico consumido. El tipo de investigación es aplicada y de nivel experimental, centrándose en un enfoque cuantitativo. La población incluye mezclas asfálticas para la construcción de pavimentos flexibles en Trujillo y 36 briquetas de laboratorio, con una muestra de 9 briquetas convencionales y 27 modificadas con 0.5%, 1% y 1.5% de PET con adirap-s. Las técnicas aplicadas son: la observación, revisión, análisis documental, experimentos y mediciones físicas. Los resultados confirmaron que los materiales cumplen con las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, y la adición de plástico reciclado mejoró las propiedades de las mezclas asfálticas. Concluyendo que, la mezcla con 6% de aditivo asfáltico y 1.5% de plástico resultó ser la opción óptima, destacándose por su alta estabilidad, baja porosidad y excelente relación estabilidad/flujo; con lo que vamos a poder construir un concreto asfáltico con alta resistencia y durabilidad, junto con una excelente cohesión. Aunque el 1% de PET también mostró un buen equilibrio entre durabilidad y propiedades físicas, la combinación de 6% de aditivo asfáltico y 1.5% de plástico es la más eficaz en términos de estabilidad y reducción de porosidad.

Palabras claves: *PET, adirap-s, mezcla asfáltica, estabilidad, flujo.*

ABSTRACT

The primary goal of this investigation is to increase the strength properties of asphalt mixtures and promote recycling by integrating recycled plastic (PET) with adirap-s, in response to Peru's poor road infrastructure and low reuse of consumed plastic. The investigation is applied and experimental, with a focus on quantitative methods. The population contains asphalt mixtures for the building of flexible pavements in Trujillo, as well as 36 laboratory briquettes, including 9 normal briquettes and 27 modified with 0.5%, 1%, and 1.5% PET and adirap-s. The approaches used include observation, evaluation, documentation analysis, experiments, and physical measurements. The results confirmed that the materials met the General Technical Specifications for Construction EG-2013, and the use of recycled plastic increased the qualities of the asphalt mixtures. It was determined that the mixture of 6% asphalt additive and 1.5% plastic was the best option due to its high stability, low porosity, and excellent stability/flow ratio, allowing us to create an asphalt concrete with high resistance and durability, as well as excellent cohesion. Although 1% PET demonstrated an excellent balance of durability and physical qualities, the combination of 6% asphalt additive and 1.5% plastic is the most effective for stability and porosity reduction.

Keywords: *PET, adirap-s, asphalt mixture, stability, flow.*

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

Dado cumplimiento y conformidad a los requisitos establecidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, ponemos a vuestra disposición el presente trabajo de investigación titulado: **“Uso de plástico reciclado con adiraps del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico”**, con la convicción de alcanzar una justa evaluación y dictamen.

Es preciso mencionar que el presente trabajo de investigación se ha elaborado siguiendo los lineamientos académicos y metodológicos establecidos por la universidad; así mismo, bajo las normativas nacionales e internacionales instituidas para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del concreto asfáltico, teniendo en cuenta los parámetros del Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013), Manual de Ensayo de Materiales, ASSHTO 93, estándares de la Norma CE.010, entre otras; llegando a concluir de manera satisfactoria con el objetivo planteado.

Atentamente,
Br. Díaz Plasencia, Freider Javier
Br. Plasencia León, Jheison Levi

Trujillo, octubre del 2024

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTO.....	VIII
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
PRESENTACIÓN	XII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. <i>Problema de Investigación</i>	1
1.1.1. Realidad Problemática.....	1
1.1.2. Enunciado del Problema.....	3
1.2. <i>Objetivos</i>	4
1.2.1. Objetivo General.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
1.3. <i>Justificación del estudio</i>	4
1.3.1. Enfoque Académico.....	4
1.3.2. Enfoque Social.....	5
1.3.3. Enfoque Económico.....	5
1.3.4. Enfoque Metodológico.....	5
II. MARCO DE REFERENCIA.....	6
2.1. <i>Antecedentes del Estudio</i>	6
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	8
2.1.3. Antecedentes Locales.....	12

2.2.	<i>Marco Teórico</i>	15
2.2.1.	Pavimento.....	15
2.2.2.	Mezclas Asfálticas.	16
2.2.3.	Reciclaje de Pavimentos Flexibles.....	20
2.2.4.	Plástico Reciclado.....	20
2.2.5.	Mezclas Asfálticas Modificadas con Plástico.	25
2.2.6.	Aditivos para Mezclas Asfálticas.....	27
2.2.7.	Método Marshall.	29
2.2.8.	Evaluación y Ajustes de una Mezcla de Diseño.....	34
2.2.9.	Modificación del Asfalto Utilizando Plástico como Aditivo.....	35
2.3.	<i>Marco Conceptual</i>	37
2.4.	<i>Sistemas de Hipótesis</i>	40
2.5.	<i>Operacionalización de Variables</i>	40
2.5.1.	Variable Independiente.	40
2.5.2.	Variable Dependiente.	40
III.	METODOLOGÍA EMPLEADA.....	42
3.1.	<i>Tipo y Nivel de Investigación</i>	42
3.1.1.	Tipo de Investigación.....	42
3.1.2.	Nivel de Investigación.....	42
3.2.	<i>Población y Muestra de Estudio</i>	43
3.3.	<i>Diseño de Investigación</i>	45
3.4.	<i>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos</i>	45
3.5.	<i>Procesamiento y Análisis de Datos</i>	48
IV.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	49
4.1.	<i>Propuesta de Investigación</i>	49
4.2.	<i>Análisis de Resultados</i>	60
4.3.	<i>Docimasia de Hipótesis</i>	74

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	77
VI. CONCLUSIONES	81
VII. RECOMENDACIONES.....	83
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
IX. ANEXOS.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Cuadro de operacionalización de variables</i>	41
Tabla 2. <i>Cuadro de muestras</i>	44
Tabla 3. <i>Caracterización de Materiales</i>	50
Tabla 4. <i>Granulometría de agregado grueso</i>	51
Tabla 5. <i>Granulometría del agregado fino</i>	52
Tabla 6. <i>Granulometría de la mezcla de agregados para la MAC-2</i>	54
Tabla 7. <i>Resultados para determinar el óptimo contenido de asfalto</i>	56
Tabla 8. <i>Características de la MAC con el óptimo contenido de CA</i>	60
Tabla 9. <i>Características de MAC con diferentes adiciones de CA</i>	60
Tabla 10. <i>Características MAC de 5% de CA con diferentes adiciones</i>	61
Tabla 11. <i>Características MAC de 5.5% de CA con diferentes adiciones</i>	61
Tabla 12. <i>Características MAC de 6% de CA con diferentes adiciones</i>	62
Tabla 13. <i>Resumen de resultados de porcentaje de vacíos con aire</i>	63
Tabla 14. <i>Resumen de resultados de relación polvo/asfalto</i>	64
Tabla 15. <i>Resumen de resultados de estabilidad</i>	65
Tabla 16. <i>Resumen de resultados de flujo</i>	66
Tabla 17. <i>Resumen de resultados de relación estabilidad/flujo</i>	67
Tabla 18. <i>Evaluación ANOVA de un factor (Vacíos con aire)</i>	74
Tabla 19. <i>Evaluación ANOVA de un factor (Relación polvo asfalto)</i>	74
Tabla 20. <i>Evaluación ANOVA de un factor (Estabilidad)</i>	75
Tabla 21. <i>Evaluación ANOVA de un factor (Flujo)</i>	75
Tabla 22. <i>Evaluación ANOVA de un factor (Relación estabilidad/flujo)</i>	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Estructura de Pavimento Flexible (Sección Transversal)</i>	16
Figura 2. <i>Proceso de investigación</i>	48
Figura 3. <i>Curva granulométrica del agregado grueso</i>	52
Figura 4. <i>Curva granulométrica del agregado fino</i>	53
Figura 5. <i>Curva granulométrica de la mezcla de agregados</i>	55
Figura 6. <i>Porcentaje de vacíos</i>	58
Figura 7. <i>Relación polvo-asfalto</i>	58
Figura 8. <i>Estabilidad</i>	59
Figura 9. <i>Flujo</i>	59
Figura 10. <i>Porcentaje de vacíos con aire de MAC</i>	63
Figura 11. <i>Relación polvo/asfalto de MAC</i>	65
Figura 12. <i>Estabilidad de MAC</i>	66
Figura 13. <i>Flujo de MAC</i>	67
Figura 14. <i>Relación estabilidad/flujo</i>	68
Figura 15. <i>Resumen General</i>	68
Figura 16. <i>Obtención de PET en Consorcio Reciclador del Norte</i>	118
Figura 17. <i>Pesaje de PET</i>	118
Figura 18. <i>Agregado grueso colectado de cateria LEKERSA</i>	118
Figura 19. <i>Agregado fino colectado de cantera LEKERSA</i>	118
Figura 20. <i>Carguío de agregados</i>	118
Figura 21. <i>Acopio de agregados en laboratorio GECONSAC</i>	118
Figura 22. <i>Pesaje de agregado grueso y fino</i>	119
Figura 23. <i>Mezcla de agregados grueso y fino</i>	119
Figura 24. <i>Ensayo de granulometría de agregado fino</i>	119
Figura 25. <i>Zarandeo de agregado fino</i>	119
Figura 26. <i>Pesaje de contenido en tamices AF</i>	119

Figura 27. <i>Ensayo de granulometría de agregado grueso</i>	119
Figura 28. <i>Zarandeo de agregado grueso</i>	120
Figura 29. <i>Pesaje de contenido de tamices AG</i>	120
Figura 30. <i>Ensayo de gravedad específica de agregado grueso</i>	120
Figura 31. <i>Sumersión de AG para prueba de gravedad específica</i>	120
Figura 32. <i>Ensayo de peso específico de agregado fino</i>	120
Figura 33. <i>Adición de agregado fino al picnómetro</i>	120
Figura 34. <i>Homogenización de muestra de AF</i>	121
Figura 35. <i>Peso de AF para muestras</i>	121
Figura 36. <i>Peso de AG para muestras</i>	121
Figura 37. <i>Muestras para briquetas convencionales</i>	121
Figura 38. <i>Calentamiento de PEN 60/70</i>	121
Figura 39. <i>Extracción de PEN 60/70 a usar en depósito de aluminio</i>	121
Figura 40. <i>Pesaje de muestra para briqueta convencional con 5% de PEN</i>	122
Figura 41. <i>Adición de PEN 60/70</i>	122
Figura 42. <i>Homogenización de muestra</i>	122
Figura 43. <i>Equipo para compactación de briqueta</i>	122
Figura 44. <i>Compactación de briqueta convencional con 5% de PEN</i>	122
Figura 45. <i>Briqueta convencional con 5% de PEN</i>	122
Figura 46. <i>Briquetas convencionales con 5%, 5.5% y 6% de PEN</i>	123
Figura 47. <i>Fase de cortado de PET</i>	123
Figura 48. <i>Pesaje de partículas PET</i>	123
Figura 49. <i>Tamizado de partículas PET</i>	123
Figura 50. <i>Adición de partículas PET para briquetas modificadas</i>	123
Figura 51. <i>Muestras con PET para briquetas modificadas</i>	123
Figura 52. <i>Extracción de aditivo para briquetas modificadas</i>	124
Figura 53. <i>Pesaje de aditivo</i>	124

Figura 54. <i>Adición del 1% de aditivo en perol para briqueta modificada</i>	124
Figura 55. <i>Adición del 5% de PEN para briqueta modificada</i>	124
Figura 56. <i>Adición de muestra para briqueta modificada</i>	124
Figura 57. <i>Pesaje de insumos para briqueta modificada</i>	124
Figura 58. <i>Colocación de insumos a la estufa</i>	125
Figura 59. <i>Homogenización de insumos para briqueta modificada</i>	125
Figura 60. <i>Etapa de compactación de briqueta modificada</i>	125
Figura 61. <i>Obtención de briqueta modificada</i>	125
Figura 62. <i>Briquetas modificadas con PET y PEN</i>	125
Figura 63. <i>Medición de diámetro de briquetas</i>	125
Figura 64. <i>Medición de altura de briquetas</i>	126
Figura 65. <i>Pesaje de briquetas</i>	126
Figura 66. <i>Briquetas en baño maría a 60°C</i>	126
Figura 67. <i>Ensayo Marshall</i>	126
Figura 68. <i>Espécimen ensayado</i>	126
Figura 69. <i>Briquetas después de ensayo Marshall</i>	126
Figura 70. <i>Ficha técnica de aditivo utilizado adirap-s</i>	127

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. *Realidad Problemática.*

La problemática de la infraestructura vial de nuestro país tiene sus causas en el déficit de atención del gobierno, actualmente es de conocimiento que las carreteras, autopistas y vías urbanas del Perú tienen una clara deficiencia en calidad; debido a la falta de planificación integral, fragmentación en la gestión de proyectos, casos de corrupción, uso de materiales inadecuados o de baja calidad, mala dosificación en mezclas asfálticas, ineficaz estudio de tráfico vial y supervisión insuficiente en las obras; y además, uno de los más importantes problemas de las carreteras y vías a nivel nacional son los fenómenos meteorológicos, que ocasionan daños a la carpeta asfáltica.

En Trujillo, el mal estado de las vías se debe a la combinación de factores climáticos como el Fenómeno del Niño y los huaicos, junto con una supervisión y mantenimiento inadecuados. A lo largo de la red vial, el pavimento se encuentra en estado crítico, lo que se agrava debido a las deficientes características físicas y mecánicas de la mezcla de asfalto y otros elementos, resultando en superficies que no cumplen con los estándares de espesor y calidad requeridos para una transitabilidad segura.

Según Maritza Sáenz (2024), en el Perú, al cierre del 2023, se registraron 1,376 accidentes de tránsito debido al mal estado de las vías y la señalización defectuosa, conforme con el Observatorio Nacional de Seguridad Vial, aunque gran parte de la red vial está pavimentada, muchos tramos presentan un estado crítico. Este deterioro se debe no solo a fenómenos meteorológicos como huaicos y desbordes de ríos, sino también a la falta de mantenimiento y la fragmentación en la gestión de proyectos, lo que dificulta las mejoras necesarias en la infraestructura vial.

En América Latina, el problema es aún más grave, sólo el 16% de la red vial está pavimentada, lo que impacta negativamente en la seguridad y desarrollo económico de la región. La falta de planificación, inversión y la corrupción son factores clave que contribuyen al deterioro de las carreteras. Según el informe de la Comunidad Andina (CAN 2022), en el 2021 un total de 274 920 accidentes de tránsito se registraron en los países de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú, lo cual representó un incremento del 23,6% respecto al año anterior. Así mismo, se evidenció que en el mismo año los accidentes de tránsito ocasionaron 13 922 muertes y 102 570 heridos, demostrando que las principales causas de estos siniestros de tránsito y daños a la salud son por la infraestructura vial que no ofrecen un diseño y nivel de seguridad adecuado.

Conforme el artículo de Ariel T. Rodríguez (2021), el mal estado de las vías y autopistas es un problema global que afecta tanto a países desarrollados como en desarrollo. En Estados Unidos, por ejemplo, más del 30% de las carreteras necesitan reparaciones urgentes debido a la falta de inversión sostenida en infraestructura. Esta situación ha generado altos costos en tiempo y dinero para los conductores debido a congestiones y accidentes frecuentes. En consecuencia y de acuerdo con la información proporcionada por la Organización Mundial de la Salud (OMS 2023), cerca de 1.19 millones de personas fenecen anualmente como resultado de accidentes de tránsito. Al mismo tiempo, en un contexto paralelo, la OMS menciona que, la reparación de las causas de la mayoría de los países destina alrededor del 3% de su Producto Bruto Interno (PBI) para enfrentar costos derivados de los accidentes de tránsito.

En la actualidad, según los informes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el plástico representa el 85% de la basura marina. La ONU advierte que estas cifras se triplicarán para el año 2040. Así mismo, diariamente Latinoamérica genera 17 000 toneladas de desechos plásticos. Según el Banco Mundial, ninguna otra región

recicla menos que América Latina. El subcontinente aprovecha solo el 4,5% de sus residuos, mientras que la cifra global es del 13,5%.

Según datos de Oceana, en el Perú se consumen alrededor de 950 000 toneladas de plástico al año. De todo este residuo plástico, solamente la cuarta parte es reutilizada y el resto se queda en los botaderos y ríos. Consecuente a lo descrito, el plástico llega al mar, y se convierte en un peligro inminente para la fauna y flora marina, se transforma en riesgo para la salud de las personas e impacta de manera negativa la economía del país.

Un estudio realizado por Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo (SEGAT 2023), demuestra que cada habitante de Trujillo genera aproximadamente 0.68 Kg de residuo al día. En la ciudad de Trujillo, la reutilización de los residuos plásticos no es muy común, por ello que los botaderos y rellenos sanitarios están llenos de este tipo de residuos.

El mejoramiento del pavimento es una búsqueda constante, dado que el pavimento flexible siempre está expuesto a deformaciones, desgastes, fallas, etc.; se plantea buscar una alternativa que minimice el deterioro temprano del pavimento y aumente su vida útil, por ello en este trabajo de investigación se plantea la comparación de las propiedades de la mezcla asfáltica que incorpora polímero reciclado. Los pavimentos flexibles presentan fallas a lo largo de toda su extensión, la innovación en la búsqueda de nuevos componentes que permitan alargar la vida útil del pavimento nos lleva al planteamiento del tema de investigación presentado.

1.1.2. Enunciado del Problema.

¿Cuál es la influencia de la adición del 0.5%-1.5% de plástico reciclado con adirap-s en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General.

Determinar la influencia de la adición del 0.5%, 1.0% y 1.5% de plástico reciclado con adirap-s en las propiedades de resistencia de la mezcla asfáltica en caliente, Trujillo.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Efectuar la caracterización de los materiales: piedra, arena, cemento asfáltico y aditivo; de acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.
- Realizar la identificación del tamaño óptimo de plástico reciclado (pet) a utilizar en el ensayo de mezcla asfáltica.
- Obtener el óptimo contenido de asfalto para una mezcla asfáltica mejorada mediante el ensayo Marshall.
- Determinar el efecto en las propiedades físicas; durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento, de una mezcla asfáltica con adición de plástico reciclado y aditivo en las proporciones de 0.5% - 1.5%; Trujillo.
- Comprobar el efecto en las propiedades mecánicas; estabilidad, flujo y porcentajes de vacíos, de una mezcla asfáltica con adición de plástico reciclado y aditivo en las proporciones de 0.5% - 1.5; Trujillo.

1.3. Justificación del estudio

1.3.1. Enfoque Académico.

En esta investigación se aplicará los conocimientos teóricos aprendidos en los diferentes cursos de la universidad, tales como: tecnología de materiales, pavimentos, mecánica de suelos, ingeniería de cimentaciones, ingeniería del tránsito y metodología de la investigación científica. Además, el investigador ampliaría su frontera de conocimientos en estos temas desarrollados.

1.3.2. Enfoque Social.

Socialmente, el presente proyecto de investigación contribuirá de manera significativa en el descenso de emisión de gases tóxicos, infiltración de partículas plásticas en nuestra cadena alimentaria, perjuicio a la fauna marina y terrestre; así mismo, con el mejoramiento de la infraestructura vial de la ciudad de Trujillo, la cual en su mayoría se encuentra en condiciones no aptas para la óptima transitabilidad vehicular y peatonal.

1.3.3. Enfoque Económico.

Económicamente, el presente proyecto de investigación permitirá reducir las fallas mecánicas de las distintas unidades vehiculares, minimizar gastos en el mantenimiento del pavimento, aumentar el valor de las viviendas, atraer inversiones de diferente tipología y fomentar de manera eficiente el turismo.

1.3.4. Enfoque Metodológico.

El procedimiento para la realización de ensayos con adición de plástico reciclado a la mezcla asfáltica no es muy común en el entorno de Trujillo, además las normas actuales no estipulan el procedimiento para este tipo de ensayos que tienen características únicas. Los equipos, materiales y procedimiento utilizados en esta investigación podrán ser utilizados en futuras investigaciones, además de ser fuente de información para la estipulación de nuevas normas de ensayo.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del Estudio

Las publicaciones, artículos científicos y tesis de pregrado que más contribuyen y presentan argumentos sólidos respecto al tema estudiado son los siguientes:

2.1.1. *Antecedentes Internacionales.*

Roldán & Velázquez (2023), en su trabajo especial de grado “Diseño de pavimento flexible elaborado con polietileno reciclado para la repavimentación de calles en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia” de la República Bolivariana de Venezuela, abordaron como objetivo general diseñar una mezcla de pavimento flexible con polietileno reciclado para la repavimentación de calles en Maracaibo, en busca de una solución a la problemática vial y la creciente contaminación por plástico en la ciudad. Se elaboraron y ensayaron diversas mezclas asfálticas a través del ensayo Marshall, y se analizó cada una de sus propiedades (estabilidad, densidad y flujo) para proporcionarles un uso, variando los contenidos de Cemento Asfáltico en 4.5%, 5% y 5.5% y Polietileno de Alta Densidad Reciclado en 2%, 3%, 4%, 5% y 6%, consiguiendo en total 15 muestras de mezclas asfálticas. La investigación fue de tipo proyectista, como también cuasi experimental; se aplicaron técnicas de recolección de datos; por ejemplo, revisión documental y observación. Los resultados obtenidos evidencian el aumento de la estabilidad acorde al aumento de PEAD agregado, siendo el Grupo C (contenido de C.A. de 5.5%), el más favorable. El aporte de estos estos hallazgos ofrecen una solución viable para la repavimentación de calles en Maracaibo, utilizando materiales reciclados y contribuyendo así con la disminución de la contaminación plástica en el entorno urbano.

Vargas (2022), en su trabajo experimental previo a la obtención del título de ingeniero civil “Efecto de adición de partículas de plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas de pavimento”, en la

ciudad de Ambato, Ecuador; consideró como objetivo principal la comparación de una mezcla asfáltica con adición de partículas de plástico reciclado de botellas, sin tapa ni etiqueta con un tamaño de hojuela de 0,30 mm de diámetro y la mezcla asfáltica tradicional, enfocándose en la determinación de las características físicas y mecánicas de asfalto modificado con 15, 20 y 25 por ciento de plástico reciclado. Esto se realizó mediante el diseño de Marshall para Mezclas Bituminosas Asfálticas de acuerdo con las normas AASHTO T245, ASTM D 1559, AASHTO T225. Además, se realizaron ensayos previos a los agregados pétreos, indicando valores óptimos. Las características específicas de la mezcla asfáltica tradicional cumplieron con los parámetros de acuerdo con la MOP-2002 en estabilidad óptima de 1650 libras, relación de vacío 4 por ciento y flujo de 11 pulgadas para método Marshall; el contenido óptimo de bitumen para los agregados pétreos fue de 6,5 por ciento de bitumen. Los resultados indican que, de los diferentes porcentajes de adición, el de 15 por ciento de plástico reciclado determinó, una estabilidad óptima de 4220 libras, relación de vacío al 4 por ciento y flujo o deformación de 14 pulgadas, para tráfico pesado. Concluyendo que estos valores equivalen al porcentaje óptimo que satisfacen las especificaciones mecánicas de Marshall. El aporte que esta investigación ofrece a la ciudad de Ambato es una solución sostenible con la incorporación de plástico reciclado en pavimentos, reducirá la contaminación ambiental, mejorará la durabilidad de las carreteras y promoverá una cultura de reciclaje.

Serrato & Bohórquez (2020), en su trabajo de grado “Aporte estructural de mezcla asfáltica en caliente con inclusión de plástico PET por vía seca a estructuras de pavimento flexible para vías de bajo tráfico según especificaciones INVIAS” en Colombia; se propusieron como objetivo principal realizar un análisis comparativo entre pavimentos flexibles con estructuras convencionales y aquellos que utilizan mezclas asfálticas con plástico PET. Dicho análisis se basó en los módulos resilientes obtenidos en estudios previos, siguiendo las directrices del INVIAS para pavimentos de bajo tráfico. Para ello,

evaluaron las propiedades del material de acuerdo con las especificaciones del Instituto Nacional de Vías, adaptando los datos disponibles para incluir PET. Posteriormente, realizaron un análisis de los datos recopilados para evaluar el aporte estructural de las mezclas asfálticas con PET. Los resultados indicaron que la densidad Bulk óptima con la inclusión de PET se sitúa entre el 0.5% y el 2.5%, alcanzando una densidad aproximada de 2.382 gr/cm³. También se observó que, al aumentar la proporción de PET más allá de este rango, la densidad disminuye ligeramente. Finalmente, concluyeron que el módulo de elasticidad sugiere un contenido de PET inferior al 2% en comparación con una muestra similar sin PET. El aporte de la presente se concentra específicamente en proporcionar una alternativa ecológica para disminuir la contaminación, utilizando plástico reciclado PET en la construcción de pavimentos; al hacerlo, no sólo se prolongará la vida útil de las vías de bajo tráfico, sino que también se impulsará el reciclaje de plásticos, contribuyendo al cuidado del medio ambiente y al desarrollo de infraestructuras más sostenibles.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Nuñez & Oblitas (2022), en su tesis de pregrado titulada “Mejoramiento de subrasante del pavimento flexible de la avenida Gran Chimú, adicionando plástico triturado, para mejorar la resistencia, Chiclayo-2021”, se plantearon como objetivo general, investigar la viabilidad de mejorar la subrasante del pavimento flexible en la avenida Gran Chimú mediante la incorporación de plástico triturado, con la finalidad de incrementar la resistencia del suelo. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, ya que todos los indicadores considerados eran susceptibles de medición numérica, lo que permitió un análisis detallado y preciso de los resultados. El estudio se enmarcó en el método científico y se diseñó bajo un esquema experimental, en el que se realizaron 06 calicatas, y se llevaron a cabo 04 ensayos de CBR por cada calicata, utilizando diferentes proporciones de plástico triturado: 0%, 3%, 5% y 7%. El objetivo fue determinar el nivel de

resistencia óptimo que se podía alcanzar en la subrasante con la adición del plástico triturado, evaluando la capacidad de soporte del suelo. La investigación fue de carácter aplicada, pues buscaba resolver un problema práctico. Los resultados demostraron que al incluir un 5% de plástico triturado en los ensayos CBR, se obtuvo la mayor resistencia de la subrasante, lo que sugiere que este porcentaje es el más adecuado para mejorar las condiciones del suelo en la avenida Gran Chimú, aportando una solución eficiente y sostenible, que en síntesis consistirá en la mejora de los suelos mediante el uso de plástico reciclado triturado, incrementando la resistencia del pavimento, reduciendo costos y promoviendo una infraestructura vial sostenible.

Rodríguez (2020), en su tesis de pregrado “Diseño de mezcla asfáltica con plástico reciclado para innovar el proyecto ciclovial prolongación av. Bolognesi hasta carretera Pimentel”, de la ciudad de Chiclayo, evaluó la viabilidad de diseñar una mezcla asfáltica que incorporara plástico reciclado, con el propósito de innovar en el proyecto ciclovial de Chiclayo. La motivación de esta investigación fue el alto impacto ambiental generado por los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Se trabajó con un grupo de control, compuesto por diferentes porcentajes de asfalto (4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%), y un grupo experimental, en el que se añadió plástico reciclado en proporciones de 3%, 6%, 9% y 12%. En total, se procesaron 21 muestras para evaluar su desempeño. El estudio siguió un diseño experimental puro, con posprueba y grupo control, y utilizó herramientas como libreta de campo y formatos de laboratorio, además de técnicas de observación y análisis de contenido. Los resultados indicaron que la adición de plástico no disminuyó significativamente las propiedades del asfalto y que la mezcla cumplió con las normativas vigentes, lo que la hace adecuada para resistir las condiciones del proyecto ciclovial; aportando así la reducción del impacto ambiental mediante el reciclaje de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Además, fomentará el ejercicio físico y la

movilidad sostenible en la ciudad, mejorando la calidad de vida y promoviendo una cultura de reciclaje y cuidado del medio ambiente.

