

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto del material reciclado del subtramo 4
tramo Perene-Pichanaqui en el diseño de
mezclas asfálticas semicalientes
modificadas, Huancayo, 2023**

Carlos Apolinario Peñaloza Ripas

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Gerson Dennis Parejas Sinchitullo
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 3 de Febrero de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

EFFECTO DEL MATERIAL RECICLADO DEL SUBTRAMO 4 TRAMO PERENE – PICHANAQUI EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES MODIFICADAS, HUANCAYO 2023

Autor:

CARLOS APOLINARIO PEÑALOZA RIPAS – EAP. Ingeniería Civil

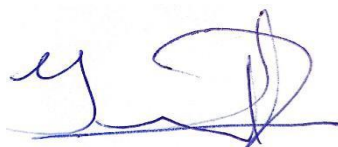
Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 14 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas: < 8 palabras | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

AGRADECIMIENTOS

A los directivos de la Universidad Continental, por darme la oportunidad de culminar mi formación profesional a través de excelentes maestros (profesionales), que compartieron todo su conocimiento y experiencia laboral durante mi formación académica. De una manera especial, al Ing. Gerson Dennis Parejas Sinchitullo, por su meritoria asesoría y orientación para la elaboración de la presente investigación.

A mis padres y hermana, que me apoyaron y me entendieron durante todo el proceso académico.

Sobre todo, gracias a Dios, por la vida que me brindó y los tantos logros obtenidos, por poner en mi camino a personas maravillosas que fueron el pan de cada día para crecer en el ámbito personal y laboral.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mis debilidades en mis momentos difíciles, por haber puesto en mi camino a personas que han sido mi soporte y motor durante la elaboración de la presente investigación.

A mi padre Magno, a mi madre María y a mi querida hermana Pamela, por haberme guiado a alcanzar mis metas pese a los obstáculos que me propuso la vida y que siempre estuvieron en todo momento para brindarme su apoyo y su amor incondicional, y sobre todo la comprensión y el aliento para seguir adelante.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	5
ÍNDICE	6
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	11
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	18
1.1. Planteamiento del Problema	18
1.2. Formulación del Problema	19
1.2.1. Problema General.....	19
1.2.2. Problemas Específicos	19
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Justificación e importancia	20
1.4.1. Justificación práctica.....	20
1.4.2. Justificación económica	20
1.4.3. Justificación metodológica.....	20
1.4.4. Importancia	21
1.5. Delimitación de la investigación.....	21
1.5.1. Delimitación espacial.....	21
1.5.2. Delimitación temporal	21
1.5.3. Delimitación conceptual	21
1.6. Hipótesis y descripción de variables.....	22

1.6.1.	Hipótesis General.....	22
1.6.2.	Hipótesis Específicas	22
1.7.	Variables	22
1.7.1.	Variable Independiente	22
1.7.2.	Variable Dependiente.....	22
1.8.	Operacionalización	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		24
2.1.	Antecedentes del Problema.....	24
2.1.1.	Antecedentes Nacionales	24
2.1.2.	Antecedentes Internacionales.....	25
2.2.	Bases Teóricas	27
2.2.1.	Mezcla asfáltica semi caliente	27
2.2.2.	Pavimento de asfalto reciclado (RAP).....	33
2.2.3.	Origen, ventajas y desventajas del pavimento de asfalto reciclado	34
2.3.	Definición de Términos Básicos.....	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		38
3.1.	Métodos y alcance de la investigación.....	38
3.1.1.	Método de Investigación.....	38
3.1.2.	Nivel.....	38
3.1.3.	Tipo.....	38
3.2.	Diseño de la investigación	38
3.3.	Población y muestra	39
3.3.1.	Población.....	39
3.3.2.	Muestra	39
3.3.3.	Muestreo	39
3.4.	Técnicas de recolección de datos	39
3.5.	Instrumento de análisis de datos	39

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Ubicación del proyecto	41
4.2. Procedimiento para el desarrollo de investigación	41
4.3. Ejecución e interpretación de ensayos	43
4.3.1. Material granular para mezcla asfáltica	43
4.3.2. Diseño de mezcla asfáltica caliente	48
4.4. Presentación de resultados	70
4.4.1. Mezcla asfáltica reciclada	70
4.4.2. Mezcla asfáltica modificada al incorporar material reciclado	74
4.4.3. Influencia de los materiales reciclados en la mezcla asfáltica semi caliente modificada (OG).....	95
4.5. Análisis estadístico.....	99
4.5.1. Estabilidad (30% de RAP)	99
4.5.2. Flujo (30% de RAP).....	102
4.5.3. Pérdida por desgaste en seco (30% de RAP)	105
4.6. Discusión de resultados.....	108
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
ANEXOS	117
Anexo 1. Panel fotográfico	118
Anexo 2. Certificados de ensayo	129
Anexo 3. Ficha técnica Zycotherm	158
Anexo 4. Certificado de calibración de equipos	161
Anexo 5. Matriz de consistencia.....	176

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización.....	22
Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas típicas del RAP	34
Tabla 3. Requerimiento para agregados gruesos – Cantera Chanchamayo	42
Tabla 4. Requerimiento para agregados finos – Cantera Chanchamayo	42
Tabla 5. Análisis granulométrico de piedra chancada de 3/4"	43
Tabla 6. Análisis granulométrico de piedra chancada de 1/2"	44
Tabla 7. Análisis granulométrico de arena chancada #4.....	46
Tabla 8. Análisis granulométrico de cemento.....	47
Tabla 9. Gradación para mezcla asfáltica MAC 01	48
Tabla 10. Combinación teórica de agregados	49
Tabla 11. Combinación granulométrica ante gradación MAC 01	50
Tabla 12. Peso específico Rice al 4% de cemento asfáltico	51
Tabla 13. Peso específico Rice al 4.5% de cemento asfáltico	52
Tabla 14. Peso específico Rice al 5% de cemento asfáltico	52
Tabla 15. Peso específico Rice al 5.5% de cemento asfáltico	52
Tabla 16. Peso específico Rice al 6% de cemento asfáltico	52
Tabla 17. Peso específico Rice al 6.5% de cemento asfáltico	53
Tabla 18. Peso de material para la mezcla asfáltica caliente	53
Tabla 19. Propiedades de briqueta al 4% de cemento asfáltico	56
Tabla 20. Propiedades de briqueta al 4.5% de cemento asfáltico	57
Tabla 21. Propiedades de briqueta al 5% de cemento asfáltico	58
Tabla 22. Propiedades de briqueta al 5.5% de cemento asfáltico	59
Tabla 23. Propiedades de briqueta al 6% de cemento asfáltico	60
Tabla 24. Propiedades de briqueta al 6.5% de cemento asfáltico	60
Tabla 25. Características de la mezcla asfáltica caliente	64
Tabla 26. Peso específico Rice al 5.45% de contenido óptimo de cemento asfáltico ..	65
Tabla 27. Porcentajes de vacíos (%) al aplicar Zycotherm.....	65
Tabla 28. Propiedades de estabilidad (kg) y flujo (mm) al aplicar Zycotherm	67
Tabla 29. Propiedad de pérdida por desgaste en seco (%) al aplicar Zycotherm	68
Tabla 30. Ensayo de lavado asfáltico.....	71
Tabla 31. Análisis granulométrico de material reciclado	72
Tabla 32. Material reciclado (% pasante) ante Gradación MAC 01.....	73

Tabla 33. Estabilidad de briquetas con el 10% de material reciclado (RAP)	75
Tabla 34. Estabilidad de briquetas con el 20% de material reciclado (RAP)	76
Tabla 35. Estabilidad de briquetas con el 30% de material reciclado (RAP)	78
Tabla 36. Estabilidad de briquetas con el 40% de material reciclado (RAP)	79
Tabla 37. Flujo de briquetas con el 10% de material reciclado (RAP).....	82
Tabla 38. Flujo de briquetas con el 20% de material reciclado (RAP).....	83
Tabla 39. Flujo de briquetas con el 30% de material reciclado (RAP).....	85
Tabla 40. Flujo de briquetas con el 40% de material reciclado (RAP).....	86
Tabla 41. Pérdida por desgaste en seco de briquetas con el 10% de material reciclado (RAP)	88
Tabla 42. Pérdida por desgaste en seco de briquetas con el 20% de material reciclado (RAP)	90
Tabla 43. Pérdida por desgaste en seco de briquetas con el 30% de material reciclado (RAP)	91
Tabla 44. Pérdida por desgaste en seco de briquetas con el 40% de material reciclado (RAP)	93
Tabla 45. Distribución paramétrica – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP ..	99
Tabla 46. Prueba ANOVA – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP	100
Tabla 47. Prueba post hoc Duncan – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP .	101
Tabla 48. Distribución paramétrica – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP	102
Tabla 49. Prueba ANOVA – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP	103
Tabla 50. Prueba post hoc Tukey – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP.....	104
Tabla 51. Distribución paramétrica – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP.....	105
Tabla 52. Prueba ANOVA – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP.....	106
Tabla 53. Prueba post hoc Duncan – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP.....	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las mezclas asfálticas por su temperatura de fabricación ..	28
Figura 2. (a) Colocación de mezclas asfálticas calientes (b) Colocación de mezclas asfálticas semicalientes	31
Figura 3. Gránulos de Sasobit	32
Figura 4. Pavimento asfáltico reciclado (RAP)	33
Figura 5. Máquina fresadora de asfalto y remolque volquete.....	35
Figura 6. Reservas fraccionadas de RAP	35
Figura 7. Mapa de Pichanaqui, distrito de Chanchamayo, departamento de Junín	41
Figura 8. Curva de análisis granulométrico - Piedra chancada de 3/4"	44
Figura 9. Curva de análisis granulométrico - Piedra chancada de 1/2"	45
Figura 10. Curva de análisis granulométrico - Arena chancada #4	46
Figura 11. Curva de análisis granulométrico - Cemento	48
Figura 12. Combinación granulométrica ante gradación MAC 01	50
Figura 13. Ensayo de Rice de mezclas asfálticas, según la norma MTC E 508	51
Figura 14. Proceso de elaboración de briquetas de mezcla asfáltica caliente, según la norma MTC E 504	54
Figura 15. Compactación de briquetas diseñadas, según la norma MTC E 504	55
Figura 16. Briquetas resultantes a diferentes porcentajes de cemento asfáltico, según la norma MTC E 508	55
Figura 17. Briquetas colocadas en baño María, según la norma MTC E 508	56
Figura 18. Ensayo de resistencia en aparto de Marshall, según la norma MTC E 50456	
Figura 19. Peso específico (gr/cm^3) ante variación de Cemento asfáltico (%).....	62
Figura 20. Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%).....	62
Figura 21. Vacíos de agregado mineral (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)	62
Figura 22. Vacíos llenos de cemento asf. (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)	63
Figura 23. Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%)	63
Figura 24. Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%)	63
Figura 25. Porcentaje de vacíos (%) al adicionar Zycotherm	66
Figura 26. Estabilidad (kg) al adicionar Zycotherm	67
Figura 27. Flujo (mm) al adicionar Zycotherm	68

Figura 28. Pérdida por desgaste en seco (%) al adicionar Zycotherm.....	69
Figura 29. Proceso de extracción de material reciclado, según la norma MTC E 502	70
Figura 30. Máquina de centrifugado, según la norma MTC E 502	71
Figura 31. Ensayo de granulometría de material reciclado, según la norma MTC E 503.....	72
Figura 32. Curva de análisis granulométrico - Material reciclado / gradación MAC 01	74
Figura 33. Estabilidad (kg) al 10% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	76
Figura 34. Estabilidad (kg) al 20% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	77
Figura 35. Estabilidad (kg) al 30% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	79
Figura 36. Estabilidad (kg) al 40% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	80
Figura 37. Gráfica resumen de estabilidad (kg) al incorporar RAP ante la variación de Temperatura (°C)	81
Figura 38. Flujo (mm) al 10% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	83
Figura 39. Flujo (mm) al 20% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	84
Figura 40. Flujo (mm) al 30% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	86
Figura 41. Flujo (mm) al 40% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	87
Figura 42. Gráfica resumen de flujo (mm) al incorporar RAP ante la variación de Temperatura (°C)	88
Figura 43. Pérdida por desgaste en seco (%) al 10% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	90
Figura 44. Pérdida por desgaste en seco (%) al 20% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	91
Figura 45. Pérdida por desgaste en seco (%) al 30% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	92
Figura 46. Pérdida por desgaste en seco (%) al 40% de RAP ante variación de Temperatura (°C)	94
Figura 47. Gráfica resumen de pérdida por desgaste en seco (%) al incorporar RAP ante la variación de Temperatura (°C)	95
Figura 48. Gráfica resumen de estabilidad (kg) según porcentaje de RAP (%)	96
Figura 49. Gráfica resumen de flujo (mm) según porcentaje de RAP (%).....	97
Figura 50. Gráfica resumen de pérdida por desgaste en seco (%) según porcentaje de RAP (%).....	98
Figura 51. Histograma – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP	100

Figura 52. Diagrama de burbujas – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP ...	101
Figura 53. Histograma – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP	103
Figura 54. Diagrama de burbujas – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP.....	104
Figura 55. Histograma – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP	106
Figura 56. Diagrama de burbujas – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP.....	108

RESUMEN

La sostenibilidad en la industria de la ingeniería vial muestra un creciente interés en cuidar los recursos implicados en la elaboración de mezclas asfálticas, ya que estos materiales no renovables provocan un impacto directo sobre el medio ambiente durante su proceso de producción. Es por ello que la reutilización de estos materiales, luego de su periodo de servicio, representa una importancia significativa en la reducción de la contaminación y la sobre explotación de agregados minerales. Considerando que es necesario controlar el porcentaje de pavimento asfáltico recuperado (RAP) en la formulación de un nuevo diseño de mezcla, este estudio tiene como objetivo principal evaluar la influencia de los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas.

La reducción en la temperatura de producción para las mezclas asfálticas que contienen un porcentaje de RAP en su composición llega a representar una mejora significativa en sus propiedades mecánicas y volumétricas. Al producir la mezcla asfáltica a temperaturas menores se evita en cierta medida que el asfalto nuevo se mezcle completamente con el asfalto envejecido que contiene el RAP, por lo que es posible encontrar un balance entre el porcentaje de dosificación del RAP y las características de mezcla para el aprovechamiento del material proveniente del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui. Bajo una propuesta de la repavimentación del subtramo 4 tramo, se plantea el estudio como un aporte particular a aplicar en un periodo de tiempo oportuno, por lo que en el presente estudio se detalla el proceso de investigación desde una caracterización previa, hasta llegar a establecer la relación que presenta con sus propiedades mecánicas. Para lograr esto, el método a emplear será el científico para determinar el comportamiento de la mezcla asfáltica semicaliente al emplear variados porcentajes de material reciclado, el nivel de investigación es el explicativo para analizar la causa-efecto entre las variables de estudio, el tipo es aplicado y el diseño cuasi experimental, puesto que se determinarán las propiedades mecánicas y resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica semi caliente diseñada al variar el porcentaje de material reciclado a emplear.

Para producir una mezcla asfáltica semi caliente, se utilizó como aditivo modificador al Zycotherm en un 0.05% de acuerdo con la recomendación del fabricante; de esta manera, se llegó a la conclusión de que es posible llegar a admitir un 30.0% de dosificación RAP en la mezcla asfáltica semi caliente bajo una temperatura de mezcla entre los 129.0 °C y los 136°C. Donde se encuentra un balance en el cumplimiento de las propiedades de estabilidad, flujo y resistencia al desgaste cántabro.

PALABRAS CLAVE: mezclas semi calientes, Zycotherm, mezclas asfálticas recuperadas RAP, temperatura mezcla, propiedades mecánicas

ABSTRACT

Sustainability in the road engineering industry shows a growing interest in taking care of the resources involved in the production of asphalt mixtures, since these non-renewable materials have a direct impact on the environment during their production process. That is why the reuse of these materials, after their service period, represents a significant importance in reducing pollution and the overexploitation of mineral aggregates. Considering that it is necessary to control the percentage of recovered asphalt pavement (RAP) in the formulation of a new mix design, this study has as its main objective to evaluate the influence of recycled materials from subsection 4 of the Perene – Pichanaqui section in the design of modified semi-hot asphalt mixtures.

The reduction in the production temperature for asphalt mixtures containing a percentage of RAP in their composition represents a significant improvement in their mechanical and volumetric properties. By producing the asphalt mixture at lower temperatures, it is prevented to a certain extent that the new asphalt is completely mixed with the aged asphalt containing the RAP, so it is possible to find a balance between the dosage percentage of the RAP and the mixing characteristics for the use of the material from sub-section 4 of the Perene – Pichanaqui section. Under a proposal for the repaving of sub-section 4, the study is proposed as a particular contribution to be applied in an opportune period of time, so in the present study the research process is detailed from a previous characterization, until establishing the relationship that it presents with its mechanical properties. To achieve this, the method to be used will be the scientific one to determine the behavior of the semi-hot asphalt mix when using various percentages of recycled material, the level of research is explanatory to analyze the cause-effect between the study variables, the type is applied and the quasi-experimental design, since the mechanical properties and wear resistance of the semi-hot asphalt mix designed will be determined by varying the percentage of recycled material to be used.

To produce a semi-hot asphalt mix, Zycotherm was used as a modifying additive at 0.05% according to the manufacturer's recommendation; in this way, it was concluded that it is possible to reach a 30.0% RAP dosage in the semi-hot asphalt mix under a mixing temperature between 129.0 °C and 136°C. Where a balance is found in compliance with the properties of stability, flow and resistance to Cantabrian wear.

KEYWORDS: semi-hot mixtures, Zycotherm, RAP recovered asphalt mixtures, mixture temperature, mechanical properties

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial juega un papel vital en el avance socioeconómico de una región al proporcionar conexiones eficientes y seguras para el transporte de bienes y personas. El pavimento, como componente fundamental de la infraestructura vial, tiene un papel crucial en la capacidad de carga y durabilidad de las carreteras. La búsqueda continua de materiales y tecnologías que optimicen las propiedades de los pavimentos fue esencial para garantizar su rendimiento a largo plazo. En este contexto, el uso de materiales reciclados en la construcción y rehabilitación de pavimentos ha ganado interés significativo debido a su potencial para reducir la demanda de agregados vírgenes y disminuir los impactos ambientales asociados con la extracción y producción de nuevos materiales. La incorporación de materiales reciclados en mezclas asfálticas ha sido objeto de varias investigaciones, con un enfoque en lograr mezclas de alta calidad y durabilidad.

El subtramo 4 del tramo Perené – Pichanaqui presentó una oportunidad para explorar el empleo de material reciclado en la mejora de las mezclas asfálticas. En este estudio, se analizó concretamente el impacto del material reciclado en la elaboración de mezclas asfálticas semi calientes modificadas. La tecnología de mezclas asfálticas semicalientes ha recibido interés por su habilidad para disminuir las emisiones de gases y su menor uso de energía en comparación con las mezclas convencionales.

Un aspecto crucial de esta investigación fue la aplicación del aditivo Zycotherm. Este aditivo demostró la capacidad de cambiar las propiedades reológicas del asfalto, permitiendo la fabricación y colocación de mezclas asfálticas a temperaturas más bajas. Esto no solo tuvo beneficios ambientales al reducir la huella de carbono, sino que también pudo mejorar la eficiencia del proceso de construcción.

En el marco de esta investigación, se analizaron las propiedades clave de las mezclas asfálticas semi calientes modificadas con material reciclado y aditivo Zycotherm. Se prestó especial atención a la estabilidad de las mezclas, su flujo bajo carga y su resistencia al ensayo de pérdida de Cántabro. Estas propiedades son indicativas de la capacidad de las mezclas para soportar las cargas del tráfico, resistir las deformaciones y mantener su integridad estructural con el tiempo. Al mismo tiempo se tuvo presente el efecto de la temperatura de producción ante la alteración de cada una de las propiedades en análisis.

A lo largo del desarrollo, esta investigación tuvo como objetivo profundizar nuestra comprensión sobre cómo el uso de material reciclado, junto con la aplicación del aditivo Zycotherm, puede influir en las propiedades de las mezclas asfálticas semi calientes en el subtramo 4 del tramo Perené – Pichanaqui. Los resultados de este estudio tuvieron el potencial

de informar y guiar las prácticas futuras en la construcción de pavimentos sostenibles y de alto rendimiento.

La presente investigación, para su mayor comprensión, consta de cinco capítulos, analizados y presentados de la siguiente forma:

El **CAPÍTULO I** trata sobre el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos, justificación e importancia, delimitación de la investigación, hipótesis y descripción de variables, variables y operacionalización de las variables de investigación.

El **CAPÍTULO II** trata sobre los antecedentes del problema, nacionales e internacionales, las bases teóricas sobre mezclas asfálticas semi calientes, pavimento asfáltico reciclado, su origen, ventajas y desventajas y definición de términos básicos.

El **CAPÍTULO III** trata sobre los métodos y alcances de la investigación, nivel, tipo y diseño, también sobre la población, muestra y muestreo, técnicas de recolección de datos e instrumento de análisis de datos.

El **CAPÍTULO IV** trata sobre los resultados y discusión, ubicación del proyecto, procedimientos para el desarrollo de la investigación, ejecución e interpretación de ensayos, presentación y discusión de resultados.

El **CAPÍTULO V** trata sobre las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del Problema

La aplicación de material reciclado en el ámbito internacional llega a ser un requisito de hasta 20.0% predispuesto por sus respectivas normativas, por lo que la aplicación de mezclas recuperadas cuenta con una serie de exigencias que son ampliamente estudiadas en función a la disminución de la huella de carbono y la contaminación que se puede llegar a generar producto de los proyectos de inversión vial. Dentro de la realidad problemática se atraviesa, que las emisiones de CO₂ llegan a ser un factor crítico en la contaminación del medio ambiente, por lo que el estudio en la disminución de la temperatura de producción para las mezclas asfáltica juega un papel importante dentro de las tecnologías de fabricación de mezclas sustentables. (Balbin Archi & Chochon Gomez, 2019)

En el ámbito nacional, se aplican de forma convencional el uso de mezclas asfálticas en caliente continuas, y se encuentra la oportunidad de aprovechar los materiales fresados reciclados que por lo general terminan en los botaderos generando una alta contaminación al medio ambiente. De igual forma en el país se presentan altos niveles de contaminación producto de los gases generados por aproximadamente 3.25 millones de residuos sólidos municipales dispuestos inadecuadamente de forma anual (MINEDU).

La realidad problemática se encuentra presente en el ámbito local a través del estado de la red vial nacional pavimentada, informado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Presentando que, para 791.6 kilómetros de red vial pavimentada, el 15.5% aproximadamente se encuentra en un mal estado, representando una gran cantidad de material que terminará siendo fresado y generando contaminación en los botaderos locales. (Transportes y Comunicaciones , 2020).

El reciclaje de asfalto es una práctica habitual en el sector de la construcción vial gracias a sus ventajas económicas y ecológicas. En el segmento Perené - Pichanaqui, se ha señalado el subtramo 4 como una zona con un elevado potencial de materiales reciclables. No obstante, el uso de materiales reciclados en la elaboración de mezclas asfálticas semi calientes modificadas presenta un reto por la variabilidad en las características de los materiales reciclados.

La situación problemática se centra en cómo el porcentaje de incorporación de la mezcla asfáltica reciclada en un nuevo diseño de mezcla asfáltica altera sus propiedades, provocando cambios en estabilidad, flujo y desgaste. Esto ocurre porque, al añadir una mezcla asfáltica reciclada (RAP) en un nuevo diseño de mezcla asfáltica, la estabilidad

de la mezcla está influenciada por la composición del RAP, que comúnmente incluye asfalto envejecido y agregados que pueden haber experimentado cambios durante su uso anterior en pavimentos. Asimismo, influye en el flujo, puesto que el asfalto que incorpora RAP tiende a ser más rígido y menos fluido a causa del proceso de oxidación y envejecimiento que ha sufrido en el pavimento ya existente. Finalmente, el desgaste de una mezcla asfáltica está influenciado en gran medida por los agregados y el asfalto; al añadir RAP, pueden generarse cambios en la resistencia al desgaste de la mezcla debido a la composición de los agregados en el RAP y las características del asfalto reciclado. Por esta razón, se propone investigar los aspectos en la modificación del diseño de la mezcla asfáltica semicaliente para el subtramo 4 Perené – Pichanaqui.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la influencia de los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cómo influye la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la estabilidad de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui?

¿Cómo influye la variación del porcentaje en adición de material reciclado en el flujo de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui?

¿De qué forma la variación del porcentaje en adición de material reciclado influye en la resistencia al desgaste Cántabro de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la estabilidad de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.

Determinar la influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en el flujo de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.

Examinar la influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la resistencia al Cántabro de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación práctica

De acuerdo con el aprovechamiento apropiado de mezclas asfálticas recicladas, se encuentra un factor que determina el aprovechamiento de este tipo de materiales recuperados, que es el envejecimiento del asfalto producto del tiempo de servicio de la mezcla empleada. Por lo que la investigación se justifica de forma práctica con el aprovechamiento adecuado de este tipo de materiales recuperados en una mezcla asfáltica que baja la temperatura de producción permitiendo optimizar el proceso de producción con la adición en distintos porcentajes de mezcla asfáltica fresada. Las condiciones locales también justifican el estudio al existir un proyecto vigente para un nuevo asfaltado sobre el subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui, del cual el aprovechamiento del material recuperado podría representar un aporte ambiental, social y económico a favor del proyecto de reasfaltado de la localidad.

1.4.2. Justificación económica

El aprovechamiento de un material que por lo general termina en los botaderos como desperdicio en un porcentaje representativo sobre el peso de la mezcla asfáltica nueva permite justificar económicamente el estudio al influir de forma directa con el costo por metro cúbico de la mezcla asfáltica recuperada.

1.4.3. Justificación metodológica

El manual de diseño Marshall establecido para la fabricación convencional de mezclas asfálticas a nivel nacional y las especificaciones del manual de ensayo de materiales establecido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones permiten

establecer una justificación metodológica que basa el estudio en procedimiento sistematizado para alcanzar los objetivos planteados.

1.4.4. Importancia

La importancia de la presente investigación radica en definir criterios para el uso de mezclas asfálticas recuperadas, a través de procesos determinados que garanticen la conformidad con la normativa, según las propiedades de mezcla requeridas por el manual de Marshall, y proporcionar metodologías para producir mezclas asfálticas semi calientes que logren incorporar el máximo porcentaje aceptable de mezclas asfálticas recuperadas.

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Delimitación espacial

Se delimita espacialmente según el ámbito de estudio de esta investigación, que abarca el subtramo 4 Perene, en la ciudad de Pichanaqui, donde se considerarán los recursos y materiales existentes en esta localidad; de igual manera, la normativa peruana pertinente según las características y necesidades de la ciudad.

1.5.2. Delimitación temporal

Se delimita temporalmente en función del partido en el que se llevará a cabo la investigación, proponiendo un periodo de aproximadamente 3 meses. Durante este tiempo, se desarrollará el estudio teórico, así como la recopilación de información pertinente al tema para formular el planteamiento de la tesis. Además, se llevarán a cabo experimentos en laboratorio y el procesamiento de resultados, validando los datos mediante análisis estadísticos, lo que permitirá finalmente llegar a las conclusiones de la investigación.

1.5.3. Delimitación conceptual

Se define conceptualmente según la recopilación de información vinculada a esta investigación, considerando estudios, investigaciones, artículos científicos y noticias. Asimismo, se utilizará la normativa internacional (AASHTO) y nacional (EG 201) que sea pertinente para la ejecución de los ensayos de acuerdo a los objetivos establecidos, fundamentados en los parámetros que deben cumplirse.

1.6. Hipótesis y descripción de variables

1.6.1. Hipótesis General

Los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui influyen significativamente en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas, permitiendo un mayor aprovechamiento.

1.6.2. Hipótesis Específicas

La estabilidad aumenta significativamente mediante la aplicación de la mezcla asfáltica semi caliente con adición de material reciclado proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.

El flujo decrece representativamente mediante la aplicación de la mezcla asfáltica semi caliente con adición de material reciclado proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.

La resistencia al desgaste Cántabro aumenta ligeramente mediante la aplicación de la mezcla asfáltica semi caliente con adición de material reciclado proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.

1.7. Variables

1.7.1. Variable Independiente

Material reciclado

1.7.2. Variable Dependiente

Mezcla asfáltica semi caliente

1.8. Operacionalización

Tabla 1. Matriz de operacionalización

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
VI: Material reciclado	El material asfáltico reciclado se compone por materiales removidos del pavimento flexible, que se reprocesan para reutilizarse en proyectos de reconstrucción o rehabilitación. Este método permite usar 100.0% del pavimento envejecido.	El material reciclado proveniente de un fresado sobre una carpeta estrictamente determinada comprende una serie de características granulares que influyen en su reutilización en un nuevo material bituminoso.	5% de RAP en reemplazo	MTC E 501 Muestreo mezcla	Ficha recolección de datos	Razón
				MTC E 502 Extracción Asfalto		
				MTC E 204 Granulometría R.		
			10% de RAP en reemplazo	MTC E 501 Muestreo mezcla		
				MTC E 502 Extracción Asfalto		
				MTC E 204 Granulometría R.		
			15% de RAP en reemplazo	MTC E 501 Muestreo mezcla		
				MTC E 502 Extracción Asfalto		
				MTC E 204 Granulometría R.		
VD: Mezcla asfáltica semi caliente	Las mezclas semi calientes se definen como aquellas que se producen a temperaturas menores que las mezclas convencionales, su fabricación involucra nuevas tecnologías a partir de los cuales es posible diseñar carpetas con beneficios en ámbitos económicos ambientales y estructurales.	Comprendida mediante un análisis de producción a una temperatura determinada de producción y mediante una técnica definida para su conformación a través de la modificación asfáltica.	Resistencia Marshall	MTC E 501 Apresto Muestras	Ficha recolección de datos	Razón
				MTC E 504 Ensayo Marshall		
				MTC E 507 Corrección valor		
			Deformación Marshall	MTC E 501 Apresto Muestras		
				MTC E 504 Ensayo Marshall		
				MTC E 507 Corrección valor		
			Resistencia al desgaste	MTC E 501 Apresto Muestras		
				MTC E 515 Ensayo Cántabro		
				MTC E 505 Porcentaje aire		

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes Nacionales

Según (Balbin Archi & Chochon Gomez, 2019) en la tesis de pregrado (Artículo científico) titulada: “Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad de San Martín de Porres, Lima, fijó como objetivo principal comprender el diseño de una mezcla de asfalto con material reciclado para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento en una sección específica de la carretera Canta a Huayllay. La investigación se lleva a cabo mediante un enfoque de investigación aplicada con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental-longitudinal. Para determinar los resultados de la investigación, se aplicaron los ensayos granulométricos, ensayos de contenido de cemento asfáltico, ensayo de diseño de mezcla asfáltica en caliente (método Marshall), ensayo de peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica (RICE); además, se realizaron ensayos de estabilidad, flujos y porcentajes de vacíos en el diseño de la mezcla con material reciclado. En conclusión, el diseño de una mezcla de asfalto con material reciclado puede ser una solución para mejorar el comportamiento mecánico inadecuado del pavimento flexible en la carretera, observando que incrementando la cantidad de agregado grueso a la mezcla asfáltica con material reciclado, se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo estudiado.