De la Cruz & Godoy (2022) realizaron su tesis de pregrado, “Evaluación de propiedades mecánicas de mezclas con asfalto PG 76-10E modificado con polímero elastómero y con polímero plástomero” en la ciudad de Lima, Perú. El propósito de esta investigación fue analizar y comparar las propiedades mecánicas de dos mezclas asfálticas modificadas, una con polímero elastómero y otra con polímero plástomero, y determinar la importancia del tipo de polímero en el comportamiento del asfalto, influyendo en el diseño y el rendimiento de la mezcla asfáltica, especialmente en su vida útil. Para ello, se emplearon 40 especímenes de ensayo, con los que se realizó el diseño Marshall y se obtuvieron los parámetros de estabilidad y flujo, además de realizarse pruebas de deformación permanente y fatiga para ambas mezclas, con el fin de identificar sus propiedades mecánicas. La investigación se estructuró bajo un diseño cuasi-experimental, pues se pretendía establecer una relación causal entre el uso de diferentes polímeros en la modificación del asfalto y el desempeño de las mezclas resultantes. Los datos fueron recogidos mediante fichas de laboratorio, registrando los cambios observados en las mezclas antes y después de su evaluación. Los resultados mostraron que la estabilidad de la mezcla con elastómero fue de 1782 kg, mientras que la de la mezcla con plástomero fue de 1471 kg. Los valores de flujo resultantes fueron de 12.8 mm y 12.6 mm, respectivamente. Estos resultados evidencian una diferencia significativa en cuanto a la estabilidad y la resistencia a la fatiga, siendo el polímero elastómero el que proporcionó un mejor rendimiento, con un incremento de la estabilidad del 21% y una resistencia a la fatiga 134% mayor en comparación con la mezcla modificada con polímero plástomero. El aporte de esta investigación radica en la implementación de asfaltos modificados con polímeros elastómeros, lo cual permitirá desarrollar pavimentos con mayor durabilidad y resistencia a condiciones climáticas adversas y al tráfico pesado; además, nos

proporciona un modelo para la caracterización de mezclas asfálticas avanzadas, lo que puede ser replicado en otros proyectos de infraestructura vial.

En su tesis de pregrado titulada "Diseño de pavimento flexible incorporando plástico reciclado en la avenida Huayna Capac, Santa Rosa, 2020", Quispe (2021) plantea como objetivo principal evaluar la influencia del uso de plástico reciclado en el diseño del pavimento flexible de dicha avenida. La metodología utilizada fue de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo, y el diseño de investigación adoptado fue cuasi-experimental. Entre los resultados obtenidos, se identificaron características similares en las tres calicatas analizadas: todas contenían arena pobremente gradada con limo, y una de ellas también incluía grava. El valor del CBR reportado fue de 12.8%. En cuanto a la estabilidad Marshall, la mezcla convencional alcanzó una estabilidad de 12.58 kN y un flujo de 13.3 mm, mientras que la mezcla con plástico reciclado mostró una estabilidad de 8.26 kN y un flujo de 16.3 mm. El porcentaje de vacíos en la mezcla convencional fue de 3.9%, mientras que en la mezcla con plástico reciclado aumentó al 7%. En consecuencia, se concluyó que la mezcla convencional presenta mejores características, debido a su mayor estabilidad y menor porcentaje de vacíos, en comparación con la mezcla con plástico reciclado, que presentó un incremento en el porcentaje de vacíos y no cumplió con las especificaciones técnicas EG 2013. Sin embargo, esta evaluación aporta datos importantes sobre las limitaciones y desafíos de integrar materiales reciclados en infraestructura vial, lo que puede guiar futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos para optimizar el uso de materiales reciclados en pavimentos.

Alarcón & Cárdenas (2021), en su tesis de pregrado "Mezcla asfáltica modificada con polímero SBS para la optimización de las propiedades de la mezcla asfáltica", se propusieron como objetivo principal demostrar los beneficios de añadir el polímero estireno-butadieno-estireno (SBS) al asfalto. La muestra estuvo conformada por

investigaciones previas que abordaban el uso de polímeros SBS en pavimentos flexibles, tanto en climas cálidos como fríos. Tras reunir las fuentes bibliográficas, se identificaron los ensayos realizados al cemento asfáltico de petróleo (CAP) y a las mezclas asfálticas. Se compararon los resultados de los ensayos en el CAP sin modificar y en el modificado, y se repitió el proceso con las mezclas asfálticas convencionales y aquellas modificadas con SBS, evaluando su comportamiento mecánico y rendimiento. Además, se realizó una comparación de los costos de producción por metro cúbico entre las mezclas convencionales y las modificadas. Los datos fueron recolectados de estudios previos realizados en zonas de temperaturas extremas (cálidas y frías), incluyendo diseños de mezclas asfálticas y ensayos de estabilidad, flujo y desempeño. La investigación siguió un enfoque deductivo, con un diseño no experimental y un enfoque cualitativo, de tipo descriptivo, pues se analizaron las características de investigaciones anteriores. Los resultados indicaron mejoras significativas en el comportamiento mecánico y el rendimiento de las mezclas asfálticas modificadas con SBS. En términos económicos, se evidenció que las mezclas modificadas son más rentables a largo plazo, ya que no requieren mantenimientos prematuros. El aporte de esta investigación radica en la posibilidad de construir vías más duraderas y seguras, especialmente en áreas o ciudades expuestas a temperaturas extremas; como la costa peruana o las zonas andinas. En estos ambientes, las mezclas asfálticas convencionales tienden a fallar debido a la deformación por el calor extremo o al agrietamiento causado por el frío.

2.1.3. Antecedentes Locales.

En su tesis de pregrado titulada "Evaluación comparativa de mezclas asfálticas con polímeros ABS y tradicional para mejorar las propiedades mecánicas en pavimentos flexibles, Trujillo", Gamboa (2021) se propuso como objetivo principal realizar una evaluación comparativa entre la mezcla asfáltica con polímeros ABS y la mezcla

tradicional. La muestra, representativa de la población, se obtuvo aplicando una fórmula específica para cada tipo de estudio, siendo seleccionadas 144 briquetas, divididas en 72 para el asfalto tradicional y 72 para la mezcla modificada con polímero ABS. El muestreo fue aleatorio simple, una técnica probabilística en la que cada muestra del laboratorio tuvo la misma probabilidad de ser elegida de manera aleatoria. El diseño de investigación fue de tipo aplicada, manipulando una variable independiente para medir su efecto sobre la variable dependiente, utilizando un diseño experimental puro con dos grupos y aplicando una post-prueba tanto al grupo control como al experimental. Para la recolección de datos, se utilizó el Manual de Carreteras vigente, el cual sirvió de base para desarrollar una guía de observación de indicadores, permitiendo la comparación entre las mezclas convencionales y las modificadas con polímeros. Además, se emplearon instrumentos del laboratorio de mecánica de suelos para realizar los ensayos pertinentes. Los resultados mostraron que, desde una perspectiva técnica, tanto la mezcla asfáltica tradicional como la modificada presentaron buen rendimiento bajo diversas condiciones climáticas. Sin embargo, la mezcla modificada con un 0.856% de polímero ABS exhibió un mejor comportamiento mecánico, especialmente bajo condiciones de tráfico, mostrando estabilidad y flujo óptimos, con un porcentaje de vacíos del 4%, lo que le otorga características de impermeabilidad que previenen la filtración de agua. Además, su vida útil se incrementó entre 20 y 25 años, representando una mejora del 50% en comparación con la mezcla asfáltica tradicional. El aporte de la presente reside en mejorar la durabilidad y calidad de los pavimentos flexibles, lo cual reducirá costos de mantenimiento y mejorará la seguridad y transitabilidad, facilitando el transporte de productos y personas; y, en consecuencia, impulsando el desarrollo económico y social de la población.

Castro y Cruzado (2021), en su tesis de pregrado titulada "Influencia de la adición de fibras de polímeros reciclados en la capacidad de soporte de la subrasante, para el diseño del pavimento flexible, Alto Trujillo - Barrio I, 2021", plantearon como objetivo principal evaluar cómo la incorporación de fibras de polímeros reciclados afecta la capacidad de soporte de la subrasante para el diseño de pavimento flexible. En su investigación, consideraron diferentes tipologías de suelos, la clasificación de materiales para carreteras, y las propiedades del PET y de los suelos, obtenidos a través de ensayos de laboratorio con muestras del área en estudio. Los resultados indicaron que la adición de un 2.5% de fibras PET recicladas incrementó el índice CBR; sin embargo, al aumentar el porcentaje de fibras PET al 5% y 7.5%, el índice CBR disminuyó. Además, se realizó un análisis de la mecánica de suelos en estado natural, donde se evaluaron las propiedades físicas y químicas, determinando que el suelo en las vías principales es una arena mal graduada (SP) según SUCS y clasificada como A-3 bajo el sistema AASHTO, con un promedio de 96.04% de arena y 3.96% de finos, lo que indica que es un suelo no cohesivo debido a su bajo contenido de finos. En cuanto al contenido de humedad, los ensayos arrojaron valores entre 0.90% y 1.3%, con una humedad promedio de 1.03%, obtenida a partir de ocho calicatas. También se realizó un ensayo de sales solubles, el cual reveló que el suelo arenoso de Alto Trujillo contenía un promedio de 0.07% de sales solubles. Por lo que el aporte de la presente se concentra en la mejora de la capacidad de soporte de los suelos en el Alto Trujillo mediante el uso de fibras de polímeros reciclados (PET), esto permitirá desarrollar pavimentos más duraderos y resistentes.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Pavimento.

Se refiere a una estructura vial que consiste en varias capas horizontales superpuestas compuestas de materiales cuidadosamente seleccionados. Está diseñada para soportar y repartir las dificultades generados por el tráfico vehicular (con una función estructural). Los vehículos en movimiento generan cargas dinámicas que producen esfuerzos y deformaciones en las interfaces horizontales, verticales y de corte entre las distintas capas que conforman la estructura vial. (Lizcano & Quintana, 2015).

Las capas siguientes componen la estructura del pavimento:

- **Capa de rodadura:** La capa superior visible de un pavimento, ya sea compuesto por adoquines, flexible con bitumen o rígido con concreto de cemento Portland, es conocida como la capa de superficie, que soporta directamente la carga del tráfico vehicular.
- **Base:** La capa que se encuentra debajo de la superficie de rodadura soporta, distribuye y transmite las cargas generadas por el tráfico vehicular.
- **Subbase:** Con un espesor definido en el diseño, tiene la función de soportar y distribuir la carga del tránsito vehicular a la capa inferior y proporcionar una base estable para la capa de rodadura.

Pavimento Flexible

Se trata de una estructura vial formada por una serie de capas granulares, como la base y la subbase, que están compuestas por materia bituminosa como aglutinantes, agregados pétreos y aditivos. Cada capa que forman la estructura pavimentosa flexible distribuye y disipa los esfuerzos generados por el tráfico vehicular. Por tanto, cuando estos esfuerzos llegan a la subrasante, esta debe tener la resistencia mecánica necesaria para soportarlos sin sufrir deformaciones. La carpeta asfáltica tiene como función estructural

resistir la fatiga y las deformaciones permanentes, así como la impermeabilización para evitar la penetración de agua hacia las capas inferiores y efectos climáticos. Además, su diseño y construcción deben asegurar la protección y confort de los pasajeros del transporte a lo largo de su periodo de utilización. (Lizcano & Quintana, 2015).

Figura 1

Estructura de Pavimento Flexible (Sección Transversal)



Nota. De ¿Que es un PAVIMENTO FLEXIBLE? Tipos y características, por CONSTRUNEIC, 2022, CONSTRUNEIC (<https://construneic.com/pavimentos/pavimento-flexible>).

2.2.2. Mezclas Asfálticas.

Definición de Mezcla Asfáltica

Las mezclas asfálticas se definen como la combinación de agregados minerales, de distintos tamaños y características, con un ligante bituminoso, usualmente asfalto, que se usa en la construcción de pavimentos. Se fabrican en centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kreamer, 2004)

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráficos pesados intensos.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

Clasificación de Mezclas Asfálticas

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas, por consiguiente, las clasificaciones pueden ser diversas:

- Por fracciones de agregado pétreo empleado.
- Por la temperatura de puesta en obra.
- Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.
- Por el tamaño máximo del agregado pétreo.
- Por la estructura del agregado pétreo.
- Por la granulometría.

Tipología de las Mezclas Asfálticas

▪ Mezcla Asfáltica en Caliente

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral, y eventualmente, aditivos; de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante.

Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente.

▪ **Propiedades de la mezcla asfáltica**

Durabilidad

La resistencia de la mezcla asfáltica es una característica crucial que determina su habilidad para soportar los efectos adversos del entorno y el tráfico vehicular a lo largo del tiempo. Este atributo no solo está vinculado con la fortaleza ante la fatiga y la erosión, sino también con la capacidad de mantener la integridad estructural del pavimento bajo cargas repetidas y condiciones climáticas desfavorables. Aspectos como la calidad de los materiales utilizados, el diseño de la mezcla y las prácticas de construcción y mantenimiento ejercen influencia directa en la durabilidad del pavimento. Por ejemplo, una mezcla asfáltica con un alto contenido de aglutinante de buena calidad y agregados bien graduados tiende a ser más duradera, ya que ofrece una mayor resistencia a la deformación permanente y a la formación de grietas por fatiga. Además, la aplicación de técnicas de compactación adecuadas durante la construcción puede mejorar la densidad y la resistencia de la mezcla, incrementando así su durabilidad a largo plazo. (Garnica, et al, 2001)

Adhesión y cohesión

La unión y la cohesión son propiedades fundamentales que garantizan la integridad estructural y funcional del pavimento. La adhesión se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para adherirse firmemente a las superficies de los agregados pétreos y otras capas del pavimento, mientras que la cohesión se relaciona con la habilidad de los materiales asfálticos para mantenerse unidos entre sí, evitando la separación o deslizamiento de las partículas. La falta de adherencia puede ocasionar desprendimientos prematuros de la capa asfáltica, lo que compromete la vida útil del pavimento y aumenta los gastos de mantenimiento. Por ejemplo, en áreas con tráfico pesado o curvas pronunciadas, donde las fuerzas de corte

son altas, es crucial asegurar una adherencia adecuada entre las capas del pavimento para evitar problemas de delaminación y agrietamiento. Además, la cohesión deficiente puede conducir a la formación de huecos y grietas dentro de la mezcla, reduciendo su resistencia estructural y aumentando el riesgo de deterioro prematuro. (Garnica, et al, 2001)

Susceptibilidad a la temperatura

La sensibilidad a la temperatura es una propiedad importante que determina la capacidad de la mezcla asfáltica para conservar sus propiedades físicas y mecánicas dentro de un rango aceptable en diferentes condiciones climáticas. Las fluctuaciones de temperatura pueden afectar significativamente el comportamiento de la mezcla, especialmente en áreas con climas extremos. Por ejemplo, en climas cálidos, las altas temperaturas pueden ocasionar el ablandamiento del aglutinante asfáltico, lo que aumenta la susceptibilidad a la deformación permanente y la formación de ondas en la superficie del pavimento. Por otro lado, en climas fríos, las bajas temperaturas pueden causar rigidez en la mezcla, incrementando el riesgo de agrietamiento por tensión térmica. La elección adecuada de materiales y aditivos, así como el diseño de la mezcla, son fundamentales para mejorar la estabilidad térmica de la mezcla y reducir su sensibilidad a las variaciones de temperatura a lo largo del año. (Garnica, et al, 2001)

Envejecimiento y endurecimiento

El envejecimiento y el endurecimiento son procesos naturales que afectan a las mezclas asfálticas con el tiempo debido a la exposición a factores ambientales, como la radiación ultravioleta, la oxidación y la acción del tráfico vehicular. Estos procesos pueden ocasionar una pérdida gradual de flexibilidad y una disminución en la resistencia mecánica de la mezcla, lo que se traduce en una mayor propensión a la formación de grietas y al deterioro prematuro del

pavimento. Por ejemplo, el envejecimiento del aglutinante asfáltico puede provocar la pérdida de volátiles y la oxidación de los componentes, lo que resulta en un aglutinante más rígido y frágil. Como consecuencia, la mezcla asfáltica se vuelve más susceptible al agrietamiento por fatiga y a la pérdida de cohesión entre los agregados. Estrategias como el uso de aditivos antioxidantes y la aplicación de tratamientos superficiales pueden ayudar a mitigar los efectos del envejecimiento y endurecimiento, prolongando así la vida útil del pavimento y reduciendo los costos de mantenimiento a largo plazo. (Garnica, et al, 2001)

2.2.3. Reciclaje de Pavimentos Flexibles.

El reciclaje se refiere al aprovechamiento de un material de pavimento después de haber cumplido su vida útil inicial, y puede ser utilizado para producir una nueva mezcla asfáltica de calidad igual o superior a las mezclas convencionales. Además, puede utilizarse para mejorar las capas de material granular o como una base estabilizadora en la construcción de pavimentos. (Tafur Garro, 2005).

2.2.4. Plástico Reciclado.

Según Rosli & Ahmad (2021), los plásticos reciclados se obtienen principalmente a partir de dos métodos principales, procesos mecánicos y químicos. Entre estos dos métodos, comúnmente se usa el método mecánico que pasa por procesos físicos en lugar del método químico. Los procesos físicos generalmente involucran calor, estrés mecánico y oxidación, lo que resulta en la degradación del plástico. La degradación del plástico afectará la estructura molecular del plástico y, por lo tanto, dará como resultado el cambio de las propiedades del plástico, especialmente las propiedades mecánicas.

▪ Tipos de Plásticos

Los polímeros, materiales esenciales en la industria de los plásticos, presentan una amplia diversidad que se clasifica según sus características y aplicaciones. Comprender las particularidades de cada clase de plástico es esencial para su utilización en diversos sectores industriales. (AM GROUP, 2024)

Polietileno (PE)

El polietileno, reconocido por su sigla PE, es uno de los polímeros más comunes y adaptables en la industria del plástico. Se destaca por su baja densidad, flexibilidad y resistencia a la humedad, lo que lo hace idóneo para la elaboración de envoltorios y bolsas de plástico. El PE se divide en polietileno de alta densidad (PEAD) y polietileno de baja densidad (PEBD), cada uno con atributos específicos que los hacen apropiados para distintas aplicaciones. (AM GROUP, 2024)

Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo, también denominado PVC, es otro polímero ampliamente empleado en la industria plástica. Se caracteriza por su resistencia a la corrosión, durabilidad y versatilidad. El PVC se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde tuberías y perfiles de construcción hasta recubrimientos de suelos y tapicería de vehículos. No obstante, su producción y desecho pueden plantear inquietudes ambientales debido a la liberación de sustancias químicas nocivas durante su ciclo de vida. (AM GROUP, 2024)

Polipropileno (PP)

El polipropileno, conocido por su sigla PP, es un polímero termoplástico utilizado en una diversidad de aplicaciones debido a su elevada resistencia química, rigidez y capacidad para resistir altas temperaturas. Se emplea comúnmente en envases de alimentos,

tejidos, dispositivos médicos y componentes automotrices. El PP es reciclable y se considera uno de los plásticos más seguros para el contacto con alimentos. (AM GROUP, 2024)

Poliuretano (PU)

El poliuretano, identificado como PU, es un polímero que se caracteriza por su resistencia al desgaste, flexibilidad y capacidad para adaptarse a diversas formas y estructuras. Se utiliza en la fabricación de espumas, elastómeros, adhesivos, selladores y recubrimientos protectores. El PU se encuentra presente en una variedad de productos, desde colchones y muebles hasta calzado deportivo y recubrimientos industriales. (AM GROUP, 2024)

Tereftalato de etileno (PET)

El poli (tereftalato de etileno), abreviado como PET, es un polímero termoplástico utilizado principalmente en la fabricación de envases para bebidas y alimentos. Se caracteriza por su transparencia, resistencia mecánica y capacidad para resistir la humedad. El PET es ampliamente reciclado y se emplea en la producción de fibras textiles, como el poliéster, así como en películas para envases flexibles y láminas para aplicaciones industriales. (AM GROUP, 2024)

Policarbonato (PC)

El policarbonato, conocido como PC, es un polímero termoplástico transparente y resistente al impacto. Se utiliza en aplicaciones que requieren elevada resistencia mecánica y transparencia, como ventanas de seguridad, lentes de protección y componentes de vehículos. El PC también se utiliza en la fabricación de discos compactos, botellas reutilizables y componentes electrónicos debido a su durabilidad y resistencia a la abrasión. (AM GROUP, 2024)

Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

El acrilonitrilo butadieno estireno, conocido como ABS, es un copolímero termoplástico que combina las propiedades del acrilonitrilo, el butadieno y el estireno. Se destaca por su resistencia al impacto, rigidez y facilidad de procesamiento. El ABS se emplea en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo juguetes, componentes de vehículos, electrodomésticos y dispositivos electrónicos. Su versatilidad y resistencia lo hacen adecuado para aplicaciones que requieren una combinación de fuerza y estética. (AM GROUP, 2024)

▪ **Características del Plástico**

Los polímeros, esenciales en la industria de los materiales sintéticos, presentan una diversidad de atributos que los hacen apropiados para una amplia variedad de usos. La comprensión de estas propiedades es esencial para seleccionar el tipo de material plástico más adecuado para cada necesidad específica.

Resistencia física

La resistencia física de un plástico se refiere a su habilidad para soportar cargas y deformaciones sin experimentar fracturas o fallos. Esta característica depende de diversos factores, incluyendo la estructura molecular, la temperatura y las condiciones de carga. Los polímeros de ingeniería, como el policarbonato y el polietileno de alta densidad, usualmente presentan una alta resistencia física, haciéndolos adecuados para aplicaciones que requieren resistencia a la tensión y al impacto. (Lifeder, 2024)

Flexibilidad

La maleabilidad de un plástico se refiere a su capacidad para doblarse o deformarse sin romperse. Este aspecto está determinado por la naturaleza del polímero y su grado de entrecruzamiento molecular. Los materiales termoplásticos, como el polietileno de baja

densidad y el polipropileno, tienden a ser más flexibles que los termoestables, siendo apropiados para usos que demandan maleabilidad y adaptabilidad, como envases y láminas plásticas. (Lifeder, 2024)

Dureza

La solidez de un plástico se refiere a su resistencia a la penetración o a la abrasión superficial. Este rasgo está influenciado por la estructura molecular y la composición química del polímero. Los materiales de alta densidad, como el policarbonato y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), suelen ser más duros y resistentes a los rayones que los materiales de baja densidad, como el polietileno de baja densidad. La dureza es importante en aplicaciones que requieren resistencia a la abrasión y al desgaste, como carcasas de dispositivos electrónicos y componentes de maquinaria. (Lifeder, 2024)

Estabilidad química

La estabilidad química de un plástico se refiere a su resistencia a la degradación causada por agentes químicos como ácidos, solventes y productos químicos industriales. Esta propiedad es crucial en aplicaciones donde el plástico está expuesto a ambientes agresivos, como en la industria química y farmacéutica. Los materiales de alta resistencia química, como el polietileno de alta densidad y el polipropileno, son preferidos en estas aplicaciones debido a su capacidad para resistir la corrosión y la degradación química. (Lifeder, 2024)

Estabilidad térmica

La estabilidad térmica de un plástico se refiere a su habilidad para mantener sus propiedades físicas y mecánicas dentro de un rango de temperaturas específico. Esta propiedad es importante en aplicaciones donde el plástico está expuesto a temperaturas

extremas, como en la industria automotriz y aeroespacial. Los materiales de ingeniería, como el policarbonato y el poliuretano, suelen presentar una alta estabilidad térmica, siendo adecuados para aplicaciones que requieren resistencia al calor y a la llama. (Lifeder, 2024)

Transparencia

La transparencia de un plástico se refiere a su capacidad para permitir el paso de la luz sin distorsión significativa. Esta característica es importante en aplicaciones donde se requiere visibilidad o transmisión de luz, como en la fabricación de ventanas, lentes y envases transparentes. Materiales como el policarbonato y el polimetacrilato de metilo (PMMA) son conocidos por su alta transparencia y claridad óptica, siendo ideales para estas aplicaciones. (Lifeder, 2024)

2.2.5. Mezclas Asfálticas Modificadas con Plástico.

Las mezclas de asfalto ajustadas con plástico representan una innovación en la industria de la construcción de carreteras, ofreciendo beneficios adicionales en comparación con las mezclas convencionales. Entender las características y el comportamiento de estas mezclas es fundamental para su aplicación eficaz en la pavimentación de carreteras y otras infraestructuras viales. (Contreras y Zúñiga, 2020)

Ventajas de las mezclas asfálticas modificadas con material plástico

La introducción de materiales poliméricos en las mezclas asfálticas confiere una serie de beneficios, que incluyen mejoras en la resistencia al desgaste, la durabilidad y la estabilidad estructural. Además, estas mezclas suelen mostrar una mayor resistencia a la fatiga y una reducción en la susceptibilidad a la deformación permanente, lo que contribuye a una vida útil más prolongada del

pavimento. Otra ventaja significativa es la capacidad de reciclaje y reutilización de estos materiales, promoviendo la sostenibilidad y la conservación de recursos. (Contreras y Zúñiga, 2020)

Tipos de materiales plásticos

Una variedad de materiales poliméricos se emplea en la modificación de las mezclas asfálticas, incluyendo polímeros termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los polímeros termoplásticos, como el polietileno de alta densidad (PEAD) y el polipropileno (PP), se caracterizan por su capacidad de ablandamiento y maleabilidad bajo calor, lo que mejora la cohesión y la resistencia al desgaste de la mezcla. Por otro lado, los polímeros termoestables, como el poliestireno (PS) y el poliuretano (PU), se endurecen de manera irreversible al ser sometidos a calor, proporcionando una mayor estabilidad térmica y resistencia a la deformación. Los elastómeros, como el estireno-butadieno-estireno (SBS) y el estireno-etileno-butadieno-estireno (SEBS), son polímeros flexibles que mejoran la elasticidad y la capacidad de recuperación de la mezcla, reduciendo así la formación de grietas y fisuras. (Contreras y Zúñiga, 2020)

Influencia de los plásticos en las propiedades de una mezcla asfáltica

La adición de plásticos a las mezclas asfálticas altera significativamente sus propiedades físicas y mecánicas. Por ejemplo, la presencia de polímeros termoplásticos puede mejorar la resistencia al deslizamiento y la deformación permanente de la mezcla, mientras que los elastómeros ofrecen una mayor flexibilidad y resistencia a la fatiga. Además, los plásticos pueden mejorar la adherencia entre los agregados y el ligante asfáltico, promoviendo una distribución más uniforme de las cargas y una mayor resistencia a la segregación y exudación. (Contreras y Zúñiga, 2020)

Consideraciones para el diseño y la aplicación

El diseño y la aplicación de mezclas asfálticas modificadas con plástico requieren una cuidadosa consideración de diversos factores, como la selección de materiales adecuados, la dosificación óptima de los aditivos y la compatibilidad entre los componentes de la mezcla. Además, es importante tener en cuenta las condiciones climáticas y de tráfico, así como las especificaciones técnicas y normativas pertinentes, para garantizar un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada del pavimento. El seguimiento y la evaluación continua del comportamiento de las mezclas en servicio son fundamentales para identificar posibles mejoras y optimizaciones en el diseño y la aplicación. (Contreras y Zúñiga, 2020)

2.2.6. Aditivos para Mezclas Asfálticas.

Los aditivos son productos químicos que se añaden al asfalto con el propósito de mejorar sus propiedades físico-mecánicas y rendimiento. El uso de estos dependerá de las propiedades específicas que se desee mejorar previstas para una vía o carretera. Algunos aditivos más comunes son los siguientes:

- Modificadores de polímeros
- Modificadores de caucho
- Aditivos antiespumantes
- Aditivos rejuvenecedores
- Aditivos antiadherentes

Entre los aditivos rejuvenecedores, encontramos el aditivo adirap-s en estudio.

▪ Adirap-s.