Según (Crispín Paucar & Helguero Calderón, 2019) en la tesis de pregrado titulada: “Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, se establece como objetivo determinar el porcentaje óptimo de RAP y cemento Portland tipo I a reutilizar para lograr beneficios completos en la avenida del área de estudio, ya que se busca obtener una comparación entre una base granular convencional y una base estabilizada con cemento Portland tipo I y pavimento reciclado. Se realizó una comparación entre un pavimento con base granular estándar y otro con base estabilizada utilizando diversos porcentajes de cemento Portland tipo I y RAP en laboratorio. La investigación analizó elementos funcionales, estructurales, costos,

duración de la ejecución y beneficios ambientales de las dos bases. Gracias a estos resultados, conseguimos una significativa reducción en los costos y en el tiempo de ejecución, lo que llevó a una mejora estructural en el pavimento y beneficios sociales. Lamentablemente, en nuestro país carecemos de regulaciones concretas para estabilizaciones de base cemento tipo I con adición de RAP. Pretendemos promover una investigación exhaustiva con las organizaciones correspondientes para optimizar el desarrollo sostenible de nuestras vías.

Según (Flores Gonzales & Rojas Pardo, 2019) en la tesis de pregrado (Artículo científico) titulada: “Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias adicionando tensoactivos y sus beneficios respecto a las mezclas asfálticas en caliente”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Lima, se estableció como objetivo principal estudiar el comportamiento de mezclas de asfalto caliente y tibio elaboradas mediante la incorporación de surfactantes, Quimibond 3000 y Zycotherm, y realizar una comparación entre ellas. El estudio se enfocará en disminuir las temperaturas de producción y aplicación de las mezclas de asfalto tibio, lo que podría resultar en una disminución de las emisiones de gases nocivos, el uso de energía y el deterioro del asfalto. El estudio se llevará a cabo mediante ensayos de laboratorio y servirá como base para investigaciones futuras sobre el asunto. El estudio determina que las mezclas asfálticas tibias, obtenidas mediante la inclusión de surfactantes, Quimibond 3000 y Zycotherm, ofrecen ventajas en relación con las mezclas asfálticas calientes. En el proceso de producción, las mezclas asfálticas tibias pueden generarse a temperaturas más bajas, lo que disminuye las emisiones de gases y olores, evita el deterioro del cemento asfáltico y disminuye el consumo de combustible y energía. Durante la compactación, las mezclas asfálticas tibias tienen la capacidad de compactarse a temperaturas más bajas, lo que disminuye la emisión de humos y olores, optimiza la manejabilidad en el proceso de compactado y permite alcanzar mayores distancias de transporte de la mezcla. Asimismo, se determina que los agregados que satisfacen los estándares de calidad mejoran el rendimiento de las mezclas asfálticas en caliente y tibias..

2.1.2. Antecedentes Internacionales

Según (Pérez Madrigal, 2018) en la tesis de doctorado titulada: “Efecto de las condiciones de fabricación en las propiedades de las mezclas bituminosas recicladas”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, fijó como su objetivo evaluar cómo las condiciones de fabricación afectan

las propiedades de una mezcla bituminosa reciclada con distintos porcentajes de RAP (pavimento asfáltico reciclado), modificando la temperatura de los agregados de aporte y la del RAP, así como el tiempo de mezclado. La metodología propuesta consistió, en primer lugar, en modificar la temperatura del agregado y del RAP, ajustando también el tiempo de mezcla. En segundo lugar, se decidió modificar las condiciones de la primera prueba, utilizando RAP de otro sitio, agregados de otro acopio y aumentar el tiempo de mezcla. Las conclusiones alcanzadas mostraron que las mezclas recicladas pueden lograr un rendimiento comparable al de una mezcla convencional, siempre que el material se adapte en el diseño y en el proceso de producción. El calentamiento previo del RAP mejora la adhesión entre el betún asfáltico y el RAP. Aumentar el tiempo de mezcla también facilita que la adherencia entre el betún y el RAP sea óptima, logrando movilizar una mayor cantidad de betún.

Según (Puig Salesa, 2021) en la tesis de pregrado (Artículo científico) titulada: “Análisis de las técnicas de reciclado de mezclas asfálticas. Evolución y tendencias actuales”, investigada en la facultad de ingeniería de la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, fijó como objetivo principal analizar las diferentes técnicas de reciclaje de mezclas asfálticas, su evolución y tendencias actuales, así como proporcionar una visión general de la evolución de las técnicas de reciclaje y las tendencias actuales en España. Se plantearon diseños a partir del reciclado en frío con emulsión, el reciclado in situ con cemento y el reciclado en central en caliente. Los resultados indican que para el reciclado en frío con emulsión el ensayo de tracción indirecta es el mejor indicador a aplicar, mientras que, para el reciclado in situ con cemento, es necesario especificar la compactación de las probetas y aplicar el ensayo de flexotracción. Finalmente, respecto al reciclado en central en caliente, se analizará la reducción del espesor de la capa reciclada y se aplicará un coeficiente de equivalencia estructural variando el porcentaje de RAP entre 30 y 60%. En conclusión, se ofrecen recomendaciones para mejorar las especificaciones y la ejecución de estas técnicas y se propone la inclusión de la técnica de reciclaje templado con emulsión en futuras normativas debido a sus ventajas económicas, sociales y medioambientales.

Según (Almeida Centeno & Segura Chico, 2022) en la tesis de pregrado (Artículo científico) titulada: “Diseño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado de la provincia de Pichincha y recomendaciones en sus usos”, investigada en la facultad de ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, fijó como objetivo

principal proponer el diseño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado y recomendar su uso en carreteras, con el fin de mejorar la vida útil de las carreteras, disminuir la contaminación y sustituir materiales no renovables. Además, se busca identificar las mejores combinaciones de emulsiones y material reciclado para su uso en carreteras y presentar recomendaciones de uso en construcción de carreteras y mantenimiento y rehabilitación vial, se utilizó el método de diseño de Marshall Modificado realizado por la Universidad de Illinois para el diseño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado, y se realizaron ensayos de laboratorio para obtener datos sobre las emulsiones, la granulometría, la gravedad específica del material reciclado, el peso unitario y el asfalto residual. En conclusión, el diseño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado es una alternativa viable para su uso en carreteras de tráfico liviano y mediano, ya que se ha demostrado que el método de diseño de Marshall Modificado es adecuado para este propósito y que la emulsión de EMULDEC presenta mejores características para su aplicación en carreteras que la emulsión de IMPTEK (CHOVA). Además, se ha evidenciado la importancia de una buena granulometría en el diseño de las mezclas asfálticas y se han presentado recomendaciones para la evaluación de otros tipos de emulsiones y materiales reciclados.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Mezcla asfáltica semi caliente

La mezcla asfáltica semi caliente es una forma de concreto asfáltico en rápida expansión, aunque es algo similar a los enfoques de mezcla fría y mezcla caliente que han estado disponibles durante décadas. Se diferencia de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) solo en las temperaturas de producción requeridas para cumplir con los estándares apropiados de mezcla y densificación. La Figura 1 muestra las diversas temperaturas de producción requeridas por los cuatro tipos comunes de concreto asfáltico. Como se muestra, la mezcla asfáltica semi caliente generalmente se produce a 70–100°C (D'Angelo, y otros, 2008). Sin embargo, varias formas de mezclas asfálticas semi calientes pueden permitir una reducción adicional de 4°C en las temperaturas de producción.

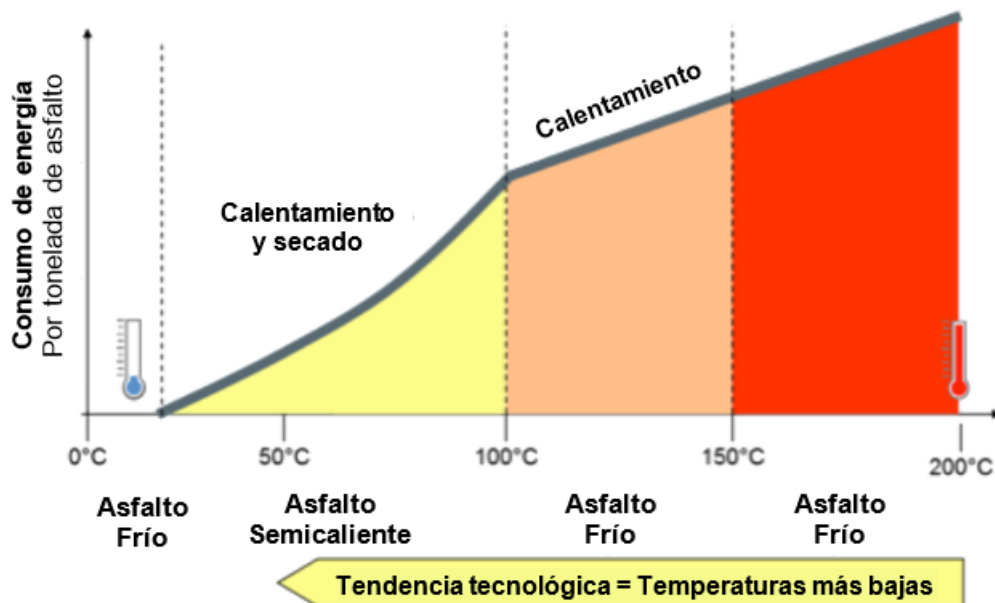


Figura 1. Clasificación de las mezclas asfálticas por su temperatura de fabricación

Fuente: (Porot, 2008)

Los cambios de temperatura de producción generalmente conducen a mejoras de sostenibilidad a través de la reducción del consumo de combustible y la producción de emisiones. En esta era de aumento de los precios del combustible, el uso de mezcla asfáltica semi caliente tiene la capacidad de reducir el uso de combustible de la planta en un 10-35 % (Prowell & Hurley, Mezcla bituminosa en caliente: Buenas prácticas, 2007). Además, como las emisiones gaseosas peligrosas como el dióxido de azufre, el óxido de nitrógeno y el dióxido de carbono han sido reguladas significativamente en los países desarrollados, la mezcla asfáltica semi caliente en lugares como los países europeos ha encontrado reducciones de emisiones de aproximadamente 15-70%.

La literatura temprana de mezclas asfálticas semi calientes argumentó que las temperaturas de producción reducidas de mezclas asfálticas semi calientes fueron causadas por una relación alterada entre la viscosidad y la temperatura del aglutinante. Se pensó que la viscosidad a las temperaturas de producción se reduciría para permitir una mejor mezcla y compactación (D'Angelo, y otros, 2008). De hecho, en muchas ubicaciones de demostración iniciales de mezclas asfálticas semi calientes, las densidades de las placas aumentaron significativamente y se redujo la permeabilidad. Por lo tanto, se pensó que los problemas de sensibilidad a la humedad, como el decapado, se aliviaron parcialmente con las densidades mejoradas.

Los aditivos y procesos de las mezclas asfálticas semi calientes se pueden diferenciar en tres grupos distintos. Estos grupos incluyen: aditivos orgánicos, aditivos químicos y

procesos y aditivos de formación de espuma. Los aditivos orgánicos implican la adición de materiales de cera que se disuelven a temperaturas por debajo de la temperatura de mezclado. Como resultado, el material mejora la mezcla en su estado líquido y se endurece después de la compactación para brindar estabilidad. Los aditivos orgánicos tienden a mejorar la resistencia a la formación de surcos y reducen la resistencia a la fractura de las mezclas asfálticas. Los aditivos químicos incluyen una variedad de paquetes químicos, desde surfactantes hasta pastillas. Estos materiales afectan la unión de la superficie entre el ligante asfáltico y el agregado y es más probable que mejoren la resistencia a la fractura y tengan el potencial de aumentar la formación de surcos. Los procesos de formación de espuma y los aditivos utilizan agua para formar espuma en el aglomerante asfáltico y reducir su viscosidad antes o durante el período de mezclado. Este grupo contiene la mayor variedad de métodos mezclas asfálticas semi calientes y tiende a aumentar el potencial de deformación permanente y sensibilidad a la humedad.

Finalmente, los usuarios y productores de concreto asfáltico generalmente consideran el uso de mayores porcentajes de concreto asfáltico reciclado (RAP) como un beneficio adicional importante de mezclas asfálticas semi calientes (Prowell & Hurley, Mezcla bituminosa en caliente: Buenas prácticas, 2007). Las temperaturas de producción reducidas de mezclas asfálticas semi calientes alivian una parte considerable del envejecimiento del aglutinante que se produce durante el proceso de mezclado. Por lo tanto, la adición de un porcentaje significativo de RAP oxidado teóricamente no aumentaría el potencial de agrietamiento temprano significativo. La investigación en este campo ha sido mínima hasta la fecha y requiere una consideración significativa para determinar cómo el rendimiento de mezclas asfálticas semi calientes se ve afectado por porcentajes moderados a altos de RAP.

2.2.1.1. Ventajas y desventajas de la mezcla asfáltica semi caliente

Los productores de asfalto europeos lanzaron la mezcla asfáltica semi caliente en 1995 utilizando el producto Aspha-min (aditivo químico) en previsión de futuras restricciones de emisiones de gases de efecto invernadero. Existen numerosas ventajas en el uso de la mezcla asfáltica semi caliente. Primero, el consumo de combustible y las emisiones se reducen con el uso de la mezcla asfáltica semi caliente. Como se indicó anteriormente, los proyectos de mezcla asfáltica semi caliente han reportado ahorros de combustible entre 10 y 35 % porque el uso de combustible tiene la capacidad de disminuir 2-3 % por cada caída de 100 F en la temperatura de mezcla (Young, 2007). Sin embargo, estas estadísticas requieren suposiciones significativas

en temas como la humedad en el agregado, el tipo de combustible y la temperatura de escape del secador. Por lo tanto, se debe considerar estos factores para reducir significativamente el uso de combustible. Las reducciones de emisiones también se ven significativamente afectadas por el uso de tecnologías de mezcla asfáltica semi caliente. Las emisiones de gases nocivos como CO₂, SO₂, compuestos orgánicos volátiles (COV), CO y NO_x se han reducido significativamente (15-70 %) en lugares como Noruega, Italia, Países Bajos, Francia y Canadá (Prowell & Hurley, Mezcla bituminosa en caliente: Buenas prácticas, 2007). Esto es importante porque las plantas de asfalto en áreas que no cumplen con los estándares de calidad del aire generalmente se cierran durante el día para evitar la producción de emisiones. Las reducciones en las emisiones probablemente permitirían que estas plantas eviten el cierre durante las horas típicas de pavimentación (Anderson, Baumgardner, May, & Reinke, 2008)

La pavimentación al concluir la temporada, superiores condiciones laborales y un mayor aprovechamiento de RAP son ventajas adicionales que ofrece el empleo de la mezcla asfáltica semi caliente. El incremento en la duración de la temporada de pavimentación se debe a que se ha encontrado que las tecnologías de mezcla asfáltica semicaliente se comprimen a temperaturas inferiores. Las temperaturas de compactación más bajas son principalmente provocadas por una velocidad de enfriamiento menor, ya que se reduce el diferencial térmico entre la temperatura de compactación y la temperatura del entorno. Las condiciones laborales se optimizan a través de la implementación de tecnologías de mezcla asfáltica semicaliente. La Figura 2 muestra la cantidad reducida de emisiones gaseosas en el lugar de colocación en una carretera. Varios proyectos han demostrado que la calidad del aire mejoró significativamente con el uso de la mezcla asfáltica semi caliente (Prowell & Hurley, Mezcla bituminosa en caliente: Buenas prácticas, 2007). Por lo tanto, los trabajadores deben mejorar su calidad de vida. Finalmente, los posibles aumentos en el uso de RAP pueden estar disponibles con tecnologías de mezcla asfáltica semi caliente. Como se indicó anteriormente, las temperaturas de producción reducidas reducen el envejecimiento del ligante asfáltico. Por lo tanto, es probable que se reduzcan los efectos de endurecimiento del proceso de mezcla y la adición de RAP podría mejorar la resistencia a la deformación permanente de las mezclas durante sus primeras vidas de servicio.



Figura 2. (a) Colocación de mezclas asfálticas calientes (b) Colocación de mezclas asfálticas semicalientes

Fuente: (Anderson, Baumgardner, May, & Reinke, 2008)

También se producen una serie de posibles desventajas con el uso de mezclas asfálticas semi calientes. Primero, los resultados de rendimiento del pavimento a largo plazo no están disponibles para las secciones mezclas asfálticas semi calientes. Como resultado, los modelos predictivos son el único medio para describir el rendimiento de mezclas asfálticas semi calientes a largo plazo y estos modelos no siempre son precisos y requieren una calibración significativa. Además, la gran cantidad de tecnologías mezclas asfálticas semi calientes dificulta la creación de especificaciones para el uso de mezclas asfálticas semi calientes en pavimentos de carreteras y aeródromos. Finalmente, las pruebas de rendimiento de laboratorio de varias tecnologías mezclas asfálticas semi calientes han encontrado problemas significativos con la resistencia a la formación de surcos y la sensibilidad a la humedad (Prowell & Hurley, 2006). Por lo tanto, se deben realizar pruebas de laboratorio adicionales y correlación con el rendimiento de campo.

2.2.1.2. Tecnologías de mezclas asfálticas semi calientes

Las tecnologías de mezclas asfálticas semi calientes pueden dividirse en tres categorías diferentes. El primer grupo incluye los aditivos orgánicos y está formado por tecnologías como Sasobit, Asphaltan B y Licomont BS 100.

- Sasobit es una parafina sintética producida mediante el método Fischer-Tropsch. Este aditivo se suministra generalmente en forma de gránulos, como se muestra en la Figura 3, o de copos, y se añade en una proporción del 0,8 al 3,0% en masa del ligante asfáltico. Los productores de asfalto suministran el Sasobit al ligante asfáltico a través de un sistema de abanico o un collar de RAP. El Sasobit se considera un potenciador de la viscosidad porque reduce la viscosidad del ligante asfáltico a temperaturas

superiores a la temperatura de fusión del Sasobit de 100°C (D'Angelo, y otros, 2008). Se han encontrado reducciones de temperatura de 20-30°C utilizando este aditivo.



Figura 3. Gránulos de Sasobit

Fuente: (D'Angelo, y otros, 2008)

- Asphaltan B es una cera montan (esterificada). También está disponible en forma de gránulos y se funde a una temperatura ligeramente inferior a la de Sasobit debido a su menor peso molecular (Middleton & Forfylyow, 2009). De forma similar a Sasobit, Asphaltan B generalmente se insufla en el ligante asfáltico y permite reducciones de temperatura entre 20 y 30°C. Sin embargo, la tasa de dosificación es ligeramente superior a la de Sasobit, con una tasa del 2-4% en peso del ligante asfáltico.
- Licomont BS 100 es una amida de ácido graso que se añade en una proporción aproximada del 3,0% en peso del ligante (Middleton & Forfylyow, 2009). Este aditivo orgánico actúa como potenciador de la viscosidad y está disponible en forma de polvo o granulado. Además, el punto de fusión de Licomont BS 100 difiere significativamente de los aditivos de cera porque funde aproximadamente a 145°C.
- Los aditivos químicos Evotherm son los más utilizados en la AMM y se presentan en tres formas diferentes (Middleton & Forfylyow, 2009). Evotherm ET y DAT son aditivos de base acuosa, mientras que Evotherm 3G es un aditivo no acuoso. La forma ET sustituye completamente al ligante asfáltico en una planta de asfalto porque contiene un 70% de residuos asfálticos y reduce las temperaturas de producción en más de 55°C a forma DAT reduce las temperaturas en aproximadamente 10°C menos que Evotherm ET, pero permite a la planta más flexibilidad para cambiar rápidamente de la producción de mezclas asfálticas semicalientes a HMA. (Prowell & Hurley, 2006)

2.2.2. Pavimento de asfalto reciclado (RAP)

RAP es un producto de la remoción de pavimento asfáltico y es el principal material reciclado utilizado en el hormigón asfáltico. Las máquinas fresadoras descomponen el pavimento de hormigón asfáltico existente en partículas discretas, como se muestra en la Figura 4, para producir RAP. Según Collins y Ciesielski, en Estados Unidos se producen más de 100 millones de toneladas de RAP al año. (Collins & Ciesielski, 1994)



Figura 4. Pavimento asfáltico reciclado (RAP)

Fuente: (Collins & Ciesielski, 1994)

El RAP fraccionado (FRAP) se produce para brindar un control adicional sobre el tamaño de las partículas, el contenido de masilla, los finos y la calidad general del RAP. Específicamente, la introducción de FRAP ha permitido a los diseñadores de mezclas cumplir con las especificaciones volumétricas de diseño de mezcla Superpave de manera más consistente (Prowell & Hurley, 2007).

El uso de RAP en hormigón asfáltico se adhiere al requisito de soluciones sostenibles en pavimentos porque es respetuoso con el medio ambiente y rentable. Chiu et al. encontraron que agregar RAP a las mezclas reduce el impacto ambiental de la producción en un 23%. Además, RAP presenta una importante reducción de costos de materiales (Chiu, Hsu, & Yang, 2008).

El material agregado virgen de calidad es cada vez más difícil de encontrar y comprar. Por lo tanto, el uso de RAP puede compensar los costos y permitir que las agencias estatales y federales rehabiliten más caminos con capacidades presupuestarias similares.

La adición de RAP a las mezclas asfálticas generalmente se limita a un rango de 10-30%. Las agencias estatales, como el Departamento de Transporte de Illinois, permiten hasta un 30 % de RAP en las mezclas de aglutinante y superficie, según el nivel de tráfico presente en una carretera determinada (Chiu, Hsu, & Yang, 2008). Como se indicó antes, el RAP generalmente se considera un material rígido principalmente debido al endurecimiento oxidativo y otros mecanismos de envejecimiento que sufre mientras se expone al medio ambiente durante su vida útil. En consecuencia, el aumento de la rigidez en el RAP puede conducir a varias formas de fallas por agrietamiento que disuaden a los productores y agencias estatales de aumentar aún más la asignación de RAP (Xiao, Amirkhanian, & Juang, 2007). Las propiedades físicas y mecánicas del RAP dependen de las propiedades del árido, del ligante asfáltico, del tipo de firme, del tiempo de servicio del firme original, del método de recuperación in situ y del método de transformación. La tabla 1 muestra el rango típico de las propiedades físicas y mecánicas del RAP.

Tabla 2. Propiedades físicas y mecánicas típicas del RAP

Tipo de propiedad	Propiedades RAP	Rango típico de valores
Propiedades físicas	Unidad peso	1940 – 2300 kg/m ³
	Contenido de humedad	Normal: Hasta 5%
		Máximo: 7 – 8 %
	Contenido de asfalto	Normal: 4.5 – 6%
		Rango máximo: 3 – 7%
	Penetración del asfalto	Normal: 10 – 80 a 25°C
Propiedades mecánicas	Viscosidad absoluta o cemento asfáltico recuperado	Normal: 4,000 – 25,000 poises a 60°C
	Peso unitario compactado	1600 – 2000 kg/m ³
	Coeficiente de soporte de California (CBR)	100% RAP: 20 – 25%
		40% RAP y 60% árido natural: 150% o superior

Fuente: Departamento de transporte de EE. UU. (FHWA-RD-97-148)

2.2.3. Origen, ventajas y desventajas del pavimento de asfalto reciclado

RAP representa una opción ventajosa tanto económica como ambiental en comparación con los agregados vírgenes. Este producto reciclado se elabora utilizando una máquina de molido parecida a la que se presenta en la Figura 5. Las máquinas de molienda desgastan el pavimento asfáltico viejo y dañado hasta transformarlo en partículas finas del tamaño de un agregado, utilizando un sistema de cuchillas que cortan el material de manera continua. Tal como se aprecia en la Figura 5, el RAP se coloca en un remolque mediante una cinta transportadora en la máquina

de fresado. Cuando el remolque está lleno, el material se transporta de vuelta a una planta de asfalto.



Figura 5. Máquina fresadora de asfalto y remolque volquete

Fuente: (Prowell & Hurley, Mezcla bituminosa en caliente: Buenas prácticas, 2007)

Principalmente, el RAP a menudo se dejaba sin fraccionar en la planta de asfalto. Sin embargo, el fraccionamiento de RAP se ha convertido en la práctica aceptable para incorporar RAP sin afectar significativamente las propiedades volumétricas del diseño de la mezcla (Collins & Ciesielski, 1994). La Figura 6 muestra el uso del fraccionamiento para producir dos o más pilas de RAP.



Figura 6. Reservas fraccionadas de RAP

Fuente: (Collins & Ciesielski, 1994)

RAP muestra varias ventajas para la comunidad de pavimentos asfálticos. En primer lugar, como se indicó anteriormente, este material es generalmente provechoso y respetuoso con el medio ambiente, el uso del 20-50% de este material reciclado puede ahorrar hasta un 34% del costo total (Kandhal & Mallick, 1997).

Esta reducción en el costo está asociada con una disminución en el uso de ligante asfáltico, el costo del material virgen y el transporte de material virgen. Además, RAP es ventajoso debido a su impacto ambiental. Como se indicó anteriormente, Chiu et al. toparon una reducción del 23% en la carga ecológica debido a la cantidad reducida de ligante asfáltico requerido y la cantidad de energía requerida para calentar los materiales (Chiu, Hsu, & Yang, 2008). RAP generalmente suministra una cantidad significativa de aglomerante asfáltico que puede interactuar y recubrir el material agregado virgen. El rendimiento del pavimento también tiene el potencial de mejorarse mediante el uso de RAP. La rigidez relativa del material RAP puede mejorar el rendimiento en el área de deformación permanente. En lugares como las intersecciones, los grados de ligante PG generalmente aumentan para evitar problemas de surcos.

También surgen desventajas con el uso de RAP. El RAP es un material inherentemente rígido debido al efecto oxidante de la luz solar y la atmósfera. La presencia de tan solo un 15 % de RAP tiene la capacidad de fortificar significativamente una mezcla asfáltica, la resistencia a la fractura de las mezclas asfálticas se redujo mediante el uso de una mayor calidad de asfalto (Wagoner, Buttlar, & Paulino, 2005). En consecuencia, la adición de RAP, según NCHRP 9-12, aumenta el grado PG del ligante asfáltico. Por lo tanto, el aumento de la rigidez aumenta la naturaleza frágil del hormigón asfáltico y la probabilidad de falla por fragilidad a bajas temperaturas.

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Material reciclado**

Los materiales reciclados son materiales usados o viejos que pueden utilizarse para fabricar otros materiales, se llaman materiales reciclados porque pueden reciclarse. Pueden utilizarse en su estado natural, pero lo más habitual es estabilizarlos o mejorarlos de otro modo para que ofrezcan un rendimiento aceptable. Sin embargo, pueden incorporar riesgos injustificados a las soluciones de diseño de pavimentos. La decisión de utilizar materiales reciclados en un pavimento es un equilibrio entre el riesgo técnico, la responsabilidad de mantenimiento, los materiales disponibles, las emisiones medioambientales y el coste de capital.

- **Pavimento asfáltico reciclado**

Pavimento asfáltico reciclado (RAP) se refiere a los materiales de pavimento recuperados y/o tratados que incluyen asfalto y agregados. Estos materiales se producen al quitar los pavimentos de asfalto para su reconstrucción, repavimentación o para acceder a servicios

públicos soterrados. Al ser triturado y cribado correctamente, el RAP se compone de agregados de alta calidad y bien clasificados que están recubiertos con cemento asfáltico.

- Mezcla asfáltica

La mezcla asfáltica es un material en el que el árido grueso, el árido fino, el relleno y el asfalto se mezclan en una proporción determinada. Se utiliza como capa superficial o capa intermedia del pavimento asfáltico de las carreteras. La mezcla asfáltica se fabrica mezclando asfalto y áridos calentados, y hay una mezcla caliente que se utiliza a alta temperatura y una mezcla fría que se utiliza a temperatura ambiente.

- Mezcla asfáltica semi caliente

La mezcla asfáltica semi caliente es una forma de concreto asfáltico en rápida expansión, aunque es algo similar a los enfoques de mezcla fría y mezcla caliente que han estado disponibles durante décadas. Se diferencia de la mezcla asfáltica en caliente solo en las temperaturas de producción requeridas para cumplir con los estándares apropiados de mezcla y densificación.

- Método Marshall

El método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas se utiliza de manera común en laboratorios de construcción de materiales para elegir y dosificar áridos y materiales asfálticos en la construcción de pavimentos. Este enfoque integral en el diseño de mezclas asfálticas abarca la elección de agregados minerales y materiales aglutinantes, la elaboración de muestras para ensayos, pruebas de carga que evalúan la resistencia y fluidez de los materiales, así como ensayos de laboratorio sobre las propiedades de los mismos.

- Deformación

La deformación es una de las formas más comunes de deterioro de los firmes y está causado principalmente por la deformación repetitiva debida a las cargas del tráfico. Dependiendo del nivel de gravedad, el ahuellamiento causa inconvenientes para la seguridad del tráfico e incomodidad en la conducción, además de reducir el ciclo de vida global del pavimento.

- Resistencia al desgaste

Dado que el desgaste es el proceso de descomposición gradual de un material a lo largo del tiempo, la resistencia al desgaste describe la capacidad de un producto o material para reducir el desgaste. Es una cualidad importante para prolongar la vida útil de piezas y productos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación

3.1.1. Método de Investigación

Según (Hernandez-Sampieri & Mendoza Torres, 2018), el análisis del método científico es el esfuerzo por identificar las actividades que conducen a ese logro. Dentro de las acciones que se consideran propias de la ciencia están la observación y experimentación sistemáticas, el razonamiento inductivo y deductivo, así como la creación y verificación de hipótesis y teorías. En el presente estudio se utilizará la metodología científica junto con los ensayos de Marshall y Cántabro, que evaluarán el comportamiento de la mezcla asfáltica semi caliente al usar diferentes porcentajes de material reciclado.