El aditivo ADIRAP-S es un producto químico utilizado en la industria de las mezclas asfálticas para mejorar diversas propiedades del asfalto. Este aditivo se utiliza comúnmente para mejorar la resistencia a la deformación permanente, la resistencia a

la fatiga, la adhesión entre el asfalto y los agregados, y la resistencia al agua del asfalto.

Según CASH Asfaltos (2023), la caracterización del aditivo en cuestión es la siguiente:

Aplicaciones:

Rejuvenecedor de asfaltos oxidados y envejecidos
Aditivo amplificador del tiempo de vida útil del asfalto.

Ventajas:

Reutilización de material molido con una reducción significativa de los pasivos ambientales.
Regeneración con 100% del material RAP.
Fácil trabajabilidad.
Bajo VOC (Compuestos orgánicos volátiles).
Permite el almacenamiento para su posterior aplicación.
Proceso ecológico, reduciendo la explotación de canteras y aumentando la vida útil de los vertederos inertes (punto de acopio de excedentes).

Dosificación:

1.0% a 2.5% con relación al peso del residuo asfáltico envejecido del RAP

Método de dosificación:

Añadir la cantidad referida al peso del residuo asfáltico envejecido (RAP) y mezclar in situ, en hormigonera o en planta PMF.
Iniciar la aplicación del PMF (Pre-Mezclado en Frío), enseguida iniciar compactación, utilizando rodillo de placa lisa sin vibración.

Propiedades físicas y químicas

Estabilidad Marshall > 8N Densidad 2.25 a 2.35kg/cm Fluencia – 4,0
10,0 mm

2.2.7. Método Marshall.

Según Paul Garnica Anguas & Horacio Delgado Alamilla & Carlos Daniel Sandoval Sandoval (2005), el concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38 mm (1.5"), y está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 ½") de alto y 102 mm (4") de diámetro; se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto- agregado (ASTM D1559).

Pruebas a las Mezclas Asfálticas

En el método Marshall se elaboran tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

- Determinación de la gravedad específica
- Prueba de estabilidad y flujo
- Análisis de densidad y vacíos

▪ Descripción del peso específico total o gravedad específica

La masa específica total, igualmente conocida como densidad absoluta o densidad relativa, es una medida fundamental en la física y la ingeniería que representa la cantidad de materia por unidad de

volumen de un material. Entender esta propiedad es esencial para diversos campos, desde la construcción hasta la ingeniería de materiales y la ciencia de los fluidos.

Definición del peso particular total o gravedad específica

El peso particular total, o densidad absoluta, se define como la cantidad de materia de una sustancia contenida en una unidad de volumen, mientras que la gravedad específica se refiere a la relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a una temperatura y presión específicas. Ambas medidas proporcionan información sobre la compacidad y la concentración de materia de una sustancia, siendo útiles para caracterizar materiales sólidos, líquidos y gaseosos.

Unidades de medida y cálculo

El peso particular total se expresa típicamente en unidades de masa por volumen, como kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) en el sistema internacional (SI) o libras por pie cúbico (lb/ft^3) en el sistema imperial. Por otro lado, la gravedad específica es una cantidad adimensional que se calcula dividiendo la densidad de un material entre la densidad del agua a 4 grados Celsius (1000 kg/m^3 o 62.43 lb/ft^3).

Aplicaciones en la ingeniería y la ciencia

El peso particular total y la gravedad específica tienen una amplia gama de aplicaciones en la ingeniería civil, la geología, la metalurgia, la hidrología y otras disciplinas. Por ejemplo, en la construcción de estructuras, el conocimiento del peso específico del hormigón, el asfalto y otros materiales es crucial para calcular cargas y diseñar cimientos y estructuras adecuadas. En la geología y la exploración de minerales, la gravedad específica se utiliza para identificar y caracterizar diferentes tipos de rocas y minerales en el terreno. Además, en la industria alimentaria y farmacéutica, la

gravedad específica se emplea para controlar la calidad y la concentración de soluciones y suspensiones.

▪ **Medición de la Estabilidad y la Fluencia Marshall**

La evaluación de la firmeza y el flujo de las combinaciones bituminosas es de suma importancia en la industria de la edificación de carreteras para garantizar la durabilidad y el rendimiento de las capas de pavimento. El procedimiento de ensayo Marshall es una técnica estándar usada para determinar estas características mediante la compactación de muestras de combinación bituminosa a diferentes niveles de densidad y la aplicación de cargas repetitivas. Este proceso brinda datos cruciales sobre la capacidad de la combinación para resistir deformaciones y desplazamientos bajo cargas de tráfico.

Medición de la firmeza Marshall

La firmeza Marshall se refiere a la capacidad de una mezcla bituminosa para resistir deformaciones permanentes bajo cargas repetidas. Se determina aplicando una carga vertical a una muestra compactada de mezcla bituminosa en una prensa Marshall. La carga máxima que soporta la muestra antes de sufrir una deformación considerable se registra como el valor de firmeza Marshall. Este dato se utiliza para evaluar la calidad y resistencia de la mezcla y se expresa en kilogramos o libras.

Medición del flujo Marshall

El flujo Marshall, también conocido como deformación plástica, es la capacidad de la combinación bituminosa para fluir lateralmente bajo cargas verticales. Se determina midiendo la deformación lateral de la muestra de combinación bituminosa durante el ensayo Marshall. Esta medida proporciona información sobre la capacidad de la combinación para resistir la deformación lateral y la formación de grietas en condiciones de tráfico. Se expresa

en milímetros o pulgadas y se utiliza para evaluar la trabajabilidad y la compactibilidad de la combinación.

Interpretación de los resultados

Los resultados del ensayo Marshall ofrecen una evaluación objetiva de la calidad y el comportamiento de la combinación bituminosa bajo condiciones de carga simuladas. Una alta firmeza y un bajo flujo indican una combinación resistente y duradera capaz de soportar cargas de tráfico y resistir la deformación permanente. Por otro lado, una baja firmeza y un alto flujo pueden indicar problemas de compactación, contenido de asfalto insuficiente o falta de cohesión en la combinación. Estos resultados se utilizan para optimizar el diseño de combinaciones bituminosas y mejorar la durabilidad y el rendimiento del pavimento.

▪ **Análisis de la Densidad y el Contenido de Vacíos**

El análisis de la densidad y el contenido de huecos es un proceso crucial en la evaluación de la calidad y la durabilidad de las mezclas asfálticas en la construcción de carreteras y otras infraestructuras viales. Este análisis proporciona información sobre la compactación y la uniformidad de la mezcla, lo que influye directamente en su resistencia a la deformación, la resistencia al desgaste y la vida útil del pavimento. (Flores, 2014)

Medición de la densidad

La densidad de una mezcla asfáltica se refiere a la cantidad de masa por unidad de volumen de la mezcla. Se mide mediante métodos de laboratorio que involucran la toma de muestras de la mezcla y la determinación de su masa y volumen. La densidad se expresa típicamente en unidades de masa por volumen, como kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/ft^3). Una mayor densidad indica una mayor compactación de la mezcla, lo

que se traduce en una mejor resistencia a la deformación y una mayor durabilidad del pavimento. (Flores, 2014)

Cálculo del contenido de huecos

El contenido de huecos, también conocido como porosidad o vacíos, se refiere al espacio vacío dentro de la mezcla asfáltica que no está ocupado por partículas sólidas. Se calcula como el porcentaje del volumen total de la mezcla que está ocupado por huecos. Este cálculo se realiza comparando la densidad aparente de la mezcla con su densidad máxima teórica. Un contenido de huecos alto indica una baja compactación de la mezcla y una mayor susceptibilidad a la deformación y al desgaste. (Flores, 2014)

Importancia del análisis

El análisis de la densidad y el contenido de huecos proporciona información crucial para el diseño y la calidad de las mezclas asfálticas. Una mezcla con una densidad adecuada y un bajo contenido de huecos tendrá una mayor resistencia estructural y una vida útil más larga del pavimento. Por otro lado, una baja densidad y un alto contenido de huecos pueden conducir a problemas como la segregación, la exudación y la formación de grietas, lo que resulta en un pavimento menos duradero y más propenso a daños prematuros. (Flores, 2014)

Procedimientos de mejora

Para mejorar la densidad y reducir el contenido de huecos en las mezclas asfálticas, se pueden emplear diversas técnicas durante la producción y la colocación. Estas pueden incluir un mejor control de los procesos de mezclado y compactación, el uso de aditivos modificadores y la optimización de la gradación de los agregados. Además, la aplicación de prácticas de control de calidad y la realización de ensayos regulares de densidad y contenido de huecos

son fundamentales para garantizar el rendimiento y la durabilidad del pavimento. (Flores, 2014)

2.2.8. Evaluación y Ajustes de una Mezcla de Diseño.

La evaluación y las correcciones de una combinación proyectada son fases críticas en el proceso de desarrollo de mezclas bituminosas para garantizar su idoneidad y rendimiento en la construcción de carreteras y otras infraestructuras viales. Este proceso implica examinar minuciosamente la composición de la mezcla y realizar ajustes según sea necesario para cumplir con los requisitos de resistencia, durabilidad y comportamiento bajo cargas de tráfico.

Examen de la mezcla de proyecto

La revisión de una mezcla de proyecto implica un análisis detallado de los materiales utilizados, incluidos los áridos, el asfalto y cualquier aditivo o modificador empleados. Se estudian las proporciones de cada componente, la gradación de los áridos y las características del asfalto para asegurar que cumplan con las especificaciones y requerimientos del proyecto. Además, se evalúa el comportamiento teórico de la mezcla mediante pruebas de laboratorio y modelado computacional.

Identificación de deficiencias y áreas de mejora

Durante la evaluación inicial, se pueden identificar insuficiencias en la mezcla de proyecto que podrían afectar su rendimiento en el campo. Estas deficiencias pueden incluir problemas como una gradación inadecuada de los áridos, un contenido insuficiente de asfalto, una falta de estabilidad o resistencia, o una susceptibilidad excesiva a la segregación o exudación. Además, se pueden identificar áreas de mejora para optimizar la durabilidad, la resistencia y la trabajabilidad de la mezcla.

Implementación de ajustes y modificaciones

Una vez identificadas las deficiencias y áreas de mejora, se realizan cambios y modificaciones en la mezcla de proyecto para abordar estos problemas. Estos ajustes pueden incluir modificaciones en las proporciones de los materiales, la incorporación de aditivos o modificadores para mejorar ciertas propiedades, o la optimización de los procesos de mezclado y compactación. Los cambios se basan en datos empíricos y análisis de laboratorio, así como en la experiencia y el conocimiento del equipo de diseño y construcción. (Contreras y Zúñiga, 2020)

Verificación y validación de la mezcla ajustada

Una vez implementados los ajustes, se lleva a cabo una verificación y validación de la mezcla ajustada para asegurar que cumpla con los requisitos de rendimiento y calidad establecidos. Esto puede implicar la realización de pruebas adicionales de laboratorio, ensayos de campo y monitoreo durante la construcción y el servicio del pavimento. La mezcla ajustada se somete a una evaluación exhaustiva para garantizar su idoneidad y capacidad para resistir las condiciones de carga y ambientales en el campo. (Contreras y Zúñiga, 2020)

2.2.9. Modificación del Asfalto Utilizando Plástico como Aditivo.

Beneficios y desventajas

La alteración del alquitrán mediante la introducción de plástico como suplemento acarrea una serie de beneficios y desventajas que deben ser considerados en el ámbito de la construcción de carreteras y otras infraestructuras viales. Estos aspectos deben ser evaluados con atención para determinar la idoneidad y efectividad de esta técnica en diversos contextos. (Contreras y Zúñiga, 2020)

Pros de la modificación del alquitrán con plástico

La inclusión de plástico como suplemento en el alquitrán presenta varias ventajas notables. En primer lugar, mejora la resistencia al roce y la durabilidad del pavimento, lo que resulta en una mayor durabilidad y reducción de gastos de mantenimiento a largo plazo. Además, el plástico puede incrementar la resistencia a la fatiga y la deformación persistente de la mezcla asfáltica, lo que resulta particularmente beneficioso en áreas de elevada circulación vehicular y condiciones climáticas extremas. También se ha observado que la modificación con plástico mejora la adherencia entre los agregados y el alquitrán, lo que contribuye a una mejor estabilidad estructural y reducción del riesgo de segregación y exudación. (Contreras y Zúñiga, 2020)

Contras de la modificación del alquitrán con plástico

A pesar de los beneficios mencionados, la modificación del alquitrán con plástico también presenta ciertas desventajas que deben tenerse en cuenta. En primer lugar, el costo inicial de los complementos plásticos puede ser más elevado en comparación con los materiales convencionales, lo que puede aumentar el gasto total de la construcción. Además, la disponibilidad y la logística asociadas con la adquisición y el transporte de los complementos plásticos pueden plantear desafíos adicionales en algunos casos. Otro aspecto que considerar es el impacto ambiental de la utilización de plásticos, especialmente en términos de su disposición final y posible contaminación. (Contreras y Zúñiga, 2020)

Consideraciones adicionales

Además de los beneficios y desventajas mencionados, es importante considerar otros factores específicos del proyecto al modificar el alquitrán con plástico como suplemento. Estos incluyen la compatibilidad con otros materiales y aditivos utilizados en la mezcla asfáltica, los requisitos de especificación y regulación, y la

disponibilidad de tecnología y experiencia para la aplicación efectiva de esta técnica. Se recomienda realizar un análisis detallado de costos y beneficios, así como un estudio de viabilidad técnica y ambiental, antes de tomar decisiones sobre la utilización de plásticos como suplementos en la modificación del alquitrán. (Contreras y Zúñiga, 2020)

2.3. Marco Conceptual

✓ **Autopista:**

Carretera con calzadas separadas para los dos sentidos de la circulación, cada una de ellas con dos o más carriles, sin cruces a nivel. (Real Academia Española, 2023)

✓ **Sostenibilidad en infraestructuras viales:**

Explora la creciente importancia de la sostenibilidad en la construcción de infraestructuras viales. Examina cómo la incorporación de materiales reciclados, como el plástico, puede contribuir a objetivos ambientales y de sostenibilidad. (Carvajal & Hincapié, 2019)

✓ **Agregado grueso:**

Es un material granular producido a partir de depósitos de arena o roca. El agregado grueso es normalmente mayor a 5 mm. Los agregados gruesos son responsables de la mayor parte de la resistencia al deslizamiento de los pavimentos. (GCC, 2020)

✓ **Agregado fino:**

Los agregados finos son esencialmente cualquier partícula de arena natural obtenida de la tierra a través del proceso de extracción. Los agregados finos consisten en arena natural o cualquier partícula de piedra triturada de ¼" o menos. (GCC, 2020)

✓ **Cemento asfáltico:**

Es un material aglutinante fuerte, versátil y resistente a la intemperie y a los productos químicos que se adapta a una variedad de usos. (ASFALTOS K&C SA, s.f.)

✓ **Aditivo asfáltico:**

Dicho elemento tiene la capacidad de mejorar la adherencia entre los agregados y el asfalto, disminuyendo la porosidad o formación de bolsas de agua. (NEO MATERIALES, s.f.)

✓ **Briqueta asfáltica:**

Es una porción de mezcla asfáltica, que cumple con un patrón establecido de porcentajes de participación de agregados y cemento asfáltico, en la mayoría de los casos corresponde a un total de 1200 gr de agregado mezclado con cemento asfáltico, el cual es compactado con la finalidad de obtener muestras normalizadas de prueba. (Velazco, s.f.)

✓ **Temperatura:**

Magnitud física que expresa el grado de frío o calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K). (Real Academia Española, 2023)

✓ **Granulometría:**

La granulometría es el estudio y distribución de los tamaños de las partículas de un material granular, se utiliza para evaluar su calidad y adecuación en aplicaciones de ingeniería, como en la elaboración de mezclas de concreto o asfalto. (GCC, 2020)

✓ **Curva granulométrica:**

Es una representación gráfica que muestra la distribución de tamaños de partículas en un material granular, como suelos, gravas o arenas. (Sanabria & Jaime, 2022)

✓ **Peso específico:**

Es la relación entre el peso de un agregado y el peso de un volumen absoluto de agua (agua desplazada por inmersión). Se expresa comúnmente en unidades como kilonewtons por metro cúbico (kN/m^3) o gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). (GCC, 2020)

✓ **Absorción:**

La absorción de los agregados se refiere a la capacidad que tienen estos para controlar el contenido neto de agua en una mezcla asfáltica. Es crucial verificar este factor para ajustar la cantidad de asfalto y asegurar la cohesión y durabilidad del pavimento, evitando problemas como fisuración y desprendimiento. (GCC, 2020)

✓ **Partículas de plástico reciclado:**

El reciclaje de plástico se ha descrito como el proceso de recuperación de chatarra o plásticos de desecho y reprocesamiento del material en productos útiles, a veces completamente diferentes en forma de su estado original. (NATUYSER, 2019)

✓ **Trituración de plástico:**

La trituración de plásticos puede realizarse en diferentes etapas y puede requerir el uso de diversas tecnologías, como desgarradores de doble eje, de un solo eje o molinos de cuchillas. La elección de la tecnología adecuada dependerá de la morfología, tamaño y la presencia de contaminantes en el plástico. (Promak Selling Solutions, s.f.)

✓ **Tereftalato de polietileno (PET):**

El PET es un polímero compuesto por ácido tereftálico y etilenglicol, caracterizado como un termoplástico semicristalino que combina regiones cristalinas y amorfas. Su alta fracción cristalina le confiere una notable resistencia frente a esfuerzos mecánicos y químicos. (Wei et al., 2022)

✓ **Contaminación ambiental:**

Es la degradación de la naturaleza por consecuencia de la introducción de sustancias y elementos físicos que alteran su naturaleza de forma drástica, peligroso e impredecible, haciéndolo menos apto para la vida tal como la conocemos. (ENCICLOPEDIA CONCEPTO, s.f.)

2.4. Sistemas de Hipótesis

La adición de partículas de plástico reciclado con adirap-s tendrá una influencia significativa en las propiedades físicas - mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, debido a que dichas partículas tienen una alta resistencia, durabilidad y flexibilidad, ayudando a mejorar la capacidad de soportar cargas, reducir grietas y deformaciones del pavimento; por su parte, el aditivo adirap-s fortalecerá la cohesión entre los agregados y el asfalto, así como la estabilidad térmica de la mezcla; por lo tanto, en este estudio se optará por una metodología aplicada con un nivel experimental y de enfoque cuantitativo, donde se corroborará mediante técnicas de recolección de datos como, observación, revisión, experimentación, ensayos de laboratorio (ensayo Marshall, gravedad específica, granulometría) y técnicas estadísticas.

2.5. Operacionalización de Variables

2.5.1. Variable Independiente.

Nuestra variable independiente investigativa son las partículas de plástico reciclado con adirap-s, puesto que no requiere de otra variable para su análisis.

2.5.2. Variable Dependiente.

Nuestra variable dependiente en la investigación es “las propiedades físicas-mecánicas de la mezcla asfáltica”, dado que depende de la variable independiente para poder ser llevadas a los ensayos de laboratorio.

Tabla 1*Cuadro de operacionalización de variables*

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Partículas de plástico reciclado	Independiente	El plástico es un material económico, liviano, resistente y con capacidad de ser modificado con facilidad. El plástico se compone de polímeros, que son moléculas orgánicas de gran tamaño formadas por monómeros de carbono repetidos, tales como el etileno, propileno, cloruro de vinilo y estireno. El plástico es conocido por ser un material ligero, duradero, económico y fácilmente moldeable.	El plástico reciclado de las basuras pasa por un proceso de triturado y de esta forma se obtiene las partículas de plástico.	Propiedades físicas, químicas y mecánicas	Porcentaje de partículas de plástico reciclado
				Caracterización de materiales	Granulometría
				Contenido óptimo de asfalto	Ensayo Marshall
Propiedades físicas – mecánicas de la mezcla asfáltica	Dependiente	La mezcla asfáltica está compuesta generalmente de agregados, cemento asfáltico y filler. Este material tiene propiedades físicas y mecánicas que caracterizan su comportamiento frente a las exigencias.	Las propiedades físicas y mecánicas se determinan a través de ensayos normalizados que definen los equipos, materiales y procedimiento utilizar (MTC, NTP, ASTM, AASHTO).	Propiedades físicas	-Durabilidad -Adhesión -Susceptibilidad a la temperatura -Envejecimiento -Endurecimiento
				Propiedades mecánicas	-Estabilidad (KN) -Flujo (mm) -Porcentaje de vacíos (%)

Nota: Cuadro de variables para determinar la influencia de plástico reciclado en las propiedades física-mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y Nivel de Investigación

Anteriormente se describió el objetivo de nuestra investigación en la construcción del planteamiento del problema. En esta sección, analizaremos cómo se llevará a cabo. Para ello, es necesario incluir los siguientes puntos:

3.1.1. *Tipo de Investigación.*

Por el propósito que persigue, la presente investigación cumple con las condiciones características de la metodología aplicada. Se persigue la producción de conocimiento con una aplicación inmediata en los desafíos que enfrenta la sociedad o la industria. Esto se fundamenta principalmente en los descubrimientos tecnológicos obtenidos a partir de la investigación básica, y se enfoca en el proceso de conexión en la teoría y el producto. (Lozada, 2014)

3.1.2. *Nivel de Investigación.*

Así mismo, esta investigación, según su diseño es de nivel experimental, dado que se centra en un enfoque cuantitativo. Esto significa que vamos a controlar, manipular y observar los datos obtenidos de manera rigurosa para asegurar que se ajusten a los rangos y objetivos establecidos en nuestro estudio.

3.2. Población y Muestra de Estudio

3.2.1. Población.

La presente investigación tiene su población en las mezclas asfálticas en caliente utilizadas para la construcción de pavimentos flexibles dentro del distrito de Trujillo; como también, las briquetas elaboradas en el laboratorio de mecánica de suelos, concreto y asfalto GECONSAC.

3.2.2. Muestra.

Cabe resaltar que, para la descripción o cuantificación de la muestra, en muchos casos es necesario desarrollar la fórmula subsiguiente,

$$n = \frac{Z^2 S^2 N}{E^2 (N - 1) + Z^2 S^2}$$

Z = Nivel de confianza

S = Desviación estándar

N = Tamaño de población

E = % del estimador

Pero en este caso, el tipo de muestra empleado en la presente investigación es **finito y no probabilístico**, ya que se está trabajando con un conjunto específico y limitado de briquetas de concreto asfáltico (36 especímenes), lo que nos permite controlar y monitorear cada una de ellas durante el proceso de experimentación. Por lo tanto, la selección específica de briquetas de concreto asfáltico con diferentes proporciones de plástico reciclado responde a la necesidad de evaluar su comportamiento bajo ciertas condiciones controladas y no a la representación estadística de una población más amplia; y, la cual podemos constatar en la siguiente tabla:

Tabla 2*Cuadro de muestras*

MUESTRAS	
Mezcla asfáltica convencional	Mezcla asfáltica con partículas de plástico reciclado
1	0.5, % de partículas de plástico reciclado (3)
	1.0 % de partículas de plástico reciclado (3)
	1.5 % de partículas de plástico reciclado (3)
2	0.5, % de partículas de plástico reciclado (3)
	1.0 % de partículas de plástico reciclado (3)
	1.5 % de partículas de plástico reciclado (3)
3	0.5, % de partículas de plástico reciclado (3)
	1.0 % de partículas de plástico reciclado (3)
	1.5 % de partículas de plástico reciclado (3)
TOTAL DE ESPECÍMENES	36

Nota: Cuantificación de muestras para experimentación y análisis de datos.

3.3. Diseño de Investigación

La presente investigación tiene como propósito realizar una comparación efectiva de la presencia y/o ausencia de plástico reciclado con adirap-s (variable independiente) en la mezcla asfáltica en caliente, difiriendo en las propiedades físico-mecánicas (variable dependiente) de la misma, que pueden incluir resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, módulo de elasticidad, durabilidad; como consecuencia se obtendrán una variedad de hipótesis, en la que se optará por la más viable para nuestro proyecto, en el desarrollo de la comparativa se realizará pruebas de laboratorio y análisis estadísticos teniendo siempre en cuenta las consideraciones éticas y ambientales correspondientes.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Será necesario utilizar las siguientes técnicas:

- **Observación:** Permite poner mucha atención al objeto de estudio que son las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica.
- **Revisión:** Esta técnica permite analizar, estudiar y examinar los documentos que serán necesarios para esta investigación.
- **Análisis documental:** Esta técnica es vital para establecer el marco teórico, marco conceptual y los antecedentes de esta investigación.
- **Técnica estadística:** Estadística inferencial.
- **Experimentos:** Controla variables para observar efectos sistemáticos y causales.
- **Mediciones físicas o de laboratorio:** Esta técnica permite realizar mediciones cuantitativas sobre propiedades físicas, químicas o biológicas.
- **Sensores y tecnologías de monitoreo:** Utiliza dispositivos y sensores para recopilar datos en tiempo real.

Los equipos que utilizar en la presente son:

- **Termómetro infrarrojo:** Para medir la temperatura del asfalto caliente y garantizar que esté dentro de los rangos adecuados.
- **Balanza de precisión:** Para pesar con exactitud las cantidades de plástico reciclado y otros materiales utilizados en las mezclas asfálticas.
- **Tamices y tamizadora:** Para determinar la distribución granulométrica de los agregados utilizados en las mezclas.
- **Medidor de densidad:** Para medir la densidad de las mezclas asfálticas y asegurar que cumplan con las especificaciones requeridas.
- **Equipo de compactación:** Para compactar las mezclas asfálticas y evaluar su resistencia a la compactación.
- **Equipo de ensayo de módulo dinámico:** Para evaluar la resistencia al flujo de las mezclas asfálticas y su capacidad de recuperación elástica.
- **Equipo de ensayo de resistencia a la fatiga:** Para evaluar la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas con plástico reciclado.
- **Equipo de ensayo de adhesividad:** Para evaluar la adhesividad entre el asfalto y el plástico reciclado.

Los instrumentos para esta investigación son los siguientes:

- Para la ejecución de los ensayos se utilizará las **normas** nacionales e internacionales vigentes, como: MTC, NTP, ASTM y AASHTO.
- La **guía de observación** es una herramienta que permite al investigador examinar de forma organizada el objeto de estudio, lo cual conduce a la recolección y obtención sistemática de datos e información.
- La **guía de revisión** documental es una herramienta que ayudará al investigador a comprender el desarrollo y las particularidades de los procesos, así como a confirmar o cuestionar la información encontrada en los documentos revisados.

- Para el análisis y operacionalización de los datos será necesario utilizar los abajo descritos **softwares** para determinar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas:

- ✓ Microsoft Excel

La hoja de cálculo es un software con la capacidad de realizar cálculos y operaciones matemáticas, además de contar con herramientas gráficas, tablas dinámicas y un lenguaje de programación necesario para poder desarrollar este tipo de proyectos.

- ✓ SPSS

Esta plataforma nos brinda la posibilidad de llevar a cabo un análisis estadístico complejo, análisis de texto, una biblioteca extensa de algoritmos de aprendizaje automático, la capacidad de integrarse con grandes cantidades de datos, ser personalizada a través de código abierto y fácil de implementar en diversas aplicaciones; mediante este se aplicará el ANOVA de un factor, el cual se define como un método estadístico para examinar las diferencias en las medias de tres o más grupos. Usualmente, el ANOVA de un factor se emplea cuando tenemos una única variable o factor independiente y el objetivo es investigar si las variaciones o diferentes niveles de ese factor tienen un efecto medible sobre una variable dependiente.

3.5. Procesamiento y Análisis de Datos

Figura 2

Proceso de investigación



Nota. Gráfico de procedimiento para evidenciar el desarrollo y análisis de las etapas de la presente investigación.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Propuesta de Investigación

Nombre de la tesis

“Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico”

Ubicación

Departamento: La Libertad

Provincia: Trujillo

Distrito: Trujillo

Control de calidad de agregados

Los ensayos de laboratorio se llevaron a cabo de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Peruana (NTP) y los Manuales de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. En este análisis de los agregados, el objetivo fue confirmar que las propiedades cumplan satisfactoriamente con las especificaciones técnicas, con el fin de proceder al diseño de mezclas asfálticas en caliente.

Las muestras de los agregados para el estudio se obtuvieron de la cantera denominada “LEKERSA”, la cual se encuentra ubicada en el Centro Poblado El Milagro, que pertenece al Distrito de Huanchaco del departamento La Libertad.

De acuerdo con el MTC E 204, el análisis granulométrico de los agregados gruesos tiene como finalidad determinar la distribución del tamaño de las partículas de los materiales estudiados. Esto se logra mediante una serie de tamices con aberturas de distintos tamaños, aplicados a una muestra seca de peso conocido.

Para este diseño de mezclas utilizando el método Marshall, se elaboró un único diseño de mezclas asfálticas de control. El propósito de este diseño es establecer las proporciones óptimas para esta mezcla. El proceso involucra una serie de pruebas y análisis detallados para determinar las características adecuadas de la mezcla. Estos parámetros son esenciales para asegurar que la mezcla asfáltica cumpla con los requisitos de durabilidad, resistencia y rendimiento esperados en las condiciones de servicio previstas. Además, se realizan ajustes finos en la formulación de la mezcla para optimizar su comportamiento en términos de resistencia a la deformación, resistencia a la fatiga y capacidad de soporte de cargas, lo que garantiza una pavimentación eficiente y duradera.

Tabla 3

Caracterización de Materiales

Materiales	Características	Lugar
Agregados	Grueso	Cantera LEKERSA
	Fino	Cantera LEKERSA
Asfalto	Cemento asfáltico	Laboratorio GECONSAC

Para realizar el diseño de MAC se cumplirán características, las cuales se evidencian en el ítem 423 del Manual de Carreteras del MTC. (2014)

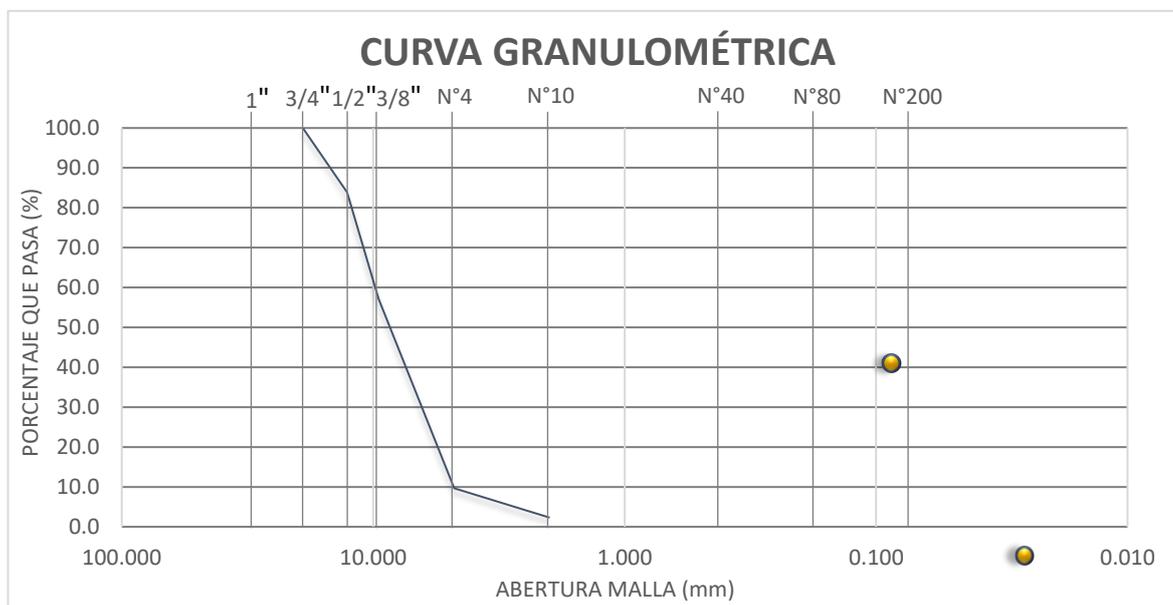
- Granulometría
- MAC
- Gradación de agregados

Inicialmente, se analiza la tabla de granulometría de agregado grueso, la cual se consigue a través de ensayos de laboratorio.

Tabla 4*Granulometría de agregado grueso*

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	542.3	16.1	16.1	83.9
3/8"	9.525	898.3	26.7	42.8	57.2
1/4"	6.350	-	-		
N° 4	4.760	1,598.2	47.5	90.4	9.6
N° 6	3.360	-	-		
N° 8	2.380	-	-		
N° 10	2.000	245.2	7.3	97.7	2.3
N°16	1.190	-	-		
N° 20	0.840	-	-		
N° 30	0.590	-	-		
N° 40	0.426	-	-		
N° 50	0.297	-	-		
N° 80	0.177	-	-		
N° 100	0.149	-	-		
N° 200	0.074	-	-		
-200	-	79.0	2.3	100.0	
TOTAL		3,363.0	100.0		

La Figura 3 muestra en detalle la granulometría del agregado grueso, abarcando desde el tamiz de 1" hasta el tamiz N° 200. En esta figura se verifican los porcentajes de peso retenido en cada tamiz, el porcentaje de peso retenido acumulado y el porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz. Asimismo, se presenta la representación gráfica de la granulometría del agregado grueso.

Figura 3*Curva granulométrica del agregado grueso***Tabla 5***Granulometría del agregado fino*

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa
1"	25.400	-	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	-	100.0
N° 4	4.760	22.1	3.5	3.5	96.5
N° 6	3.360	-	-	-	-
N° 8	2.380	-	-	-	-
N° 10	2.000	136.1	21.8	25.4	74.6
N° 16	1.190	-	-	-	-
N° 20	0.840	162.6	26.1	51.4	48.6
N° 30	0.590	-	-	-	-
N° 40	0.426	87.2	14.0	65.4	34.6
N° 50	0.297	-	-	-	-
N° 80	0.177	97.2	15.6	81.0	19.0
N° 100	0.149	-	-	-	-
N° 200	0.074	58.0	9.3	90.3	9.7
-200	-	60.6	9.7	100.0	-
TOTAL		623.8	100.0		

De manera similar, en la Figura 4 se describe la granulometría del agregado fino, comenzando desde el tamiz número 1" hasta el tamiz N° 200. En estos se verifican los porcentajes de peso retenido, el porcentaje de peso retenido acumulado y el porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz. Además, se incluye la representación gráfica de la granulometría del agregado fino.

Figura 4

Curva granulométrica del agregado fino

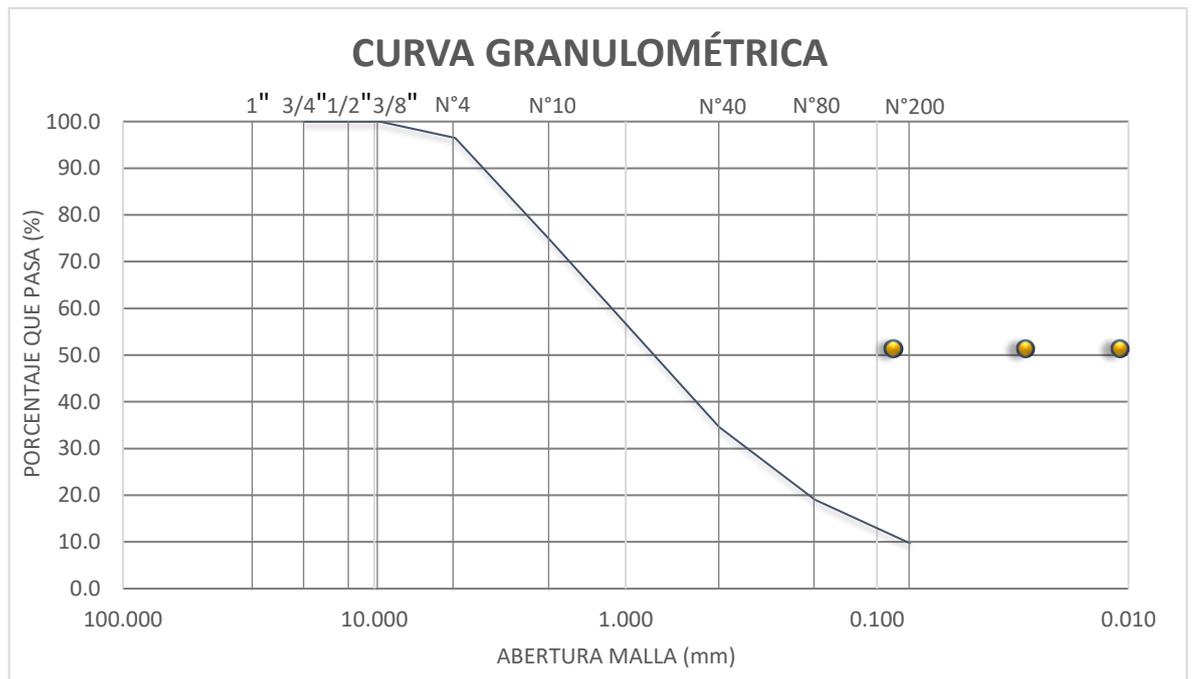


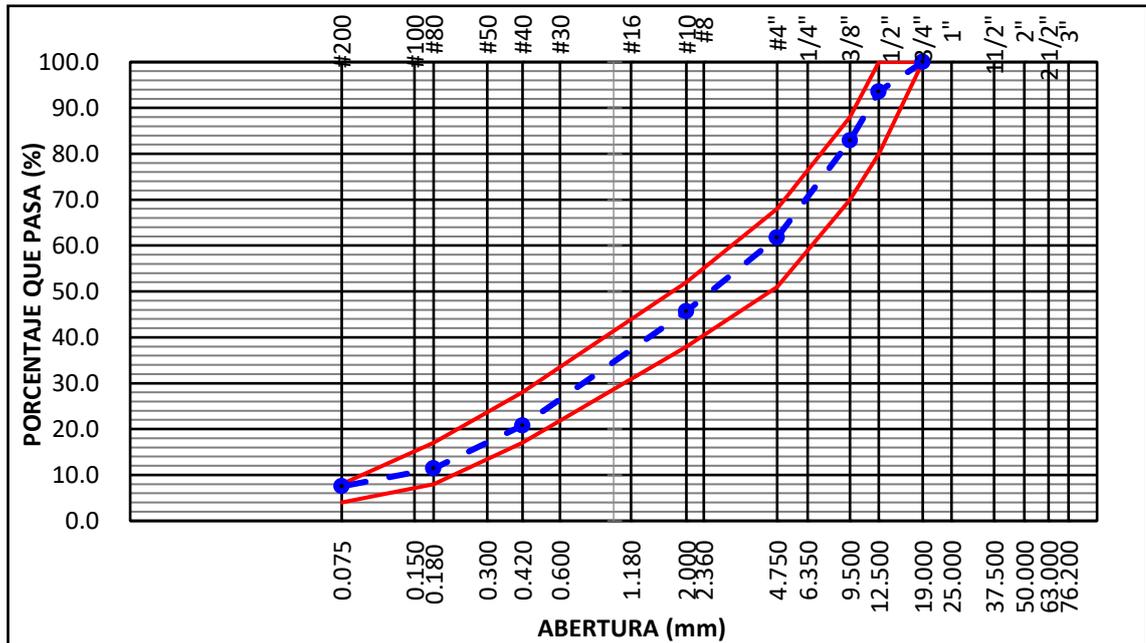
Tabla 6

Granulometría de la mezcla de agregados para la MAC-2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136)						
TAMIZ	ABERTURA	Agregado Grueso	Agregado Fino	Prueba N.º01	ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ASTM	mm				MAC-2	
3"	76.200					
2 1/2"	63.000					
2"	50.000					
1 1/2"	37.500					
1"	25.000					
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100	100
1/2"	12.500	83.9	100.0	93.6	80	100
3/8"	9.500	57.2	100.0	82.9	70	88
1/4"	6.350					Observaciones:
# 4	4.750	9.6	96.5	61.7	51	68
# 8	2.360			37.8		
# 10	2.000	2.3	74.6	45.7	38	52
# 16	1.180					
# 30	0.600					
# 40	0.420		34.6	20.8	17	28
# 80	0.180		19.0	11.4	8	17
# 100	0.150					
# 200	0.075		12.5	7.5	4	8
>200						
MEZCLA						
Prueba N° 01		40.0%	60.0%	100.00		

Figura 5

Curva granulométrica de la mezcla de agregados



Contenido óptimo de asfalto y características de la MAC

Para determinar el contenido óptimo de asfalto, se fabricaron 12 briquetas, divididas en cuatro grupos de tres briquetas homogéneas cada uno, hasta encontrar la dosificación más adecuada para el diseño. El procedimiento seguido para el diseño de las mezclas de control fue el siguiente:

- **Preparación de los agregados:** Las muestras de agregado grueso y fino se pesan y se secan a una temperatura de entre 105°C y 110°C. Posteriormente, se someten a un proceso de tamizado, recomendándose el uso de fracciones mínimas para un resultado más preciso.
- **Determinación y calentamiento del cemento asfáltico:** Se calienta el cemento asfáltico hasta alcanzar una viscosidad adecuada que asegure una buena adherencia de los materiales.
- **Preparación de las mezclas:** Todos los materiales se trasladan a una bandeja y se mezclan a una temperatura superior a 28°C, asegurando una homogeneidad en la mezcla.

- **Compactación de especímenes:** Los moldes se llenan y compactan con la ayuda de una espátula y guantes, asegurando una distribución uniforme de la mezcla.
- **Compactación final:** Cada briqueta se compacta con 75 golpes en ambos lados para asegurar la densidad y consistencia adecuada de la mezcla.
- **Post-compactación:** Tras la compactación, se retiran las placas de base y el collar de los moldes, permitiendo que las briquetas se enfríen y se solidifiquen adecuadamente.

En la Tabla 7 se evidencian los resultados obtenidos para el contenido óptimo de cemento asfáltico utilizado tanto en la mezcla asfáltica de control (MAC) como en las mezclas modificadas. Estos resultados son cruciales para garantizar que las mezclas cumplan con las especificaciones técnicas requeridas y para optimizar su desempeño en aplicaciones prácticas. La selección del contenido óptimo de asfalto es un paso esencial para asegurar la durabilidad, resistencia y eficacia de la pavimentación asfáltica en diversas condiciones operativas.

Tabla 7

Resultados para determinar el óptimo contenido de asfalto

Contenido de asfalto (%)	Vacíos con aire (%)	Relación polvo-asfalto	Estabilidad (kN)	Flujo	Relación estabilidad-flujo
4.30	6.8	0.6	1078	5.0	170.23
	6.6	0.6	1220	4.5	172.23
	6.5	0.6	1049	5.0	153.2
4.96	5.0	0.7	1001	6.0	151.3
	4.7	0.7	1043	6.0	157.59
	4.8	0.7	1033	6.0	167.89
5.46	4.1	0.7	991	5.0	155.52
	3.8	0.7	953	6.0	160.25
	3.9	0.7	1020	5.0	162.53
6.07	2.8	0.8	874	15.0	154.73
	2.6	0.8	808	15.0	166.64
	2.9	0.8	753	16.0	164.5

Teniendo en cuenta lo anterior, se elaboraron gráficos de dispersión para las cinco propiedades evaluadas en relación con el contenido de asfalto de cada mezcla. Estos gráficos, que se presentan desde la Figura 6 hasta la Figura 9, permiten visualizar los valores alcanzados en los parámetros evaluados por la mezcla según su contenido de asfalto, que varía entre 4.3 % y 6.07 %. En cada gráfico, se destaca un valor específico que corresponde a la magnitud de la propiedad evaluada para una mezcla asfáltica en caliente, con el contenido óptimo de cemento asfáltico del 5.9 %. Este valor óptimo fue determinado mediante los criterios del método Marshall, a partir de los ensayos realizados en laboratorio.

Para mayor claridad, se proporcionaron detalles adicionales en los gráficos que permiten observar cómo cada propiedad responde a diferentes contenidos de asfalto. Este enfoque proporciona una visión completa de la relación entre el contenido de asfalto y las propiedades físicas de la mezcla, facilitando la identificación de tendencias y comportamientos específicos. Además, se incluyeron análisis estadísticos que respaldan la interpretación de los datos, asegurando una comprensión más profunda de los resultados.

El contenido óptimo de cemento asfáltico del 5.9 % se resalta en todos los gráficos como un punto de referencia clave. Este valor no solo cumple con los criterios establecidos por el método Marshall, sino que también garantiza que la mezcla asfáltica en caliente alcanzará los niveles deseados de estabilidad, durabilidad y rendimiento en condiciones reales. La identificación precisa de este contenido óptimo es esencial para la optimización de las mezclas asfálticas, asegurando su efectividad y longevidad en aplicaciones prácticas

Figura 6

Porcentaje de vacíos

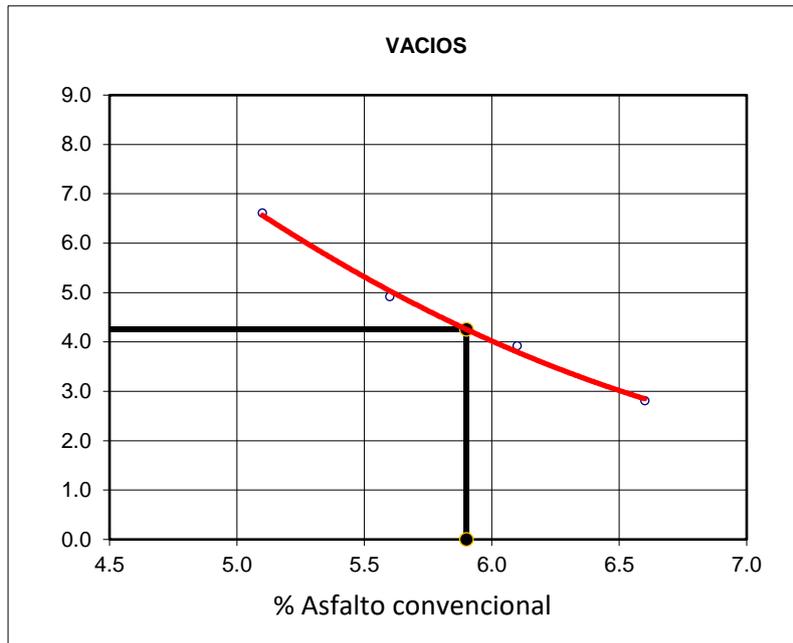


Figura 7

Relación polvo-asfalto

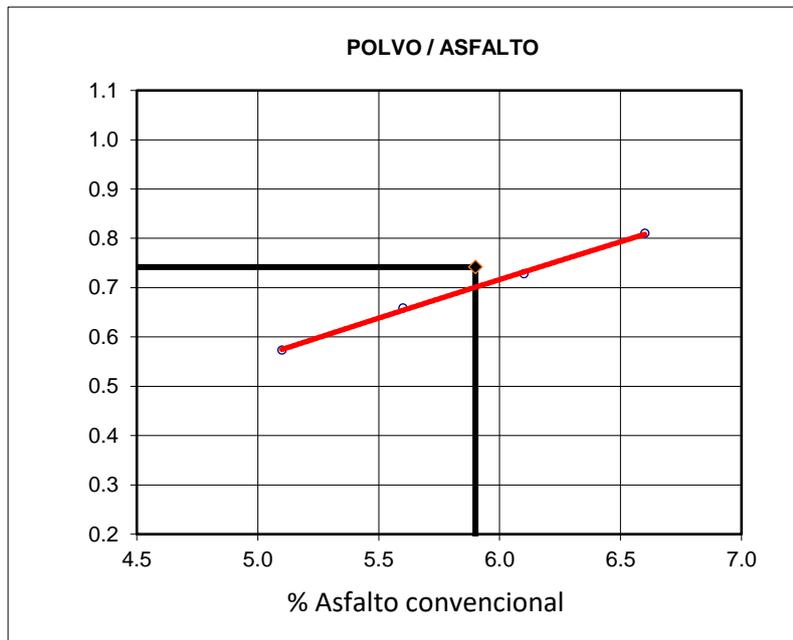


Figura 8

Estabilidad

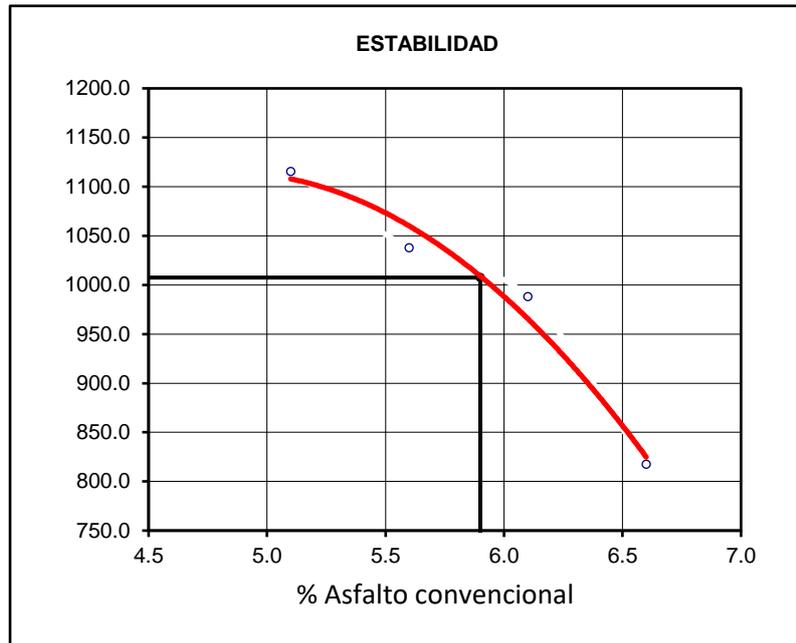


Figura 9

Flujo

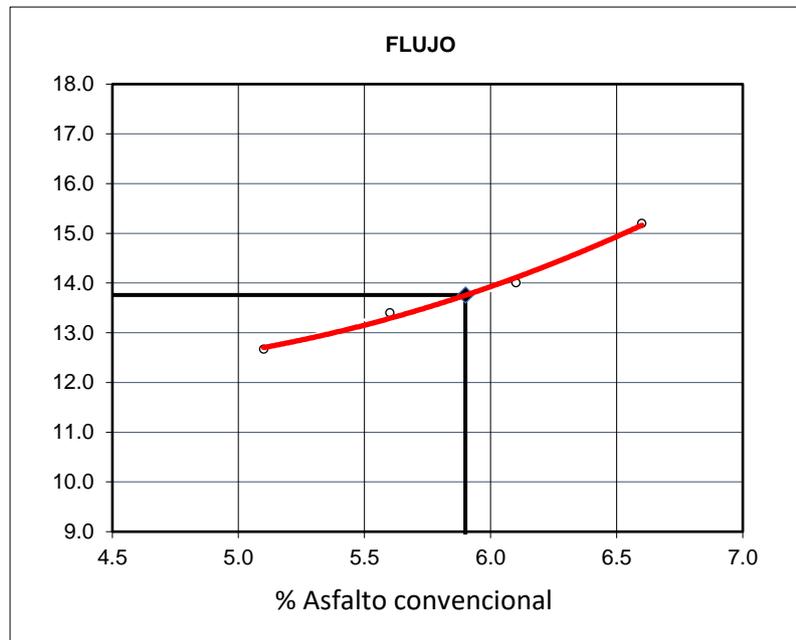


Tabla 8*Características de la MAC con el óptimo contenido de CA*

Contenido de asfalto (%)	Vacíos con aire (%)	Relación polvo-asfalto	Estabilidad (kN)	Flujo	Relación estabilidad-flujo
5.9	4.3	0.8	8.15	5.15	161.372

4.2. Análisis de Resultados

Una vez establecido el contenido óptimo de asfalto para la preparación de las mezclas asfálticas en caliente en esta investigación, se realizaron dichas mezclas incorporando partículas de plástico reciclado con adirap-s en las proporciones adecuadas. Así, se formaron tres grupos diferentes que se compararán con la mezcla de control.

En la Tabla 9 se muestran los resultados de la evaluación del primer grupo, que corresponde a las MAC modificadas con la adición de la mezcla asfáltica en proporciones de 5 %, 5.5 %, y 6 %. Se evaluaron tres briquetas para cada caso, sumando un total de 9 briquetas para esta primera evaluación.

Tabla 9*Características de MAC con diferentes adiciones de CA*

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
5	10.1	7.7	10.85	9.53	115.98
	10.1	7.6	10.48	8.79	121.52
	10.1	7.6	11.51	8.43	139.23
5.5	10.1	7.7	13.42	9.25	147.98
	10.1	7.6	15.47	8.71	181.24
	10.1	7.8	12.22	9.78	127.43
6	10.1	7.6	15.61	8.53	186.58
	10.1	7.6	15.56	9.28	171.07
	10.1	7.7	14.04	9.06	158.05

Por último, se obtienen los resultados de la evaluación realizada a nivel de laboratorio para mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de partículas de plástico reciclado (pasan tamiz N° 4) con adirap-s.

Tabla 10

Características MAC de 5% de CA con diferentes adiciones

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5% plástico	10.1	7.8	14.47	8.65	170.55
	10.1	7.6	14.67	8.77	170.55
	10.1	7.6	11.34	10.43	110.89
1% plástico	10.1	7.7	15.28	7.97	195.47
	10.1	7.8	15.11	7.84	196.52
	10.1	7.6	14.77	7.69	195.89
1.5% plástico	10.1	7.8	15.35	7.98	196.17
	10.1	7.8	15.69	7.66	208.86
	10.1	7.6	15.19	7.83	197.84

Tabla 11

Características MAC de 5.5% de CA con diferentes adiciones

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5% plástico	10.1	7.8	14.22	7.98	181.69
	10.1	7.6	14.15	8.32	173.40
	10.1	7.6	13.74	8.24	170.04
1% plástico	10.1	7.7	14.83	8.15	185.53
	10.1	7.8	13.86	8.64	163.62
	10.1	7.6	13.76	8.92	157.30
1.5% plástico	10.1	7.8	15.52	7.71	205.20
	10.1	7.8	15.61	7.62	208.85
	10.1	7.6	15.23	8.11	191.44

Tabla 12*Características MAC de 6% de CA con diferentes adiciones*

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5% plástico	10.1	7.8	13.92	7.47	190.01
	10.1	7.6	13.96	8.19	173.79
	10.1	7.6	15.22	7.9	196.51
1% plástico	10.1	7.7	14.47	8.12	181.66
	10.1	7.8	15.16	8.47	182.54
	10.1	7.6	14.79	7.67	196.65
1.5% plástico	10.1	7.8	15.44	7.36	213.95
	10.1	7.8	16.59	5.23	323.48
	10.1	7.6	16.32	6.7	248.31

De esta manera, en la Tabla 13 se presenta un resumen de los resultados del porcentaje de vacíos con aire, una propiedad física evaluada en las mezclas asfálticas en caliente. En esta tabla, se puede observar la desviación estándar para cada caso, así como la variación del valor de vacíos en las mezclas modificadas en comparación con el valor de la MAC patrón. Aquí se puede apreciar la fluctuación entre el aumento y la reducción de los vacíos con las diferentes dosis y materiales analizados.