3.1.2. Nivel

Según (Hernandez-Sampieri & Mendoza Torres, 2018) el nivel de investigación explicativo consiste en buscar responder una causa y efecto sobre dos o más variables en estudio, con la finalidad de establecer una respuesta sobre un fenómeno determinado. En la presente investigación, se busca analizar la causa - efecto entre las variables de estudio, las cuáles son el material reciclado y la mezcla asfáltica semi caliente, así determinar sus propiedades mecánicas y resistencia al desgaste.

3.1.3. Tipo

Según (Valderrama Mendoza, 2017), la investigación aplicada es un tipo de estudio científico que se enfoca en generar soluciones viables a problemas existentes en la realidad. Involucra la utilización de saberes, teorías y métodos ya establecidos para enfrentar problemas particulares en un área determinada; los resultados de la investigación aplicada generalmente son directamente útiles en la práctica. Por esta razón, en este estudio se llevará a cabo una investigación de tipo aplicada y se evaluará el impacto de utilizar material reciclado en el diseño de una mezcla asfáltica semicaliente en un sector específico de la ciudad de Huancayo.

3.2. Diseño de la investigación

Según (Bernal Torres, 2010), el diseño de investigación cuasi experimental es un método científico en el que se alteran una o más variables independientes y se aplican a una o varias variables dependientes con el fin de evaluar su impacto en estas. El impacto de las variables independientes en las dependientes generalmente se monitorea y documenta a lo

largo de un periodo, para asistir a los investigadores en obtener una conclusión lógica sobre la conexión entre ambas. En esta investigación, se establecerán las características mecánicas y la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica semicaliente al modificar el porcentaje del material reciclado utilizado.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Según (Monje Álvarez, 2011), define la población como el conjunto de individuos del que se extrae una muestra estadística para un estudio. Así, puede decirse que cualquier selección de individuos agrupados por una característica común es una población. En la presente investigación la población está conformada por el material reciclado obtenido del subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui.

3.3.2. Muestra

Según (Carrasco Díaz, 2006), una muestra es una versión más pequeña y manejable de un grupo mayor. Es un subconjunto que contiene las características de una población mayor. Una muestra debe representar a la población en su conjunto y no reflejar ningún sesgo hacia un atributo específico. Para la presente investigación se determina como muestra 80 kg del material reciclado obtenido del subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui.

3.3.3. Muestreo

Según (Gonzáles Castellanos, 2003), el objetivo del muestreo es aproximarse a una población mayor en características relevantes para la pregunta de investigación, ser representativo para que los investigadores puedan hacer inferencias sobre la población mayor. Para la presente investigación, se plantea un muestreo no probabilístico.

3.4. Técnicas de recolección de datos

Para la presente investigación, se propone el empleo de la técnica de recolección de datos por observación directa, ya que se deberán realizar ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica semi caliente a diseñar.

3.5. Instrumento de análisis de datos

Para la presente investigación, se empleará como instrumento de análisis de datos los certificados de ensayo obtenidos en laboratorio al realizar los ensayos de caracterización,

ensayo de Marshall para las propiedades mecánicas y la resistencia al desgaste de la mezcla asfáltica semi caliente al variar el porcentaje del material reciclado.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ubicación del proyecto

El proyecto de investigación se encuentra ubicado en el subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui, ubicado en la provincia de Chanchamayo, distrito de Perene y departamento de Junín.

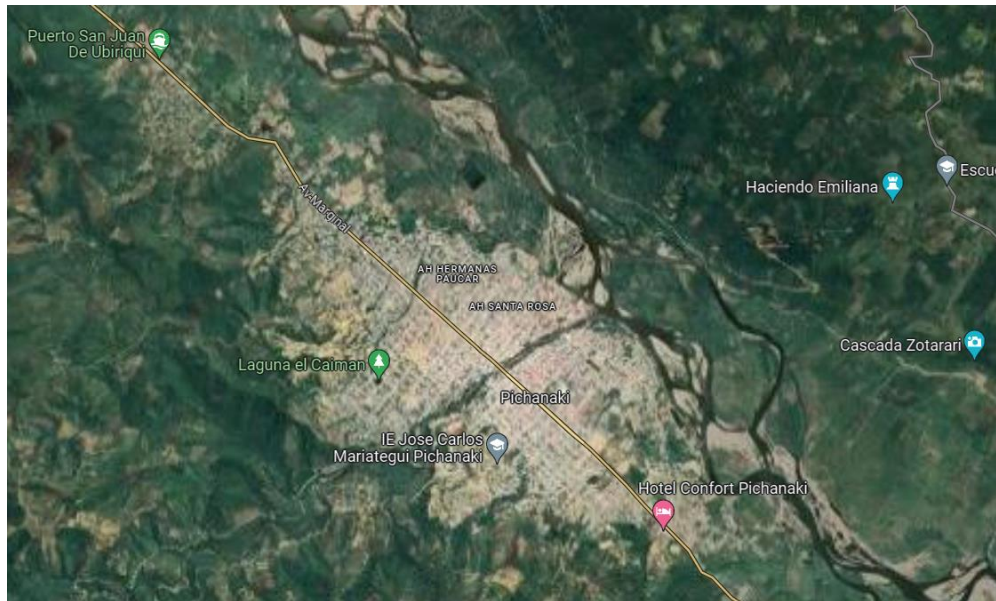


Figura 7. Mapa de Pichanaqui, distrito de Chanchamayo, departamento de Junín

Fuente: Mapa obtenido por Google Maps (2023)

Para el trabajo de investigación, se obtendrán 80 kg de material reciclado del subtramo 4 del tramo Perene - Pichanaqui, el cual será empleado para el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas.

4.2. Procedimiento para el desarrollo de investigación

Tras obtener la muestra de investigación, se procede a obtener el material reciclado. Para ello, se deberá determinar sus parámetros y así encontrar el porcentaje de asfalto y granulometría, mediante la aplicación de las especificaciones técnicas del manual de carreteras (2013). Además, para el progreso de la investigación, se realizará el ensayo de Marshall (diseño de muestra control) mediante la gradación MAC 01 y con el peso específico teórico máximo por Rice. Tras esto, se elaborará un nuevo grupo de mezclas asfálticas semi calientes aplicando el aditivo Zycotherm, las cuales serán caracterizadas mediante Marshall y Cántabro en seco. Para finalizar, se elaborará otro grupo de mezclas asfálticas semi calientes variando el porcentaje de material asfáltico reciclado (RAP) y se realizará el ensayo de Marshall y Cántabro en seco para su caracterización.

De la cantera Chanchamayo, de donde se obtuvieron los agregados gruesos y finos para el diseño de mezcla asfáltica cumple con los requerimientos exigidos por el EG2013 y por el método de Marshall que exige ciertas propiedades para el cumplimiento tanto para las partículas gruesos y finas, estos requerimientos fueron verificados al momento de realizar la obtención de materiales, por lo cual se adjunta los resultados referenciales tanto como agregado grueso y fino.

Tramo Perene – Pichanaqui: 626 m.s.n.m.

Tabla 3. Requerimiento para agregados gruesos – Cantera Chanchamayo

REQUERIMIENTO PARA LOS AGREGADOS GRUESOS				
Ensayos	Norma	Requerimiento		CANTERA CHANCHAMAYO
		Requerimiento		
		≤ 3000	> 3000	
Durabilidad (Al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.	16%
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.	33%
Adherencia	MTC E 517	+95	+95	-
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.	42%
Partículas Chatas y Alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.	8%
Caras Fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70	CUMPLE
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5 máx.	0,5 máx.	NO CUMPLE - ES SELVA
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.	0.73%

Tabla 4. Requerimiento para agregados finos – Cantera Chanchamayo

REQUERIMIENTO PARA LOS AGREGADOS FINOS				
Ensayos	Norma	Requerimiento		CANTERA CHANCHAMAYO
		Requerimiento		
		≤ 3000	> 3000	
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70	CUMPLE
Angularidad del Agregado Fino	MTC E 222	30	40	-
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8% máx.	8% máx.	7%
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP	-
Durabilidad (Al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	10% máx.	18% máx.	-
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.	-
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 211	4 máx.	NP	-
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.	-
Absorción *	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.	0.43%

4.3. Ejecución e interpretación de ensayos

Se procederá a aplicar los ensayos planteados para cada componente planteado y así poder evaluar su comportamiento mecánico y volumétrico.

4.3.1. Material granular para mezcla asfáltica

El material granular para la elaboración de la mezcla asfáltica caliente fue obtenido de la cantera de Chanchamayo. Se obtuvieron agregados gruesos (piedra chancada 3/4" y piedra chancada 1/2") y agregados finos (arena chancada #4). Cada material granular será caracterizado mediante el análisis granulométrico según las especificaciones de la norma MTC E 204. Además, se presentará la caracterización del filler a emplear en la mezcla, para verificar su uniformidad.

4.3.1.1. Análisis granulométrico del agregado grueso

- **Piedra chancada de 3/4":**

En la tabla 5, se presentan los resultados del ensayo de granulometría de una muestra de 3000 gramos de piedra chancada de 3/4", observando que aproximadamente el diez por ciento del material es pasante de la malla #4 y el ochenta por ciento es pasante de la malla 3/4", lo que indica una baja presencia de finos en el material.

Tabla 5. Análisis granulométrico de piedra chancada de 3/4"

Análisis granulométrico - Piedra chancada 3/4" (MTC 204)					
Tamiz	Abertura	Peso en gr.	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasante
	mm				
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	542.3	18.08	18.08	81.92
1/2"	12.700	851.6	28.39	46.46	53.54
3/8"	9.525	836.6	27.89	74.35	25.65
#4	4.763	468.3	15.61	89.96	10.04
#8	2.381	188.5	6.28	96.24	3.76
#10	1.905	53.3	1.78	98.02	1.98
#16	1.191	34.2	1.14	99.16	0.84
#30	0.595	23.1	0.77	99.93	0.07
#40	0.423	2.1	0.07	100.00	0.00
#50	0.298	0.0	0.00	100.00	0.00
#80	0.179	0.0	0.00	100.00	0.00
#100	0.149	0.0	0.00	100.00	0.00
#200	0.074	0.0	0.00	100.00	0.00
<#200	0.010	0.0	0.00	100.00	0.00
Total		3000.0	gr		

En la figura 8, se presenta la curva granulométrica de la piedra chancada de 3/4", en la gráfica se puede observar que la presencia de finos es baja a partir de la malla #4 con un porcentaje pasante de 10.04%, en la malla 1/2" el porcentaje pasante es del 53.54%, y en la malla 3/4" del 81.92%.

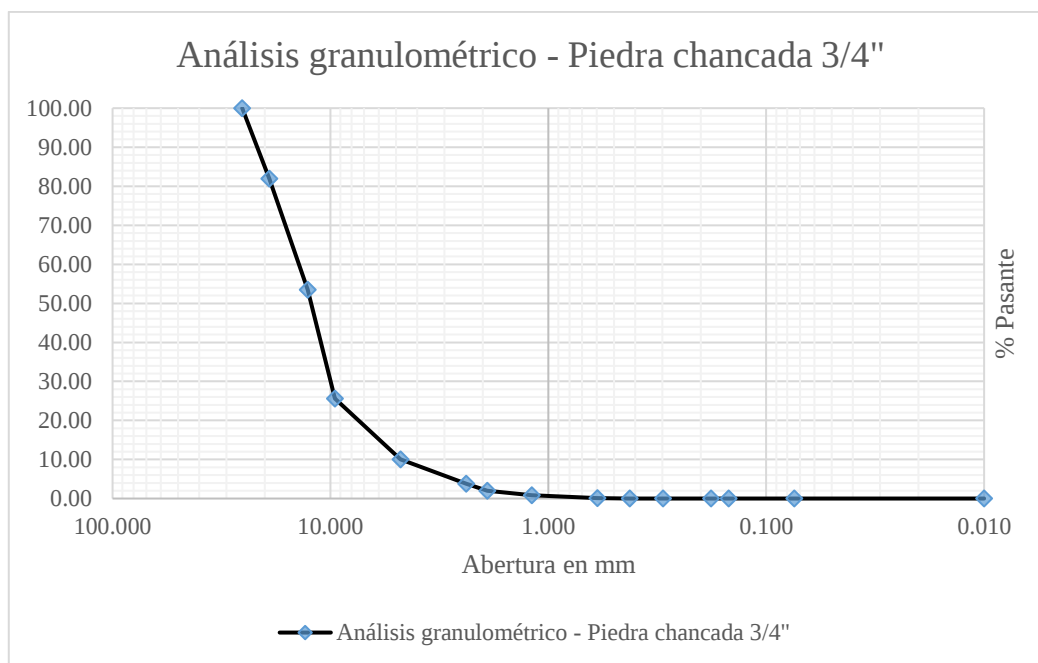


Figura 8. Curva de análisis granulométrico - Piedra chancada de 3/4"

- **Piedra chancada de 1/2":**

En la tabla 6, se presentan los resultados del ensayo de granulometría de una muestra de 3000 gramos de piedra chancada de 1/2", observando que aproximadamente el veintisiete por ciento del material es pasante de la malla #4 y el setenta por ciento es pasante de la malla 1/2", lo que indica una presencia de finos regular en el material.

Tabla 6. Análisis granulométrico de piedra chancada de 1/2"

Análisis granulométrico - Piedra chancada 1/2" (MTC 204)					
Tamiz	Abertura	Peso en gr.	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasante
	mm				
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	910.8	30.36	30.36	69.64
3/8"	9.525	636.9	21.23	51.59	48.41
#4	4.763	640.5	21.35	72.94	27.06
#8	2.381	365.1	12.17	85.11	14.89
#10	1.905	132.3	4.41	89.52	10.48
#16	1.191	180.3	6.01	95.53	4.47
#30	0.595	78.9	2.63	98.16	1.84

#40	0.423	17.7	0.59	98.75	1.25
#50	0.298	12.6	0.42	99.17	0.83
#80	0.179	14.4	0.48	99.65	0.35
#100	0.149	10.5	0.35	100.00	0.00
#200	0.074	0.0	0.00	100.00	0.00
<#200	0.010	0.0	0.00	100.00	0.00
Total		3000.0	gr		

En la figura 9, se presenta la curva granulométrica de la piedra chancada de 1/2", en la gráfica se puede observar que la presencia de finos es regular a partir de la malla #4 con un porcentaje pasante de 27.06%, en la malla 3/8" el porcentaje pasante es del 48.41% y en la malla 1/2" del 69.64%.

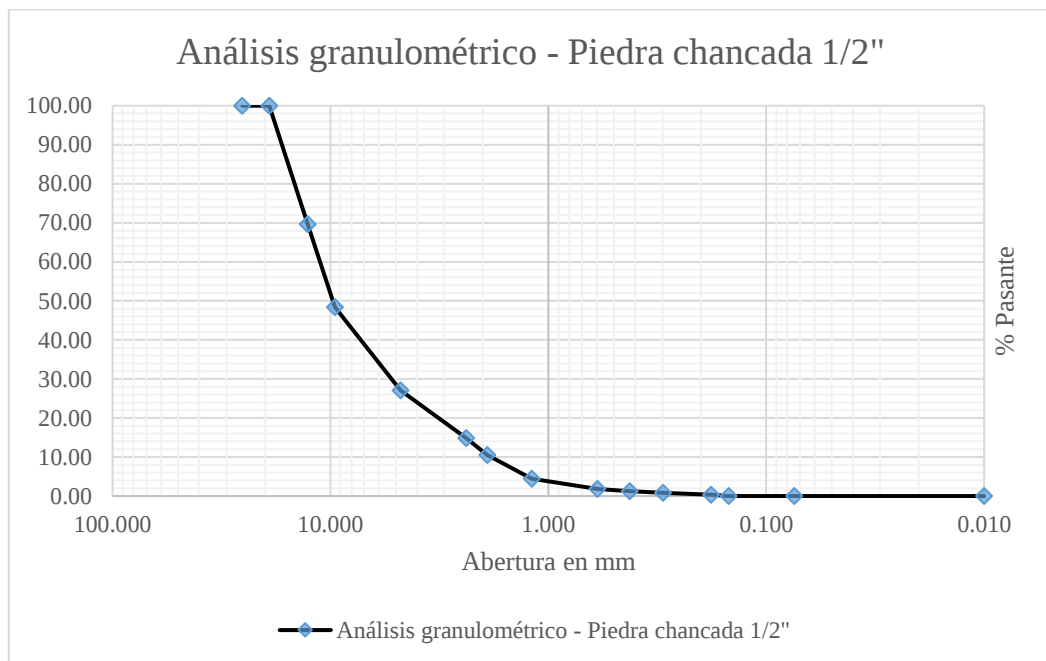


Figura 9. Curva de análisis granulométrico - Piedra chancada de 1/2"

4.3.1.2. Análisis granulométrico del agregado fino

- **Arena chancada #4:**

En la tabla 7, se presentan los resultados del ensayo de granulometría de una muestra de 1500 gramos de arena chancada #4, observando que aproximadamente el ochenta por ciento del material es pasante de la malla #4 y el siete por ciento es pasante de la malla #200, lo que indica una baja presencia de limos en el material.

Tabla 7. Análisis granulométrico de arena chancada #4

Análisis granulométrico - Arena chancada #4 (MTC 204)					
Tamiz	Abertura	Peso en gr.	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasante
	mm				
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.0	0.00	0.00	100.00
#4	4.763	241.7	16.11	16.11	83.89
#8	2.381	236.6	15.77	31.88	68.12
#10	1.905	117.8	7.85	39.73	60.27
#16	1.191	98.9	6.59	46.32	53.68
#30	0.595	166.5	11.10	57.42	42.58
#40	0.423	113.9	7.59	65.01	34.99
#50	0.298	140.6	9.37	74.38	25.62
#80	0.179	110.6	7.37	81.75	18.25
#100	0.149	114.3	7.62	89.37	10.63
#200	0.074	54.3	3.62	92.99	7.01
<#200	0.010	105.2	7.01	100.00	0.00
Total		1500.0	gr		

En la figura 10, se presenta la curva granulométrica de la arena chancada #4, en la gráfica se puede observar que la presencia de partículas limosas es baja a partir de la malla #200 con un porcentaje pasante de 7.01% y en la malla #4 se corrobora que el material es arena al presentar un porcentaje pasante del 83.89%.

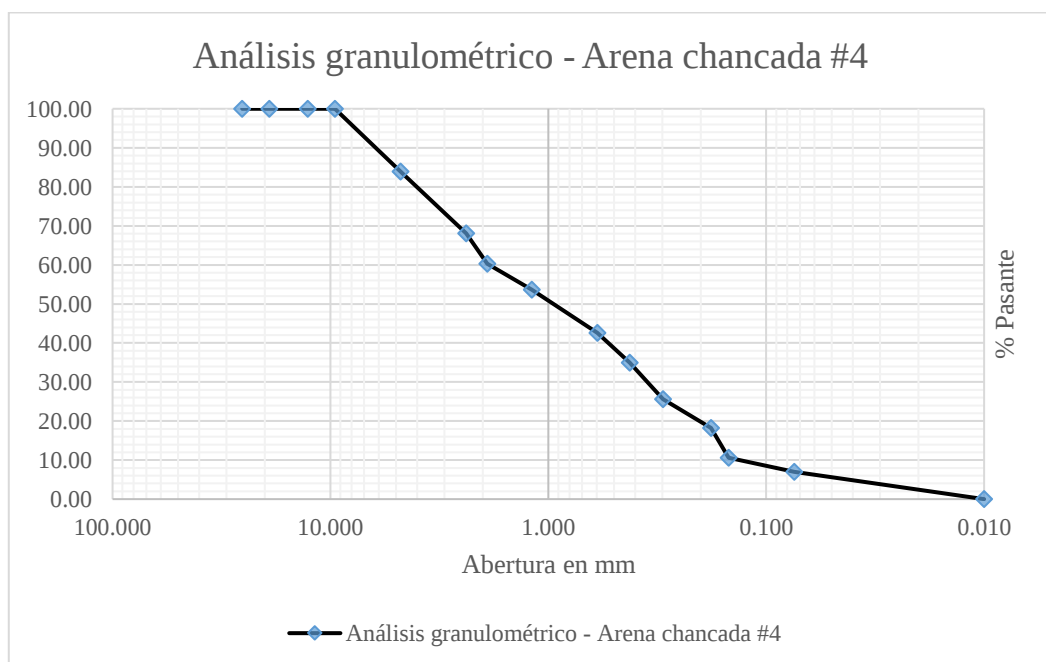


Figura 10. Curva de análisis granulométrico - Arena chancada #4

4.3.1.3. Análisis granulométrico del filler

- **Cemento:**

El filler se utiliza como componente en la elaboración de mezclas asfálticas, es añadido a la mezcla para mejorar sus propiedades y características, así como para optimizar su comportamiento y desempeño en superficies pavimentadas. Por ello se optó por emplear cemento, el cual brindará mejorar calidad y rendimiento a la mezcla asfáltica diseñada.

En la tabla 8, se presentan los resultados del ensayo de granulometría de una muestra de 300 gramos de cemento, observando que es un material totalmente uniforme y que podrá ser empleado sin problemas en la elaboración de la mezcla asfáltica caliente.

Tabla 8. Análisis granulométrico de cemento

Análisis granulométrico - Cemento (MTC 204)					
Tamiz	Abertura	Peso en gr.	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasante
	mm				
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.0	0.00	0.00	100.00
#4	4.763	0.0	0.00	0.00	100.00
#8	2.381	0.0	0.00	0.00	100.00
#10	1.905	0.0	0.00	0.00	100.00
#16	1.191	0.0	0.00	0.00	100.00
#30	0.595	0.0	0.00	0.00	100.00
#40	0.423	0.0	0.00	0.00	100.00
#50	0.298	0.0	0.00	0.00	100.00
#80	0.179	0.0	0.00	0.00	100.00
#100	0.149	0.0	0.00	0.00	100.00
#200	0.074	0.0	0.00	0.00	100.00
<#200	0.010	300.0	100.00	100.00	0.00
Total		300.0	gr		

En la figura 11, se presenta la curva granulométrica del cemento, en la gráfica se puede observar una tendencia lineal uniforme, verificando de esta forma la uniformidad del filler a emplear en el diseño de la mezcla asfáltica caliente.

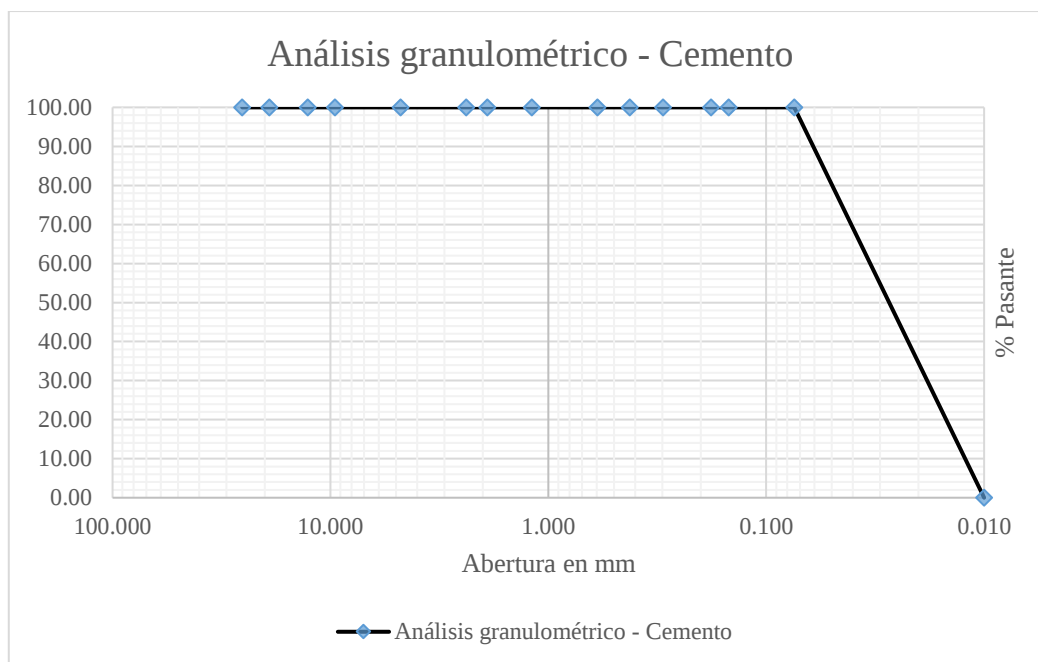


Figura 11. Curva de análisis granulométrico - Cemento

4.3.2. Diseño de mezcla asfáltica caliente

4.3.2.1. Combinación teórica de agregados por MAC 01

Para la elaboración de la mezcla asfáltica caliente, se optó por emplear la gradación MAC 01, en la tabla 9 se presenta la gradación MAC 01 obtenida del Manual de Carreteras (EG-2013).

Tabla 9. Gradación para mezcla asfáltica MAC 01

Tamiz	Abertura mm	Porcentaje que pasa (%)
		MAC 01
1"	25.400	100
3/4"	19.050	80 - 100
1/2"	12.700	67 - 85
3/8"	9.525	60 - 77
#4	4.763	43 - 54
#8	2.381	
#10	1.905	29 - 45
#16	1.191	
#30	0.595	
#40	0.423	14 - 25
#50	0.298	
#80	0.179	8 - 17
#100	0.149	
#200	0.074	4 - 8
<#200	0.010	

La combinación teórica se determinará variando el porcentaje de contribución del agregado grueso, agregado fino y el filler, cabe mencionar que el filler se empleará sólo en 1%, y que los porcentajes de cada material debe llegar a sumar 100% para proceder con verificar que se trabaje dentro de la gradación MAC 01.

En la tabla 10, se presenta la granulometría resultante para cada agregado, en la que se obtuvo que al 26% de piedra chancada de 3/4", 28% de piedra chancada de 1/2", 45% de arena chancada #4 y el 1% de cemento como filler, se consigue el 100% de combinación de agregados para la elaboración de la mezcla asfáltica caliente.

Tabla 10. Combinación teórica de agregados

Tamiz	Abertura mm	Porcentaje de contribución			
		Piedra chancada 3/4"	Piedra chancada 1/2"	Arena chancada #4	Filler Cemento
		26%	28%	45%	1%
1"	25.400	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.050	81.92	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.700	53.54	69.64	100.00	100.00
3/8"	9.525	25.65	48.41	100.00	100.00
#4	4.763	10.04	27.06	83.89	100.00
#8	2.381	3.76	14.89	68.12	100.00
#10	1.905	1.98	10.48	60.27	100.00
#16	1.191	0.84	4.47	53.68	100.00
#30	0.595	0.07	1.84	42.58	100.00
#40	0.423	0.00	1.25	34.99	100.00
#50	0.298	0.00	0.83	25.62	100.00
#80	0.179	0.00	0.35	18.25	100.00
#100	0.149	0.00	0.00	10.63	100.00
#200	0.074	0.00	0.00	7.01	100.00
<#200	0.010	0.00	0.00	0.00	0.00

En la tabla 11, se presentan los límites inferior y superior de la gradación MAC 01, junto con la combinación de agregados resultante, tras esto se representa gráficamente los límites correspondientes a la gradación MAC 01 y la combinación de agregados, para verificar que se cumpla con permanecer dentro de los límites y poder elaborar una mezcla asfáltica caliente adecuada con el material granular obtenido de la cantera de Chanchamayo.

Tabla 11. Combinación granulométrica ante gradación MAC 01

Tamiz	Abertura mm	Lím. Inferior	Lím. Superior	Combinación MAC 01
		%	%	100%
1"	25.400	100	100	100.00
3/4"	19.050	80	100	95.30
1/2"	12.700	67	85	79.42
3/8"	9.525	60	77	66.22
#4	4.763	43	54	48.94
#8	2.381	-	-	36.80
#10	1.905	29	45	31.57
#16	1.191	-	-	26.63
#30	0.595	-	-	20.69
#40	0.423	14	25	17.10
#50	0.298	-	-	12.76
#80	0.179	8	17	9.31
#100	0.149	-	-	5.78
#200	0.074	4	8	4.15
<#200	0.010	-	-	0.00

En la figura 12, se presenta las respectivas curvas granulométricas en las que se observa que el empleo de los agregados gruesos y finos en los porcentajes obtenidos da como resultado un huso granulométrico dentro de los límites establecidos para la gradación MAC 01.

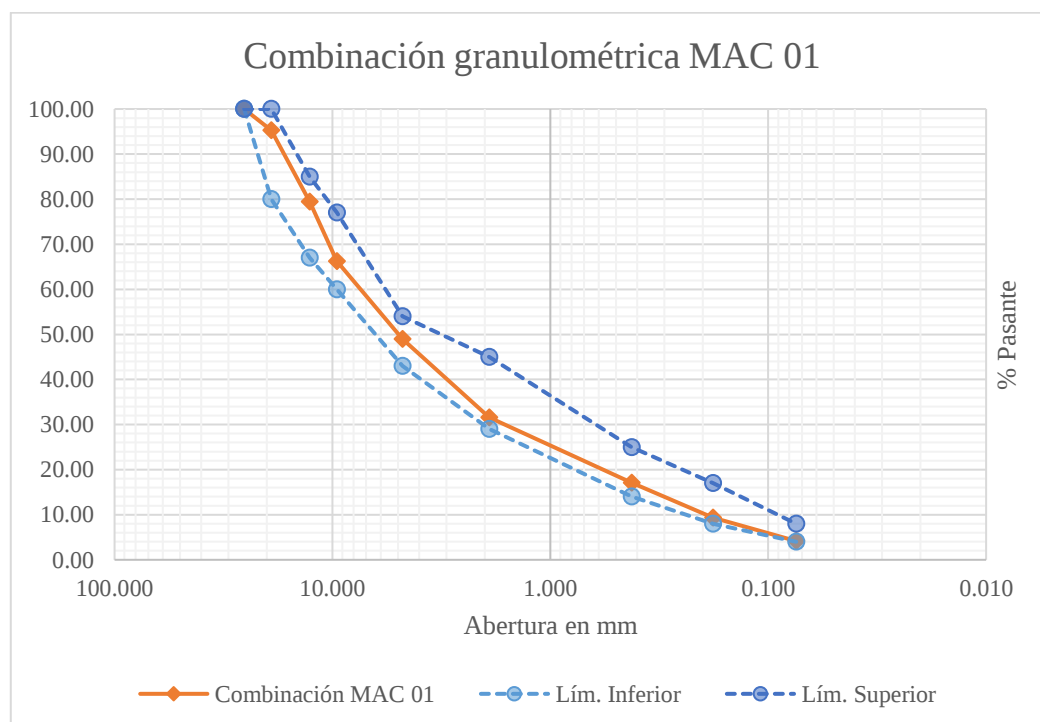


Figura 12. Combinación granulométrica ante gradación MAC 01

4.3.2.2. Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas por Rice

Según la norma MTC E 508, se elaboraron 6 proporciones de cemento asfáltico, siendo estas: 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%. El ensayo de Rice consta en colocar una muestra de la mezcla en agua destilada hasta cubrirla, tras ello se seca la muestra al aire con una bomba de vacío y finalmente se ubica una aguja en la parte superior de la muestra que será llenada con agua para determinar el nuevo volumen de la muestra.