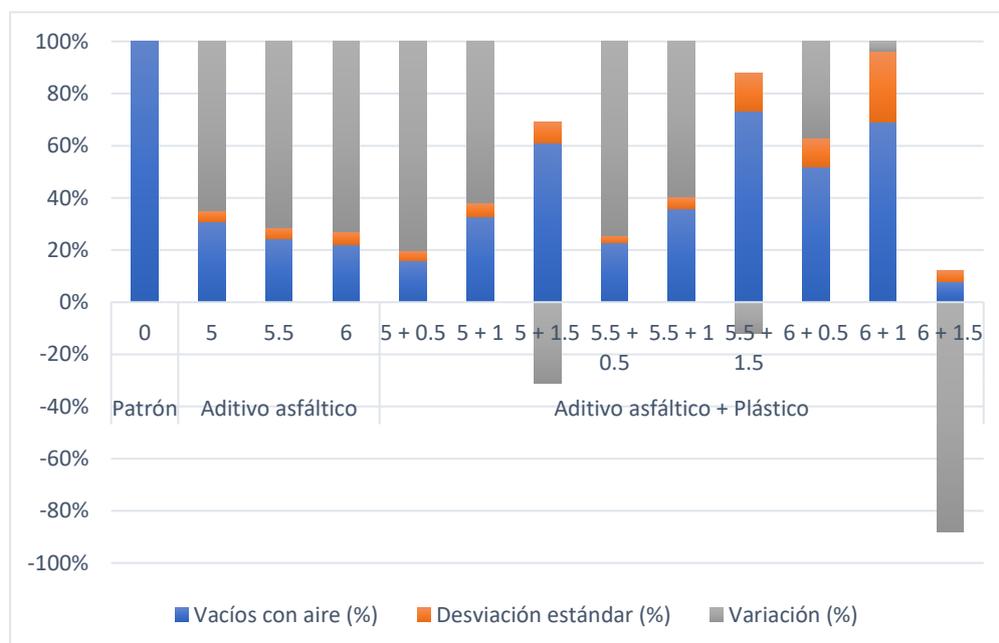
Tabla 13

Resumen de resultados de porcentaje de vacíos con aire

Grupo	Adición (%)	Vacíos con aire (%)	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0	4.3	0	0
Aditivo asfáltico	5	4.78	0.67	10.04
	5.5	5.05	0.91	14.85
	6	5.18	1.15	16.99
Aditivo asfáltico + Plástico	5 + 0.5	6.35	1.63	32.28
	5 + 1	4.72	0.75	8.90
	5 + 1.5	4.21	0.56	-2.14
	5.5 + 0.5	5.18	0.69	16.99
	5.5 + 1	4.66	0.58	7.73
	5.5 + 1.5	4.27	0.85	-0.70
	6 + 0.5	4.44	0.95	3.15
	6 + 1	4.31	1.69	0.23
	6 + 1.5	3.17	1.72	-35.65

Figura 10

Porcentaje de vacíos con aire de MAC

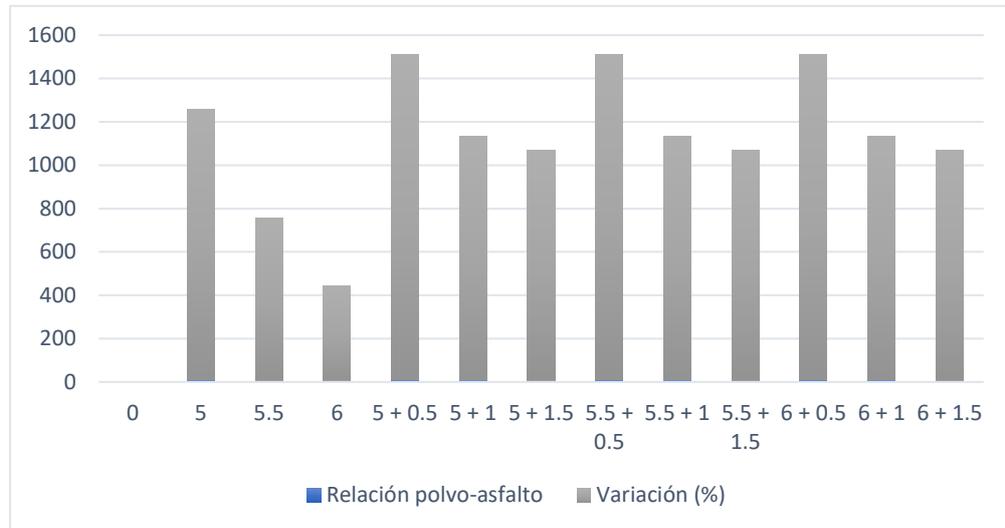


Seguidamente, en la Tabla 14, se presenta el esquema de los resultados de la relación polvo-asfalto, junto con la desviación estándar y la variación para cada caso específico en comparación con el valor de la mezcla de control. Inicialmente, es evidente que el uso de estos aditivos reciclados tiene un impacto significativo en el valor de la relación evaluada.

Tabla 14

Resumen de resultados de relación polvo/asfalto

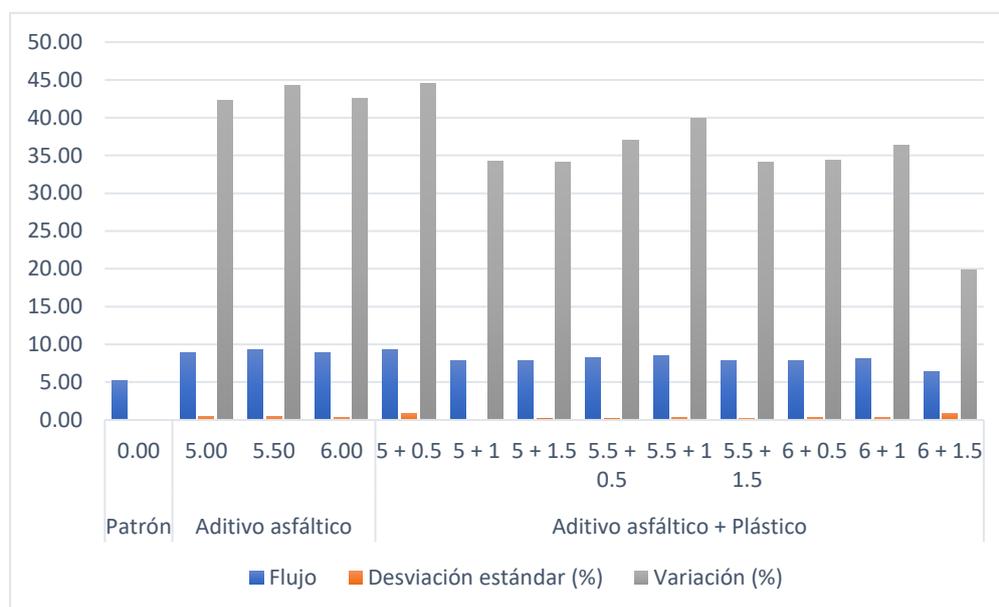
Grupo	Adición (%)	Relación polvo-asfalto	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0	0.8	0	0
Aditivo asfáltico	5	10	0	1250.00
	5.5	6	0	750.00
	6	3.5	0	437.50
Aditivo asfáltico + Plástico	5 + 0.5	12	0	1500.00
	5 + 1	9	0	1125.00
	5 + 1.5	8.5	0	1062.50
	5.5 + 0.5	12	0	1500.00
	5.5 + 1	9	0	1125.00
	5.5 + 1.5	8.5	0	1062.50
	6 + 0.5	12	0	1500.00
	6 + 1	9	0	1125.00
	6 + 1.5	8.5	0	1062.50

Figura 11*Relación polvo/asfalto de MAC*

De igual manera, en la Tabla 15, se muestran como propiedades mecánicas a los valores promedio de la estabilidad de las mezclas asfálticas en caliente. También se incluyen los respectivos valores de desviación estándar y la variación en comparación con el valor de la mezcla de control.

Tabla 15*Resumen de resultados de estabilidad*

Grupo	Adición (%)	Estabilidad	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0	8.15	0	0
Aditivo asfáltico	5	10.95	0.426	25.55
	5.5	13.70	1.342	40.53
	6	15.07	0.729	45.92
Aditivo asfáltico + Plástico	5 + 0.5	13.49	1.525	39.60
	5 + 1	15.05	0.212	45.86
	5 + 1.5	15.41	0.208	47.11
	5.5 + 0.5	14.04	0.212	41.94
	5.5 + 1	14.15	0.483	42.40
	5.5 + 1.5	15.453	0.162	47.26
	6 + 0.5	14.37	0.604	43.27
	6 + 1	14.81	0.282	44.96
	6 + 1.5	16.117	0.491	49.43

Figura 12*Estabilidad de MAC*

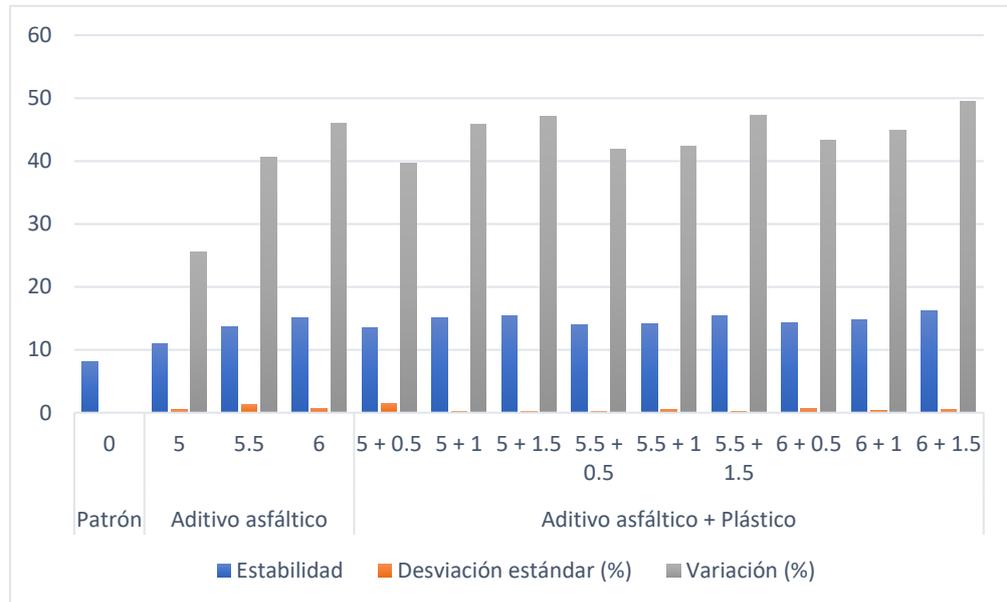
Siguiendo con las propiedades mecánicas, en la Tabla 16, adjunta a continuación, se presenta el resumen de los resultados de las pruebas de flujo realizadas en las mezclas asfálticas en caliente, tanto modificadas como estándar.

Tabla 16*Resumen de resultados de flujo*

Grupo	Adición (%)	Flujo	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0.00	5.15	0.00	0.00
Aditivo asfáltico	5.00	8.92	0.46	42.24
	5.50	9.25	0.44	44.30
	6.00	8.96	0.31	42.50
	5 + 0.5	9.28	0.81	44.52
Aditivo asfáltico + Plástico	5 + 1	7.83	0.11	34.26
	5 + 1.5	7.82	0.13	34.17
	5.5 + 0.5	8.18	0.15	37.04
	5.5 + 1	8.57	0.32	39.91
	5.5 + 1.5	7.81	0.21	34.09
	6 + 0.5	7.85	0.30	34.42
	6 + 1	8.09	0.33	36.31
	6 + 1.5	6.43	0.89	19.91

Figura 13

Flujo de MAC



En la Tabla 17, se muestran los resultados de la relación entre estabilidad y flujo de todas las mezclas asfálticas en caliente evaluadas, así como la desviación estándar calculada y la variabilidad en comparación con la mezcla de control.

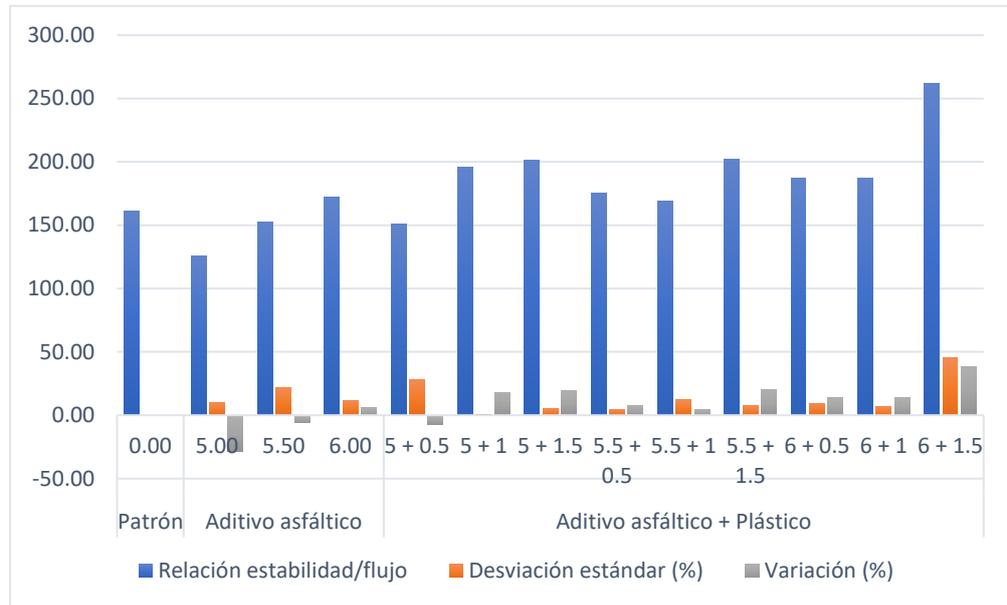
Tabla 17

Resumen de resultados de relación estabilidad/flujo

Grupo	Adición (%)	Relación estabilidad/flujo	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0.00	161.37	0.00	0.00
Aditivo asfáltico	5.00	125.58	9.92	-28.51
	5.50	152.22	22.17	-6.02
	6.00	171.90	11.66	6.12
Aditivo asfáltico + Plástico	5 + 0.5	150.66	28.12	-7.11
	5 + 1	195.96	0.43	17.65
	5 + 1.5	200.96	5.63	19.70
	5.5 + 0.5	175.04	4.90	7.81
	5.5 + 1	168.82	12.10	4.41
	5.5 + 1.5	201.83	7.50	20.05
	6 + 0.5	186.77	9.55	13.60
	6 + 1	186.95	6.87	13.68
	6 + 1.5	261.91	45.74	38.39

Figura 14

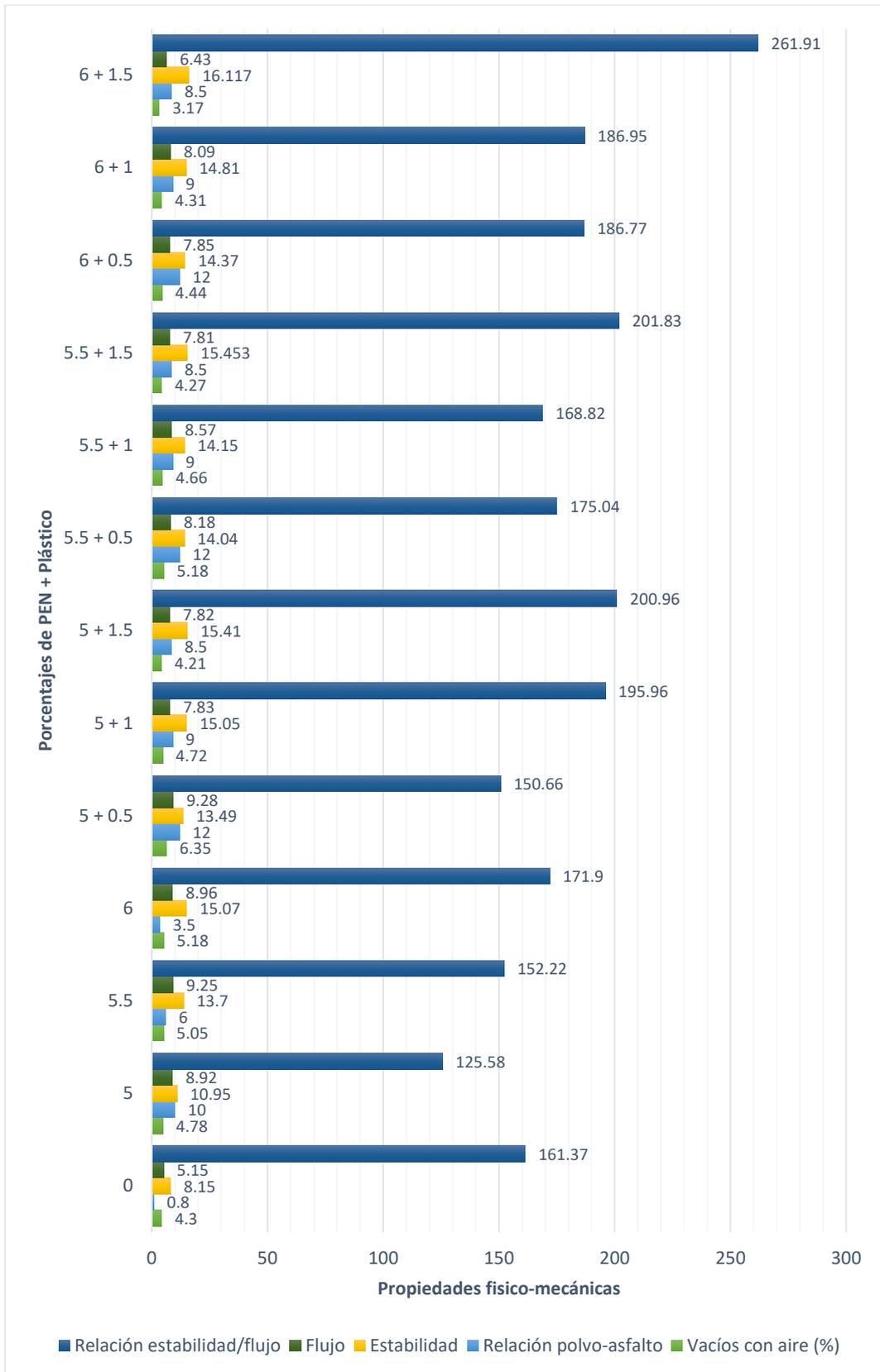
Relación estabilidad/flujo



Ante esto, procedemos a identificar la mejor dosificación.

Figura 15

Resumen General



Identificación de la Mejor Dosificación

Al analizar los datos del gráfico, se eligieron las dos combinaciones óptimas:

▪ 5% Aditivo Asfáltico + 0.5% Plástico

- ✓ Vacíos con aire: 6.35
- ✓ Relación polvo/asfalto: 12
- ✓ Estabilidad: 13.49
- ✓ Flujo: 9.28
- ✓ Relación estabilidad/flujo: 150.66

Explicación: La cantidad de vacíos con aire es relativamente alta, lo que puede afectar la durabilidad. La relación polvo/asfalto está en un nivel adecuado. La estabilidad es buena, pero el flujo es relativamente alto, lo que reduce la relación estabilidad/flujo.

▪ 5% Aditivo Asfáltico + 1% Plástico

- ✓ Vacíos con aire: 6.35
- ✓ Relación polvo/asfalto: 12
- ✓ Estabilidad: 15.05
- ✓ Flujo: 7.83
- ✓ Relación estabilidad/flujo: 195.96

Explicación: Los vacíos con aire se reducen, mejorando la durabilidad. La relación polvo/asfalto es adecuada. La combinación ofrece alta estabilidad y una buena relación estabilidad/flujo.

▪ **5% Aditivo Asfáltico + 1.5% Plástico**

- ✓ **Vacíos con aire:** 4.21
- ✓ **Relación polvo/asfalto:** 8.5
- ✓ **Estabilidad:** 15.41
- ✓ **Flujo:** 7.82
- ✓ **Relación estabilidad/flujo:** 200.96

Explicación: La menor cantidad de vacíos con aire y la adecuada relación polvo/asfalto indican una mezcla más cohesiva y duradera. La relación estabilidad/flujo es la mejor entre las mezclas con 5% de aditivo asfáltico.

▪ **5.5% Aditivo Asfáltico + 0.5% Plástico**

- ✓ **Vacíos con aire:** 5.18
- ✓ **Relación polvo/asfalto:** 12
- ✓ **Estabilidad:** 14.04
- ✓ **Flujo:** 8.18
- ✓ **Relación estabilidad/flujo:** 175.04

Explicación: Los vacíos con aire son menores que en el patrón, pero mayores que en otras mezclas. La estabilidad y el flujo están equilibrados, pero la relación estabilidad/flujo es inferior a las mezclas con mayor porcentaje de plástico.

▪ **5.5% Aditivo Asfáltico + 1% Plástico**

- ✓ **Vacíos con aire:** 4.66
- ✓ **Relación polvo/asfalto:** 9
- ✓ **Estabilidad:** 14.15

✓ **Flujo:** 8.57

✓ **Relación estabilidad/flujo:** 168.82

Explicación: Buen equilibrio entre vacíos con aire y relación polvo/asfalto. La estabilidad es buena, y el flujo se mantiene en un rango aceptable, con una relación estabilidad/flujo competitivo.

▪ **5.5% Aditivo Asfáltico + 1.5% Plástico**

✓ **Vacíos con aire:** 4.27

✓ **Relación polvo/asfalto:** 8.5

✓ **Estabilidad:** 15.453

✓ **Flujo:** 7.81

✓ **Relación estabilidad/flujo:** 201.83

Explicación: Esta mezcla presenta los vacíos con aire más bajos y una excelente relación polvo/asfalto. La estabilidad es alta y el flujo bajo, resultando en la mejor relación estabilidad/flujo entre las mezclas con 5.5% de aditivo asfáltico.

▪ **6% Aditivo Asfáltico + 0.5% Plástico**

✓ **Vacíos con aire:** 4.44

✓ **Relación polvo/asfalto:** 12

✓ **Estabilidad:** 14.37

✓ **Flujo:** 7.85

✓ **Relación estabilidad/flujo:** 186.77

Explicación: La mezcla ofrece un buen equilibrio de estabilidad y flujo. Los vacíos con aire se mantienen bajos, pero la relación estabilidad/flujo no alcanza el nivel más alto.

▪ **6% Aditivo Asfáltico + 1% Plástico**

- ✓ **Vacíos con aire:** 4.31
- ✓ **Relación polvo/asfalto:** 9
- ✓ **Estabilidad:** 14.81
- ✓ **Flujo:** 8.09
- ✓ **Relación estabilidad/flujo:** 186.95

Explicación: La estabilidad y la relación polvo/asfalto están bien equilibradas, pero la mezcla no proporciona la mejor relación estabilidad/flujo en comparación con las mezclas con mayor porcentaje de plástico.

▪ **6% Aditivo Asfáltico + 1.5% Plástico**

- ✓ **Vacíos con aire:** 3.17
- ✓ **Relación polvo/asfalto:** 8.5
- ✓ **Estabilidad:** 16.117
- ✓ **Flujo:** 6.43
- ✓ **Relación estabilidad/flujo:** 261.91

Explicación: Esta combinación presenta la menor cantidad de vacíos con aire, la relación polvo/asfalto adecuado y la mejor estabilidad con el flujo más bajo. La relación estabilidad/flujo es la más alta, lo que indica la mejor resistencia y durabilidad general.

4.3. Docimasia de Hipótesis

Tabla 18

Evaluación ANOVA de un factor (Vacíos con aire)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5,354	6	,892	4,920	,037
Dentro de grupos	1,088	6	,181		
Total	6,442	12			

Decisión:

Hipótesis nula (H_0): Se acepta si el valor de P es mayor a 0.05.

Hipótesis alternativa (H_1): Se acepta si el valor de P es menor o igual a 0.05.

En este contexto, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, existe evidencia estadística para argumentar que el uso de plástico reciclado con adirap-s tiene un efecto significativo en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico en términos de vacíos con aire.

Tabla 19

Evaluación ANOVA de un factor (Relación polvo asfalto)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	67,609	6	11,268	2,082	,003
Dentro de grupos	62,458	6	10,410		
Total	130,068	12			

Decisión:

Hipótesis nula (H_0): Se acepta si el valor de P es mayor a 0.05.

Hipótesis alternativa (H_1): Se acepta si el valor de P es menor o igual a 0.05.

En este contexto, se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, existe evidencia estadística que el uso de plástico reciclado con adirap-s tiene un efecto significativo en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico en términos de relación polvo asfalto.

Tabla 20

Evaluación ANOVA de un factor (Estabilidad)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	53,580	6	8,930	29,334	,000
Dentro de grupos	1,827	6	,304		
Total	55,406	12			

Decisión:

Hipótesis nula (H_0): Se acepta si el valor de P es mayor a 0.05.

Hipótesis alternativa (H_1): Se acepta si el valor de P es menor o igual a 0.05.

Dado que el valor de significación (0.000) es menor que 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula. En este contexto, el uso de plástico reciclado con adirap-s tiene un efecto significativo en las propiedades de estabilidad del concreto asfáltico.

Tabla 21

Evaluación ANOVA de un factor (Flujo)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14,971	6	2,495	13,998	,003
Dentro de grupos	1,070	6	,178		
Total	16,040	12			

Decisión:

Hipótesis nula (H_0): Se acepta si el valor de P es mayor a 0.05.

Hipótesis alternativa (H_1): Se acepta si el valor de P es menor o igual a 0.05.

Puesto que el valor de significación (0.003) es menor que 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula y se indica que el uso de plástico reciclado con adirap-s tiene un efecto significativo en las propiedades de flujo del concreto asfáltico.

Tabla 22

Evaluación ANOVA de un factor (Relación estabilidad/flujo)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	12157,457	6	2026,243	12,496	,004
Dentro de grupos	972,900	6	162,150		
Total	13130,357	12			

Decisión:

Hipótesis nula (H_0): Se acepta si el valor de P es mayor a 0.05.

Hipótesis alternativa (H_1): Se acepta si el valor de P es menor o igual a 0.05.

Según la tabla anterior, el valor de significación (0.004) es menor que 0.05, lo cual permite rechazar la hipótesis nula y esto sugiere que el uso de plástico reciclado con adirap-s tiene un efecto significativo en las propiedades de relación estabilidad/flujo del concreto asfáltico.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La presente investigación se centró en analizar la influencia de la adición de plástico reciclado (PET) con adirap-s en las propiedades de resistencia de las mezclas asfálticas, con el objetivo de mejorar la calidad y durabilidad de los pavimentos flexibles en Trujillo. A lo largo del estudio, se obtuvieron resultados significativos que permiten evaluar el impacto del PET en las mezclas asfálticas y compararlos con estudios previos, tanto a nivel nacional como internacional.

Los materiales utilizados en esta investigación fueron rigurosamente caracterizados conforme a las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. La caracterización inicial confirmó que los materiales empleados, incluyendo piedra, arena, cemento asfáltico y aditivos, cumplen con los requisitos normativos, proporcionando una base confiable para la interpretación de los resultados experimentales.

El contenido óptimo de asfalto fue determinado en 5.9% utilizando el ensayo Marshall. Este valor es consistente con lo encontrado en estudios como el de Vargas (2022), quien reportó un contenido óptimo de bitumen similar para mezclas asfálticas modificadas con adición de plástico reciclado en Ecuador. Esta consistencia sugiere que la metodología empleada en nuestra investigación es robusta y que el enfoque utilizado para determinar el contenido óptimo de asfalto es aplicable en distintos contextos geográficos y condiciones de tráfico.

La incorporación de PET en las mezclas asfálticas mostró mejoras notables en diversas propiedades físicas. Se observó que la adición de 1% de PET ofreció un equilibrio óptimo entre durabilidad y estabilidad, mejorando la resistencia al envejecimiento y reduciendo la susceptibilidad a las variaciones de temperatura. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Roldán y Velázquez (2023), quienes encontraron que la adición de polietileno reciclado a las mezclas asfálticas mejoraba significativamente la resistencia al desgaste y al envejecimiento en Maracaibo, Venezuela. Sin embargo, nuestra investigación identificó que al aumentar la cantidad de PET a 1.5%, aunque

se logra una estabilidad superior, también se incrementa la porosidad, lo que podría comprometer la durabilidad a largo plazo del pavimento. Este hallazgo es similar al de Serrato y Bohórquez (2020), quienes en su estudio en Colombia concluyeron que un aumento en la cantidad de PET por encima de un cierto umbral (2.5%) podría reducir la densidad y, por ende, afectar negativamente la integridad estructural del pavimento.