Figura 13. Ensayo de Rice de mezclas asfálticas, según la norma MTC E 508

En las siguientes tablas, se presentan los resultados de peso específico teórico máximo por Rice para cada porcentaje de cemento asfáltico empleado.

Tabla 12. Peso específico Rice al 4% de cemento asfáltico

Cemento asfáltico	%	4.0		
Peso muestra suelta en aire	(g)	1248.8	1248.7	1248.6
Peso muestra + agua (25°C)	(g)	1453.4	1457.0	1453.3
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(g)	2702.2	2705.7	2701.9
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta después del ensayo	(g)	3232.9	3235.0	3231.7
Volumen	(cm ³)	530.7	529.3	529.8
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.353	2.359	2.357
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.356		

Tabla 13. *Peso específico Rice al 4.5% de cemento asfáltico*

Cemento asfáltico	%	4.5		
Peso muestra suelta en aire	(g)	1249.1	1248.9	1246.8
Peso muestra + agua (25°C)	(g)	1464.4	1467.9	1459.4
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(g)	2713.5	2716.8	2706.2
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta después del ensayo	(g)	3243.0	3244.7	3232.0
Volumen	(cm ³)	529.5	527.9	525.8
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.359	2.366	2.371
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.365		

Tabla 14. *Peso específico Rice al 5% de cemento asfáltico*

Cemento asfáltico	%	5.0		
Peso muestra suelta en aire	(g)	1249.5	1247.5	1248.1
Peso muestra + agua (25°C)	(g)	1467.6	1440.5	1456.8
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(g)	2717.1	2688.0	2704.9
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta después del ensayo	(g)	3243.8	3213.2	3228.2
Volumen	(cm ³)	526.7	525.2	523.3
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.372	2.375	2.385
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.378		

Tabla 15. *Peso específico Rice al 5.5% de cemento asfáltico*

Cemento asfáltico	%	5.5		
Peso muestra suelta en aire	(g)	1247.8	1246.5	1248.4
Peso muestra + agua (25°C)	(g)	1458.9	1462.3	1466.0
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(g)	2706.7	2708.8	2714.4
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta después del ensayo	(g)	3232.1	3231.0	3238.8
Volumen	(cm ³)	525.4	522.2	524.4
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.375	2.387	2.381
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.381		

Tabla 16. *Peso específico Rice al 6% de cemento asfáltico*

Cemento asfáltico	%	6.0		
Peso muestra suelta en aire	(g)	1250.1	1249.1	1245.7
Peso muestra + agua (25°C)	(g)	1461.4	1440.3	1463.7
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(g)	2711.5	2689.4	2709.4

Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta después del ensayo	(g)	3234.3	3213.4	3233.0
Volumen	(cm ³)	522.8	524.0	523.6
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.391	2.384	2.379
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.385		

Tabla 17. Peso específico Rice al 6.5% de cemento asfáltico

Cemento asfáltico	%	6.5		
Peso muestra suelta en aire	(g)	1247.8	1247.9	1248.7
Peso muestra + agua (25°C)	(g)	1455.6	1462.5	1441.6
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(g)	2703.4	2710.4	2690.3
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta después del ensayo	(g)	3229.2	3235.0	3214.6
Volumen	(cm ³)	525.8	524.6	524.3
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.373	2.379	2.382
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.378		

4.3.2.3. Diseño de mezcla asfáltica caliente

En base a la norma MTC E 504 para elaborar la mezcla asfáltica caliente, se realiza el diseño de la mezcla variando el porcentaje de cemento asfáltico en 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% respecto al peso de la mezcla, además, las briquetas se elaboraron en función de 1250 gr de mezcla en total. En la tabla 16 se presenta el resultado de los pesos de material por malla según el porcentaje de cemento asfáltico a incorporar a la mezcla asfáltica caliente.

Tabla 18. Peso de material para la mezcla asfáltica caliente

% Cemento asfáltico	Tamiz					Cemento (g)
	1/2"	3/8"	#4	#10	<#10	Sub-total
4.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	12.0
4.5%	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	11.9
5.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	11.9
5.5%	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	11.8
6.0%	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	11.8
6.5%	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	11.7
% Cemento asfáltico	Tamiz					Piedra chancada 3/4" (g)
	1/2"	3/8"	#4	#10	<#10	Sub-total
4.0%	145.0	87.0	48.7	25.1	6.2	312.0
4.5%	144.2	86.6	48.4	25.0	6.1	310.4
5.0%	143.5	86.1	48.2	24.9	6.1	308.8

5.5%	142.7	85.6	47.9	24.8	6.1	307.1
6.0%	141.9	85.2	47.7	24.6	6.0	305.5
6.5%	141.2	84.7	47.4	24.5	6.0	303.9
% Cemento asfáltico	Tamiz					Piedra chancada 1/2" (g)
	1/2"	3/8"	#4	#10	<#10	Sub-total
4.0%	102.0	71.3	71.7	55.7	35.2	336.0
4.5%	101.5	71.0	71.4	55.4	35.0	334.3
5.0%	100.9	70.6	71.0	55.1	34.8	332.5
5.5%	100.4	70.2	70.6	54.8	34.7	330.8
6.0%	99.9	69.8	70.2	54.5	34.5	329.0
6.5%	99.4	69.5	69.9	54.3	34.3	327.3
% Cemento asfáltico	Tamiz					Arena chancada #4 (g)
	1/2"	3/8"	#4	#10	<#10	Sub-total
4.0%	0.0	0.0	87.0	127.5	325.5	540.0
4.5%	0.0	0.0	86.5	126.9	323.8	537.2
5.0%	0.0	0.0	86.1	126.2	322.1	534.4
5.5%	0.0	0.0	85.6	125.6	320.4	531.6
6.0%	0.0	0.0	85.2	124.9	318.7	528.8
6.5%	0.0	0.0	84.7	124.2	317.0	525.9

Se elaboraron un total de 18 briquetas para someterlas al ensayo de resistencia por Marshall, para ello se emplearon los materiales granulados ya mezclados con el filler, después se introdujeron las mezclas en un horno sometiéndolas a una temperatura no mayor a 130°C, tras esto se procede a incorporar el cemento asfáltico en 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% del peso de la mezcla.



Figura 14. Proceso de elaboración de briquetas de mezcla asfáltica caliente, según la norma MTC E 504

Con la mezcla asfáltica resultante, se procede a colocar la mezcla en el molde de briqueta y compactar cada cara a 75 golpes, tras dejarlas enfriar y desmoldarlas, son colocadas en el horno a 130°C para proceder con el ensayo de peso específico, por último, son llevadas a baño María por media hora para ser ensayadas en el aparato de Marshall, y así determinar la estabilidad y fluencia de la mezcla.



Figura 15. Compactación de briquetas diseñadas, según la norma MTC E 504



Figura 16. Briquetas resultantes a diferentes porcentajes de cemento asfáltico, según la norma MTC E 508



Figura 17. Briquetas colocadas en baño María, según la norma MTC E 508



Figura 18. Ensayo de resistencia en aparato de Marshall, según la norma MTC E 504

En las siguientes tablas, se presentan los resultados de los ensayos de pesos específico y de Marshall para cada grupo de briquetas obtenidas.

a. Briquetas al 4% de cemento asfáltico

Tabla 19. Propiedades de briqueta al 4% de cemento asfáltico

Ítem	N° de briquetas	01	02	03
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	4.00		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	51.84		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	43.20		

4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.96		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (g/cm ³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (g/cm ³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (g/cm ³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (g/cm ³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	64.3	65.9	64.2
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1250.2	1246.9	1248.7
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (g)	1257.2	1256.6	1258.2
12	Peso de la briqueta saturada en agua (g)	695.6	692.5	694.2
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm ³)	561.6	564.1	564.0
14	Peso específico Bulk de la briqueta (g/cm ³)	2.226	2.210	2.214
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (g/cm ³)	2.356		
16	Porcentaje de vacíos (%)	5.51	6.18	6.03
17	Peso específico Bulk del agregado total (g/cm ³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	18.33	18.91	18.78
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	69.93	67.32	67.90
20	Peso específico efectivo del agregado total (g/cm ³)	2.495		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-1.89		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	5.80		
23	Flujo (mm)	1.62	1.51	1.22
24	Estabilidad sin corregir (kg)	792.8	816.8	804.8
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	792.8	816.8	804.8
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	4893.8	5409.3	6596.7
28	Compactación (número de golpes por cara)	75		

b. Briquetas al 4.5% de cemento asfáltico:

Tabla 20. Propiedades de briqueta al 4.5% de cemento asfáltico

Ítem	N° de briquetas	04	05	06
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	4.50		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	51.57		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.98		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.96		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (g/cm ³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (g/cm ³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (g/cm ³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (g/cm ³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	63.9	66.0	63.7
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1250.3	1248.0	1248.5
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (g)	1256.6	1255.1	1257.8
12	Peso de la briqueta saturada en agua (g)	698.1	698.7	702.7
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm ³)	558.5	556.4	555.1

14	Peso específico Bulk de la briqueta (g/cm ³)	2.239	2.243	2.249
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (g/cm ³)	2.365		
16	Porcentaje de vacíos (%)	5.34	5.16	4.90
17	Peso específico Bulk del agregado total (g/cm ³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	18.30	18.14	17.92
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	70.81	71.56	72.66
20	Peso específico efectivo del agregado total (g/cm ³)	2.525		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-1.41		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	5.83		
23	Flujo (mm)	2.23	1.81	1.94
24	Estabilidad sin corregir (kg)	858.4	851.2	867.1
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	858.4	851.2	867.1
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3849.3	4702.8	4469.6
28	Compactación (número de golpes por cara)	75		

c. Briquetas al 5% de cemento asfáltico:

Tabla 21. Propiedades de briqueta al 5% de cemento asfáltico

Ítem	N° de briquetas	07	08	09
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.00		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	51.30		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.75		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.95		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (g/cm ³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (g/cm ³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (g/cm ³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (g/cm ³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	63.9	63.5	63.9
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1248.4	1250.4	1250.7
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (g)	1253.7	1254.8	1257.6
12	Peso de la briqueta saturada en agua (g)	705.5	706.4	705.7
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm ³)	548.2	548.4	551.9
14	Peso específico Bulk de la briqueta (g/cm ³)	2.277	2.280	2.266
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (g/cm ³)	2.378		
16	Porcentaje de vacíos (%)	4.24	4.12	4.70
17	Peso específico Bulk del agregado total (g/cm ³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	17.33	17.22	17.73
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	75.55	76.10	73.48
20	Peso específico efectivo del agregado total (g/cm ³)	2.561		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-0.85		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	5.80		

23	Flujo (mm)	2.41	2.69	2.57
24	Estabilidad sin corregir (kg)	921.4	898.2	908.9
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	921.4	898.2	908.9
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3823.2	3339.0	3536.6
28	Compactación (número de golpes por cara)	75		

d. Briquetas al 5.5% de cemento asfáltico:

Tabla 22. Propiedades de briqueta al 5.5% de cemento asfáltico

Ítem	N° de briquetas	10	11	12
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.50		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	51.03		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.53		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.95		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (g/cm³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (g/cm³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (g/cm³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (g/cm³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	65.0	65.5	63.9
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1248.3	1248.1	1249.4
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (g)	1254.9	1256.9	1255.4
12	Peso de la briqueta saturada en agua (g)	709.8	709.0	711.7
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	545.1	547.9	543.7
14	Peso específico Bulk de la briqueta (g/cm³)	2.290	2.278	2.298
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (g/cm³)	2.381		
16	Porcentaje de vacíos (%)	3.82	4.33	3.49
17	Peso específico Bulk del agregado total (g/cm³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	17.30	17.74	17.01
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	77.92	75.60	79.50
20	Peso específico efectivo del agregado total (g/cm³)	2.585		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-0.47		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	5.94		
23	Flujo (mm)	2.84	3.29	3.15
24	Estabilidad sin corregir (kg)	898.9	917.6	904.8
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	898.9	917.6	904.8
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3165.1	2789.1	2872.4
28	Compactación (número de golpes por cara)	75		

e. Briquetas al 6% de cemento asfáltico:

Tabla 23. Propiedades de briqueta al 6% de cemento asfáltico

Ítem	N° de briquetas	13	14	15
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	6.00		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	50.76		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.30		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.94		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (g/cm³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (g/cm³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (g/cm³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (g/cm³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	65.5	64.7	65.8
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1247.9	1247.7	1247.9
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (g)	1253.8	1258.4	1255.0
12	Peso de la briqueta saturada en agua (g)	713.2	714.4	711.8
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	540.6	544.0	543.2
14	Peso específico Bulk de la briqueta (g/cm³)	2.308	2.294	2.297
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (g/cm³)	2.385		
16	Porcentaje de vacíos (%)	3.21	3.83	3.68
17	Peso específico Bulk del agregado total (g/cm³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	17.08	17.61	17.48
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	81.19	78.23	78.96
20	Peso específico efectivo del agregado total (g/cm³)	2.612		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-0.07		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	6.07		
23	Flujo (mm)	3.57	3.48	3.25
24	Estabilidad sin corregir (kg)	893.0	901.4	882.1
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	893.0	901.4	882.1
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2501.4	2590.2	2714.2
28	Compactación (número de golpes por cara)	75		

f. Briquetas al 6.5% de cemento asfáltico:

Tabla 24. Propiedades de briqueta al 6.5% de cemento asfáltico

Ítem	N° de briquetas	16	17	18
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	6.50		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	50.49		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.08		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.94		

5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (g/cm ³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (g/cm ³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (g/cm ³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (g/cm ³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	65.4	66.0	65.8
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1250.3	1250.2	1248.5
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (g)	1255.2	1257.0	1257.5
12	Peso de la briqueta saturada en agua (g)	717.0	714.8	717.4
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm ³)	538.2	542.2	540.1
14	Peso específico Bulk de la briqueta (g/cm ³)	2.323	2.306	2.312
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (g/cm ³)	2.378		
16	Porcentaje de vacíos (%)	2.31	3.04	2.79
17	Peso específico Bulk del agregado total (g/cm ³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	16.99	17.61	17.40
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	86.42	82.76	83.96
20	Peso específico efectivo del agregado total (g/cm ³)	2.625		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	0.12		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	6.39		
23	Flujo (mm)	3.64	3.31	3.72
24	Estabilidad sin corregir (kg)	873.4	881.2	888.5
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	873.4	881.2	888.5
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2399.5	2662.2	2388.4
28	Compactación (número de golpes por cara)	75		

Tras analizar las briquetas obtenidas, se plasmaron en gráficas cada propiedad necesaria para encontrar el óptimo contenido de asfalto. A continuación, en las siguientes figuras, se presentan las gráficas correspondientes al peso específico, porcentaje de vacíos, porcentaje de vacíos de agregado mineral, porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, flujo y estabilidad, ante la variación del porcentaje de cemento asfáltico empleado (4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%).

Para encontrar el óptimo contenido de cemento asfáltico, se ubicó para qué porcentaje de cemento asfáltico se dan los vacíos óptimos, dentro del rango establecido por la normativa, del 4%, obteniendo así un contenido óptimo de cemento asfáltico del 5.45%. Por lo que en cada gráfica también se observan los resultados para cada propiedad para este porcentaje de cemento asfáltico, y así se comprueba que cumplan con las especificaciones de la norma para el diseño de Marshall.

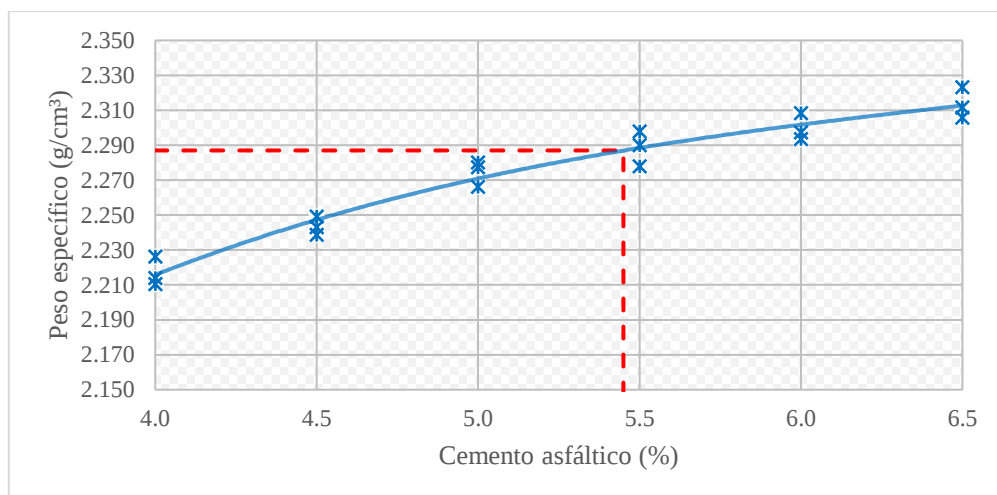


Figura 19. Peso específico (gr/cm³) ante variación de Cemento asfáltico (%)

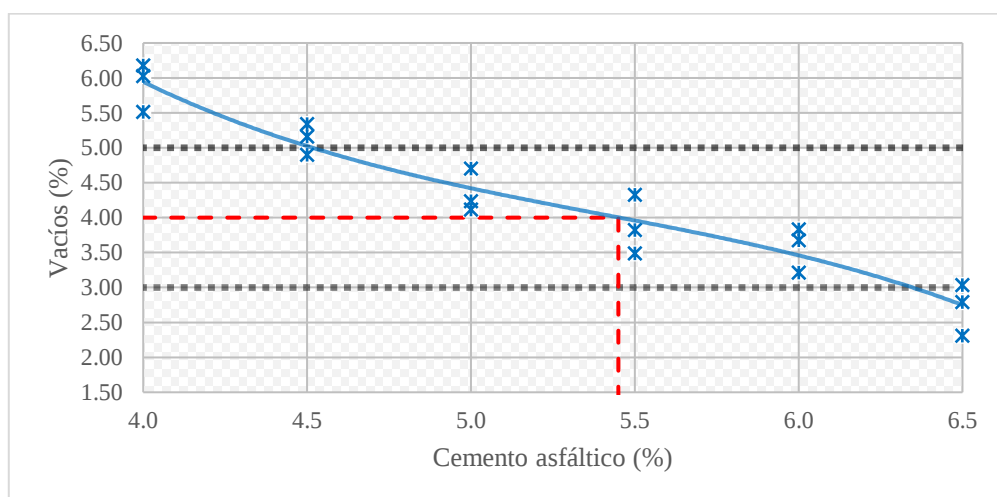


Figura 20. Vacíos (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)

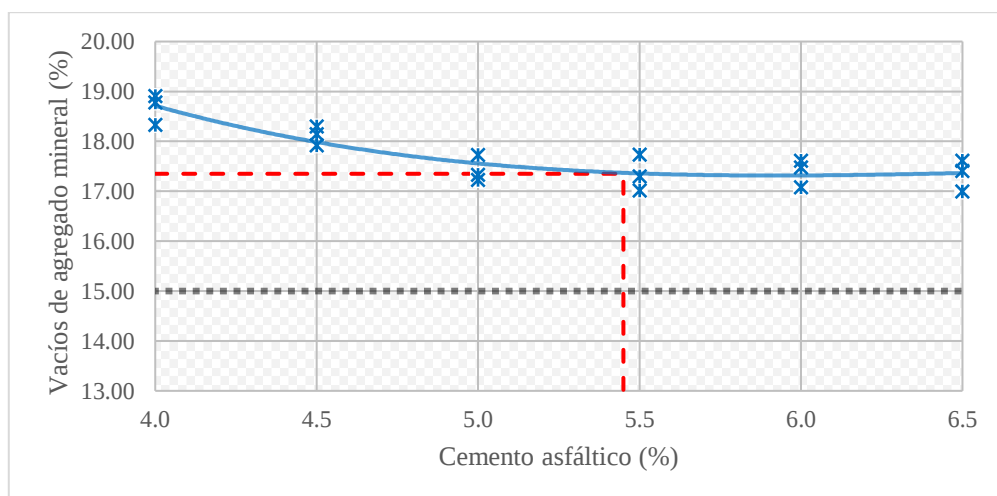


Figura 21. Vacíos de agregado mineral (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)

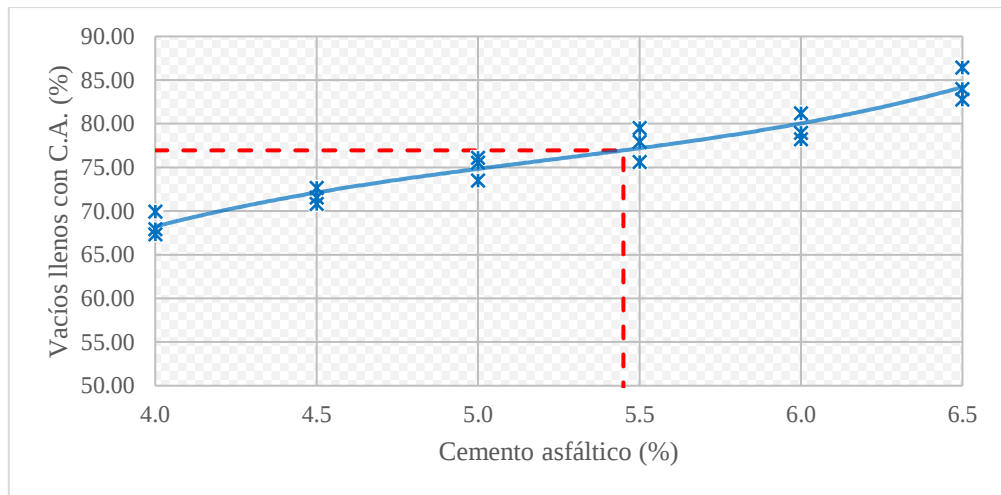


Figura 22. Vacíos llenos de cemento asf. (%) ante variación de Cemento asfáltico (%)

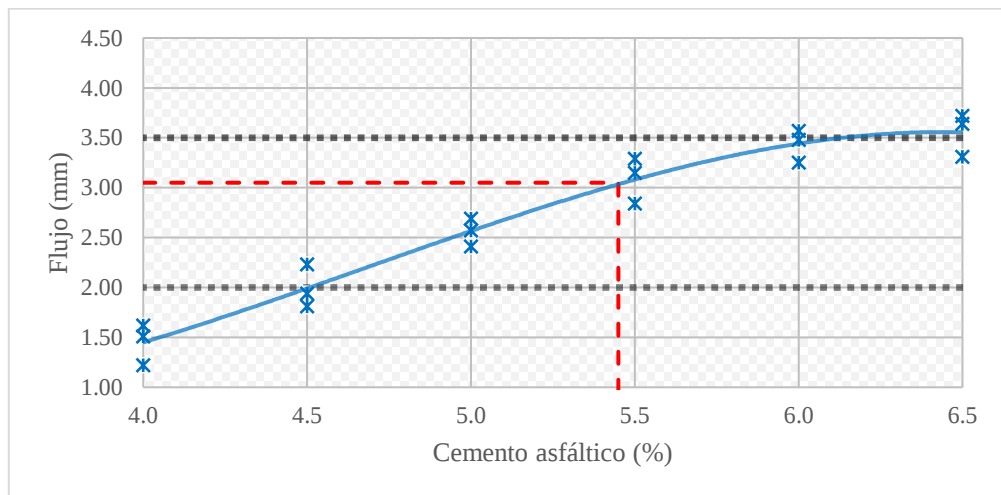


Figura 23. Flujo (mm) ante variación de Cemento asfáltico (%)

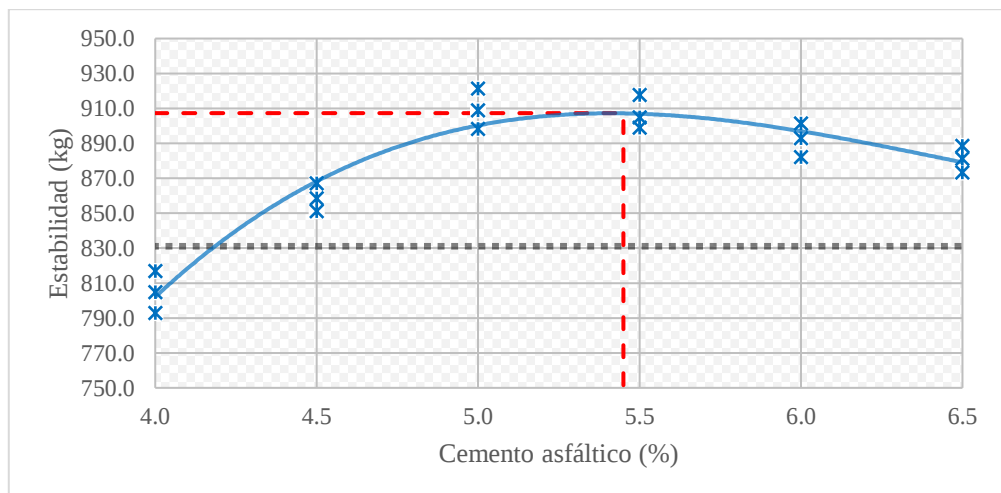


Figura 24. Estabilidad (kg) ante variación de Cemento asfáltico (%)

En la tabla 25, se presentan los resultados resumen de cada propiedad analizada al contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.45%.

Tabla 25. Características de la mezcla asfáltica caliente

Características de la mezcla asfáltica caliente	
N° de golpes por cara	75
Contenido óptimo de cemento asfáltico (%)	5.45
Peso específico (g/cm ³)	2.287
Vacíos (%)	4.00
Vacíos de agregado mineral (%)	17.35
Vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	76.95
Flujo (mm)	3.05
Estabilidad (kg)	907.3

4.3.2.4. Diseño de mezcla asfáltica semi caliente modificada

Se aplicará el sistema de aditivos, el cual es un proceso de elaboración de mezclas asfálticas semi calientes que incorpora aditivos a la mezcla que funcionan como fluidificantes del asfalto, es decir, que son empleados para que el asfalto fluya más fácilmente a temperaturas de mezcla más bajas. Por ello, tras obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica caliente diseñada, se procede en base a la norma MTC E 504, con elaborar una nueva mezcla asfáltica semi caliente modificada empleando el aditivo Zycotherm.

Para ello, se elaboraron nuevas briquetas empleando el contenido óptimo de cemento asfáltico resultante del 5.45% incorporando a la mezcla el 0.05% de Zycotherm y así poder analizar sus propiedades. Variando, además, la temperatura de mezclado en 160°C, 150°C, 140°C, 130°C y 120°C, así se podrán analizar las propiedades de porcentaje de vacíos, estabilidad, flujo y pérdida de desgaste en seco de la mezcla y determinar el efecto de la temperatura sobre estas propiedades.

En la tabla 26 se presentan los resultados del ensayo de Rice realizado a la mezcla asfáltica semi caliente diseñada al 5.45% de cemento asfáltico y al adicionar el 0.05% de Zycotherm, el peso específico máximo por Rice resultante se empleará para el análisis de las propiedades de las briquetas resultantes al variar la temperatura de mezclado.

Tabla 26. *Peso específico Rice al 5.45% de contenido óptimo de cemento asfáltico*

Cemento asfáltico	%	5.45		
Peso muestra suelta en aire	(g)	1249.4	1250.6	1249.7
Peso muestra + agua (25°C)	(g)	1454.8	1451.9	1452.0
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(g)	2704.2	2702.5	2701.7
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta después del ensayo	(g)	3228.3	3228.8	3226.6
Volumen	(cm ³)	524.1	526.3	524.9
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.384	2.376	2.381
Peso específico Rice	(g/cm ³)	2.380		

a. Porcentaje de vacíos en mezcla asfáltica semi caliente:

En la tabla 27, se presentan los resultados del ensayo de peso específico en la mezcla asfáltica semi caliente diseñada con el 0.05% de Zycotherm y el contenido óptimo de cemento asfáltico del 5.45%, donde se registró el peso de las briquetas, volumen, peso específico y porcentaje de vacíos obtenidos al variar la temperatura de mezclado. Se elaboraron tres briquetas por cada temperatura y se empleó el peso específico máximo Rice obtenido en la tabla anterior.

Tabla 27. *Porcentajes de vacíos (%) al aplicar Zycotherm*

Aplicación de Zycotherm								
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Peso de briq. al aire (g)	Peso de briq. s.s.s. (g)	Peso de briq. saturada en agua (g)	Vol. de briq. s.s.s. (cm ³)	Peso especif. Bulk (g/cm ³)	Peso especif. máx. Rice (g/cm ³)	Vacíos (%)
01	160	1249.4	1255.1	708.1	547.0	2.284	2.380	4.03
02	160	1247.4	1255.8	710.7	545.1	2.288	2.380	3.85
03	160	1248.4	1256.4	709.3	547.1	2.282	2.380	4.12
04	150	1250.8	1255.6	708.7	546.9	2.287	2.380	3.90
05	150	1249.9	1257.7	710.3	547.4	2.283	2.380	4.06
06	150	1248.6	1257.3	711.6	545.7	2.288	2.380	3.86
07	140	1249.5	1257.7	710.8	546.9	2.285	2.380	4.00
08	140	1250.2	1256.1	709.7	546.4	2.288	2.380	3.86
09	140	1249.5	1255.9	708.5	547.4	2.283	2.380	4.09
10	130	1247.8	1257.1	710.3	546.8	2.282	2.380	4.12
11	130	1249.7	1257.4	710.0	547.4	2.283	2.380	4.08
12	130	1250.3	1257.6	710.7	546.9	2.286	2.380	3.94
13	120	1247.5	1256.2	710.3	545.9	2.285	2.380	3.98
14	120	1250.3	1257.9	710.0	547.9	2.282	2.380	4.12
15	120	1246.6	1256.3	711.0	545.3	2.286	2.380	3.95

En la figura 25, se presenta la gráfica del porcentaje de vacíos resultante, donde se obtuvo que al disminuir la temperatura de mezclado a 150°C los vacíos descienden en 1.45% en comparación de la mezcla a 160°C, y a 140°C desciende sólo en 0.36%, a 130°C los vacíos aumentan en 1.12% y a 120°C desciende sólo en 0.37%. Como se observa en la gráfica y en los resultados de variación, los porcentajes de vacíos no varían en gran medida, manteniéndose la presencia de vacíos en la mezcla asfáltica semi caliente al adicionar Zycotherm al reducir la temperatura de mezclado.

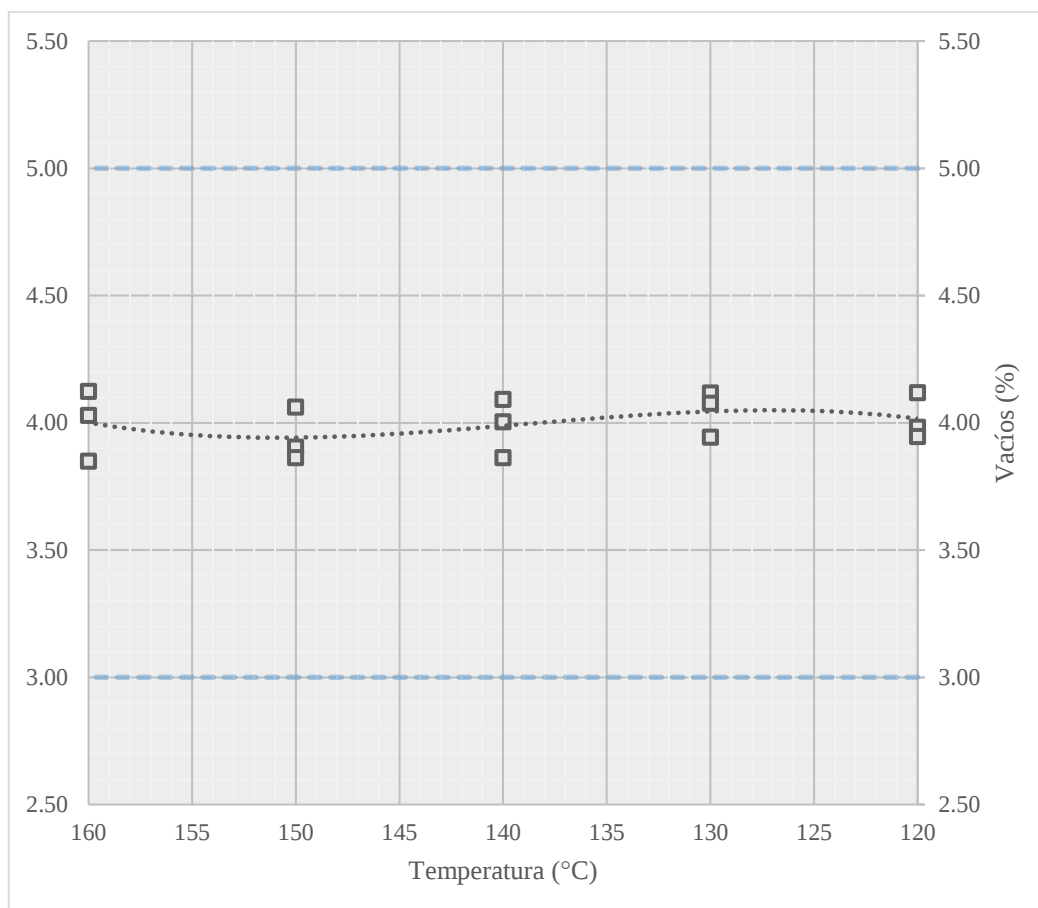


Figura 25. Porcentaje de vacíos (%) al adicionar Zycotherm

b. Resistencia y flujo de mezcla asfáltica semi caliente:

En la tabla 28, se presentan los resultados del ensayo de Marshall en la mezcla asfáltica semi caliente diseñada con el 0.05% de Zycotherm y el contenido óptimo de cemento asfáltico del 5.45%, donde se registró la estabilidad y flujo obtenidos al variar la temperatura de mezclado. Se elaboraron tres briquetas por cada temperatura.

Tabla 28. Propiedades de estabilidad (kg) y flujo (mm) al aplicar Zycotherm

Aplicación de Zycotherm					
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Estabilidad sin corregir (kg)	Factor de corrección	Estabilidad corregida (kg)	Flujo (mm)
01	160	881.7	1	881.7	2.93
02	160	892.0	1	892.0	3.02
03	160	918.2	1	918.2	3.19
04	150	934.5	1	934.5	2.66
05	150	943.3	1	943.3	2.84
06	150	921.6	1	921.6	2.73
07	140	882.1	1	882.1	2.87
08	140	902.8	1	902.8	3.04
09	140	911.7	1	911.7	3.12
10	130	866.8	1	866.8	3.28
11	130	881.4	1	881.4	3.14
12	130	887.3	1	887.3	3.01
13	120	886.9	1	886.9	3.18
14	120	895.8	1	895.8	3.14
15	120	870.8	1	870.8	3.40

En la figura 26, se presenta la gráfica de estabilidad resultante, donde se obtuvo que al disminuir la temperatura de mezclado a 150°C la estabilidad aumenta en 3.80% en comparación de la mezcla a 160°C, y a 140°C aumenta sólo en 0.17%, pero tras continuar disminuyendo la temperatura de mezclado la estabilidad comienza a descender, a 130°C la estabilidad descende en 2.07% y a 120°C la estabilidad descende en 1.41%.

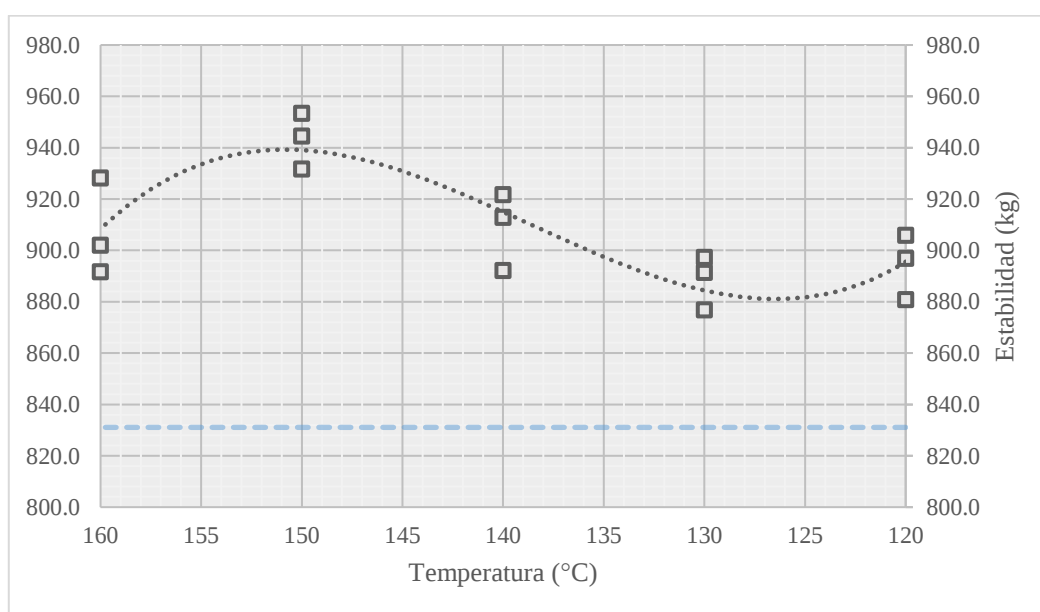


Figura 26. Estabilidad (kg) al adicionar Zycotherm

En la figura 27, se presenta la gráfica de flujo resultante, donde se obtuvo que al disminuir la temperatura de mezclado a 150°C el flujo descende en 9.96% en comparación de la mezcla a 160°C, y a 140°C descende en 1.20%, pero tras continuar disminuyendo la temperatura de mezclado el flujo comienza a aumentar, a 130°C el flujo aumenta en 3.17% y a 120°C el flujo aumenta en 6.35%.

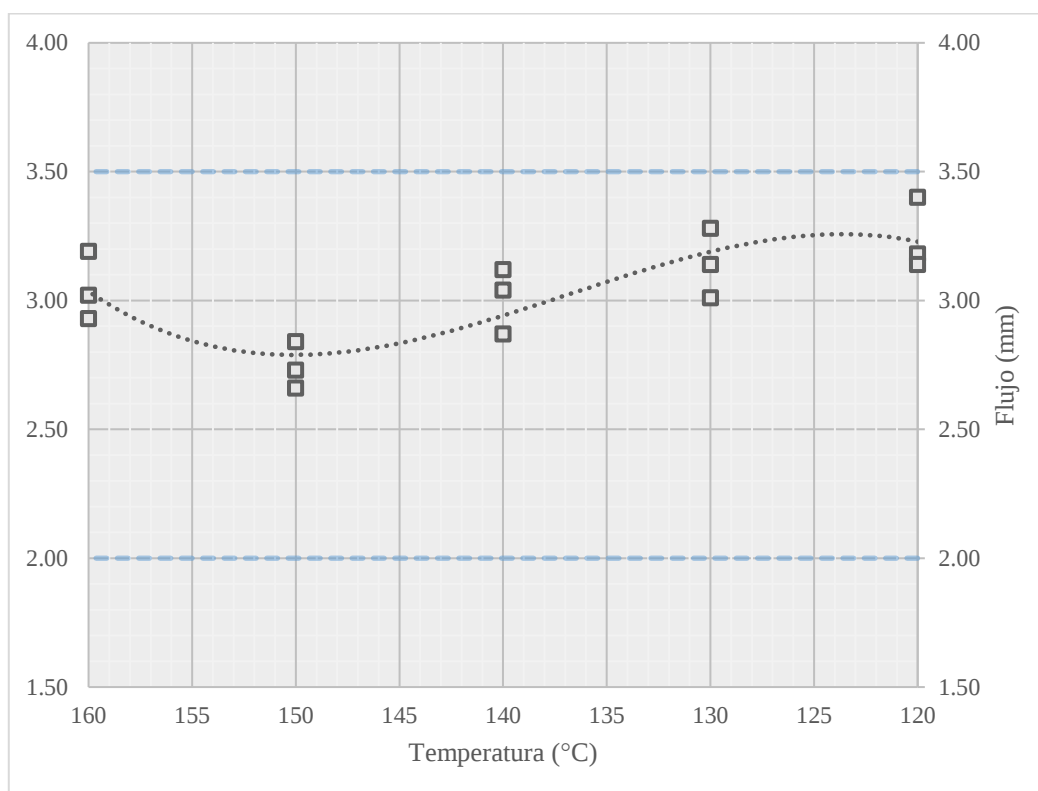


Figura 27. Flujo (mm) al adicionar Zycotherm

c. Resistencia al desgaste en seco de la mezcla asfáltica semi caliente:

En la tabla 29, se presentan los resultados del ensayo de Cántabro en la mezcla asfáltica semi caliente diseñada con el 0.05% de Zycotherm y el contenido óptimo de cemento asfáltico del 5.45%, donde se registró el porcentaje de pérdida por desgaste en seco obtenido al variar la temperatura de mezclado. Se elaboraron tres briquetas por cada temperatura.

Tabla 29. Propiedad de pérdida por desgaste en seco (%) al aplicar Zycotherm

Aplicación de Zycotherm				
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Peso seco inicial de briq. (g)	Peso seco final de briq. (g)	Pérdida por desgaste en seco (%)
76	160	1248.3	846.6	32.18
77	160	1247.1	837.1	32.88
78	160	1250.3	869.0	30.50

79	150	1249.4	841.7	32.63
80	150	1250.0	865.1	30.79
81	150	1247.0	856.4	31.32
82	140	1247.1	866.1	30.55
83	140	1248.7	887.9	28.89
84	140	1250.1	859.6	31.24
85	130	1249.3	908.9	27.25
86	130	1247.5	940.5	24.61
87	130	1250.4	923.0	26.18
88	120	1247.4	925.7	25.79
89	120	1248.6	914.2	26.78
90	120	1247.6	939.7	24.68

En la figura 28, se presenta la gráfica de pérdida por desgaste en seco resultante, donde se obtuvo que al disminuir la temperatura de mezclado a 150°C la pérdida por desgaste desciende sólo en 0.84% en comparación de la mezcla a 160°C, y a 140°C desciende en 5.10%, a 130°C la pérdida por desgaste desciende en 18.33% y a 120°C la pérdida por desgaste desciende en 19.15%.

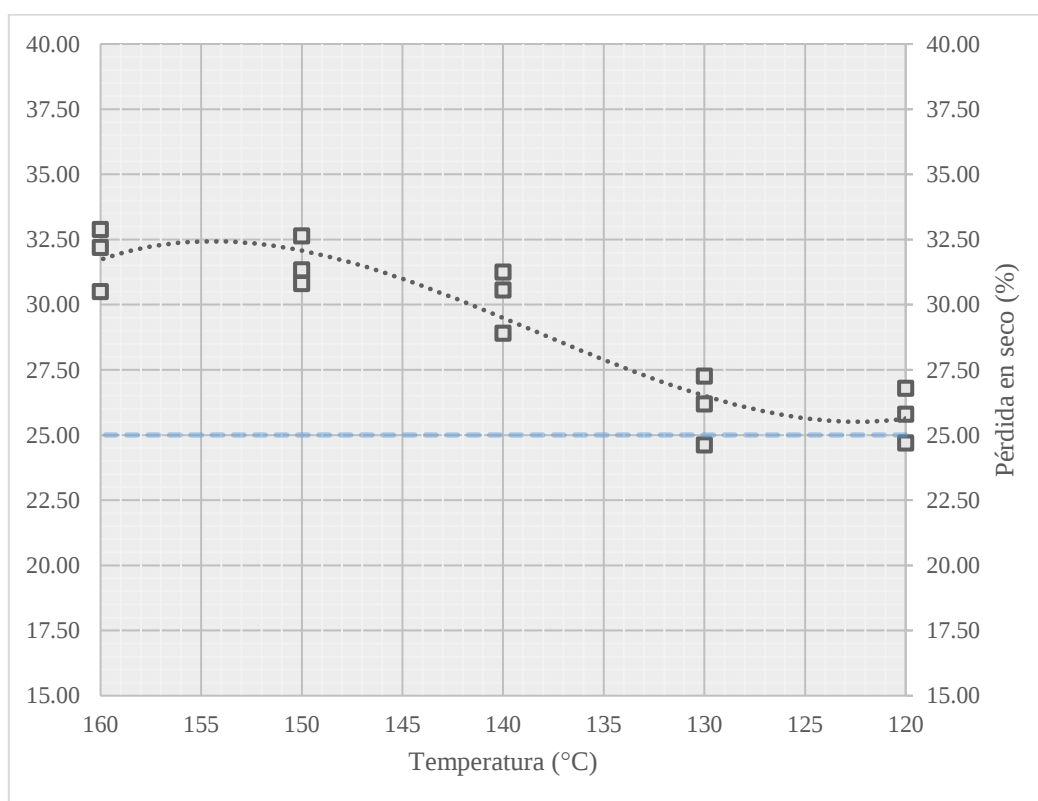


Figura 28. Pérdida por desgaste en seco (%) al adicionar Zycotherm

4.4. Presentación de resultados

4.4.1. Mezcla asfáltica reciclada

Se procederá con determinar el porcentaje de asfalto en la mezcla para pavimentos mediante lavado asfáltico y el análisis granulométrico de agregados extraídos de la mezcla, y así obtener el material reciclado de un pavimento.

4.4.1.1. Porcentaje de asfalto del material reciclado

Es importante determinar el porcentaje de asfalto en el material recuperado (RAP) y así calcular cuánto de asfalto debe agregarse para un óptimo desempeño de cemento asfáltico. Además, se tendrá en cuenta que porcentaje de asfalto se rediseñará según la mezcla asfáltica semi caliente a diseñar.



Figura 29. Proceso de extracción de material reciclado, según la norma MTC E 502

En la figura 30, se presenta el proceso de extracción de material reciclado mediante el empleo de la máquina separadora de materiales con 3600 rpm, con la cual se logra obtener agregado en un recipiente y el cemento asfáltico extraído en otro. Tras ello, se procede con colocar en una máquina de centrifugado las muestras de las cuales se obtendrá el material fino para proceder con el ensayo de granulometría, como se observa en la figura 31.



Figura 30. Máquina de centrifugado, según la norma MTC E 502

El contenido de cemento asfáltico recuperado del subtramo 4 del tramo Perené, Pichanaqui, se determinó mediante tres muestras ensayadas. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 28.

Tabla 30. Ensayo de lavado asfáltico

Ensayo de lavado asfáltico - MTC E 502				
Peso inicial (g)	Peso lavado (g)	Peso en filtro (g)	Peso de residuo (g)	Residuo asfáltico (%)
1000	950.65	1.05	50.40	5.04%
1000	951.08	1.01	49.93	4.99%
1000	950.83	1.07	50.24	5.02%
Residuo asfáltico de material reciclado (%)				5.02%

4.4.1.2. Análisis granulométrico del material reciclado

Con el análisis granulométrico del material reciclado, se obtendrá su curva granulométrica con la que se analizarán las condiciones y estados de los agregados del material reciclado, con esta información se podrán verificar los márgenes de material, para ello se comprobarán que se cumplan los parámetros de la norma MTC E 503.

Con base al (MTC, 2016), según la norma MTC E 503, tras realizar el lavado asfáltico del material reciclado se procedió con realizar el análisis granulométrico para

verificar la curva resultante, en la que se emplea la gradación MAC 01, ya que, para esta gradación se cumplen las normativas y parámetros establecidos según la norma para el tramo en estudio.



Figura 31. Ensayo de granulometría de material reciclado, según la norma MTC E 503

En la figura 31, se presenta el procedimiento realizado para el ensayo de análisis granulométrico del material reciclado, con estos resultados se analizará la curva granulométrica resultante para corroborar las proporciones que presenta respecto al diseño MAC 01.

En la tabla 31, se presentan los resultados del ensayo de granulometría, observando que aproximadamente el cincuenta por ciento del material es pasante de la malla #4 y el ochenta por ciento es pasante de la malla 1/2".

Tabla 31. Análisis granulométrico de material reciclado

Análisis granulométrico - Material reciclado (MTC 503)					
Tamiz	Abertura	Peso en gr.	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasante
	mm				
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	196.4	19.64	19.64	80.36
3/8"	9.525	113.1	11.31	30.95	69.05
#4	4.763	167.1	16.71	47.66	52.34
#8	2.381	62.2	6.22	53.88	46.12
#10	1.905	56.4	5.64	59.52	40.48
#16	1.191	58.0	5.80	65.32	34.68

#30	0.595	61.0	6.10	71.42	28.58
#40	0.423	55.9	5.59	77.01	22.99
#50	0.298	33.7	3.37	80.38	19.62
#80	0.179	53.6	5.36	85.74	14.26
#100	0.149	46.3	4.63	90.37	9.63
#200	0.074	37.4	3.74	94.11	5.89
<#200	0.010	58.9	5.89	100.00	0.00
Total		1000.0	gr		

En la tabla 32, se presenta los límites de la gradación MAC 01 junto con el porcentaje de pasantes obtenidos, para verificar que se cumpla con una gradación MAC 01.

Tabla 32. Material reciclado (% pasante) ante Gradación MAC 01

Tamiz	Abertura mm	MAC 01		% Pasante de Material reciclado
		Lím. Inferior	Lím. Superior	
		%	%	
1"	25.400	100	100	100.00
3/4"	19.050	80	100	100.00
1/2"	12.700	67	85	80.36
3/8"	9.525	60	77	69.05
#4	4.763	43	54	52.34
#8	2.381	-	-	46.12
#10	1.905	29	45	40.48
#16	1.191	-	-	34.68
#30	0.595	-	-	28.58
#40	0.423	14	25	22.99
#50	0.298	-	-	19.62
#80	0.179	8	17	14.26
#100	0.149	-	-	9.63
#200	0.074	4	8	5.89
<#200	0.010	-	-	0.00

En la figura 32, se presenta la curva granulométrica del material reciclado, observándose los límites inferior y superior de la gradación MAC 01. Con estas curvas resultantes, se corrobora que el material reciclado se encuentra dentro de los límites del diseño MAC 01, pegada a la curva del límite superior lo que indica un alto porcentaje de gruesos y finos en la mezcla reciclada.

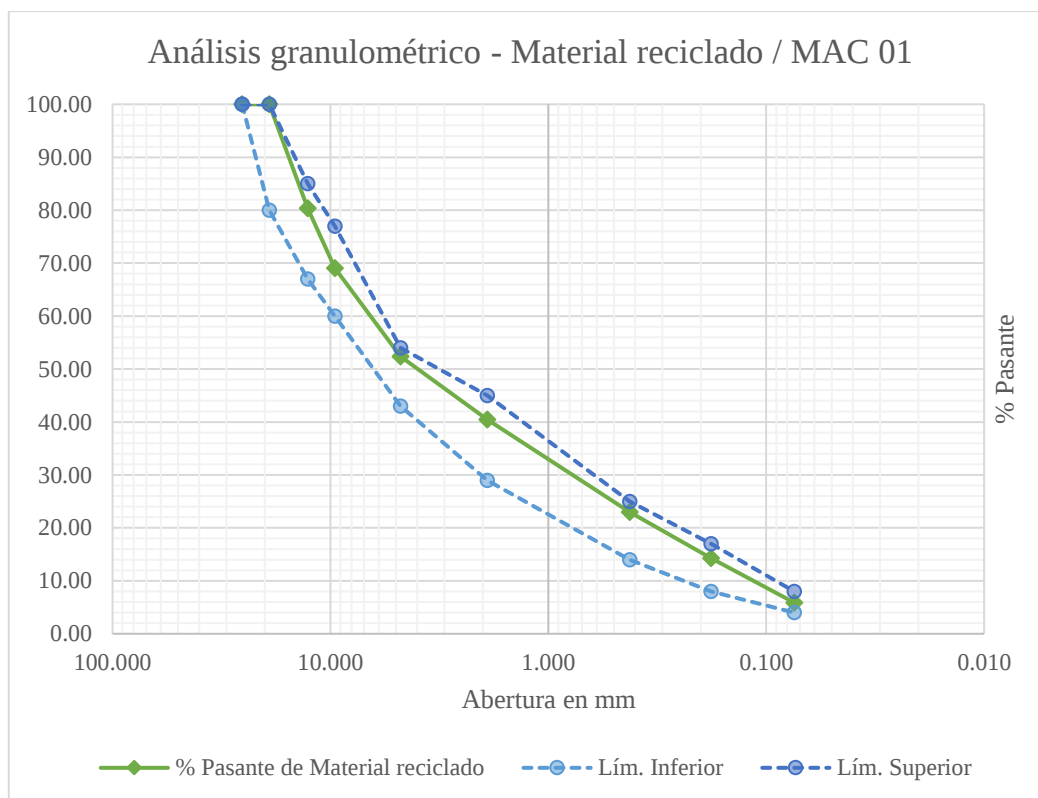


Figura 32. Curva de análisis granulométrico - Material reciclado / gradación MAC 01

4.4.2. Mezcla asfáltica modificada al incorporar material reciclado

Para el diseño de la mezcla asfáltica modificada (adicionando el 0.05% de Zycotherm), se incorporará el material reciclado (RAP) obtenido del subtramo 4 de tramo Perené – Pichanaqui. Para ello, se optó por emplear el 10%, 20%, 30% y 40% de RAP en la mezcla asfáltica semi caliente modificada variando la temperatura de mezclado en 160°C, 150°C, 140°C, 130°C y 120°C. Y así poder encontrar el óptimo porcentaje de RAP y la temperatura de mezclado óptima para la mezcla asfáltica semi caliente.

4.4.2.1. Resistencia de la mezcla asfáltica semi caliente al incorporar material reciclado (OE 1)

a. Briquetas con el 10% de material reciclado:

En la tabla 33, se presentan los resultados de estabilidad obtenidas mediante el ensayo de Marshall en las briquetas resultantes al emplear 10% de material reciclado en la mezcla (10% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 33. Estabilidad de briquetas con el 10% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 10% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Estabilidad (kg) al 10% RAP
16	160	906.7
17	160	918.5
18	160	897.0
19	150	928.1
20	150	942.9
21	150	922.3
22	140	899.8
23	140	915.6
24	140	884.3
25	130	856.0
26	130	868.1
27	130	873.4
28	120	848.8
29	120	831.5
30	120	860.0

En la figura 33 se presenta la curva resultante de la estabilidad al emplear el 10% de material reciclado (10% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C la estabilidad es de 918.5 kg, además, se da un pico a 150°C en el que la estabilidad aumenta a 942.9 kg, y a menores temperaturas la estabilidad descende, llegando a una estabilidad baja de 831.5 kg a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados cumplen con ser mayores al límite inferior establecido por la norma de 831.07 kg.

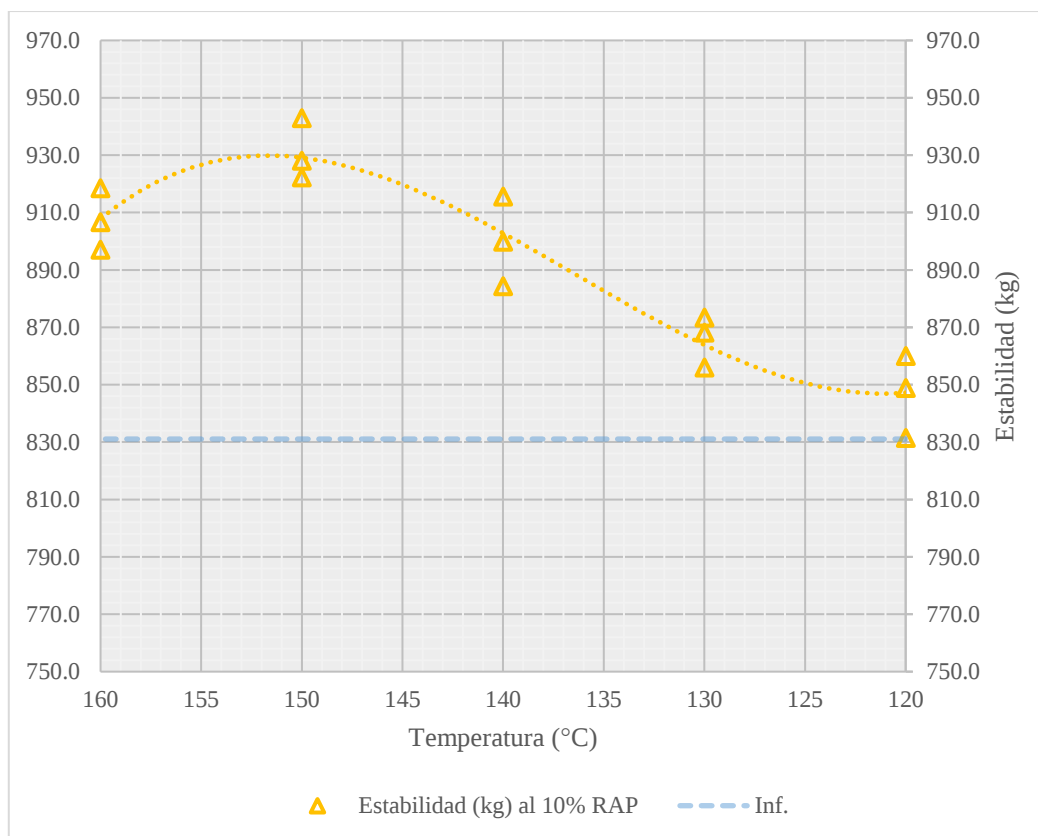


Figura 33. Estabilidad (kg) al 10% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

b. Briquetas con el 20% de material reciclado:

En la tabla 34, se presentan los resultados de estabilidad obtenidas mediante el ensayo de Marshall en las briquetas resultantes al emplear 20% de material reciclado en la mezcla (20% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 34. Estabilidad de briquetas con el 20% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 20% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Estabilidad (kg) al 20% RAP
31	160	881.3
32	160	905.0
33	160	877.4
34	150	894.0
35	150	878.4
36	150	905.2
37	140	880.7
38	140	854.6
39	140	858.8
40	130	812.0
41	130	827.2

42	130	836.8
43	120	821.9
44	120	817.8
45	120	798.6

En la figura 34, se presenta la curva resultante de la estabilidad al emplear el 20% de material reciclado (20% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C la estabilidad es de 905.0 kg, a 150°C no varía presentando una estabilidad de 905.2 kg, y a menores temperaturas la estabilidad descende, llegando a una estabilidad baja de 798.6 kg a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados dentro del rango de 160°C a 131°C cumplen con ser mayores al límite inferior establecido por la norma de 831.07 kg.