En términos de propiedades mecánicas, la mezcla con 1.5% de PET y 6% de aditivo asfáltico se destacó por su alta estabilidad y baja porosidad, con una excelente relación estabilidad/flujo. Este resultado es particularmente relevante en el contexto de la investigación de Vargas (2022) en Ambato, Ecuador, donde se utilizó una proporción significativamente mayor de plástico reciclado (hasta 15%) y se encontró que, aunque la estabilidad se incrementó, la relación de vacíos también aumentó, lo que podría comprometer la durabilidad del pavimento en condiciones de tráfico pesado. Nuestro estudio, en contraste, sugiere que un menor porcentaje de PET (1.5%) puede lograr un equilibrio más favorable entre estabilidad y durabilidad, especialmente cuando se combina con un 6% de aditivo asfáltico. Además, es interesante notar que mientras Roldán y Velázquez (2023) encontraron que un mayor contenido de polietileno en las mezclas asfálticas mejoraba la estabilidad en Maracaibo, nuestros resultados indican que, para el PET, un contenido superior al 1% podría incrementar la porosidad de la mezcla, lo que sugiere que el tipo de plástico y su interacción con otros componentes de la mezcla asfáltica son factores críticos que deben ser cuidadosamente optimizados.

El estudio de Roldán y Velázquez (2023) sobre el uso de polietileno reciclado en mezclas asfálticas en Venezuela reveló que un contenido de polietileno del 6% resultó en una estabilidad óptima, lo que es considerablemente mayor que el porcentaje de PET utilizado en nuestro estudio. A pesar de estas diferencias en la proporción de plástico, ambos estudios coinciden en que la adición de plástico reciclado mejora la estabilidad de las mezclas asfálticas. No obstante, nuestros hallazgos sugieren que mientras un mayor contenido de polietileno puede ser beneficioso, el uso de

PET requiere una optimización más precisa para evitar un aumento en la porosidad y asegurar la durabilidad a largo plazo.

Además, Serrato y Bohórquez (2020) observaron en Colombia que la inclusión de PET mejoraba la densidad y la estabilidad del pavimento, aunque advirtieron que un contenido superior al 2.5% podría reducir la densidad. Esto se alinea con nuestros resultados, donde se encontró que un 1.5% de PET con adirap-s ofreció un equilibrio óptimo, pero que incrementos adicionales en el contenido de PET podrían tener efectos negativos en la porosidad y, por lo tanto, en la durabilidad.

Una comparación interesante se puede hacer con el estudio de Quispe (2021), quien evaluó la incorporación de plástico reciclado en pavimentos flexibles en la avenida Huayna Capac, Santa Rosa. En su investigación, Quispe encontró que la mezcla con plástico reciclado presentaba un aumento en el porcentaje de vacíos, llegando hasta un 7%, lo que no cumplía con las especificaciones técnicas y comprometía la estabilidad del pavimento. Este resultado contrasta con nuestros hallazgos, donde la mezcla con 1.5% de PET, aunque incrementa los vacíos, mantiene estos dentro de límites aceptables que no afectan la durabilidad general del pavimento. La diferencia en los resultados podría deberse al tipo de plástico utilizado o a las condiciones específicas de los ensayos realizados por Quispe, lo que subraya la importancia de la selección y ajuste de materiales en función del contexto particular del proyecto.

Por otro lado, Vargas (2022), en su estudio experimental en Ambato, Ecuador, utilizó una proporción significativamente mayor de plástico reciclado (hasta 15%) y encontró que, aunque la estabilidad se incrementó notablemente, también lo hizo la relación de vacíos, comprometiendo la durabilidad a largo plazo bajo tráfico pesado. Comparativamente, nuestro estudio sugiere que un menor porcentaje de PET (1.5%) puede lograr un equilibrio más favorable entre estabilidad y durabilidad, especialmente cuando se combina con un 6% de aditivo asfáltico, mostrando así la importancia de no sólo considerar la cantidad de aditivo, sino también la interacción entre los componentes de la mezcla.

Estas comparaciones demuestran que, aunque la incorporación de plásticos reciclados en las mezclas asfálticas puede ofrecer beneficios significativos, los resultados son altamente dependientes del tipo de plástico, las proporciones utilizadas, y las condiciones específicas de aplicación. La elección cuidadosa y la optimización de estos factores son esenciales para garantizar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil de los pavimentos construidos con estas mezclas innovadoras.

Es fundamental reconocer que esta investigación se realizó en un entorno controlado, lo que limita la generalización de los resultados a otras regiones con diferentes condiciones climáticas y de tráfico. Además, la calidad y características del plástico reciclado utilizado pueden variar significativamente, lo que introduce una fuente potencial de variabilidad en los resultados. Futuras investigaciones deberían enfocarse en evaluar la durabilidad a largo plazo de estas mezclas asfálticas en condiciones reales de tráfico y clima, así como explorar la variabilidad de los resultados en diferentes contextos geográficos.

Los resultados de esta investigación tienen implicaciones significativas tanto en la práctica como en la teoría. En términos prácticos, la adición de PET con adirap-s a las mezclas asfálticas se presenta como una solución viable para mejorar la calidad de los pavimentos en Trujillo, y potencialmente en otras regiones con condiciones similares. La reducción de vacíos y la mejora en la estabilidad y durabilidad sugieren que estas mezclas podrían requerir menos mantenimiento, lo que representaría ahorros significativos a largo plazo.

Teóricamente, este estudio contribuye al cuerpo de conocimiento sobre el uso de materiales reciclados en la ingeniería civil, proporcionando evidencia empírica de los beneficios y limitaciones del uso de plásticos reciclados en mezclas asfálticas. Estos hallazgos pueden servir como base para futuras investigaciones que busquen optimizar el uso de materiales reciclados en la construcción de carreteras, así como para el desarrollo de normativas específicas que regulen el uso de estos materiales en la industria.

VI. CONCLUSIONES

- La caracterización de los materiales (piedra, arena, cemento asfáltico y aditivo) según las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 ha revelado que todos los componentes cumplen con los requisitos de calidad necesarios. La piedra y la arena presentan propiedades granulométricas y de resistencia adecuadas. El cemento asfáltico muestra las características de viscosidad y penetración requeridas, y el aditivo utilizado ha demostrado ser eficaz en mejorar las propiedades del asfalto, contribuyendo así a una mayor durabilidad y rendimiento del material.
- Los ensayos demostraron que la adición de plástico reciclado en proporciones de 0.5%, 1% y 1.5% impacta significativamente en las propiedades de las mezclas asfálticas. Los resultados muestran que la adición de 1.5% de plástico reciclado proporciona los mejores valores en términos de estabilidad y relación estabilidad/flujo, logrando un equilibrio óptimo entre resistencia y deformación, y mejorando tanto las propiedades físicas como mecánicas de las mezclas asfálticas.
- Las mezclas con adiciones de PET del 1.5% presentaron un excelente comportamiento físico, con una alta durabilidad, menor susceptibilidad a la temperatura y un envejecimiento más lento, lo que les confiere mayor resistencia y prolongación de la vida útil frente a las mezclas convencionales. Así mismo, la mezcla con 1.5% de PET y 6% de asfalto mostró una alta estabilidad y baja porosidad, lo que indica un excelente rendimiento frente a las cargas dinámicas. Esta combinación ofrece una mayor resistencia mecánica, adecuada para el uso en pavimentos flexibles, con una notable mejora en la relación estabilidad/flujo en comparación con las mezclas no modificadas.
- A través del ensayo Marshall, se identificó que el contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica mejorada es del 5.9%, alcanzando una estabilidad máxima de 8.15, un flujo adecuado de 5.15 y un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de 4.3%.

- La mezcla de 6% de aditivo asfáltico y 1.5% de plástico no solo ofrece la mejor estabilidad y la menor cantidad de vacíos con aire, sino que también proporciona la mejor relación estabilidad/flujo. Esto la convierte en la opción ideal para la obtención de un concreto asfáltico con alta resistencia y durabilidad, con excelente cohesión y propiedades generales.
- El uso de plástico reciclado, en proporciones adecuadas de 0.5% a 1.5%, representa una alternativa viable y sostenible para la mejora de las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas. Este estudio demuestra que las mezclas modificadas con plástico reciclado pueden ser más duraderas y resistentes que las convencionales, contribuyendo tanto a la mejora de la infraestructura vial como a la reducción de residuos plásticos, haciendo este enfoque atractivo desde una perspectiva ambiental y de ingeniería.

VII. RECOMENDACIONES

- Utilizar un contenido de plástico reciclado del 1.5% en las mezclas asfálticas, ya que los resultados experimentales han demostrado que esta proporción ofrece el mejor rendimiento en términos de estabilidad y relación estabilidad/flujo. Este equilibrio es crucial para mejorar la resistencia y la durabilidad del pavimento, asegurando un rendimiento superior en condiciones de carga y ambientales variadas.
- Implementar un programa riguroso de monitoreo y control de calidad de los materiales utilizados en la producción de mezclas asfálticas. Este programa debe enfocarse en la evaluación periódica de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, la consistencia del cemento asfáltico en términos de viscosidad y penetración, así como en la eficacia del aditivo de plástico reciclado. La frecuencia de estos controles debe ser suficientemente alta para detectar y corregir cualquier desviación que pueda comprometer la calidad final del pavimento. Además, se debe asegurar que el plástico reciclado utilizado cumpla con las especificaciones técnicas establecidas, lo que garantizará un rendimiento óptimo de las mezclas asfálticas a lo largo de su vida útil.
- Basado en los ensayos realizados, se recomienda que el contenido de asfalto en las mezclas asfálticas sea fijado en un 5.9%, ya que este porcentaje ha mostrado proporcionar un equilibrio óptimo entre estabilidad, fluidez y porcentaje de vacíos. Un adecuado contenido de asfalto es crucial para asegurar la cohesión entre los agregados, minimizar la porosidad y maximizar la durabilidad del pavimento. Este valor debe ser utilizado como una guía estándar en futuras aplicaciones y ajustado solo si se presentan variaciones significativas en las condiciones de los materiales o en los requisitos del proyecto.
- Implementar programas de capacitación continua para el personal involucrado en la producción y aplicación de mezclas asfálticas con plástico reciclado. Es crucial que el equipo esté actualizado con las últimas técnicas y avances en el uso de materiales reciclados en pavimentos, lo que asegurará la calidad y la eficiencia en las prácticas de construcción.

- Realizar estudios adicionales que evalúen los efectos a largo plazo de la incorporación de plástico reciclado en proporciones superiores al 1.5%. Estos estudios deben enfocarse en la durabilidad y el comportamiento del pavimento bajo condiciones extremas, lo cual permitirá optimizar aún más las mezclas asfálticas y adaptar las prácticas de construcción a diferentes contextos geográficos y climáticos.
- Finalmente, junto con las evaluaciones técnicas, realizar estudios de impacto ambiental y social que midan los beneficios derivados de la reducción de residuos plásticos y la mejora en la calidad de la infraestructura vial. Estos estudios podrían proporcionar evidencia cuantitativa del impacto positivo de la tecnología propuesta, facilitando su adopción en proyectos de mayor escala y obteniendo el apoyo de las autoridades y la comunidad. La incorporación de plástico reciclado en la construcción vial no solo tiene el potencial de mejorar la sostenibilidad ambiental, sino también de generar un impacto positivo en las comunidades locales al promover un entorno más seguro y mejorar la calidad de vida.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Damiano, D. G., & Cárdenas Quinte, M. A. (2021). *MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMEROS SBS PARA LA OPTIMIZACION DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFALTICA*. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4698>
- AM GROUP. (11 de Enero de 2024). *Identificación de los plásticos por sus códigos*. <https://www.aristegui.info/identificacion-de-los-plasticos-por-sus-codigos/>
- Asenjo Ojeda, C. (s.f.). *Latin America: Addicted to Plastic*. Connectas: <https://www.connectas.org/latin-america-addicted-to-plastic/#:~:text=Mexico%20is%20the%20second%20Latin,passed%20some%20type%20of%20ban.>
- ASFALTOS K&C SA. (s.f.). *Cemento asfáltico*. Lima. <https://www.asfalto-peru.com.pe/>
- Butron Mamani, A. P. (2022). *Influencia del plástico reciclado PET en las propiedades de la mezcla asfáltica en frío, Tacna - 2022. [Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil]*. Universidad César Vallejo, Lima, Perú. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22517?locale-attribute=es>
- Carvajal Peláez, G. I., & Hincapié Pérez, M. M. (2019). *Evaluación técnica, económica y ambiental de ecomateriales y técnicas*. <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1433/1799>
- Castro Alvarez, A. P., & Cruzado Carranza, T. J. (2021). *Influencia de la adición de fibras de polímeros reciclados en la capacidad de soporte de la subrasante, para el diseño del pavimento flexible, Alto Trujillo, Barrio I. (Tesis de grado)*. Universidad Privada del Norte, Trujillo. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27572?show=full>

- Contreras Vizcarra, D. F., & Zúñiga Pinillos, J. M. (2020). Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas. (*Tesis de titulación*). Universidad Ricardo Palma, Lima. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3686>
- ENCICLOPEDIA CONCEPTO. (s.f.). *Contaminación ambiental*. Etecé. <https://concepto.de/contaminacion-ambiental/>
- Espinosa, M. (2019). *Impacto del uso de PET no fundido en mezclas asfálticas*. <https://doi.org/10.3989/mc.2019.018>
- Flores. (2014). *MÉTODO MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS*.
- Garnica, Báez, & Manilla. (2001). *EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE RESISTENCIA EN CONCRETOS ASFÁLTICOS POR CONTACTO DESUSTANCIAS AGRESIVAS*.
- GCC. (2020). *Absorsión*. México: De Ficha Técnica de Agregados Pétreos. <https://www.gcc.com/es/inicio/>
- GCC. (2020). *Agregado fino*. México: De Ficha Técnica de Agregados Pétreos. <https://www.gcc.com/es/inicio/>
- GCC. (2020). *Agregado grueso*. México. <https://www.gcc.com/es/inicio/>
- GCC. (2020). *Granulometría*. México: De Ficha Técnica de Agregados Pétreos. <https://www.gcc.com/es/inicio/>
- GCC. (2020). *Peso específico*. México: De Ficha Técnica de Agregados Pétreos. <https://www.gcc.com/es/inicio/>
- Grados Trujillo, K. I., & Serrano Cubas, H. F. (2023). *INFLUENCIA DEL GEOTEXTIL EN EL DISEÑO EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CA LIBERTAD ENTRE EL TRAMO KM 07+000 HASTA KM 11+000, HUANCHACO, TRUJILLO,2022*. Universidad Privada del Norte, Trujillo. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/35035>

- Lifeder. (11 de Enero de 2024). *Tipos de plásticos*.
<https://www.lifeder.com/tipos-de-plasticos/>
- Lozada Goicochea, W., & Montoya Abarca, F. Y. (2022). Adición de plástico reciclado PET para mejoramiento de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, Jaén, Cajamarca. [Tesis de titulación]. Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/93978>
- Manual de Carreteras EG-2013. (2014). *Especificaciones Técnicas generales para construcción*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%20](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%20)
- Martínez Gonzales, R. (2020). *EL SECRETO DETRÁS DE UNA TESIS*. CREA IMAGEN S.A.C.
- NATUYSER. (2019). *RECICLAJE DE PLÁSTICOS Y MICROPLÁSTICOS PARA CONSERVAR NUESTROS OCEÁNOS*. Retrieved 18 de octubre de 2024, from <https://natuyser.es/blog/reciclaje-de-plasticos-y-microplasticos-para-conservar-la-salud-de-los-oceanos>
- NEO MATERIALES. (s.f.). *Aditivo asfáltico*. <https://neolumen.com.pe/inicio>
- Nuñez Herrera, W., & Oblitas Perez, J. (2022). Mejoramiento de subrasante del pavimento flexible de la avenida Gran Chimú, adicionando plástico triturado, para mejorar la resistencia, Chiclayo-2021. [Tesis para obtener el título de ingeniero civil]. Universidad César Vallejo, Chiclayo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/103416>

Promak Selling Solutions. (s.f.). *Tritutación de plástico*.
<https://promaksolutions.es/>

Quintero Serrato, G., & Bohórquez Soler, E. (2020). Aporte estructural de mezcla asfáltica en caliente con inclusión de plástico PET por vía seca a estructuras de pavimento flexible para vías de bajo tráfico según especificaciones INVIAS. [Trabajo de grado]. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
<https://repository.ucatolica.edu.co/items/ecd3940d-0038-4569-8233-74df17f5108f>

Quispe Solano, S. S. (2021). Diseño de pavimento flexible incorporando plástico reciclado en la avenida Huayna Capac, Santa Rosa, 2020. [Tesis para obtener el grado de ingeniero civil]. Universidad César Vallejo, Lima.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82743>

Real Academia Española. (2023). *Autopista*. En Diccionario de la Lengua Española [Edición del Tricentenario].
<https://dle.rae.es/autopista?m=form>

Real Academia Española. (2023). *Temperatura*. Del Diccionario de la Lengua Española [Edición del Tricentenario].
<https://dle.rae.es/temperatura?m=form>

Rodríguez Elera, E. R. (2020). Diseño de mezcla asfáltica con plástico reciclado para innovar el proyecto ciclovial prolongación av. Bolognesi hasta carretera Pimentel. [Tesis]. Universidad César Vallejo, Chiclayo.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46154>

Roldán, O., & Velázquez, C. (2023). DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ELABORADO CON POLIETILENO RECICLADO PARA REPAVIMENTACIÓN DE CALLES EN LA CIUDAD DE MARACAIBO, ESTADO ZULIA. [Trabajo especial de grado para obtener el título de ingeniero civil]. Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Zulia, Venezuela. <https://documentos.uru.edu/pdf/2301-23-14243.pdf>

- Sanabria, J., & Jaime, A. (2022). *Escalamiento geométrico de la curva granulométrica de materiales granulares provenientes de actividades mineras*. México.
- Vargas Guevara, A. J. (2022). Efecto de adición de partículas de plástico reciclado en las propiedades físico-mecánicas de pavimento. [Tesis]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36287>
- Velazco, A. (s.f.). *Elaboración de briquetas de asfalto*. <https://pdfcoffee.com/elaboracion-de-briquetas-de-asfalto-6-pdf-free.html>
- Wei, R., Haugwitz, G., Pfaff, L., Mican, J., Badenhorst, C., Liu, W., . . . Bornscheuer, U. (2022). *Mechanism-Based Design of Efficient PET Hydrolases*. (A. C. Society, Ed.) <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscatal.1c05856>

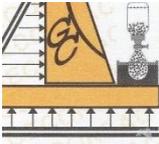
IX. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la influencia de la adición de plástico reciclado con adirap-s en las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente?	<p>General:</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar el análisis físico - mecánico de la adición del 0.5%, 1.0% y 1.5% de plástico reciclado con adirap-s en la mezcla asfáltica en caliente, Trujillo. 	La adición de partículas de plástico reciclado con adirap-s tendrá una influencia significativa en las propiedades físicas - mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente.	VI: Partículas de plástico reciclado	El plástico es un material económico, liviano, resistente y con capacidad de ser modificado con facilidad. El plástico se compone de polímeros, que son moléculas orgánicas de gran tamaño formadas por monómeros de carbono repetidos, tales como el etileno, propileno, cloruro de vinilo y estireno. El plástico es conocido por ser un material ligero, duradero, económico y fácilmente moldeable.	El plástico reciclado de las basuras pasa por un proceso de triturado y de esta forma se obtiene las partículas de plástico.	<p>Propiedades físicas, químicas y mecánicas</p> <p>Caracterización de materiales</p> <p>Contenido óptimo de asfalto</p>	<p>Tipo de estudio: La investigación es de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo.</p> <p>Nivel: Diseño experimental con un enfoque descriptivo y explicativo.</p> <p>Población: Mezclas asfálticas en caliente, utilizadas para la construcción de pavimentos flexibles dentro del distrito de Trujillo.</p> <p>Muestra: Finita, consiste en una selección específica y detallada de mezclas de concreto asfáltico y probetas de laboratorio que representan una variedad de proporciones de plástico reciclado para el distrito de Trujillo</p>
	<p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Efectuar la caracterización de los materiales: piedra, arena, cemento asfáltico y aditivo; de acuerdo con las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Realizar la identificación del tamaño óptimo de plástico reciclado (pet) a utilizar en el ensayo de mezcla asfáltica; teniendo en cuenta la Ley N° 30884. Obtener el óptimo contenido de asfalto para una mezcla asfáltica mejorada mediante el ensayo Marshall. Determinar el efecto en las propiedades físicas; durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento, de una mezcla asfáltica con adición de plástico reciclado y aditivo en las proporciones de 0.5% - 1.5%; Trujillo. Determinar el efecto en las propiedades mecánicas; estabilidad, flujo y porcentajes de vacíos, de una mezcla asfáltica con adición de plástico reciclado y aditivo en las proporciones de 0.5% - 1.5; Trujillo. 		<p>VD:</p> <p>Propiedades físicas – mecánicas de la mezcla asfáltica</p>	La mezcla asfáltica está compuesta generalmente de agregados, cemento asfáltico y filler. Este material tiene propiedades físicas y mecánicas que caracterizan su comportamiento frente a las exigencias.	Las propiedades físicas y mecánicas se determinan a través de ensayos normalizados que definen los equipos, materiales y procedimiento utilizar (MTC, NTP, ASTM, AASHTO).	<p>Propiedades físicas</p> <p>Propiedades mecánicas</p>	

Anexo 2. Informe de laboratorio

Resultados del análisis granulométrico de AG



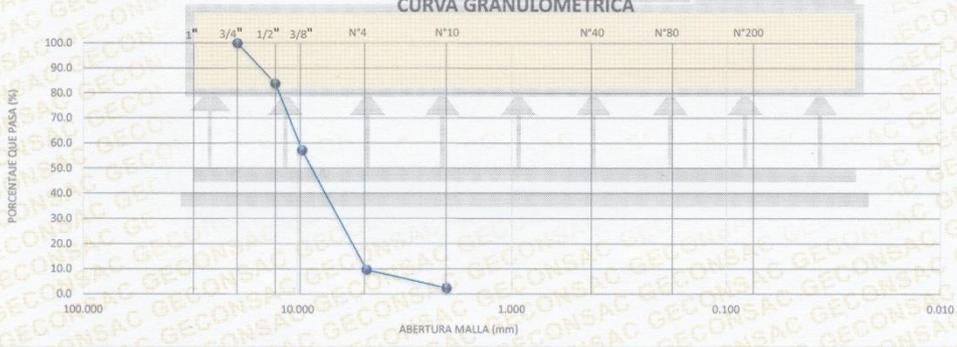
GECONSAC

INFORME		Código	---
ANALISIS GRANULOMETRICO		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico Solicitante : Plasencia León Jheison Levi - Díaz Plasencia Freider Javier Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú Material : Agregado Grueso Cantera : Lekersa	Registro N° : GC24-LAB-ASF-0001 Muestreado por : Solicitante Ensayado por : Solicitante Fecha de Ensayo : May-24 Turno : Diurno
--	--

TAMIZ ASTM	ANALISIS GRANULOMÉTRICO						
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa		
1"	25.400	-	-	-	100.0		
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	Calculos	
1/2"	12.700	542.3	16.1	16.1	83.9	Tara	W-1
3/8"	9.525	898.3	26.7	42.8	57.2	Peso de Tara	1,120.00 g
1/4"	6.350	-	-	-	-	Tara + muestra Humeda	4,486.00 g
N° 4	4.760	1,598.2	47.5	90.4	9.6	Tara + muestra Seca	4,483.00 g
N° 6	3.360	-	-	-	-	Contenido de Humedad (%)	0.09
N° 8	2.380	-	-	-	-		
N° 10	2.000	245.2	7.3	97.7	2.3	Muestra Seca	3,363.0 g
N° 16	1.190	-	-	-	-		
N° 20	0.840	-	-	-	-		
N° 30	0.590	-	-	-	-		
N° 40	0.426	-	-	-	-		
N° 50	0.297	-	-	-	-	Proporciones Agregados	
N° 60	0.177	-	-	-	-	Agregado Grueso	90.4 %
N° 100	0.149	-	-	-	-	Agregado Fino	9.6 %
N° 200	0.074	-	-	-	-	Fino Malla 200	0.0 %
-200	-	79.0	2.3	100.0			

CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)



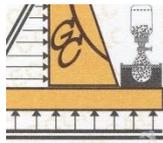


Ing. María del Cielo Quirozco Horna
C.I.P. 297464
JEFE DE LABORATORIO



Urb. Villa de Contadores Mz. Ñ - Lote 06 - Trujillo / ☎ 948180393 - 993131322 - 993756435 / ✉ gerencia@geconsac.com

Resultados del análisis granulométrico de AF

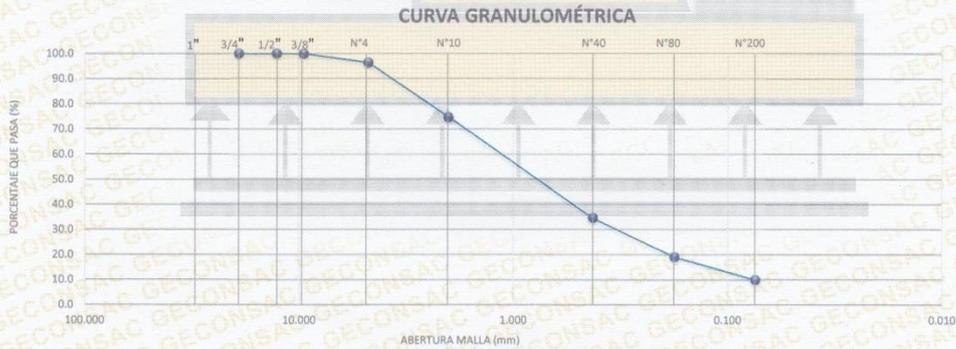


GECONSAC

INFORME	Código	---
ANALISIS GRANULOMETRICO	Versión	01
	Fecha	Ago-24
	Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico Registro N° : GC24-LAB-ASF-0001
 Solicitante : Plasencia León Jheison Levi - Diaz Plasencia Freider Javier Muestreado por : Solicitante
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú Ensayado por : Solicitante
 Material : Agregado Fino Fecha de Ensayo : May-24
 Cantera : Lekersa Turno : Diurno

TAMIZ ASTM	ANALISIS GRANULOMÉTRICO						
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa		
1"	25.400	-	-	-	100.0		
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	Calculos	
1/2"	12.700	-	-	-	100.0	Tara	V-4
3/8"	9.525	-	-	-	100.0	Peso de Tara	196.90 g
1/4"	6.350	-	-	-	100.0	Tara + muestra Humeda	830.00 g
N° 4	4.760	22.1	3.5	3.5	96.5	Tara + muestra Seca	820.70 g
N° 6	3.360	-	-	-	-	Contenido de Humedad (%)	1.49
N° 8	2.380	-	-	-	-		
N° 10	2.000	136.1	21.8	25.4	74.6	Muestra Seca	623.80 %
N°16	1.190	-	-	-	-		
N° 20	0.840	162.6	26.1	51.4	48.6		
N° 30	0.590	-	-	-	-		
N° 40	0.426	87.2	14.0	65.4	34.6		
N° 50	0.297	-	-	-	-	Proporciones Agregados	
N° 80	0.177	97.2	15.6	81.0	19.0	Agregado Grueso	3.5 %
N° 100	0.149	-	-	-	-	Agregado Fino	86.7 %
N° 200	0.074	58.0	9.3	90.3	9.7	Fino Malla 200	9.7 %
-200	-	60.6	9.7	100.0	-		



OBSERVACIONES:

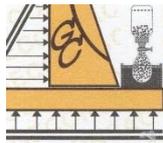
- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOP: GP: 004: 1993)



GECONSAC
 INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES S.A.C.
 Ing. Maria del Cielo Quipuzoa Horna
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO



Resultados de densidad relativa y porcentaje de absorción de AG



GECONSAC

INFORME	Código	---
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y LA ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS ASTM C127-15	Versión	01
	Fecha	Ago-24
	Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico	Registro N°	: GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Plasencia León Jheison Levi - Díaz Plasencia Freider Javier	Muestreado por	: Solicitante
Atención	: ---	Ensayado por	: Solicitante
Ubicación de Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	Fecha de Ensayo	: May-24
Material	: Agregado Grueso	Turno	: Diurno
Tipo de muestra	: ---		
Procedencia	: Cantera LEKERSA		
N° de Muestra	: ---		
Progresiva	: ---		

DATOS		A	B
1	Peso de la muestra sss	8364.0	8278.0
2	Peso de la muestra sss sumergida	5197.0	5144.0
3	Peso de la muestra secada al horno	8296.0	8209.0

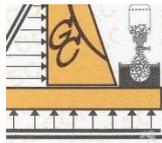
RESULTADOS	1	2	PROMEDIO
PESO ESPECIFICO DE MASA	2.620	2.619	2.619
PESO ESPECIFICO DE MASA S.S.S	2.641	2.641	2.641
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.677	2.678	2.678
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.820	0.841	0.830




 Ing. María del Cielo Guzmán Horno
 C.I.P. 23746
 JEFA DE LABORATORIO



Resultados de densidad relativa y porcentaje de absorción de AF



GECONSAC

INFORME		Código	---
DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO ASTM C128-15		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5%-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico	Registro N°	: GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Plasencia León Jheison Levi - Diaz Plasencia Freider Javier	Muestreado por	: Solicitante
Atención	: ---	Ensayado por	: Solicitante
Ubicación de Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	Fecha de Ensayo	: May-24
Material	: Agregado Fino	Turno	: Diurno
Tipo de muestra	: ---		
Procedencia	: Cantera LEKERSA		
N° de Muestra	: ---		
Progresiva	: ---		

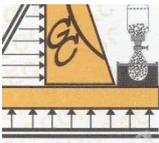
IDENTIFICACIÓN		1	2	PROMEDIO
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (SSS)	500.0	500.1	
B	Peso Frasco + agua	671.1	692.8	
C	Peso Frasco + agua + muestra SSS	1001.1	1011.7	
D	Peso del Mat. Seco	490.1	492.7	
Pe Bulk (Base seca) o Peso específico de masa = D/(B+A-C)		2.882	2.719	2.801
Pe Bulk (Base Saturada) o Peso específico SSS = A/(B+A-C)		2.941	2.760	2.850
Pe Aparente (Base seca) o Peso específico aparente = D/(B+D-C)		3.061	2.835	2.948
% Absorción = 100*((A-D)/D)		2.020	1.502	1.761




 Ing. María del Cielo Quiroz Horna
 C.I.P. 297454
 JEFA DE LABORATORIO



Datos recopilados para ensayo Marshall



GECONSAC

INFORME		Código	---
DOSIFICACION DE AGREGADOS		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico. Solicitante : Plasencia León Jheison Levi / Diaz Plasencia Freider Javier Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú Identificación : Dosificación de agregados Cantera : Lekersa	Registro N° : GC24-LAB-ASF-0001 Muestreado por : Solicitante Ensayado por : Solicitante Fecha de Ensayo : May-24 Turno : Diurno
---	---

DOSIFICACION DE AGREGADOS

	Agregado grueso 40%	Agregado fino 60%	Peso 100%	Muestra 1500 gr
--	------------------------	----------------------	--------------	--------------------

MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

PEN	ADITIVO	MUESTRA	TOTAL
5%	75 0.75	1424.25 gr	1425.00 gr
5.50%	82.5 0.825	1416.68 gr	1417.50 gr
6%	90 0.9	1409.10 gr	1410.00 gr

*El aditivo sólo está explícito para la operacionalización de las tablas posteriores
*PEN utilizado 60/70

PEN	AGREGADOS	TOTAL
	AG AF	
5%	75 570 855	1500 gr
5.50%	82.5 567 850.5	1500 gr
6%	90 564 846	1500 gr

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA

PEN	ADITIVO	PLASTICO	MUESTRA
5%	75 0.75	0.50%	7.12 1417.13 gr
		1%	14.24 1410.01 gr
		1.50%	21.36 1402.89 gr

PEN	ADITIVO	PLASTICO	AGREGADOS	TOTAL
5%	75 0.75	0.50%	AG AF	
		1%	566.85 850.28	1500 gr
		1.50%	564.00 846.00	1500 gr
			561.15 841.73	1500 gr

PEN	ADITIVO	PLASTICO	MUESTRA
5.5%	82.5 0.83	0.50%	7.08 1409.59 gr
		1%	14.17 1402.51 gr
		1.50%	21.25 1395.42 gr

PEN	ADITIVO	PLASTICO	AGREGADOS	TOTAL
5.5%	82.5 0.83	0.50%	AG AF	
		1%	563.84 845.75	1500 gr
		1.50%	561.00 841.50	1500 gr
			558.17 837.25	1500 gr

PEN	ADITIVO	PLASTICO	MUESTRA
6%	90 0.9	0.50%	7.05 1402.05 gr
		1%	14.09 1395.01 gr
		1.50%	21.14 1387.96 gr

PEN	ADITIVO	PLASTICO	AGREGADOS	TOTAL
6%	90 0.9	0.50%	AG AF	
		1%	560.82 841.23	1500 gr
		1.50%	558.00 837.01	1500 gr
			555.19 832.78	1500 gr

OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante
- Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)



Ing. María del Cielo Quispeña Horno
C.I.P. 297464
JEFA DE LABORATORIO





Urb. Villa de Contadores Mz. Ñ - Lote 06 - Trujillo / 948180393 - 993131322 - 993756435 / gerencia@geconsac.com



GECONSAC

INFORME

DATOS PARA MARSHALL MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 5%

Código	---
Versión	01
Fecha	Ago-24
Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico.	Registro N°	: GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Plasmencia León Jheison Levi / Diaz Plasmencia Freider Javier	Muestreo por	: Solicitante
Ubicación de Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Peru	Ensayado por	: Solicitante
Identificación	: Datos para marshall	Fecha de Ensayo	: Jun-24
Cantera	: Lekersa	Turno	: Diurno

DATOS PARA MARSHALL

MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

Briquetas 5% PEN + Agregados

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1270	10.1	7.7	03:50 p.m.	04:25 p.m.	9.53	1450.1
2	1327	10.1	7.6	03:55 p.m.	04:30 p.m.	8.79	1420.3
3	1329	10.1	7.6	04:00 p.m.	04:35 p.m.	8.43	1557.9

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
5	10.1	7.7	10.85	9.53	115.98
	10.1	7.6	10.48	8.79	121.52
	10.1	7.6	11.51	8.43	139.23
5.5	10.1	7.7	13.42	9.25	147.98
	10.1	7.6	15.47	8.71	181.24
	10.1	7.8	12.22	9.78	127.43
6	10.1	7.6	15.61	8.53	186.58
	10.1	7.6	15.56	9.28	171.07
	10.1	7.7	14.04	9.06	158.05

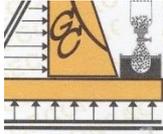
OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)




 Ing. María del Cielo Quintana Horna
 C.I.P. 297484
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DATOS PARA MARSHALL		Versión	01
MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 5.5%		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico.	Registro N°	: GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Plasencia León Jheison Levi / Diaz Plasencia Freider Javier	Muestreado por	: Solicitante
Ubicación de Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	Ensayado por	: Solicitante
Identificación	: Datos para marshall	Fecha de Ensayo	: Jun-24
Cantera	: Lekersa	Turno	: Diurno

DATOS PARA MARSHALL

MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

Briquetas 5.5% PEN + Agregados
*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1298	10.1	7.7	04:05 p.m.	04:40 p.m.	9.25	1368.8
2	1316	10.1	7.6	04:10 p.m.	04:45 p.m.	8.71	1578.6
3	1257	10.1	7.8	04:15 p.m.	04:50 p.m.	9.78	1246.3

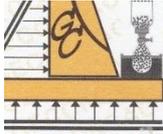
OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante.
- * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)




Ing. María del Cielo Quiroz Huerta
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DATOS PARA MARSHALL MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL 6%		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico.	Registro N°	: GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Plasencia León Jheison Levi / Díaz Plasencia Freider Javier	Muestreado por	: Solicitante
Ubicación de Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	Ensayado por	: Solicitante
Identificación	: Datos para marshall	Fecha de Ensayo	: Jun-24
Cantera	: Lekersa	Turno	: Diurno

DATOS PARA MARSHALL

MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

Briquetas 6% PEN + Agregados
*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1410	10.1	7.6	04:20 p.m.	04:55 p.m.	8.53	1591.5
2	1338	10.1	7.6	04:25 p.m.	05:00 p.m.	9.28	1587.5
3	1378	10.1	7.7	04:30 p.m.	05:05 p.m.	9.06	1431.9

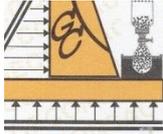
OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)




GECONSAC
 INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES S.A.
 Ing. María del Cielo Quiroz de la Horna
 C.I.P. 297454
 JEFE DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME

DATOS PARA MARSHALL MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA 5%

Código	---
Versión	01
Fecha	Ago-24
Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico.	Registro N°	: GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Plascencia León Jheison Levi / Diaz Plascencia Freider Javier	Muestreado por	: Solicitante
Ubicación de Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	Ensayado por	: Solicitante
Identificación	: Datos para marshall	Fecha de Ensayo	: Jun-24
Cantera	: Lekersa	Turno	: Diurno

DATOS PARA MARSHALL

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA

BRIQUETAS 5% PEN + 0.5% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1431	10.1	7.8	10:35 a.m.	11:10 a.m.	8.65	1475.3
2	1335	10.1	7.6	10:40 a.m.	11:15 a.m.	8.77	1495.7
3	1385	10.1	7.6	10:45 a.m.	11:20 a.m.	10.43	1156.6

BRIQUETAS 5% PEN + 1% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1427	10.1	7.7	10:50 a.m.	11:25 a.m.	7.97	1557.9
2	1443	10.1	7.8	10:55 a.m.	11:30 a.m.	7.84	1540.7
3	1380	10.1	7.6	11:00 a.m.	11:35 a.m.	7.69	1506.4

BRIQUETAS 5% PEN + 1.5% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1430	10.1	7.8	11:05 a.m.	11:40 a.m.	7.98	1565.4
2	1455	10.1	7.8	11:10 a.m.	11:45 a.m.	7.66	1599.9
3	1414	10.1	7.66	11:15 a.m.	11:50 a.m.	7.83	1549.1

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5%plástico + 1% aditivo	10.1	7.8	14.47	8.65	170.55
	10.1	7.6	14.67	8.77	170.55
	10.1	7.6	11.34	10.43	110.89
1%plástico + 1% aditivo	10.1	7.7	15.28	7.97	195.47
	10.1	7.8	15.11	7.84	196.52
	10.1	7.6	14.77	7.69	195.89
1.5%plástico + 1% aditivo	10.1	7.8	15.35	7.98	196.17
	10.1	7.8	15.69	7.66	208.86
	10.1	7.6	15.19	7.83	197.84

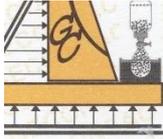
OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)




Ing. María del Cielo Quiroz Horna
 C.I.P 297464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DATOS PARA MARSHALL MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA 5.5%		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico.	Registro N°	: GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Plasecia León Jheison Levi / Díaz Plasecia Freider Javier	Muestreado por	: Solicitante
Ubicación de Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	Ensayado por	: Solicitante
Identificación	: Datos para marshall	Fecha de Ensayo	: Jun-24
Cantera	: Lekersa	Turno	: Diurno

DATOS PARA MARSHALL

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA

BRIQUETAS 5.5% PEN + 0.5% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1464	10.1	7.7	11:20 a.m	11:55 a.m.	7.98	1449.9
2	1471	10.1	7.8	11:25 a.m	12:00 p.m.	8.32	1442.7
3	1457	10.1	7.6	11:30 a.m	12:05 p.m.	8.24	1401.1

BRIQUETAS 5.5% PEN + 1% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1475	10.1	7.8	11:35 a.m	12:10 p.m.	8.15	1512.1
2	1466	10.1	7.9	11:40 a.m	12:15 p.m.	8.64	1413.7
3	1503	10.1	8	11:45 a.m	12:20 p.m.	8.92	1403.1

BRIQUETAS 5.5% PEN + 1.5% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1484	10.1	8.1	11:50 a.m	12:25 p.m.	7.71	1582.1
2	1485	10.1	8	11:55 a.m	12:30 p.m.	7.62	1591.4
3	1444	10.1	7.9	12:00 p.m	12:35 p.m.	8.11	1552.6

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5%plástico + 1% aditivo	10.1	7.8	14.22	7.98	181.69
	10.1	7.6	14.15	8.32	173.40
	10.1	7.6	13.74	8.24	170.04
1%plástico + 1% aditivo	10.1	7.7	14.83	8.15	185.53
	10.1	7.8	13.86	8.64	163.62
	10.1	7.6	13.76	8.92	157.30
1.5%plástico + 1% aditivo	10.1	7.8	15.52	7.71	205.20
	10.1	7.8	15.81	7.62	208.85
	10.1	7.6	15.23	8.11	191.44

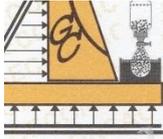
OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOP: GP: 004: 1993)



GECONSAC
 INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.C.
 Ing. María del Cielo Quispeza Horna
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DATOS PARA MARSHALL MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA 6%		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico. Registro N° : GC24-LAB-ASF-0001
 Solicitante : Plasencia León Jheison Levi / Díaz Plasencia Freider Javier. Muestreado por : Solicitante
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú. Ensayado por : Solicitante
 Identificación : Datos para marshall. Fecha de Ensayo : Jun-24
 Cantera : Lekersa. Turno : Diurno

DATOS PARA MARSHALL

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA

BRIQUETAS 6% PEN + 0.5% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1465	10.1	7.6	12:05 p.m.	12:40 p.m.	7.47	1419.4
2	1462	10.1	7.7	12:10 p.m.	12:45 p.m.	8.19	1423.3
3	1482	10.1	7.8	12:15 p.m.	12:50 p.m.	7.9	1552.4

BRIQUETAS 6% PEN + 1% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1467	10.1	7.7	12:20 p.m.	12:55 p.m.	8.12	1475.1
2	1449	10.1	7.6	12:25 p.m.	01:00 p.m.	8.47	1546.1
3	1486	10.1	7.8	12:30 p.m.	01:05 p.m.	7.67	1508.3

BRIQUETAS 6% PEN + 1.5% PLASTICO + 1% ADITIVO + AGREGADOS

*PEN utilizado 60/70

Especimen	Masa (gr)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Baño María		Deformación (mm)	Resistencia (kg)
				Inicio	Término		
1	1474	10.1	7.9	12:35 p.m.	01:10 p.m.	7.36	1574.7
2	1484	10.1	7.8	12:40 p.m.	01:15 p.m.	5.23	1691.8
3	1477	10.1	7.9	12:45 p.m.	01:20 p.m.	6.7	1663.7

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5%plástico + 1% aditivo	10.1	7.8	13.92	7.47	190.01
	10.1	7.6	13.96	8.19	173.79
	10.1	7.6	15.22	7.9	196.51
1%plástico + 1% aditivo	10.1	7.7	14.47	8.12	181.86
	10.1	7.6	15.16	8.47	182.54
	10.1	7.6	14.79	7.67	196.65
1.5%plástico + 1% aditivo	10.1	7.8	15.44	7.36	213.95
	10.1	7.8	16.59	5.23	323.48
	10.1	7.6	16.32	6.7	248.31

OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante
- Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)



GECONSAC
 INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES S.A.
 Ing. María del Cielo Quiroz Altorra
 C.I.P. 237464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DATOS PARA MARSHALL PESO-CONV BRIQUETAS ROTAS		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico. Registro N° : **GC24-LAB-ASF-0001**

Solicitante : Plasencia León Jheison Levi / Díaz Plasencia Freider Javier Muestreado por : Solicitante

Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú Ensayado por : Solicitante

Identificación : Datos para marshall Fecha de Ensayo : Jun-24

Cantera : Lekersa Turno : Diurno

DATOS PARA MARSHALL

MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

BRIQUETAS ROTAS 5% PEN + AGREGADOS

Especimen	Masa (gr)
1	1329.3
2	1326.5
3	1329.1

BRIQUETAS ROTAS 5.5% PEN + AGREGADOS

Especimen	Masa (gr)
1	1299.1
2	1315.6
3	1256.3

BRIQUETAS ROTAS 6% PEN + AGREGADOS

Especimen	Masa (gr)
1	1378.6
2	1338.7
3	1378.6

OBSERVACIONES:

- * Muestra provista e identificada por el solicitante
- * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI: GP: 004: 1993)




 Ing. Maria del Cielo Quipuzeta Horna
 C.I.P. 297.464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME	Código	---
DATOS PARA MARSHALL PESO-MOD BRIQUETAS ROTAS	Versión	01
	Fecha	Ago-24
	Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico. Registro N° : **GC24-LAB-ASF-0001**
 Solicitante : Plasencia León Jheison Levi / Díaz Plasencia Freider Javier Muestreado por : Solicitante
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú Ensayado por : Solicitante
 Identificación : Datos para marshall Fecha de Ensayo : Jun-24
 Canteras : Lekersa Turno : Diurno

DATOS PARA MARSHALL

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA

BRIQUETAS ROTAS 5% PEN + 0.5% PLASTICO		BRIQUETAS ROTAS 5% PEN + 1% PLASTICO		BRIQUETAS ROTAS 5% PEN + 1.5% PLASTICO	
Especimen	Masa (gr)	Especimen	Masa (gr)	Especimen	Masa (gr)
1	1428.6	1	1421	1	1430.2
2	1335.4	2	1439	2	1455.1
3	1385.6	3	1378.9	3	1411.7

BRIQUETAS ROTAS 5.5% PEN + 0.5% PLASTICO		BRIQUETAS ROTAS 5.5% PEN + 1% PLASTICO		BRIQUETAS ROTAS 5.5% PEN + 1.5% PLASTICO	
Especimen	Masa (gr)	Especimen	Masa (gr)	Especimen	Masa (gr)
1	1462.4	1	1474.1	1	1484.3
2	1470.7	2	1466.5	2	1484.6
3	1456.8	3	1502.4	3	1444.6

BRIQUETAS ROTAS 6% PEN + 0.5% PLASTICO		BRIQUETAS ROTAS 6% PEN + 1% PLASTICO		BRIQUETAS ROTAS 6% PEN + 1.5% PLASTICO	
Especimen	Masa (gr)	Especimen	Masa (gr)	Especimen	Masa (gr)
1	1465.7	1	1466.3	1	1474.6
2	1461.9	2	1448.8	2	1483.8
3	1481.2	3	1485.9	3	1477.5

OBSERVACIONES:

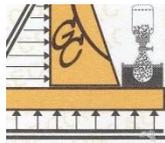
- Muestra provista e identificada por el solicitante
- Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOPI; GP: 004: 1993)




 Ing. Maria del Cielo Quiroz Hornu
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO



Resultados y cálculos de ensayo Marshall



GECONSAC

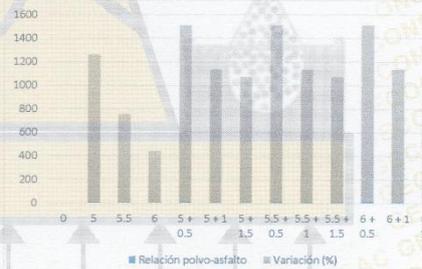
INFORME		Código	---
PROPIEDADES FISICAS		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico. Registro N° : **GC24-LAB-ASF-0001**
 Solicitante : Plasencia León Jheison Levi / Díaz Plasencia Freider Javier Realizado por : Solicitante
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú Revisado por : JLQ
 Identificación : Propiedades físicas Fecha de Ensayo : Jun-24
 Cantera : Lekersa Turno : Diurno

Grupo	Adición (%)	Vacios con aire (%)	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0	4.3	0	0
Aditivo asfáltico	5	4.78	0.67	10.04
	5.5	5.05	0.91	14.85
	6	5.18	1.15	16.99
	5+0.5	6.35	1.63	32.28
Aditivo asfáltico + Plástico	5+1	4.72	0.75	8.90
	5+1.5	4.21	0.56	-2.14
	5.5+0.5	5.18	0.69	16.99
	5.5+1	4.65	0.58	7.73
	5.5+1.5	4.27	0.85	-0.70
	6+0.5	4.44	0.95	3.15
	6+1	4.31	1.69	0.23
	6+1.5	3.17	1.72	-35.65



Grupo	Adición (%)	Relación polvo-asfalto	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0	0.8	0	0
Aditivo asfáltico	5	10	0	1250.00
	5.5	6	0	750.00
	6	3.5	0	437.50
	5+0.5	12	0	1500.00
Aditivo asfáltico + Plástico	5+1	9	0	1125.00
	5+1.5	8.5	0	1062.50
	5.5+0.5	12	0	1500.00
	5.5+1	9	0	1125.00
	5.5+1.5	8.5	0	1062.50
	6+0.5	12	0	1500.00
	6+1	9	0	1125.00
	6+1.5	8.5	0	1062.50



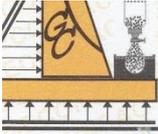
OBSERVACIONES:

- Muestra provista e identificada por el solicitante
- Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOP: GP: 004: 1993)



GECONSAC
 INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES S.A.
 Ing. María del Cielo Quiroz Horna
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO



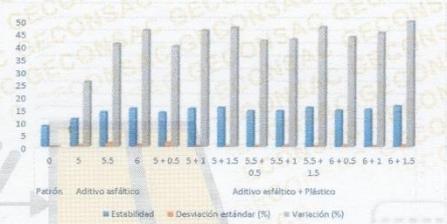


GECONSAC

INFORME		Código	—
ESTABILIDAD		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adriaps del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico. Registro N° GC24-LAB-ASF-0001
 Solicitante : Plasencia León, Jheison Levi / Diaz Plasencia Freider, Javier. Realizado por :
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú. Revisado por : J.L.Q.
 Identificación : Estabilidad. Fecha de Ensayo : Jun-24
 Canteras : Lekersa. Turno : Diurno

Grupo	Adición (%)	Estabilidad	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0	8.15	0	0
Aditivo asfáltico	5	10.95	0.428	25.55
	5.5	13.70	1.342	40.53
	6	15.07	0.729	45.92
5 + 0.5	5 + 0.5	13.49	1.525	39.90
	5 + 1	15.05	0.212	45.89
	5 + 1.5	15.41	0.208	47.11
Aditivo asfáltico + Plástico	5.5 + 0.5	14.04	0.212	41.94
	5.5 + 1	14.19	0.453	42.40
	5.5 + 1.5	15.453	0.162	47.26
6 + 0.5	6 + 0.5	14.37	0.804	43.27
	6 + 1	14.81	0.282	44.96
	6 + 1.5	16.117	0.491	49.43



Adición (%)	Díámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/Flujo
5	10.1	7.7	10.85	9.53	115.98
	10.1	7.6	10.48	8.79	121.52
	10.1	7.6	11.51	8.43	139.23
5.5	10.1	7.7	13.42	9.25	147.88
	10.1	7.6	15.47	8.71	181.24
	10.1	7.8	12.22	9.75	127.43
6	10.1	7.8	15.81	8.53	186.56
	10.1	7.6	15.56	9.28	171.07
	10.1	7.7	14.04	9.06	158.05

Adición (%)	Díámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/Flujo
0.5%plástico	10.1	7.6	14.47	8.65	170.55
	10.1	7.6	14.67	8.77	170.55
	10.1	7.6	11.34	10.43	110.89
1%plástico	10.1	7.7	15.28	7.97	195.47
	10.1	7.8	15.11	7.84	196.02
	10.1	7.6	14.77	7.89	195.89
1.5%plástico	10.1	7.8	15.35	7.98	198.17
	10.1	7.8	15.69	7.86	208.66
	10.1	7.6	15.19	7.83	197.04

Adición (%)	Díámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/Flujo
0.5%plástico	10.1	7.8	14.22	7.98	181.89
	10.1	7.6	14.15	8.32	173.4
	10.1	7.6	13.74	8.24	170.04
1%plástico	10.1	7.7	14.83	8.15	185.53
	10.1	7.8	13.86	8.64	163.62
	10.1	7.6	13.76	8.92	157.3
1.5%plástico	10.1	7.6	15.52	7.71	205.2
	10.1	7.8	15.61	7.82	208.85
	10.1	7.6	15.23	8.11	191.44

Adición (%)	Díámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/Flujo
0.5%plástico	10.1	7.8	13.82	7.47	190.01
	10.1	7.6	13.96	8.19	173.79
	10.1	7.6	15.22	7.9	196.51
1%plástico	10.1	7.7	14.42	8.12	181.86
	10.1	7.6	15.16	8.67	182.54
	10.1	7.8	14.79	7.87	198.05
1.5%plástico	10.1	7.8	15.44	7.38	213.95
	10.1	7.8	16.59	5.23	323.48
	10.1	7.6	16.32	6.7	248.31

OBSERVACIONES:
 * Muestra provista e identificada por el solicitante.
 * Prohibida la reproducción de este documento sin la autorización escrita de GECONSAC, salvo que la reproducción sea en su totalidad (INDECOP: GP. 004: 1993)



GECONSAC
 INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES S.A.
 Ing. María del Cielo Quiroz de Horna
 C.I.P. 297468
 JEFA DE LABORATORIO



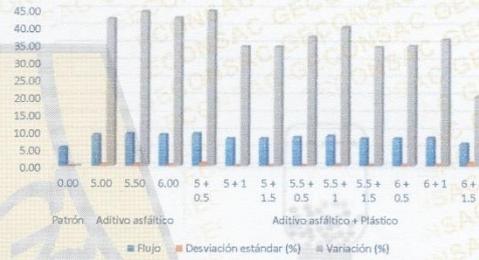


GECONSAC

INFORME		Código	---
FLUJO		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico. Registro N° : **GC24-LAB-ASF-0001**
 Solicitante : Plasencia León Jheison Levi / Díaz Plasencia Freider Javier Realizado por : Solicitante
 Cliente : - Revisado por : J.L.O.
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú Fecha de Ensayo : Jun-24
 Identificación : Flujo Turno : Diurno
 Cantera : Lekersa

Grupo	Adición (%)	Flujo	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0.00	5.15	0.00	0.00
Aditivo asfáltico	5.00	8.92	0.46	42.24
	5.50	9.25	0.44	44.30
	6.00	8.96	0.31	42.50
5 + 0.5	5 + 0.5	9.28	0.81	44.52
	5 + 1	7.83	0.11	34.26
	5 + 1.5	7.82	0.13	34.17
Aditivo asfáltico + Plástico	5.5 + 0.5	8.18	0.15	37.04
	5.5 + 1	8.57	0.32	39.91
	5.5 + 1.5	7.81	0.21	34.09
6 + 0.5	6 + 0.5	7.85	0.30	34.42
	6 + 1	8.09	0.33	36.31
	6 + 1.5	6.43	0.89	19.91



Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
5	10.1	7.7	9.53	9.53	115.59
	10.1	7.6	8.79	8.79	121.52
	10.1	7.6	8.43	8.43	139.23
5.5	10.1	7.7	9.25	9.25	147.98
	10.1	7.6	8.71	8.71	181.24
	10.1	7.8	9.78	9.78	127.43
6	10.1	7.6	8.53	8.53	186.58
	10.1	7.6	9.28	9.28	171.07
	10.1	7.7	9.06	9.06	158.05

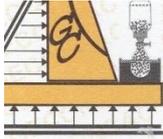
Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5%plástico	10.1	7.8	8.65	8.65	170.55
	10.1	7.6	8.77	8.77	170.55
	10.1	7.6	10.43	10.43	110.89
1%plástico	10.1	7.7	7.97	7.97	195.47
	10.1	7.8	7.84	7.84	196.52
	10.1	7.6	7.69	7.69	195.89
1.5%plástico	10.1	7.8	7.98	7.98	196.17
	10.1	7.8	7.66	7.66	208.86
	10.1	7.6	7.83	7.83	197.84