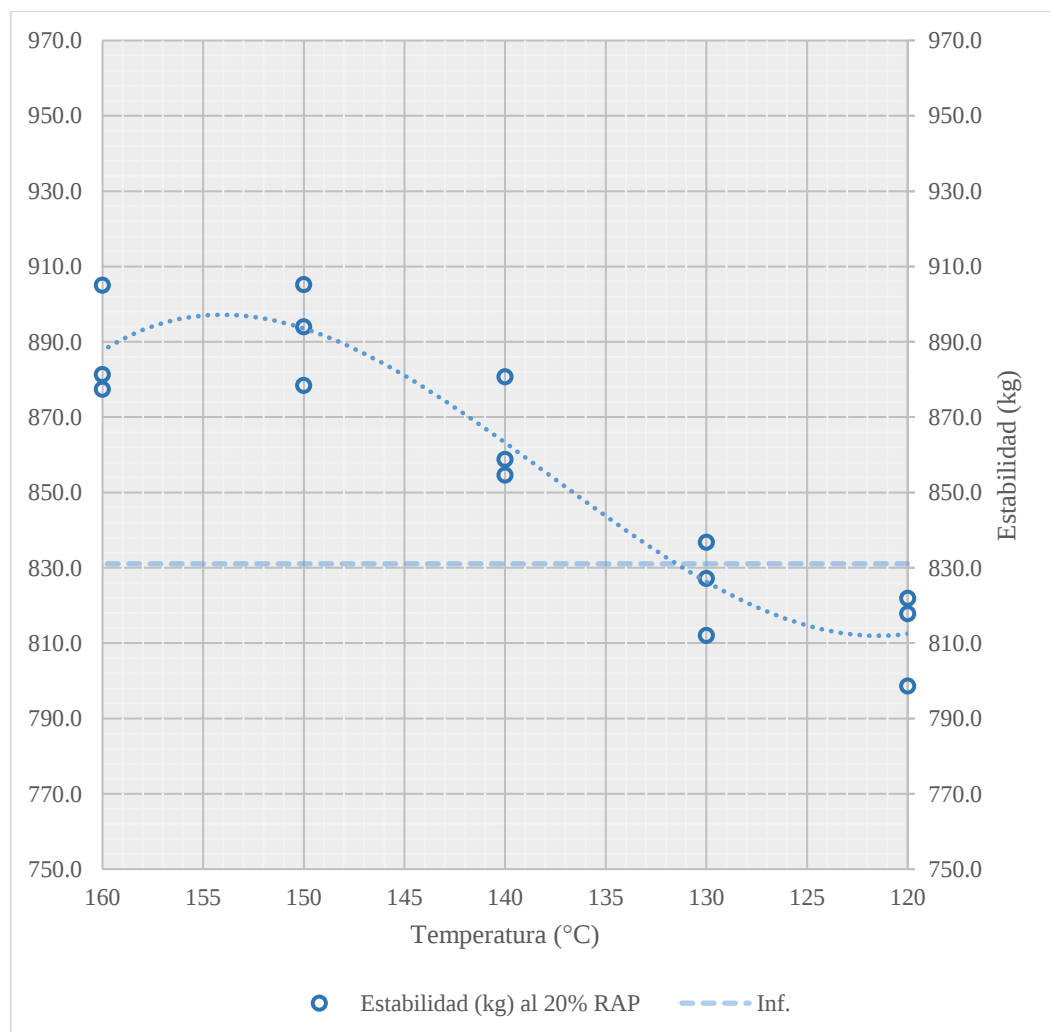


Figura 34. Estabilidad (kg) al 20% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

c. Briquetas con el 30% de material reciclado:

En la tabla 35, se presentan los resultados de estabilidad obtenidas mediante el ensayo de Marshall en las briquetas resultantes al emplear 30% de material reciclado en la mezcla (30% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 35. Estabilidad de briquetas con el 30% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 30% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Estabilidad (kg) al 30% RAP
46	160	869.0
47	160	892.9
48	160	883.3
49	150	882.9
50	150	894.5
51	150	865.9
52	140	853.6
53	140	845.6
54	140	870.4
55	130	843.5
56	130	837.2
57	130	833.6
58	120	784.5
59	120	803.0
60	120	809.5

En la figura 35, se presenta la curva resultante de la estabilidad al emplear el 30% de material reciclado (30% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C la estabilidad es de 892.9 kg, a 150°C no varía en gran medida, presentando una estabilidad de 894.5 kg, y a menores temperaturas la estabilidad descende, llegando a una estabilidad baja de 784.5 kg a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados dentro del rango de 160°C a 129°C cumplen con ser mayores al límite inferior establecido por la norma de 831.07 kg.

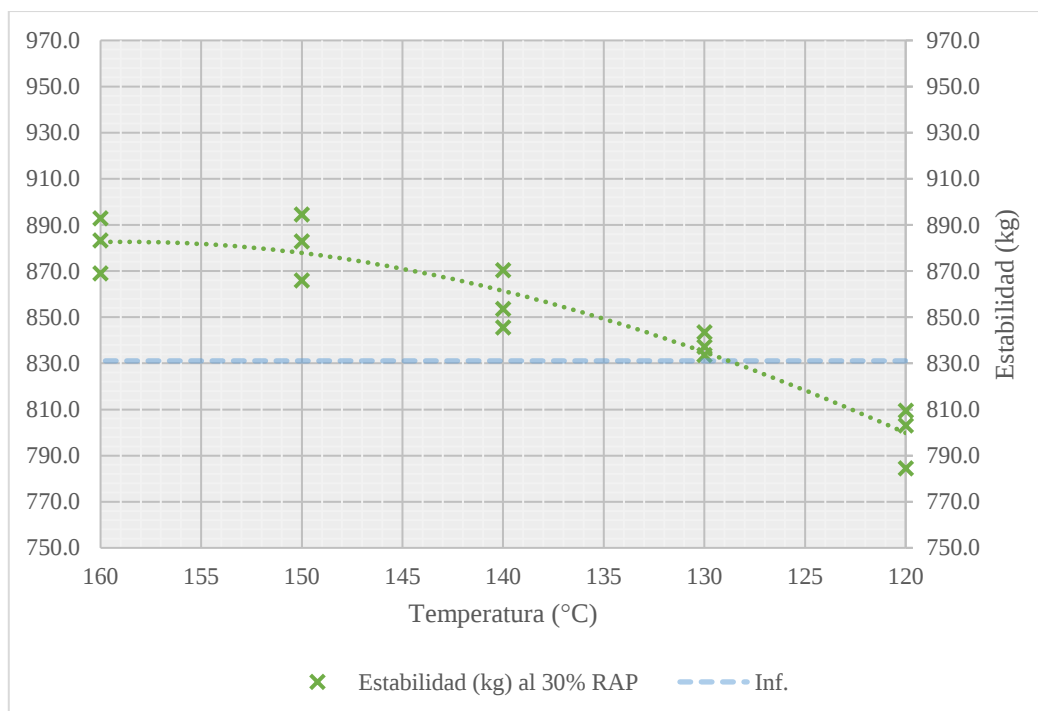


Figura 35. Estabilidad (kg) al 30% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

d. Briquetas con el 40% de material reciclado:

En la tabla 36, se presentan los resultados de estabilidad obtenidas mediante el ensayo de Marshall en las briquetas resultantes al emplear 40% de material reciclado en la mezcla (40% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 36. Estabilidad de briquetas con el 40% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 40% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Estabilidad (kg) al 40% RAP
61	160	889.4
62	160	870.6
63	160	861.4
64	150	847.7
65	150	868.8
66	150	873.7
67	140	825.3
68	140	807.6
69	140	798.6
70	130	789.8
71	130	806.0
72	130	779.2
73	120	759.0
74	120	781.5
75	120	778.2

En la figura 36, se presenta la curva resultante de la estabilidad al emplear el 40% de material reciclado (40% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C la estabilidad es de 889.4 kg, a 150°C desciende llegando a una estabilidad de 873.7 kg, y a menores temperaturas la estabilidad continua descendiendo, llegando a una estabilidad baja de 759.0 kg a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados dentro del rango de 160°C a 143°C cumplen con ser mayores al límite inferior establecido por la norma de 831.07 kg.

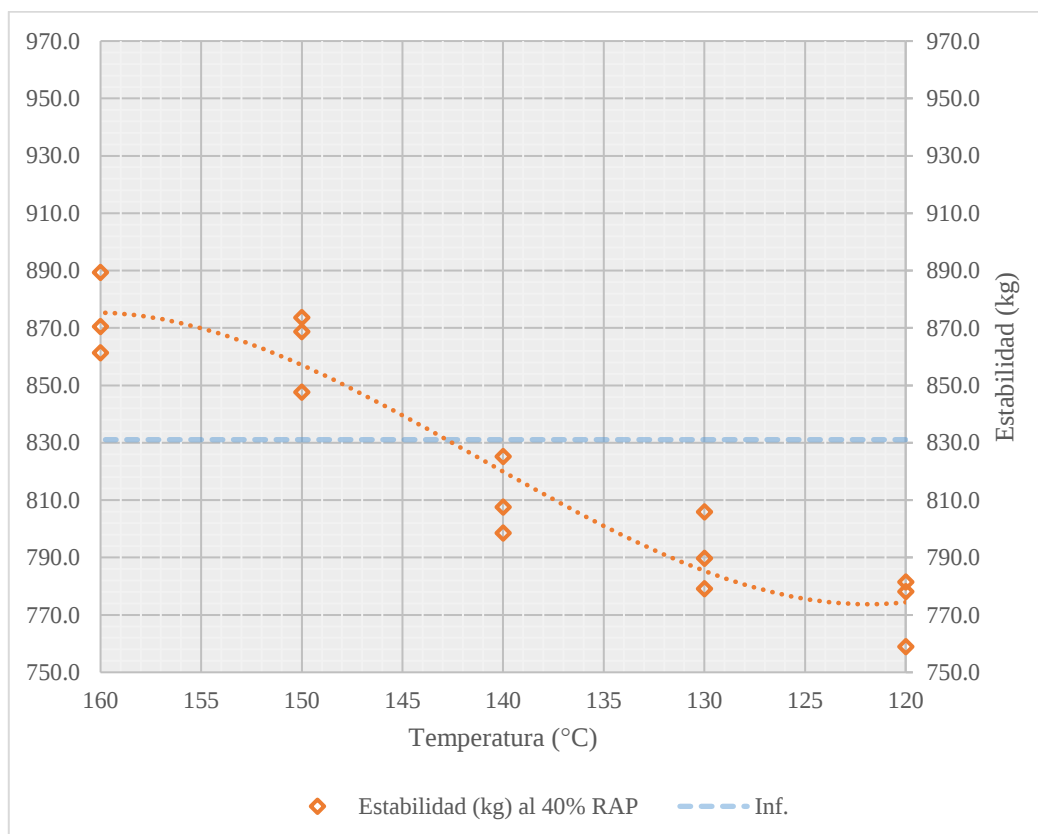


Figura 36. Estabilidad (kg) al 40% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

En la figura 37, se presentan las curvas resultantes de la estabilidad obtenida por Marshall al incorporar el 10%, 20%, 30% y 40% de material reciclado (RAP) a la mezcla semi caliente modificada, en comparación de la estabilidad de la mezcla al no incorporar material reciclado (0% RAP).

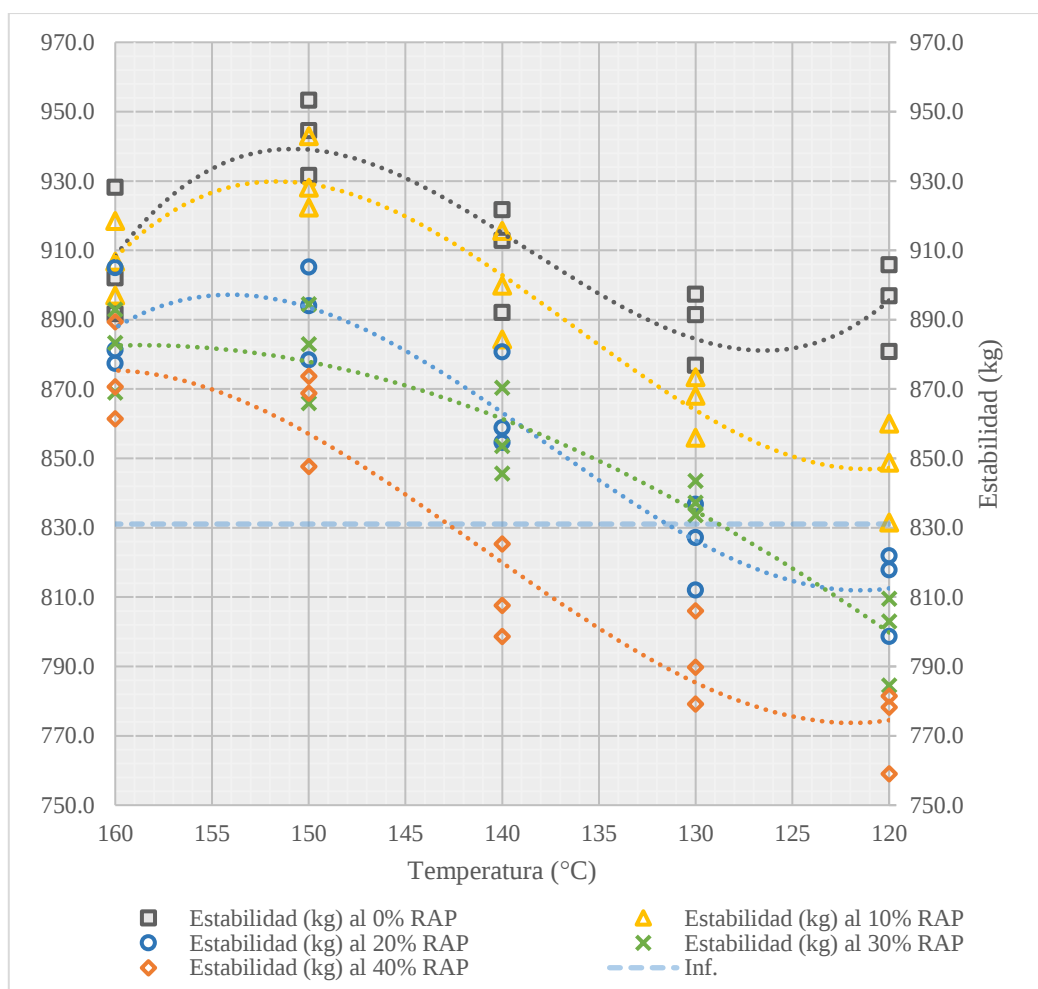


Figura 37. Gráfica resumen de estabilidad (kg) al incorporar RAP ante la variación de Temperatura (°C)

En la gráfica de la figura 37, se observa que a mayor porcentaje de material reciclado (RAP) incorporado a la mezcla asfáltica semi caliente la estabilidad es más baja, manteniéndose por encima del límite inferior sólo para determinados rangos de temperatura, para el 10% de RAP cumple para los 160°C a 120°C, para el 20% de RAP cumple para los 160°C a 131°C, para el 30% de RAP cumple para los 160°C a 129°C y para el 40% de RAP cumple para los 160°C a 143°C.

4.4.2.2. Flujo de la mezcla asfáltica semi caliente al incorporar material reciclado (OE 2)

a. Briquetas con el 10% de material reciclado:

En la tabla 35, se presentan los resultados de flujo obtenido mediante el ensayo de Marshall en las briquetas resultantes al emplear 10% de material reciclado en la mezcla (10% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 37. Flujo de briquetas con el 10% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 10% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Flujo (mm) al 10% RAP
16	160	3.43
17	160	3.49
18	160	3.29
19	150	3.09
20	150	2.95
21	150	3.17
22	140	3.23
23	140	3.01
24	140	3.13
25	130	3.11
26	130	3.35
27	130	3.26
28	120	3.30
29	120	3.35
30	120	3.10

En la figura 38, se presenta la curva resultante del flujo al emplear el 10% de material reciclado (10% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C el flujo es de 3.49 mm, a 150°C el flujo desciende a 2.95 mm, y a menores temperaturas el flujo aumenta, llegando a un flujo de 3.35 mm a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados se dan dentro de los límites establecidos por la norma de 2 mm a 3.50 mm.

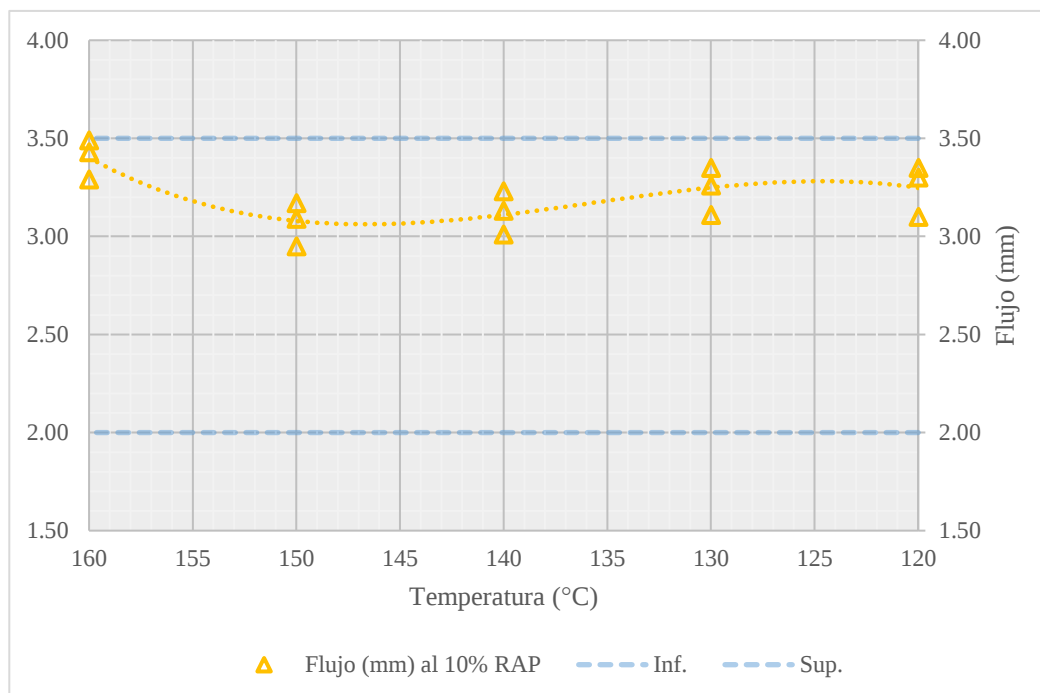


Figura 38. Flujo (mm) al 10% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

b. Briquetas con el 20% de material reciclado:

En la tabla 38, se presentan los resultados de flujo obtenido mediante el ensayo de Marshall en las briquetas resultantes al emplear 20% de material reciclado en la mezcla (20% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 38. Flujo de briquetas con el 20% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 20% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Flujo (mm) al 20% RAP
31	160	3.47
32	160	3.60
33	160	3.33
34	150	3.11
35	150	3.36
36	150	3.32
37	140	3.02
38	140	3.30
39	140	3.15
40	130	3.53
41	130	3.37
42	130	3.26
43	120	3.54
44	120	3.61
45	120	3.40

En la figura 39, se presenta la curva resultante del flujo al emplear el 20% de material reciclado (20% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C el flujo es de 3.60 mm, a 150°C el flujo desciende a 3.11 mm, a 140°C el flujo desciende a 3.02 mm, y a menores temperaturas el flujo aumenta, llegando a un flujo de 3.61 mm a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados dentro del rango de 160°C a 121.5°C se dan dentro de los límites establecidos por la norma de 2 mm a 3.50 mm.

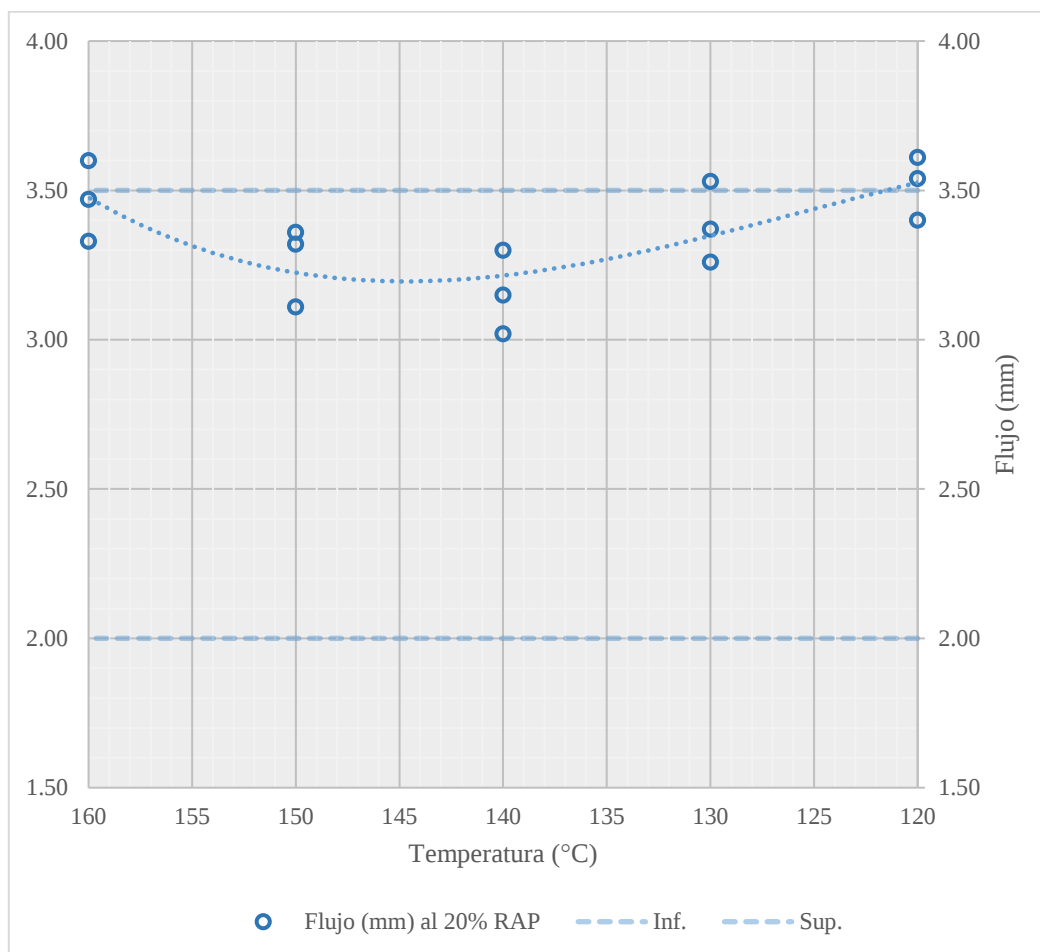


Figura 39. Flujo (mm) al 20% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

c. Briquetas con el 30% de material reciclado:

En la tabla 39, se presentan los resultados de flujo obtenido mediante el ensayo de Marshall en las briquetas resultantes al emplear 30% de material reciclado en la mezcla (30% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 39. Flujo de briquetas con el 30% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 30% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Flujo (mm) al 30% RAP
46	160	3.74
47	160	3.61
48	160	3.45
49	150	3.56
50	150	3.43
51	150	3.34
52	140	3.43
53	140	3.26
54	140	3.47
55	130	3.41
56	130	3.25
57	130	3.48
58	120	3.72
59	120	3.66
60	120	3.49

En la figura 40, se presenta la curva resultante del flujo al emplear el 30% de material reciclado (30% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C el flujo es de 3.74 mm, a 150°C el flujo desciende a 3.34 mm, a 140°C el flujo desciende a 3.26 mm, y a menores temperaturas el flujo aumenta, llegando a un flujo de 3.72 mm a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados dentro del rango de 153°C a 124°C se dan dentro de los límites establecidos por la norma de 2 mm a 3.50 mm.

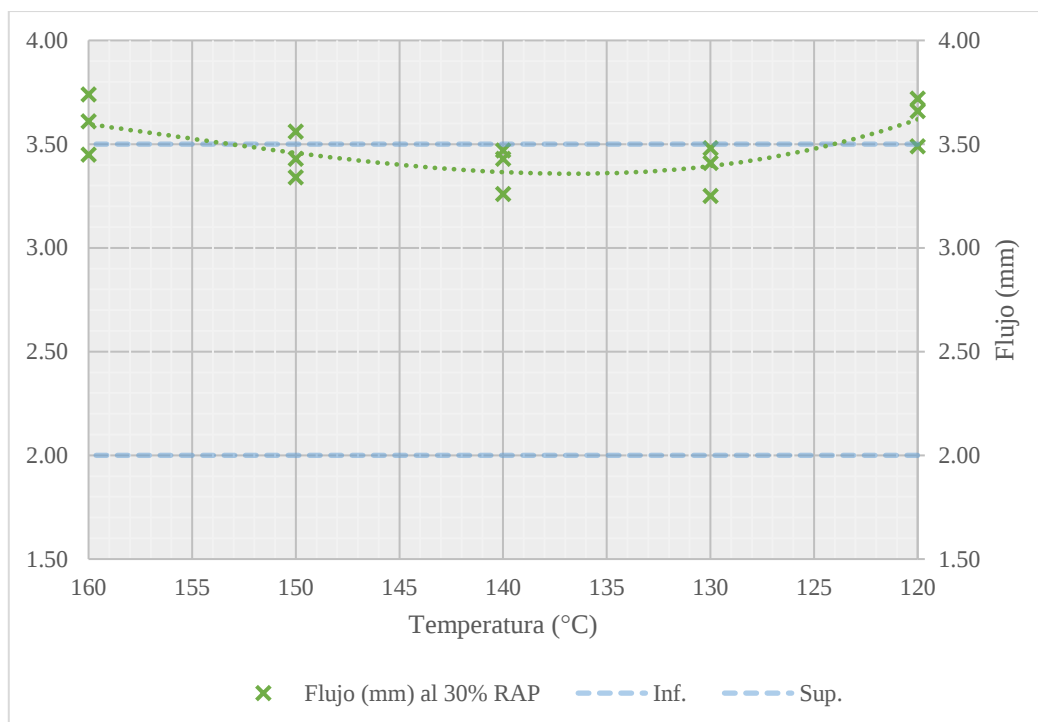


Figura 40. Flujo (mm) al 30% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

d. Briquetas con el 40% de material reciclado:

En la tabla 40, se presentan los resultados de flujo obtenido mediante el ensayo de Marshall en las briquetas resultantes al emplear 40% de material reciclado en la mezcla (40% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 40. Flujo de briquetas con el 40% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 40% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Flujo (mm) al 40% RAP
61	160	3.57
62	160	3.74
63	160	3.77
64	150	3.67
65	150	3.84
66	150	3.63
67	140	3.44
68	140	3.30
69	140	3.16
70	130	3.73
71	130	3.50
72	130	3.66
73	120	3.60
74	120	3.87
75	120	3.71

En la figura 41, se presenta la curva resultante del flujo al emplear el 40% de material reciclado (40% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C el flujo es de 3.77 mm, a 150°C el flujo aumenta a 3.84 mm, a 140°C el flujo desciende a 3.16 mm, y a menores temperaturas el flujo aumenta, llegando a un flujo de 3.87 mm a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que sólo los resultados dentro del rango de 142°C a 131°C se dan dentro de los límites establecidos por la norma de 2 mm a 3.50 mm.

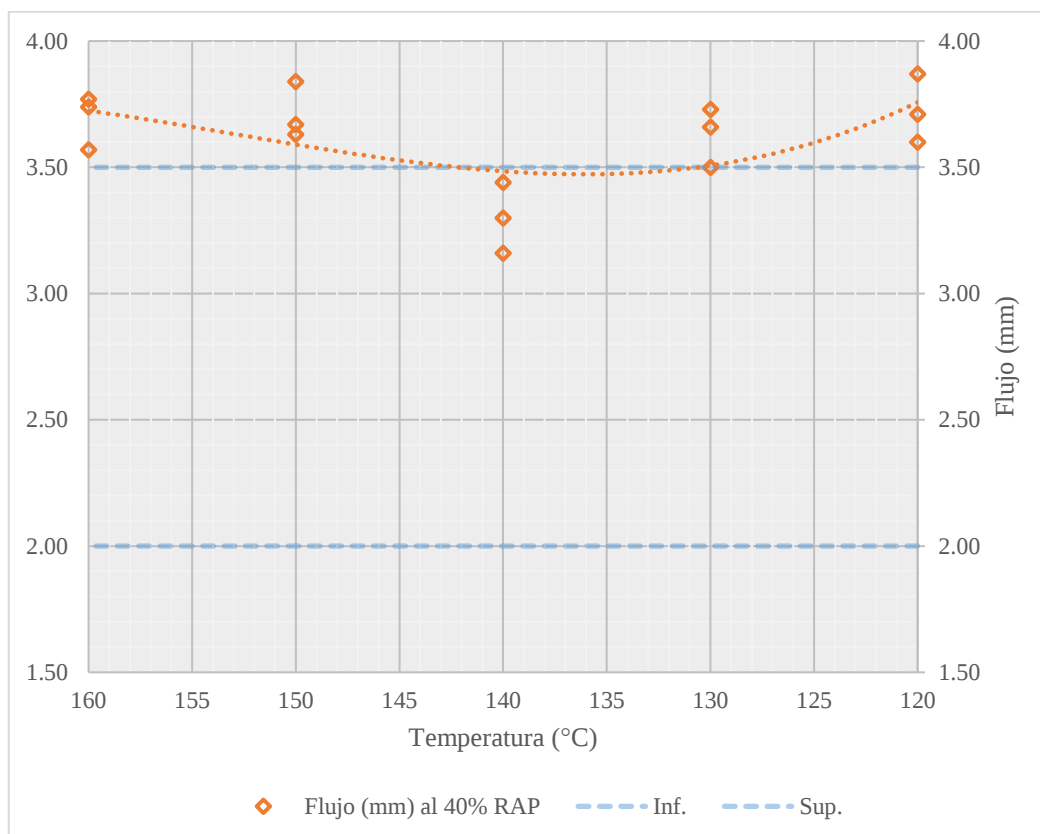


Figura 41. Flujo (mm) al 40% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

En la figura 42, se presentan las curvas resultantes del flujo obtenido por Marshall al incorporar el 10%, 20%, 30% y 40% de material reciclado (RAP) a la mezcla semi caliente modificada, en comparación del flujo de la mezcla al no incorporar material reciclado (0% RAP).

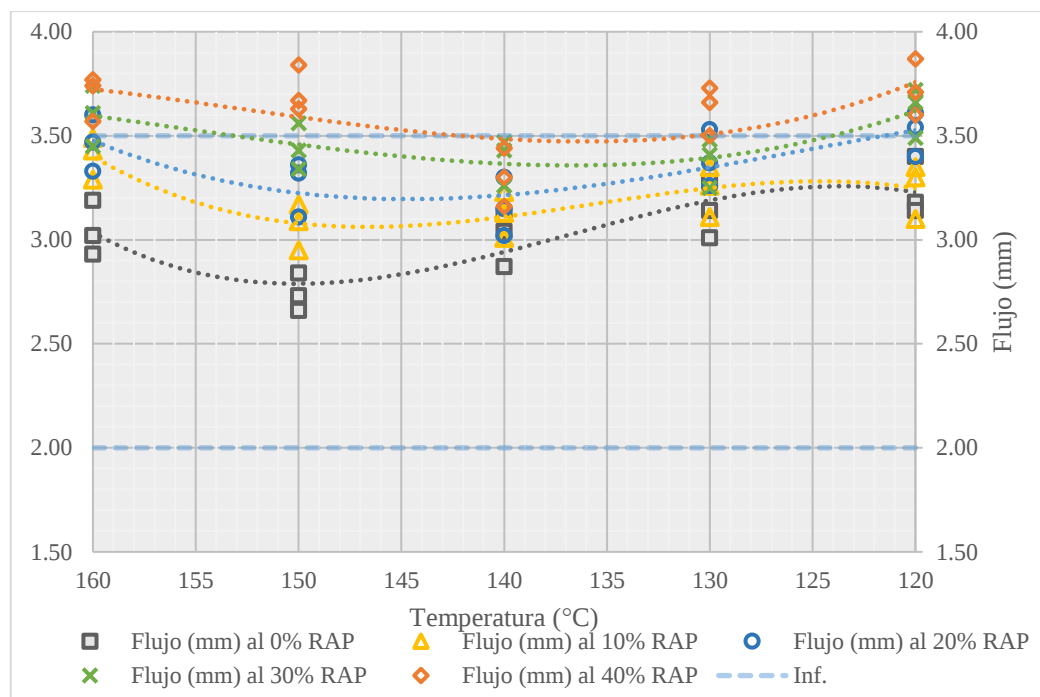


Figura 42. Gráfica resumen de flujo (mm) al incorporar RAP ante la variación de Temperatura (°C)

En la gráfica de la figura 42, se observa que a mayor porcentaje de material reciclado (RAP) incorporado a la mezcla asfáltica semi caliente el flujo es más alto, manteniéndose por debajo del límite superior sólo para determinados rangos de temperatura, para el 10% de RAP cumple para los 160°C a 120°C, para el 20% de RAP cumple para los 160°C a 121.5°C, para el 30% de RAP cumple para los 153°C a 124°C y para el 40% de RAP cumple para los 142°C a 131°C.