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5%plástico	10.1	7.8	7.98	7.98	181.69
	10.1	7.6	8.32	8.32	173.4
	10.1	7.6	8.24	8.24	170.04
1%plástico	10.1	7.7	8.15	8.15	185.33
	10.1	7.8	8.64	8.64	163.62
	10.1	7.6	8.92	8.92	157.3
1.5%plástico	10.1	7.8	7.71	7.71	205.2
	10.1	7.8	7.62	7.62	208.85
	10.1	7.6	8.11	8.11	191.44



Ing. María del Cielo Quirozco Horna
 C.I.P. 287464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME

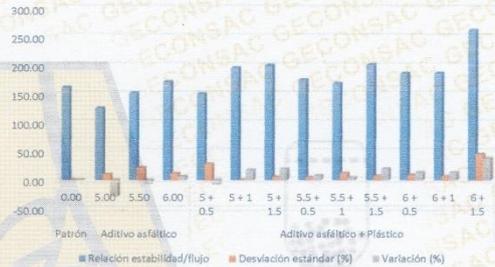
RELACION FLUJO - ESTABILIDAD

Código	---
Versión	01
Fecha	Ago-24
Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico.
 Solicitante : Plasencia León Jheison Levi / Díaz Plasencia Freider Javier
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú
 Identificación : Relación flujo-estabilidad
 Cantera : Lekersa

Registro N° : GC24-LAB-ASF-0001
 Realizado por : Solicitante
 Revisado por : JLQ
 Fecha de Ensayo : Jun-24
 Turno : Diurno

Grupo	Adición (%)	Relación estabilidad/flujo	Desviación estándar (%)	Variación (%)
Patrón	0.00	161.37	0.00	0.00
Aditivo asfáltico	5.00	125.58	9.92	-28.51
	5.50	152.22	22.17	-6.02
	6.00	171.90	11.66	6.12
Aditivo asfáltico + Plástico	5+0.5	150.68	28.12	-7.11
	5+1	195.96	0.43	17.65
	5+1.5	200.96	5.83	19.70
	5.5+0.5	175.04	4.90	7.91
	5.5+1	168.62	12.10	4.41
Aditivo asfáltico + Plástico	5.5+1.5	201.83	7.50	20.05
	6+0.5	186.77	9.55	13.60
	6+1	186.95	8.87	13.68
	6+1.5	261.91	45.74	38.39



Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
5	10.1	7.7	115.98	9.33	115.98
	10.1	7.6	121.52	8.79	121.52
	10.1	7.6	139.23	8.43	139.23
5.5	10.1	7.7	147.98	9.25	147.98
	10.1	7.6	161.24	8.71	161.24
	10.1	7.8	127.43	9.76	127.43
6	10.1	7.6	186.58	8.33	186.58
	10.1	7.6	171.07	9.28	171.07
	10.1	7.7	158.05	9.06	158.05

Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5%plástico	10.1	7.8	170.55	8.65	170.55
	10.1	7.8	170.55	8.77	170.55
	10.1	7.6	110.89	10.43	110.89
1%plástico	10.1	7.7	195.47	7.97	195.47
	10.1	7.8	196.62	7.84	196.62
	10.1	7.6	195.89	7.89	195.89
1.5%plástico	10.1	7.8	196.17	7.98	196.17
	10.1	7.8	208.86	7.68	208.86
	10.1	7.6	197.84	7.83	197.84

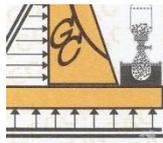
Adición (%)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Estabilidad	Flujo	Relación estabilidad/flujo
0.5%plástico	10.1	7.8	181.69	7.98	181.69
	10.1	7.8	173.4	8.32	173.4
	10.1	7.6	170.04	8.24	170.04
1%plástico	10.1	7.7	185.53	8.15	185.53
	10.1	7.8	183.62	8.64	183.62
	10.1	7.6	157.3	8.92	157.3
1.5%plástico	10.1	7.8	205.2	7.71	205.2
	10.1	7.8	208.85	7.62	208.85
	10.1	7.6	191.44	8.11	191.44



Ing. Maria del Cielo Lopez Lozano HOFBU
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO



Diseño de MAC



GECONSAC

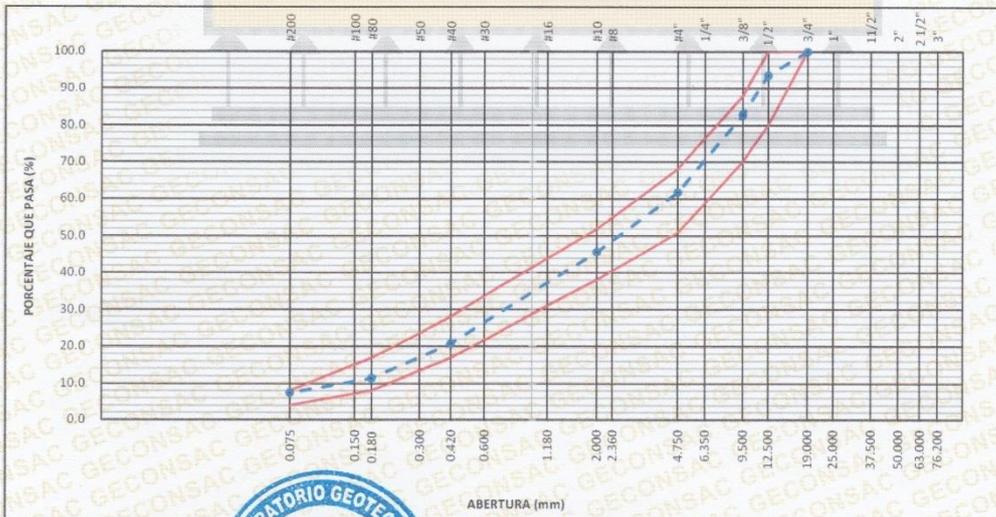
INFORME	Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL	Versión	01
	Fecha	Ago-24
	Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico	REGISTRO N°	: GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Placencia León Jheison Levi - Díaz Placencia Freider Javier	REALIZADO POR	: Solicitante
Atención	: ---	REVISADO POR	: JLQ
Ubicación de Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	FECHA DE ENSAYO	: Jun-24
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)		
Identificación	: ---		
Descripción	: Diseño MAC (Asfalto convencional)		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C136)

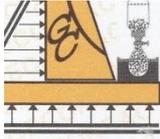
TAMIZ	ABERTURA	Agregado Grueso	Agregado Fino	Prueba N.º01	ESPECIFICACIÓN MAC-2		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ASTM	mm						
3"	76.200						
2 1/2"	63.000						
2"	50.000						
1 1/2"	37.500						
1"	25.000						
3/4"	19.000	100.0	100.0	100.0	100	100	
1/2"	12.500	83.9	100.0	93.6	80	100	
3/8"	9.500	57.2	100.0	82.9	70	88	
1/4"	6.350						
# 4	4.750	9.6	96.5	61.7	51	68	Observaciones: Según especificación técnica MTC EG -2013 (Sección 423) Pavimento de concreto asfáltico en caliente. Mezcla agregados diseño asfalto MAC-2
# 8	2.360			37.8			
# 10	2.000	2.3	74.6	45.7	38	52	
# 16	1.180						
# 30	0.600						
# 40	0.420		34.6	20.8	17	28	Agregado grueso 40.0 %
# 80	0.180		19.0	11.4	8	17	Agregado fino 60.0 %
# 100	0.150						
# 200	0.075		12.5	7.5	4	8	
>200							
MEZCLA							
Prueba N.º01		40.0%	60.0%	100.00			

CURVA GRANULOMETRICA




Ing. María del Cielo Quiroz Horna
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME	Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL	Versión	01
	Fecha	Ago-24
	Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico
 Solicitante : Placencia León Jheison Levi - Díaz Placencia Freider Javier
 Atención : ---
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú

REGISTRO N° : GC24-LAB-ASF-0001
 REALIZADO POR : Solicitante
 REVISADO POR : JLQ
 FECHA DE ENSAYO : Jun-24

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : ---
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	93.6	82.9	61.7	45.7	20.8	11.4	7.5
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.1			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					36.31			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					58.59			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.5			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.020			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 ^B (Bulk) gr/cc					2.849			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.782			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1192.8	1194.8	1190.6		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1193.8	1195.5	1191.5		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				707.4	709.2	707.5		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				486.4	486.3	484.0		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.452	2.457	2.460	2.456	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.630			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				6.8	6.6	6.5	6.6	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.807			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.874			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.84			
22	% de Asfalto Efectivo					4.30			
23	Relación Polvo/Asfalto					0.6			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				17.1	16.9	16.8	17.0	14
25	% Vacios llenos con C.A.				60.5	61.1	61.5	61.1	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				13.0	12.0	13.0	12.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				989	1119	962		
28	Factor de estabilidad				1.09	1.09	1.09		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1078	1220	1049	1115	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3316	4065	3226	3536	1700 - 4000




 Ing. Maria del Cielo Quiroz Coa Horna
 C.I.P. 297464
 JEFE DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico
 Solicitante : Placencia León Jheison Levi - Díaz Placencia Freider Javier
 Cliente : ---
 Ubicación de Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú

REGISTRO N° : GC24-LAB-ASF-0001
 REALIZADO POR : Solicitante
 REVISADO POR : J.L.Q.
 FECHA DE ENSAYO : Jun-24

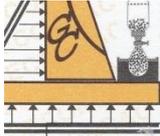
Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : ---
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)											
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40			No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	93.6	82.9	61.7	45.7	20.8			11.4	7.5
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25			8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3			PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.6					
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					36.12					
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					58.28					
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.5					
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.020					
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.849					
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.782					
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc										
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc										
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc										
11	Altura promedio de la briqueta cm										
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1202.1	1205.2	1191.4	1201.1	1200.7		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1202.9	1205.7	1191.5	1201.9	1201.4		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				716.2	719.3	710.3	714.7	715.5		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				486.7	486.4	481.3	487.2	485.9		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.470	2.478	2.476	2.465	2.471	2.472	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.600					
18	% de Vacuos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				5.0	4.7	4.8	5.2	4.9	4.9	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.807					
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.863					
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.70					
22	% de Asfalto Efectivo					4.94					
23	Relacion Filler/Betun					0.7					0.6 - 1.3
24	V.M.A.				16.9	16.7	16.8	17.1	16.9	16.9	14
25	% Vacuos llenos con C.A.				70.6	71.9	71.5	69.8	70.7	70.9	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				13.0	14.0	13.0	13.0	14.0	13.4	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				919	897	948	941	998		
28	Factor de estabilidad				1.09	1.09	1.09	1.09	1.09		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1001	1043	1033	1026	1086	1038	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				3081	2979	3178	3156	3102	3079	1700 - 4000



Ing. María del Cielo Quinzeoa Horna
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1
Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico	REGISTRO N°	GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Placencia León Jheison Levi - Díaz Placencia Freider Javier	REALIZADO POR	Solicitante
Cliente	: ---	REVISADO POR	J.L.C.
Ubicación del Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	FECHA DE ENSAYO	1/06/2024
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)		
Identificación	: ---		
Descripción	: Diseño MAC (Asfalto convencional)		

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)											
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40			No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	93.6	82.9	61.7	45.7	20.8			11.4	7.5
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25			8 - 17	4 - 8
BRQUETA N°					1	2	3			PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla										
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla										
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla										
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla										
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc										
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc										
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc										
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc										
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc										
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc										
11	Altura promedio de la briqueta cm										
12	Peso de la briqueta al aire (gr)										
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)										
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)										
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)										
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)										
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)										
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)										
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total										
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total										
21	Asfalto Absorbido por el Agregado										
22	% de Asfalto Efectivo										
23	Relacion Filler/Betun										
24	V.N.A.										
25	% Vacios llenos con C.A.										
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)										
27	Estabilidad sin corregir (Kg)										
28	Factor de estabilidad										
29	Estabilidad Corregida 27 * 28										
30	Estabilidad / Flujo										




 Ing. Maria del Cielo Quiroz Horno
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME	Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL	Versión	01
	Fecha	Ago-24
	Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico
 Solicitante : Plasmencia León Jheison Levi - Díaz Plasmencia Freider Javier
 Cliente : ---
 Ubicación del Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú

REGISTRO N° : GC24-LAB-ASF-0001
 REALIZADO POR : Solicitante
 REVISADO POR : J.L.Q.
 FECHA DE ENSAYO : Jun-24

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : ---
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

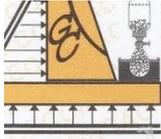
INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D1559)

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40			No 80	No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	93.6	82.9	61.7	45.7	20.8			11.4	7.5
ESPECIFICACIONES	100	80 - 100	67 - 85	60 - 77	43 - 61	29 - 45	14 - 25			8 - 17	4 - 8
BRIQUETA N°					1	2	3			PROMEDIO	ESPECIF.
1 % C.A. en Peso de la Mezcla						6.6					
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla						35.73					
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla						57.67					
4 % Cemento Portland en peso de la Mezcla						0.5					
5 Peso Específico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc						1.020					
6 Peso Específico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc						2.849					
7 Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc						2.782					
8 Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc											
9 Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc											
10 Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc											
11 Altura promedio de la briqueta cm											
12 Peso de la briqueta al aire (gr)					1156.5	1157.8	1184.8	1187.3	1190.7		
13 Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)					1156.5	1158.4	1185.3	1188.0	1191.0		
14 Peso de la briqueta desplazada (gr)					690.0	692.1	706.5	708.6	710.1		
15 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)					466.5	466.3	478.8	479.4	480.9		
16 Peso específico Bulk de la Briqueta = (12/15)					2.479	2.483	2.475	2.477	2.476	2.478	
17 Peso Específico Máximo - Rice (ASTM D 2041)						2.549					
18 % de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)					2.8	2.6	2.9	2.9	2.9	2.8	3 - 5
19 Peso Específico Bulk Agregado Total						2.807					
20 Peso Específico Efectivo Agregado total						2.852					
21 Asfalto Absorbido por el Agregado						0.56					
22 % de Asfalto Efectivo						6.07					
23 Relación Filler/Betun						0.8					0.6 - 1.3
24 V.M.A.					17.5	17.4	17.7	17.6	17.6	17.6	14
25 % Vacíos llenos con C.A.					84.2	85.0	83.4	83.8	83.7	84.0	
26 Flujo 0.01" (0.25 mm)					15.0	15.0	16.0	16.0	14.0	15.2	8 - 14
27 Estabilidad sin corregir (Kg)					734	679	661	708	743		
28 Factor de estabilidad					1.19	1.19	1.14	1.14	1.14		
29 Estabilidad Corregida 27 * 28					874	808	753	805	847	817	MIN 815
30 Estabilidad / Flujo					2330	2155	1883	2012	2420	2160	1700 - 4000



Ing. María del Cielo Quiroz Horno
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico
 Solicitante : Plasencia León Jheison Levi - Díaz Plasencia Freider Javier
 Cliente : ---
 Ubicación del Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú

REGISTRO N° : GC24-LAB-ASF-0001
 REALIZADO POR : Solicitante
 REVISADO POR : JLQ
 FECHA DE ENSAYO : Jun-24

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : ---
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0	
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8187.0	8187.0	8187.0	8187.0	
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7728.8	7724.4	7719.1	7721.0	
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8934.0	8927.0	8925.0	8909.0	
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1205.2	1202.6	1205.9	1188.0	
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	458.2	462.6	467.9	466.0	
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.630	2.600	2.577	2.549	
CONTENIDO % C.A.	5.10	5.60	6.10	6.60	

Observaciones :



Ing. María del Cielo Quirozca Horna
 C. I. P. 29746
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME

DISERNO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL

Código	---
Versión	01
Fecha	Ago-24
Página	1 de 1

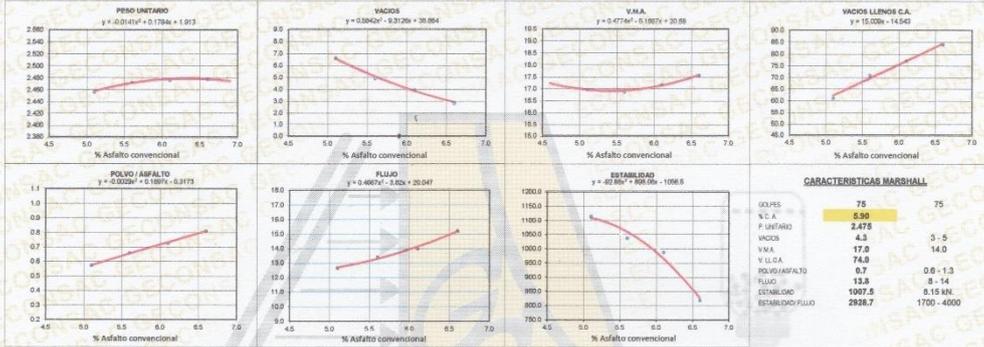
Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-a del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico
 Solicitante : Plasmencia León Jherson Levi - Diaz Plasmencia Freider Javier
 Cliente :
 Ubicación del Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú

REGISTRO N° : GC24-LAB-ASF-0001

REALIZADO POR : Solicitante
 REVISADO POR : J.E.Q.
 FECHA DE ENSAYO : Jun-24

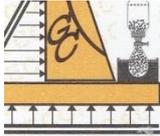
Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación :
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTE



GECONSAC
 CONSULTORIA EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION S.A.S.
 Ing. María del Cielo Quirozcoa Norma
 C.I.P. 267464
 JEFA DEL LABORATORIO



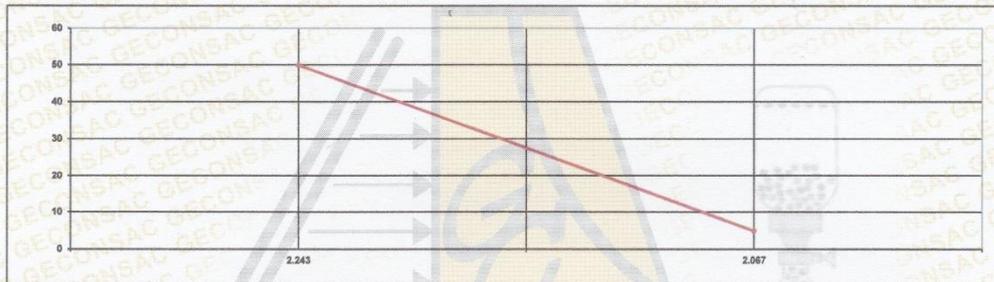


GECONSAC

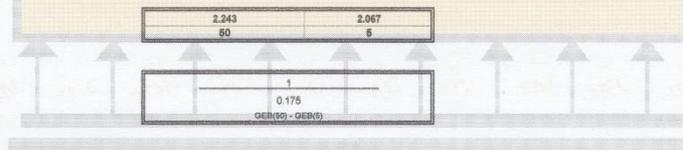
INFORME		Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto	: Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico	REGISTRO N°	GC24-LAB-ASF-0001
Solicitante	: Plaseñcia León Jheison Levi - Diaz Plaseñcia Freider Javier	REALIZADO POR	Solicitante
Cliente	: ---	REVISADO POR	JLQ
Ubicación del Proyecto	: Trujillo - La Libertad - Perú	FECHA DE ENSAYO	Jun-24
Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)		
Identificación	: ---		
Descripción	: Diseño MAC (Asfalto convencional)		

INFORME DE ENSAYO ÍNDICE DE COMPACTIBILIDAD



N° de Muestras	01	02	03	04
N° de Golpes Marshall	50	50	5	5
1.- Peso Briqueta al Aire	1200.5	1199.3	1199.2	1202.9
2.- Peso Briqueta Saturada con Superf. Seca	1209.3	1208.0	1214.4	1217.4
3.- Peso por Desplazamiento	671.7	675.4	636.7	633.2
4.- Volumen de la Briqueta	537.6	532.6	577.7	584.2
5.- Peso Unitario (Gr./cc)	2.233	2.252	2.078	2.059
PROMEDIOS	2.243	2.252	2.078	2.067

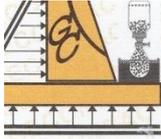


IC =	5.71
-------------	-------------



GECONSAC
 INGENIERÍA Y CONSTRUCCIONES S.A.
 Ing. Maria del Cielo Quirozca Horna
 C.I.P. 297464
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME	Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL	Versión	01
	Fecha	Ago-24
	Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico
 Solicitante : Plaseincia León Jheison Levi - Diaz Plaseincia Freider Javier
 Cliente : ---
 Ubicación del Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú

REGISTRO N° : GC24-LAB-ASF-0001
 REALIZADO POR : Solicitante
 REVISADO POR : JLQ
 FECHA DE ENSAYO : Jun-24

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : ---
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)						
N° DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo		
	01	02	03	04	05	06
1	10.13	10.15		10.15	10.15	
2	6.65	6.65		6.65	6.66	
3	5.90	5.90		5.90	5.90	
4	1203.0	1201.2		1205.3	1197.0	
5	1203.4	1201.7		1206.0	1197.6	
6	702.0	700.0		704.0	698.0	
7	501.4	501.7		502.0	499.6	
8	2.399	2.394		2.401	2.396	
9	7.2	7.4		7.1	7.3	
10	276	284		226	230	
11	1.04	1.04		1.04	1.04	
12	287	295		235	239	
13	2.7	2.8				
14	82	81				
15		291				
16					237	
17						



María del Cielo Quirozco Horna
 C.I.P. 297457
 JEFA DE LABORATORIO





GECONSAC

INFORME		Código	---
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MÉTODO DE ILLINOIS - MARSHALL		Versión	01
		Fecha	Ago-24
		Página	1 de 1

Proyecto : Uso de plástico reciclado con adirap-s del 0.5-1.5% y su influencia en las propiedades de resistencia del concreto asfáltico
 Solicitante : Plasencia León Jheison Levi - Díaz Plasencia Freider Javier
 Cliente : ---
 Ubicación del Proyecto : Trujillo - La Libertad - Perú

REGISTRO N° : GC24-LAB-ASF-0001
 REALIZADO POR : Solicitante
 REVISADO POR : JLO
 FECHA DE ENSAYO : Jun-24

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
 Identificación : ---
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

**DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE
MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO
(RESUMEN)**

1.- Mezcla de agregados (Dosificación)

Gradación : MAC-2 "Especificación técnica MTC EG -2013 sección (423)"

2.- Ligante asfáltico

Tipo de asfalto : PEN 60 / 70
 % optimo de asfalto residual : 5.9%

3.- Características marshall modificado

Parámetros de diseño	-0.2 %	% Óptimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO %	5.70	5.90	6.10	
PESO UNITARIO kg/m ³	2.472	2.475	2.477	
VACIOS %	4.8	4.3	3.8	3 - 5
V.M.A. %	17.0	17.0	17.2	14
V. L.L.C.A. %	71.1	74.0	77.0	
POLVO / ASFALTO %	0.7	0.7	0.8	0.6 - 1.3
FLUJO mm	13.4	13.8	14.1	8 - 14
ESTABILIDAD kN	1045.7	1007.5	963.1	8,15
ESTABILIDAD/ FLUJO kg/cm	3114.0	2928.7	2728.5	1700 - 4000
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Mpa		2.7		2.1
RESISTENCIA RETENIDA %		81		75
RESISTENCIA CONSERVADA %		81		80



Ing. María del Cielo Quirozca Horna
 C. I. P. 25764
 JEFA DE LABORATORIO



Anexo 3. Galería Fotográfica

Figura 16. Obtención de PET en Consorcio Reciclador del Norte



Figura 19. Agregado fino colectado de cantera LEKERSA



Figura 17. Pesaje de PET



Figura 20. Carguío de agregados



Figura 18. Agregado grueso colectado de cantera LEKERSA



Figura 21. Acopio de agregados en laboratorio GECONSAC



Figura 22. Pesaje de agregado grueso y fino



Figura 25. Zarandeo de agregado fino



Figura 23. Mezcla de agregados grueso y fino



Figura 26. Pesaje de contenido en tamices AF



Figura 24. Ensayo de granulometría de agregado fino



Figura 27. Ensayo de granulometría de agregado grueso



Figura 28. Zarandeo de agregado grueso



Figura 31. Sumersión de AG para prueba de gravedad específica



Figura 29. Pesaje de contenido de tamices AG



Figura 32. Ensayo de peso específico de agregado fino



Figura 30. Ensayo de gravedad específica de agregado grueso



Figura 33. Adición de agregado fino al picnómetro



Figura 34. Homogenización de muestra de AF



Figura 37. Muestras para briquetas convencionales



Figura 35. Peso de AF para muestras



Figura 38. Calentamiento de PEN 60/70



Figura 36. Peso de AG para muestras



Figura 39. Extracción de PEN 60/70 a usar en depósito de aluminio



Figura 40. Pesaje de muestra para briqueta convencional con 5% de PEN



Figura 43. Equipo para compactación de briqueta



Figura 41. Adición de PEN 60/70



Figura 44. Compactación de briqueta convencional con 5% de PEN



Figura 42. Homogenización de muestra



Figura 45. Briqueta convencional con 5% de PEN



Figura 46. Briquetas convencionales con 5%, 5.5% y 6% de PEN



Figura 49. Tamizado de partículas PET



Figura 47. Fase de cortado de PET



Figura 50. Adición de partículas PET para briquetas modificadas



Figura 48. Pesaje de partículas PET



Figura 51. Muestras con PET para briquetas modificadas



Figura 52. Extracción de aditivo para briquetas modificadas



Figura 55. Adición del 5% de PEN para briqueta modificada



Figura 53. Pesaje de aditivo



Figura 56. Adición de muestra para briqueta modificada



Figura 54. Adición del 1% de aditivo en perol para briqueta modificada



Figura 57. Pesaje de insumos para briqueta modificada



Figura 58. Colocación de insumos a la estufa



Figura 61. Obtención de briqueta modificada



Figura 59. Homogenización de insumos para briqueta modificada



Figura 62. Briquetas modificadas con PET y PEN



Figura 60. Etapa de compactación de briqueta modificada



Figura 63. Medición de diámetro de briquetas



Figura 64. Medición de altura de briquetas



Figura 65. Pesaje de briquetas



Figura 66. Briquetas en baño maría a 60°C



Figura 67. Ensayo Marshall



Figura 68. Espécimen ensayado



Figura 69. Briquetas después de ensayo Marshall



Anexo 4. Fichas Técnicas

Figura 70. Ficha técnica de aditivo utilizado adirap-s



ADIRAP-S

Aditivo regenerador RAP (Recycled Asphalt Pavement).

Surge como una alternativa tecnológicamente viable y sostenible tanto desde el punto de vista ambiental como económico.

Con el ADIRAP-S se rejuvenecen y regeneran materiales reciclados, fresados (RAP), que generalmente se descartan.

- 1. Aplicaciones**
 - Rejuvenecedor de asfaltos oxidados y envejecidos.
 - Aditivo amplificador del tiempo de vida útil del asfalto.
- 2. Ventajas**
 - Reutilización de material molido con una reducción significativa de los pasivos ambientales.
 - Regeneración con 100% del material RAP.
 - Fácil Trabajabilidad.
 - Bajo VOC (Compuestos Orgánicos Volátiles).
 - Permite el almacenamiento para su posterior aplicación.
 - Proceso ecológico, reduciendo la explotación de canteras y aumentando la vida útil de los vertederos inertes (punto de acopio de excedentes).
- 3. Dosificación.**

1.0% a 2.5% con relación al peso del residuo asfáltico envejecido del RAP.
- 4. Método de dosificación:**
 - Añadir la cantidad referida al peso del residuo asfáltico envejecido (RAP) y mezclar in situ, en hormigonera o en planta PMF.
 - Iniciar la aplicación del PMF (Pre-Mezclado en Frío), enseguida iniciar compactación, utilizando rodillo de placa lisa sin vibración.
- 5. Propiedades físicas y químicas**
 - Estabilidad Marshall > 8N Densidad 2.25 a 2.35kg/cm
 - Fluencia – 4,0 10,0 mm
- 6. Embalaje**
 - Tambores Metálicos.