4.4.2.3. Resistencia al desgaste en seco de la mezcla asfáltica semicaliente al incorporar material reciclado (OE 3)

a. Briquetas con el 10% de material reciclado:

En la tabla 41, se presentan los resultados de pérdida por desgaste en seco obtenidas mediante el ensayo de Cántabro en seco en las briquetas resultantes al emplear 10% de material reciclado en la mezcla (10% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 41. Pérdida por desgaste en seco de briquetas con el 10% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 10% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Pérdida por desgaste en seco (%) al 10% RAP
91	160	31.68
92	160	30.16
93	160	31.08
94	150	31.03
95	150	32.01
96	150	32.29
97	140	28.57
98	140	29.99
99	140	29.10
100	130	26.50
101	130	28.16
102	130	27.49
103	120	25.63
104	120	26.75
105	120	26.22

En la figura 43, se presenta la curva resultante de la pérdida por desgaste en seco al emplear el 10% de material reciclado (10% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C la pérdida por desgaste en seco es de 31.68%, además, se da un pico a 150°C en el que la pérdida por desgaste en seco aumenta a 32.29%, y a menores temperaturas la pérdida por desgaste en seco descende, llegando a una pérdida por desgaste en seco baja de 25.63% a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados no cumplen con ser menores al límite superior establecido por la norma de 25%.

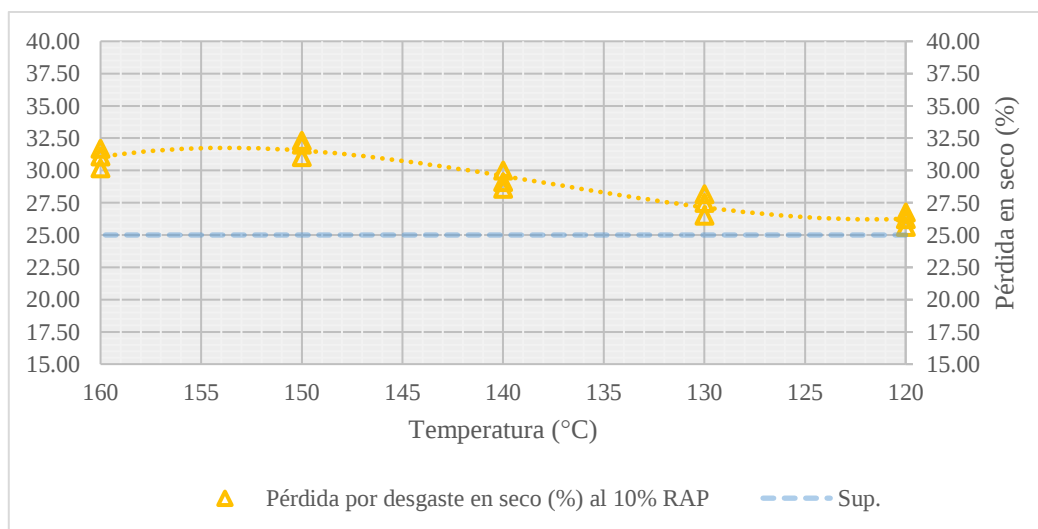


Figura 43. Pérdida por desgaste en seco (%) al 10% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

b. Briquetas con el 20% de material reciclado:

En la tabla 42, se presentan los resultados de pérdida por desgaste en seco obtenidas mediante el ensayo de Cántabro en seco en las briquetas resultantes al emplear 20% de material reciclado en la mezcla (20% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 42. Pérdida por desgaste en seco de briquetas con el 20% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 20% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Pérdida por desgaste en seco (%) al 20% RAP
106	160	29.37
107	160	30.15
108	160	31.44
109	150	30.82
110	150	31.49
111	150	32.35
112	140	27.48
113	140	28.64
114	140	29.05
115	130	25.32
116	130	26.37
117	130	24.66
118	120	22.83
119	120	24.04
120	120	24.65

En la figura 44, se presenta la curva resultante de la pérdida por desgaste en seco al emplear el 20% de material reciclado (20% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C la pérdida por desgaste en seco es de 31.44%, además, se da un pico a 150°C en el que la pérdida por desgaste en seco aumenta a 32.35%, y a menores temperaturas la pérdida por desgaste en seco descende, llegando a una pérdida por desgaste en seco baja de 22.83% a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados dentro del rango de 129°C a 120°C cumplen con ser menores al límite superior establecido por la norma de 25%.

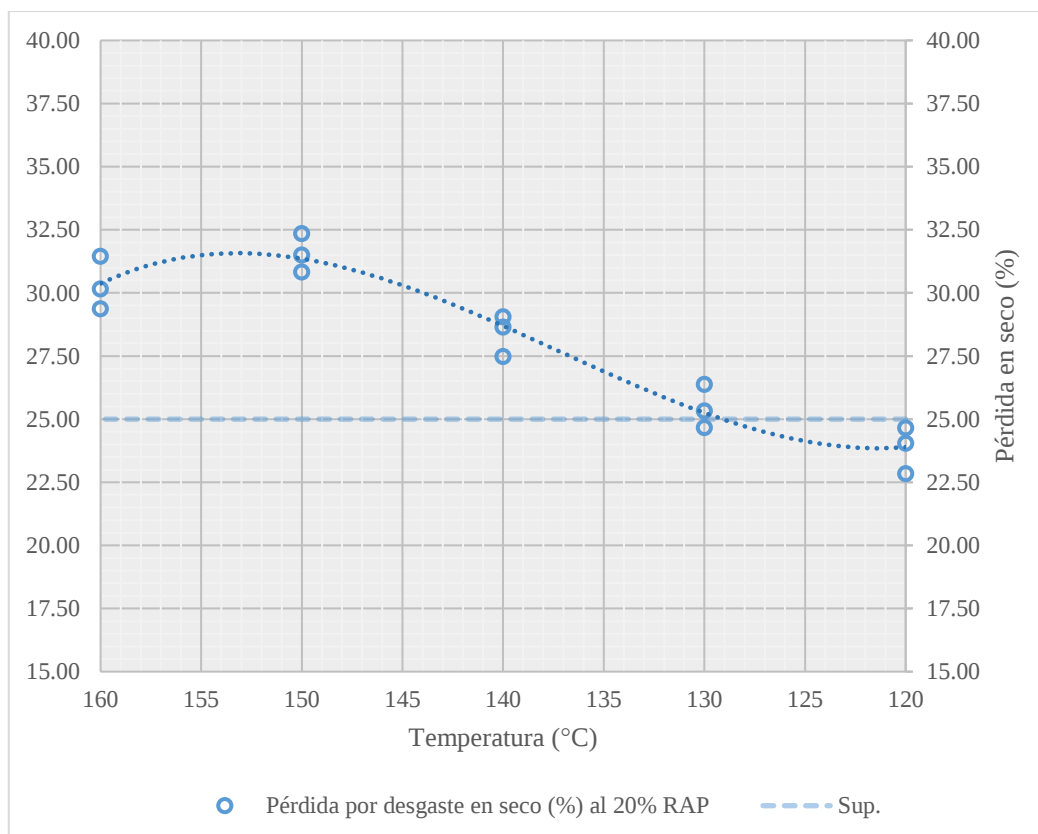


Figura 44. Pérdida por desgaste en seco (%) al 20% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

c. Briquetas con el 30% de material reciclado:

En la tabla 43, se presentan los resultados de pérdida por desgaste en seco obtenidas mediante el ensayo de Cántabro en seco en las briquetas resultantes al emplear 30% de material reciclado en la mezcla (30% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 43. Pérdida por desgaste en seco de briquetas con el 30% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 30% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Pérdida por desgaste en seco (%) al 30% RAP
121	160	31.06
122	160	29.13
123	160	29.79
124	150	29.87
125	150	30.31
126	150	31.28
127	140	27.92

128	140	26.96
129	140	25.61
130	130	23.84
131	130	22.68
132	130	22.04
133	120	21.38
134	120	23.64
135	120	22.58

En la figura 45, se presenta la curva resultante de la pérdida por desgaste en seco al emplear el 30% de material reciclado (30% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C la pérdida por desgaste en seco es de 31.06%, a 150°C no varía en gran medida, presentando una pérdida por desgaste en seco de 31.28%, y a menores temperaturas la pérdida por desgaste en seco descende, llegando a una pérdida por desgaste en seco baja de 21.38% a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados dentro del rango de 136°C a 120°C cumplen con ser menores al límite superior establecido por la norma de 25%.

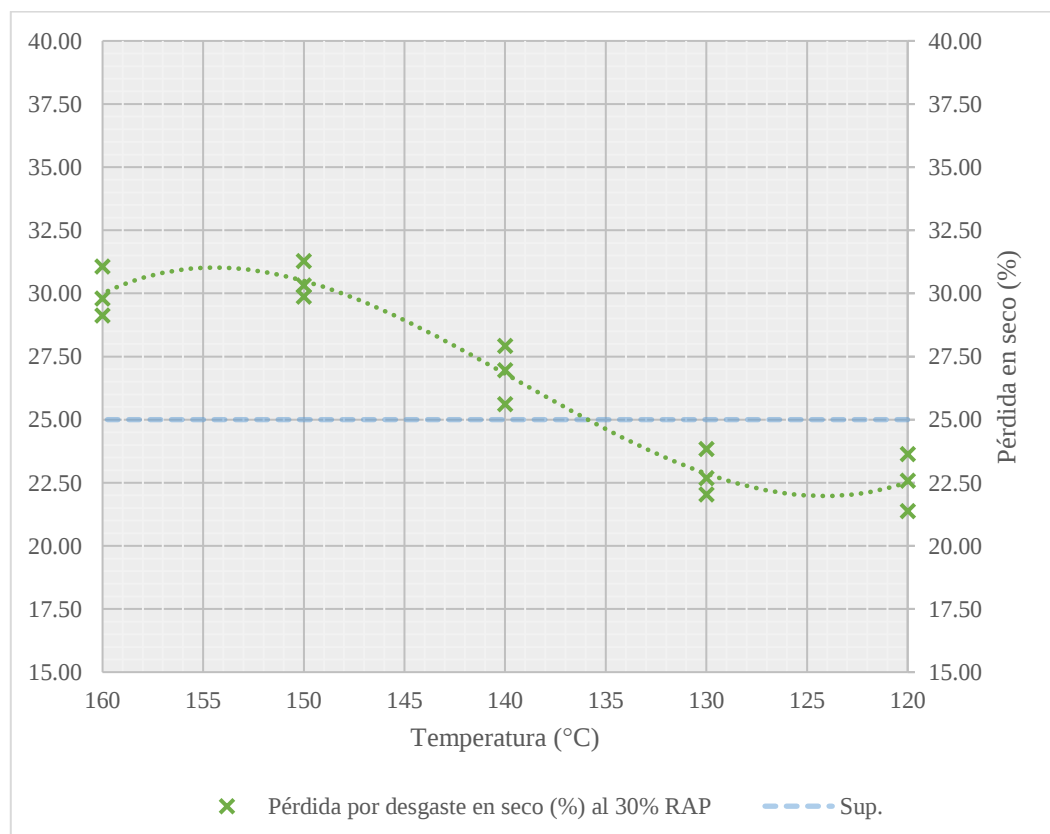


Figura 45. Pérdida por desgaste en seco (%) al 30% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

d. Briquetas con el 40% de material reciclado:

En la tabla 44, se presentan los resultados de pérdida por desgaste en seco obtenidas mediante el ensayo de Cántabro en seco en las briquetas resultantes al emplear 40% de material reciclado en la mezcla (40% RAP), ante la variación de la temperatura de mezclado.

Tabla 44. Pérdida por desgaste en seco de briquetas con el 40% de material reciclado (RAP)

Briquetas con el 40% RAP		
# de Briquetas	Temperatura (°C)	Pérdida por desgaste en seco (%) al 40% RAP
136	160	28.19
137	160	29.92
138	160	28.87
139	150	29.81
140	150	30.38
141	150	28.47
142	140	25.06
143	140	24.50
144	140	26.25
145	130	23.40
146	130	22.00
147	130	23.74
148	120	24.47
149	120	23.45
150	120	22.78

En la figura 46, se presenta la curva resultante de la pérdida por desgaste en seco al emplear el 40% de material reciclado (40% RAP) ante la variación de la temperatura de mezclado, observándose que a 160°C la pérdida por desgaste en seco es de 29.92%, a 150°C aumenta llegando a una pérdida por desgaste en seco de 30.38%, y a menores temperaturas la pérdida por desgaste en seco descende, llegando a una pérdida por desgaste en seco baja de 22.78% a los 120°C de temperatura, cabe mencionar que los resultados dentro del rango de 138°C a 120°C cumplen con ser menores al límite superior establecido por la norma de 25%.

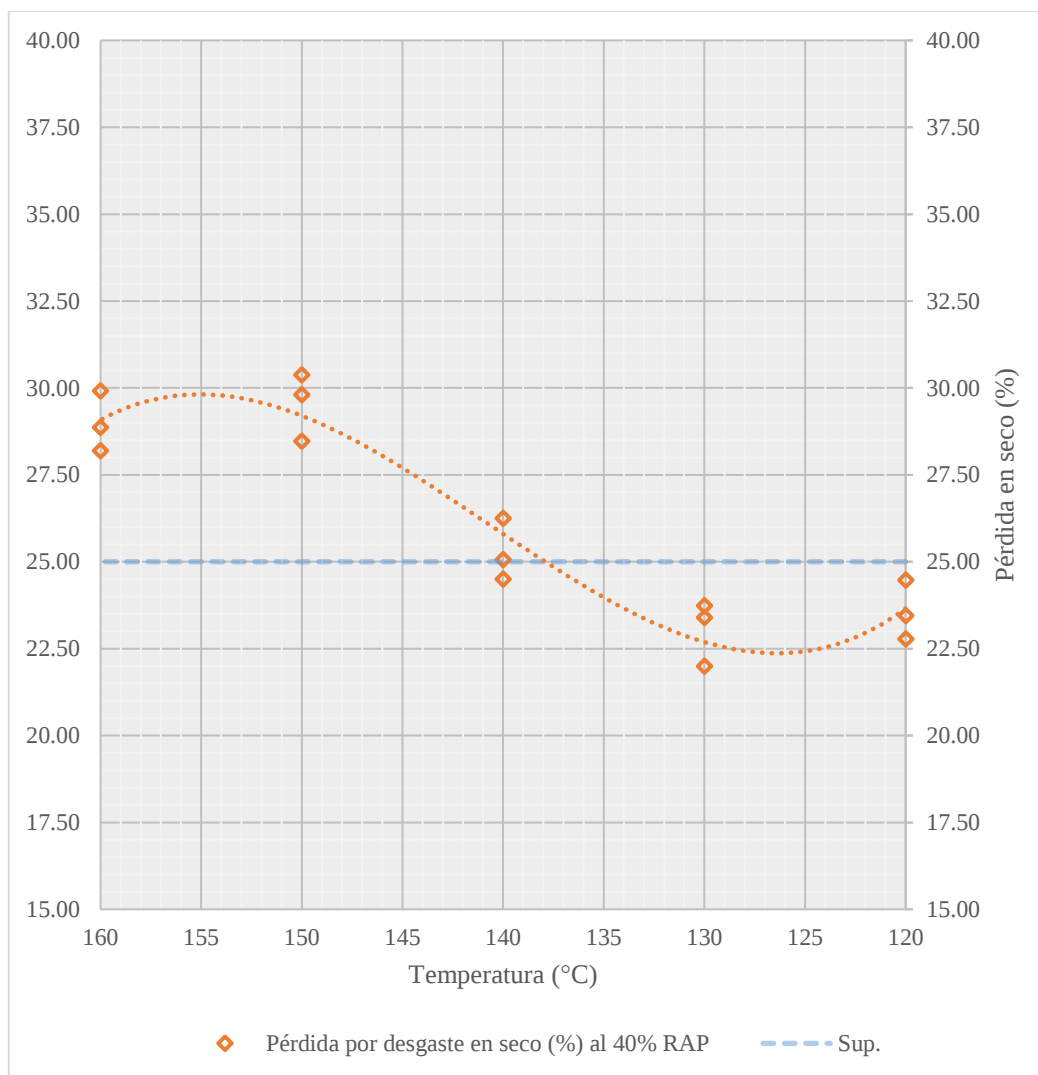


Figura 46. Pérdida por desgaste en seco (%) al 40% de RAP ante variación de Temperatura (°C)

En la figura 47, se presentan las curvas resultantes de la pérdida por desgaste en seco obtenida por Cántabro al incorporar el 10%, 20%, 30% y 40% de material reciclado (RAP) a la mezcla semi caliente modificada, en comparación de la pérdida por desgaste en seco de la mezcla al no incorporar material reciclado (0% RAP).

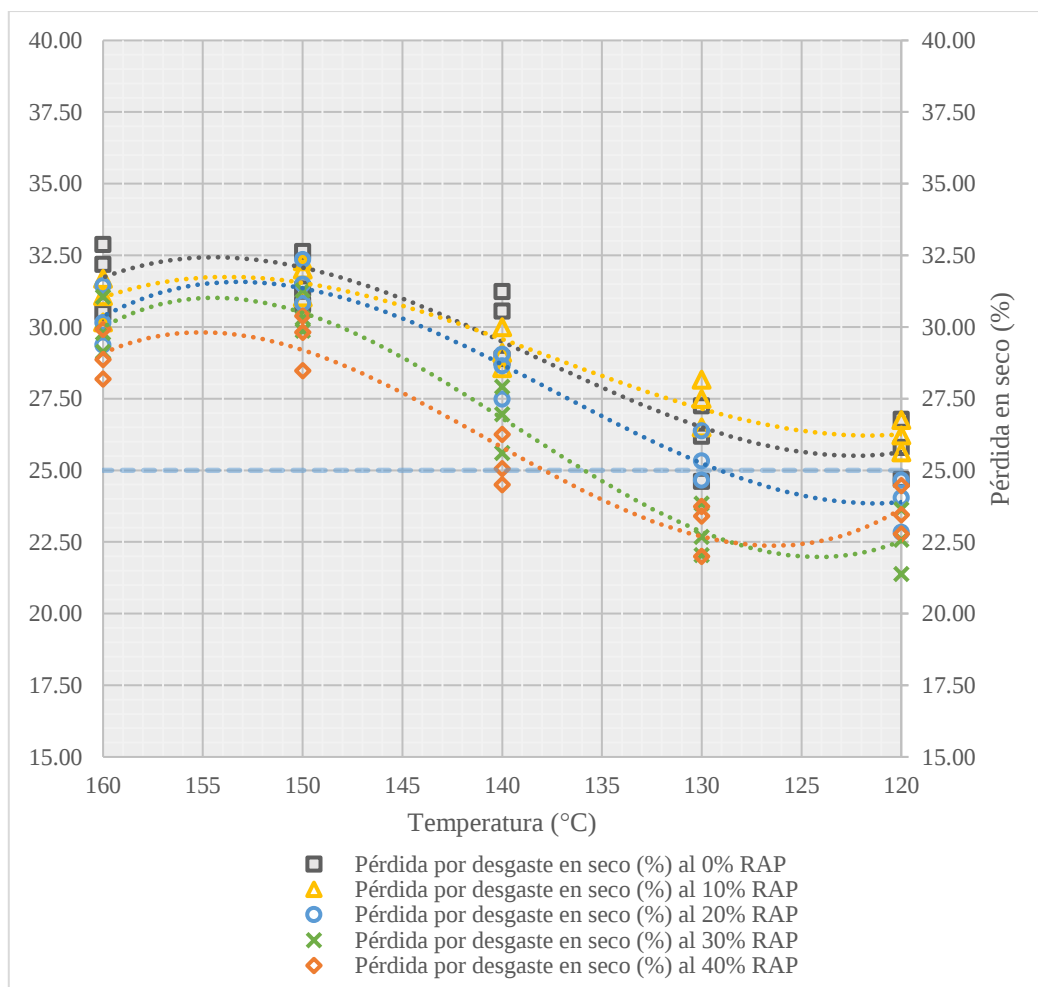


Figura 47. Gráfica resumen de pérdida por desgaste en seco (%) al incorporar RAP ante la variación de Temperatura (°C)

En la gráfica de la figura 47, se observa que a mayor porcentaje de material reciclado (RAP) incorporado a la mezcla asfáltica semi caliente la pérdida por desgaste en seco es más baja, llegando a ser menor al límite superior sólo para determinados rangos de temperatura y porcentajes de RAP, para el 10% de RAP no cumple, para el 20% de RAP cumple para los 130°C a 120°C, para el 30% de RAP cumple para los 136°C a 120°C y para el 40% de RAP cumple para los 138°C a 120°C.

4.4.3. Influencia de los materiales reciclados en la mezcla asfáltica semi caliente modificada (OG)

Para determinar la influencia del material reciclado en la mezcla asfáltica semi caliente modificada obtenida, se evaluarán los resultados de las propiedades de resistencia por

Marshall y Cántabro al variar la temperatura de mezclado, y así determinar el óptimo de material reciclado (RAP) y las temperaturas de mezclado óptimas.

En la figura 48, se presenta la gráfica de barras de la estabilidad promedio obtenida por Marshall al incorporar el 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de material reciclado (RAP) a la mezcla semi caliente modificada, agrupada según la temperatura de mezclado de 160°C, 150°C, 140°C, 130°C y 120°C.

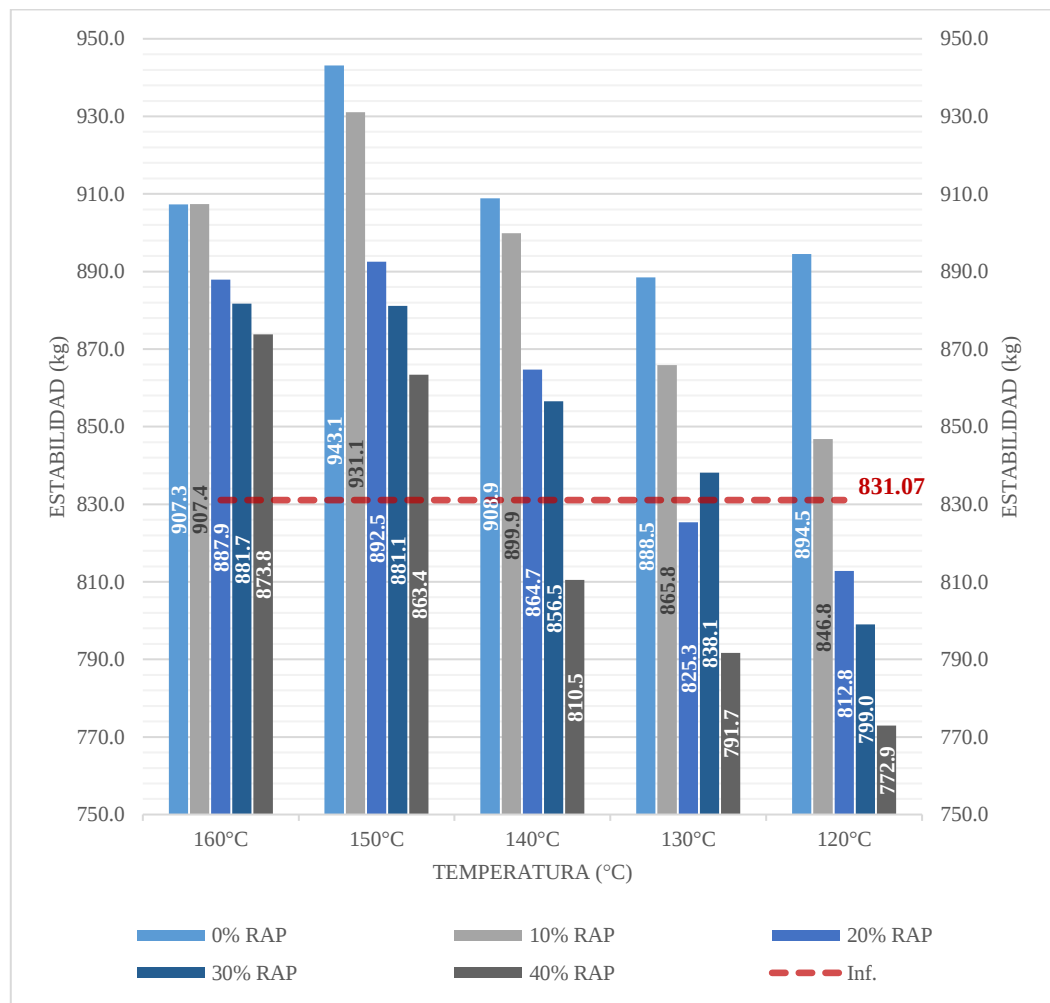


Figura 48. Gráfica resumen de estabilidad (kg) según porcentaje de RAP (%)

En la gráfica resumen de estabilidad se observa que los mayores resultados de estabilidad se dan tras aplicar el 10% de RAP, sin embargo, son menores al de la mezcla asfáltica sin RAP. Además, se puede observar que a mayor porcentaje de RAP incorporado la estabilidad se pierde, siendo afectado también por la temperatura de mezclado. Por lo que se descarta el empleo del 40% de RAP en la mezcla al obtener que no brinda suficiente resistencia a la mezcla al reducir la temperatura de mezclado, que es lo que se espera del diseño de una mezcla asfáltica semi caliente.

En la figura 49, se presenta la gráfica de barras del flujo promedio obtenido por Marshall al incorporar el 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de material reciclado (RAP) a la mezcla semi caliente modificada, agrupada según la temperatura de mezclado de 160°C, 150°C, 140°C, 130°C y 120°C.

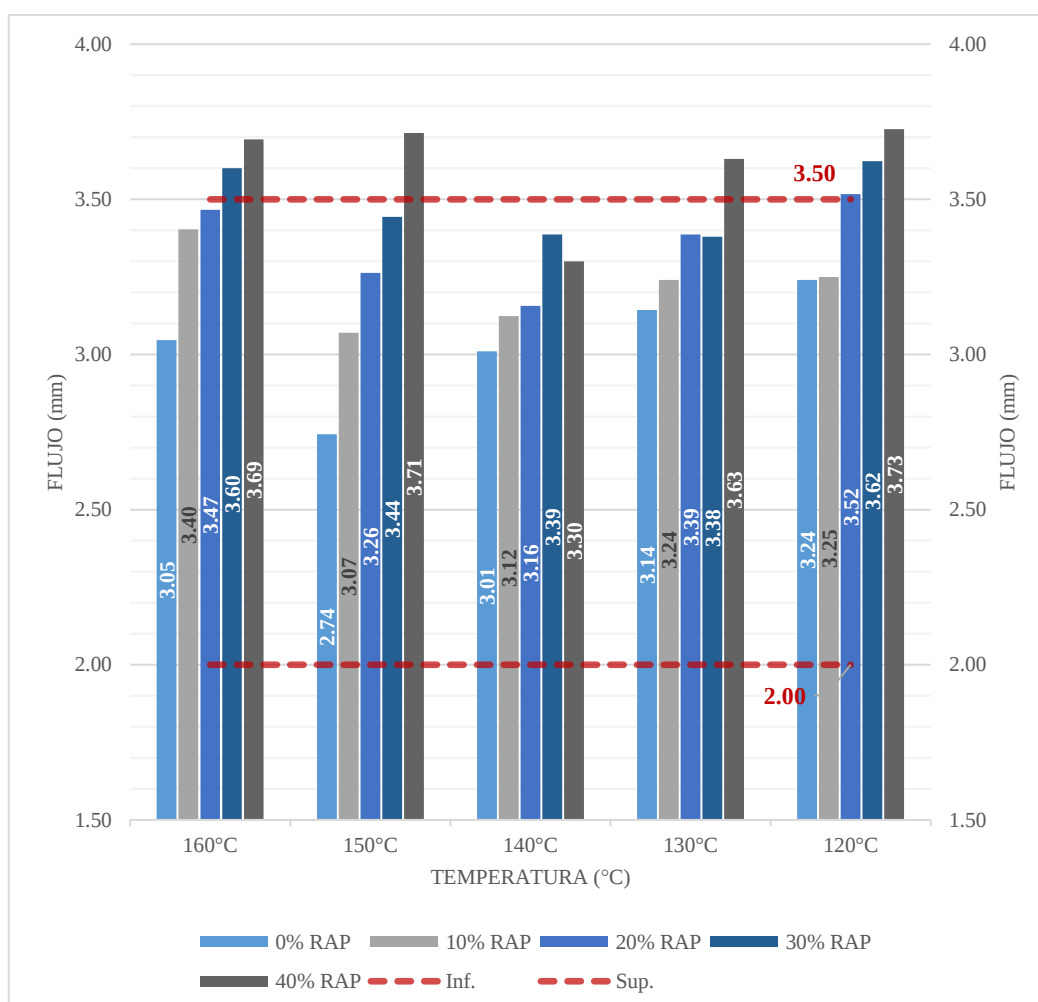


Figura 49. Gráfica resumen de flujo (mm) según porcentaje de RAP (%)

En la gráfica resumen de flujo se observa que los mayores resultados de flujo se dan tras aplicar el 40% de RAP, son mayores al de la mezcla asfáltica sin RAP, pero superan el límite superior de 3.50 mm. Además, se puede observar que a mayor porcentaje de RAP incorporado el flujo aumenta, siendo afectado también por la temperatura de mezclado. Por lo que se descarta el empleo del 40% de RAP en la mezcla al obtener que brinda más fluencia de lo permitida a la mezcla al reducir la temperatura de mezclado, que es lo que se espera del diseño de una mezcla asfáltica semi caliente.

Cabe mencionar que el empleo del 30% de RAP no sería beneficioso a 160°C ni a 120°C.

En la figura 50, se presenta una gráfica de barras del porcentaje de pérdida por desgaste en seco promedio obtenido por Marshall al incorporar el 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de material reciclado (RAP) a la mezcla semi caliente modificada, agrupada según la temperatura de mezclado de 160°C, 150°C, 140°C, 130°C y 120°C.

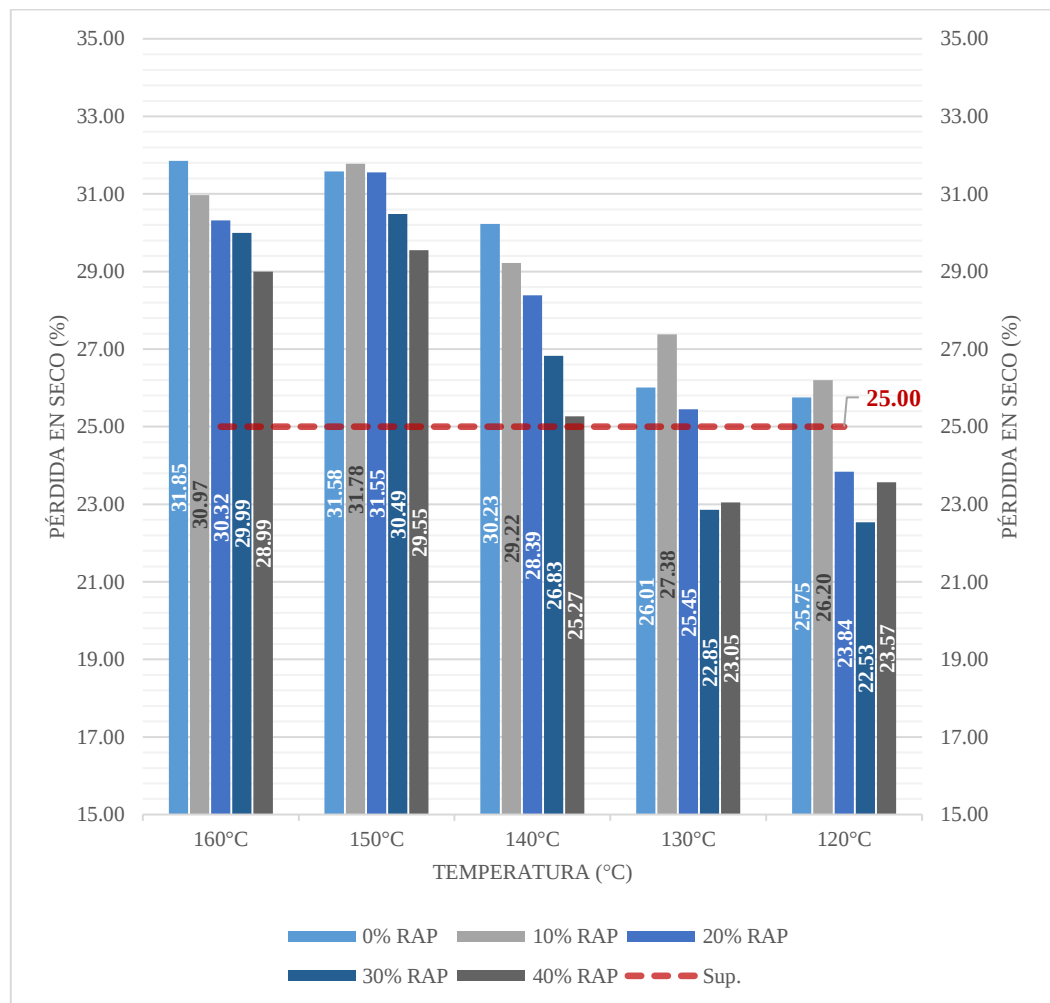


Figura 50. Gráfica resumen de pérdida por desgaste en seco (%) según porcentaje de RAP (%)

En la gráfica resumen de pérdida por desgaste en seco, se observa que los menores resultados de pérdida por desgaste en seco se dan tras aplicar el 30% y 40% de RAP. Además, se puede observar que a mayor porcentaje de RAP incorporado la pérdida por desgaste en seco se reduce, siendo afectado también por la temperatura de mezclado. Por lo que se descarta el empleo del 10% de RAP en la mezcla al obtener que no brinda suficiente resistencia a la pérdida por desgaste en seco al reducir la temperatura de mezclado, que es lo que se espera del diseño de una mezcla asfáltica semi caliente.

Cabe mencionar que el empleo del 30% de RAP no sería beneficioso a 160°C, 150°C ni a 140°C.

4.5. Análisis estadístico

4.5.1. Estabilidad (30% de RAP)

- **Distribución paramétrica:**

La distribución paramétrica de los resultados de estabilidad del ensayo de Marshall determinará si se acepta o rechaza la hipótesis nula planteada a continuación:

Ho: Los resultados de estabilidad en la mezcla con 30% de RAP, pertenecen a una distribución normal (datos paramétricos).

Tabla 45. Distribución paramétrica – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP

Pruebas de normalidad

	Temperatura (°C)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad (kg) al 30% RAP	120	,288	3	.	,929	3	,484
	130	,238	3	.	,976	3	,702
	140	,258	3	.	,960	3	,614
	150	,216	3	.	,988	3	,793
	160	,218	3	.	,987	3	,784

^a Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración con programa SPSS

En la distribución paramétrica se obtiene que todas las significancias por Shapiro-Wilk para grados de libertad de 3, son superiores a 0.05, el valor de referencia máximo establecido. Por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados de estabilidad en la mezcla con 30% de RAP pertenecen a una distribución normal y son considerados datos paramétricos.

- **Histograma:**

Para la representación gráfica de la variable “estabilidad” se presenta el histograma en el que se puede apreciar que, para los 15 datos analizados, la máxima frecuencia obtenida es 7 para una estabilidad de 880 a 900 kg, presenta una media de 851.29 kg y una desviación estándar de 33.449 kg.

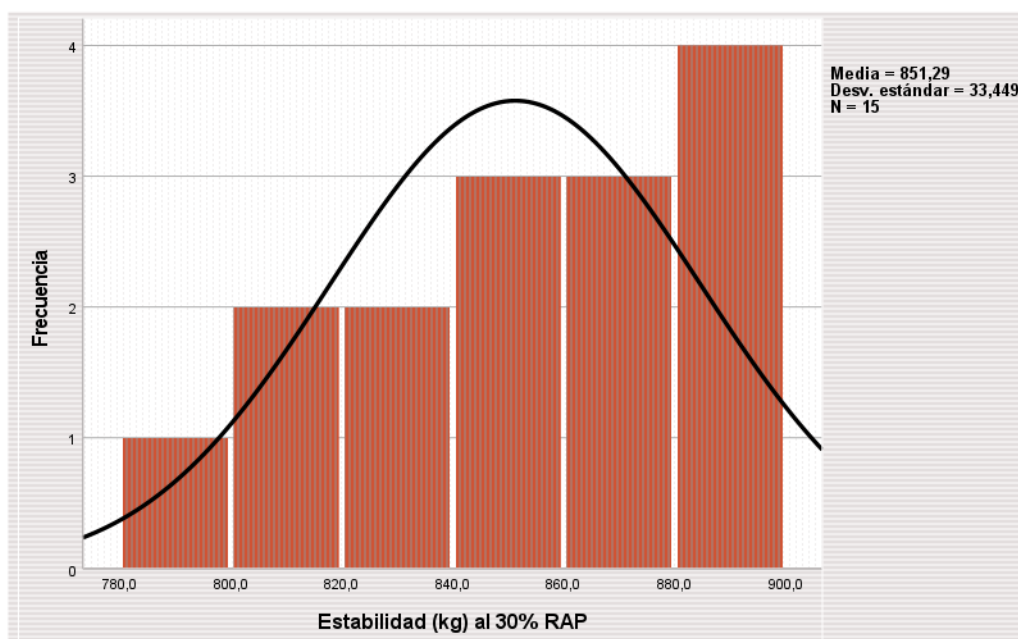


Figura 51. Histograma – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP

Fuente: Elaboración con programa SPSS

▪ **Prueba ANOVA de un factor:**

Para los resultados de estabilidad del ensayo de Marshall en la mezcla diseñada con 30% de RAP que pertenecen a una distribución normal se realiza la prueba ANOVA de un factor, para ello se plantea la hipótesis nula:

Ho (Hipótesis nula): Las medias de estabilidad en la mezcla con 30% de RAP, son iguales.

Tabla 46. Prueba ANOVA – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP

Estabilidad (kg) al 30% RAP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14253,436	4	3563,359	25,267	<.001
Dentro de grupos	1410,273	10	141,027		
Total	15663,709	14			

Fuente: Elaboración con programa SPSS

El resultado de la prueba ANOVA indica que el valor de significancia es menor al valor de referencia de 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se asume que las medias de los resultados de estabilidad en la mezcla con 30% de RAP son diferentes. Es por ello que se desarrolla a continuación la prueba post hoc Duncan y se obtiene

que, entre las temperaturas de mezclado de 120°C, (130 y 140°C) y (150 y 160°C), las medias son diferentes.

Tabla 47. Prueba post hoc Duncan – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP

Estabilidad (kg) al 30% RAP

Duncan^a

Temperatura (°C)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
120	3	799,000		
130	3		838,100	
140	3		856,533	
150	3			881,100
160	3			881,733
Sig.		1,000	,086	,949

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: Elaboración con programa SPSS

▪ Gráfica de burbujas:

La grafica de burbujas de los resultados de estabilidad del ensayo de Marshall en la mezcla diseñada con 30% de RAP se presentan a continuación, en el que se adjunta la línea de ajuste cúbica que indica que a mayor temperatura de mezclado mayor es la estabilidad en la mezcla diseñada con 30% de RAP, además se proporciona el valor de R², el cual es de 0.901 lo que nos indica que existe una alta correlación entre el porcentaje de la temperatura de mezclado y la estabilidad alcanzada.

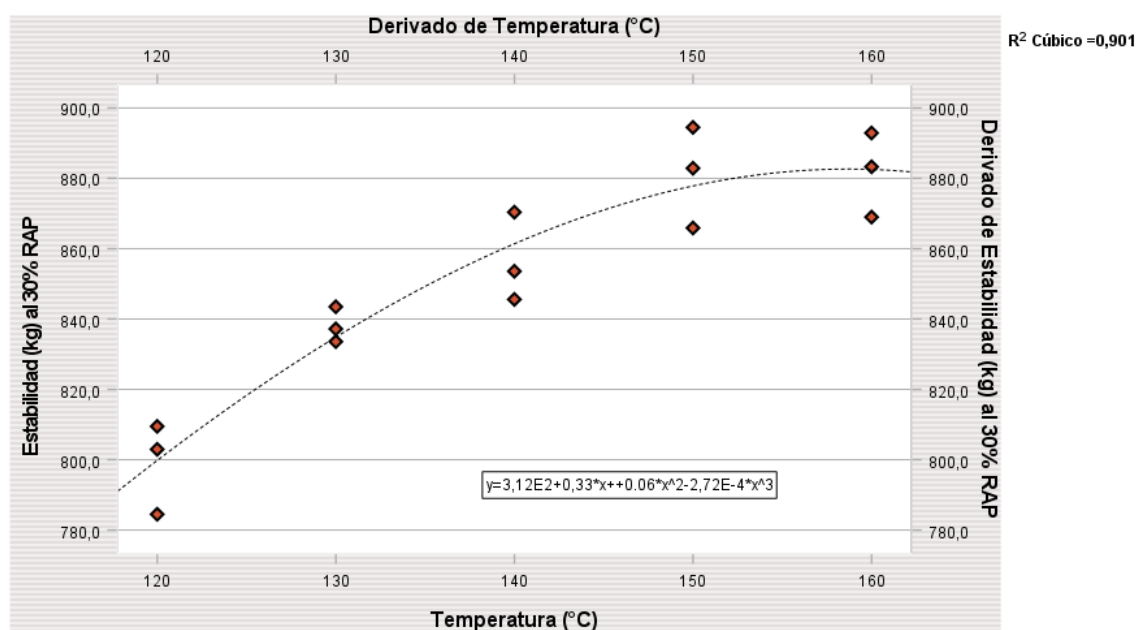


Figura 52. Diagrama de burbujas – Estabilidad (kg) en mezcla con 30% de RAP

Fuente: Elaboración con programa SPSS

4.5.2. Flujo (30% de RAP)

- **Distribución paramétrica:**

La distribución paramétrica de los resultados de flujo del ensayo de Marshall determinará si se acepta o rechaza la hipótesis nula planteada a continuación:

Ho: Los resultados de flujo en la mezcla con 30% de RAP, pertenecen a una distribución normal (datos paramétricos).

Tabla 48. Distribución paramétrica – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP

Pruebas de normalidad

	Temperatura (°C)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo (mm) al 30% RAP	120	,287	3	.	,929	3	,485
	130	,267	3	.	,951	3	,576
	140	,318	3	.	,887	3	,344
	150	,215	3	.	,989	3	,800
	160	,194	3	.	,996	3	,886

^a Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración con programa SPSS

En la distribución paramétrica se obtiene que todas las significancias por Shapiro-Wilk para grados de libertad de 3, son superiores a 0.05, el valor de referencia máximo establecido. Por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados de flujo en la mezcla con 30% de RAP pertenecen a una distribución normal y son considerados datos paramétricos.

- **Histograma:**

Para la representación gráfica de la variable “flujo” se presenta el histograma en el que se puede apreciar que, para los 15 datos analizados, la máxima frecuencia obtenida es 3 para un flujo de 3.45 mm, presenta una media de 3.49 mm y una desviación estándar de 0.149 mm.

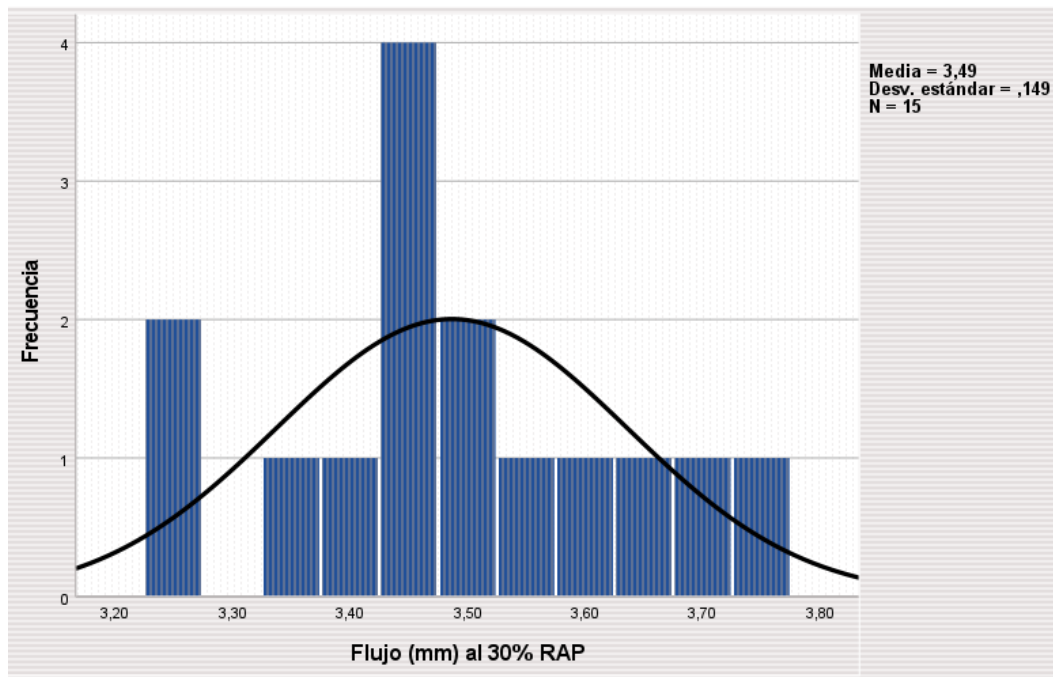


Figura 53. Histograma – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP

Fuente: Elaboración con programa SPSS

▪ **Prueba ANOVA de un factor:**

Para los resultados de flujo del ensayo de Marshall en la mezcla diseñada con 30% de RAP que pertenecen a una distribución normal se realiza la prueba ANOVA de un factor, para ello se plantea la hipótesis nula:

Ho (Hipótesis nula): Las medias de flujo en la mezcla con 30% de RAP, son iguales.

Tabla 49. Prueba ANOVA – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP

Flujo (mm) al 30% RAP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,164	4	,041	2,780	,086
Dentro de grupos	,148	10	,015		
Total	,312	14			

Fuente: Elaboración con programa SPSS

El resultado de la prueba ANOVA indica que el valor de significancia es 0.086 mayor al valor de referencia de 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se asume que las medias de los resultados de flujo en la mezcla con 30% de RAP son iguales. Es por ello que se desarrolla a continuación la prueba post hoc Tukey y se corrobora que para todas las temperaturas de mezclado las medias son iguales.

Tabla 50. Prueba post hoc Tukey – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP

Flujo (mm) al 30% RAP

HSD Tukey^a

Temperatura (°C)	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
130	3	3,3800
140	3	3,3867
150	3	3,4433
160	3	3,6000
120	3	3,6233
Sig.		,179

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: Elaboración con programa SPSS

▪ **Gráfica de burbujas:**

La grafica de burbujas de los resultados de flujo del ensayo de Marshall en la mezcla diseñada con 30% de RAP se presentan a continuación, en el que se adjunta la línea de ajuste cúbica que indica que al principio a mayor temperatura de mezclado menor es el flujo, después al pasar los 140°C el flujo aumenta en la mezcla diseñada con 30% de RAP, además se proporciona el valor de R², el cual es de 0.518 lo que nos indica que existe una baja correlación entre el porcentaje de la temperatura de mezclado y el flujo alcanzado.

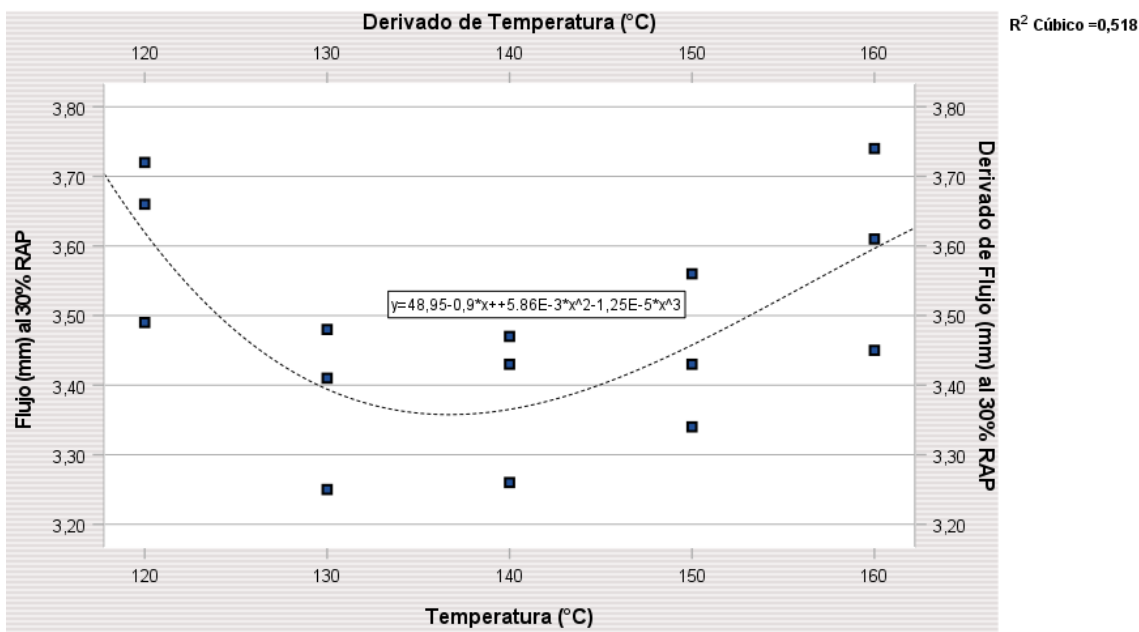


Figura 54. Diagrama de burbujas – Flujo (mm) en mezcla con 30% de RAP

Fuente: Elaboración con programa SPSS

4.5.3. Pérdida por desgaste en seco (30% de RAP)

- **Distribución paramétrica:**

La distribución paramétrica de los resultados de pérdida por desgaste en seco del ensayo de Marshall determinará si se acepta o rechaza la hipótesis nula planteada a continuación:

Ho: Los resultados de pérdida por desgaste en seco en la mezcla con 30% de RAP, pertenecen a una distribución normal (datos paramétricos).

Tabla 51. Distribución paramétrica – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP

Pruebas de normalidad

	Temperatura (°C)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pérdida por desgaste en seco (%) al 30% RAP	120	,183	3	.	,999	3	,932
	130	,242	3	.	,973	3	,684
	140	,211	3	.	,991	3	,814
	150	,263	3	.	,955	3	,592
	160	,249	3	.	,968	3	,655

^a Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración con programa SPSS

En la distribución paramétrica se obtiene que todas las significancias por Shapiro-Wilk para grados de libertad de 3, son superiores a 0.05, el valor de referencia máximo establecido. Por lo que se acepta la hipótesis nula y se concluye que los resultados de pérdida por desgaste en seco en la mezcla con 30% de RAP pertenecen a una distribución normal y son considerados datos paramétricos.

- **Histograma:**

Para la representación gráfica de la variable “pérdida por desgaste en seco” se presenta el histograma en el que se puede apreciar que, para los 15 datos analizados, la máxima frecuencia obtenida es 5 para una pérdida por desgaste en seco de 22 a 24%, presenta una media de 26.54% y una desviación estándar de 3.601%.

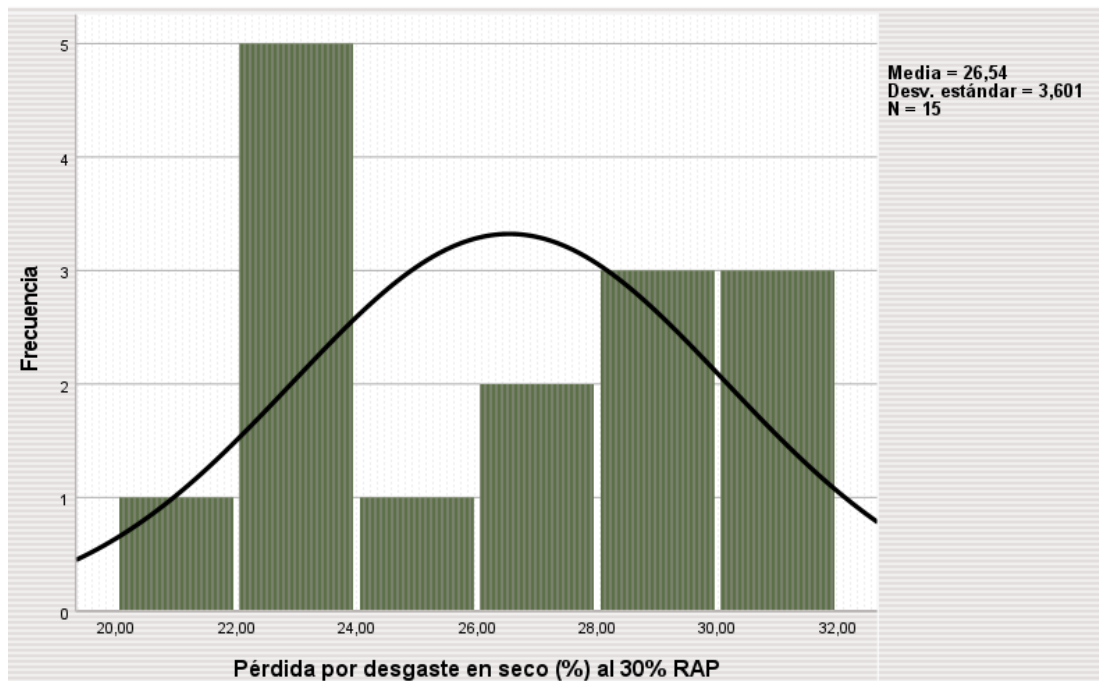


Figura 55. Histograma – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP

Fuente: Elaboración con programa SPSS

▪ **Prueba ANOVA de un factor:**

Para los resultados de pérdida por desgaste en seco del ensayo de Marshall en la mezcla diseñada con 30% de RAP que pertenecen a una distribución normal se realiza la prueba ANOVA de un factor, para ello se plantea la hipótesis nula:

Ho (Hipótesis nula): Las medias de pérdida por desgaste en seco en la mezcla con 30% de RAP, son iguales.

Tabla 52. Prueba ANOVA – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP

Pérdida por desgaste en seco (%) al 30% RAP

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	171,692	4	42,923	43,441	<.001
Dentro de grupos	9,881	10	,988		
Total	181,573	14			

Fuente: Elaboración con programa SPSS

El resultado de la prueba ANOVA indica que el valor de significancia es menor al valor de referencia de 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se asume que las medias de los resultados de pérdida por desgaste en seco en la mezcla con 30% de RAP son diferentes. Es por ello que se desarrolla a continuación la prueba post hoc

Duncan y se obtiene que, entre las temperaturas de mezclado de (120 y 130°C), (140°C) y (160 y 150°C), las medias son diferentes.

Tabla 53. Prueba post hoc Duncan – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP

Pérdida por desgaste en seco (%) al 30% RAP

Duncan^a

Temperatura (°C)	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
120	3	22,5333		
130	3	22,8533		
140	3		26,8300	
160	3			29,9933
150	3			30,4867
Sig.		,702	1,000	,557

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Fuente: Elaboración con programa SPSS

▪ **Gráfica de burbujas:**

La grafica de burbujas de los resultados de pérdida por desgaste en seco del ensayo de Marshall en la mezcla diseñada con 30% de RAP se presentan a continuación, en el que se adjunta la línea de ajuste cúbica que indica que a mayor temperatura de mezclado mayor es la pérdida por desgaste en seco en la mezcla diseñada con 30% de RAP, además se proporciona el valor de R^2 , el cual es de 0.946 lo que nos indica que existe una alta correlación entre el porcentaje de la temperatura de mezclado y la pérdida por desgaste en seco alcanzada.

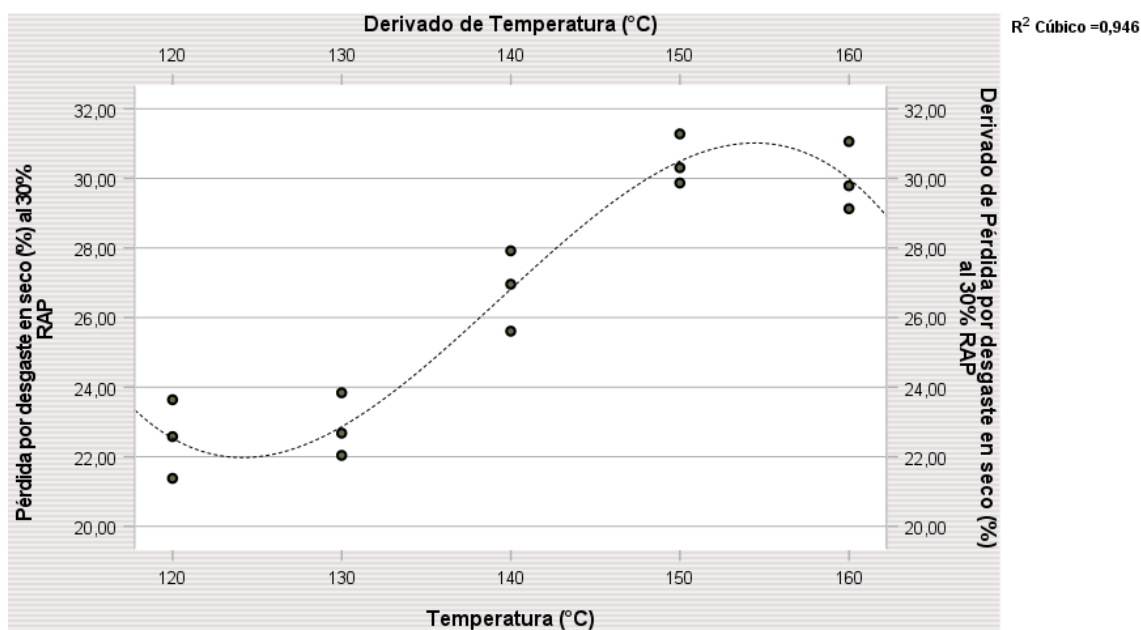


Figura 56. Diagrama de burbujas – Pérdida por desgaste en seco (%) en mezcla con 30% de RAP

Fuente: Elaboración con programa SPSS

4.6. Discusión de resultados

¿Cómo influye la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la estabilidad de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui?

En contraste con la presente tesis, se llegó a establecer que durante el proceso de modificación de la mezcla con Zycotherm para llegar a una mezcla semi caliente y el proceso de sustitución con RAP, se presenta que ambos factores contribuyen con la reducción de la estabilidad de la mezcla. Por lo que es importante cuidar la temperatura mínima de producción de mezcla y el máximo porcentaje de dosificación de RAP en sustitución de la mezcla. Obteniendo que porcentajes desde los 40% de RAP no son admisibles y tampoco en temperaturas por debajo de los 129°C. (Balbin Archi & Chochon Gomez, 2019).

En contraste con el antecedente titulado: “Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019”, se concluye que el diseño de una mezcla de asfalto con material reciclado llega a ser una solución para mejorar el comportamiento mecánico inadecuado del pavimento flexible en la carretera, y en nuestra investigación que los mayores resultados de estabilidad se dan tras aplicar el

10% de RAP a la mezcla asfáltica semicaliente diseñada para diferentes temperaturas de mezclado.

¿Cómo influye la variación del porcentaje en adición de material reciclado en el flujo de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui?

En contraste con la presente tesis, los ensayos realizados para observar la variación del porcentaje en adición de material reciclado en el flujo de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui, determina que, a mayor porcentaje en sustitución de RAP sobre la mezcla se genera un aumento de la deformación a través del flujo, donde a partir del 40.0% de RAP el flujo supera el máximo normado. La temperatura también tiende a alterar el flujo ligeramente sobre las muestras evaluadas, estimando un máximo de 30% en sustitución con RAP. (Puig Salesa, 2021).

En contraste con el antecedente titulado: “Análisis de las técnicas de reciclado de mezclas asfálticas. Evolución y tendencias actuales”, se concluye que el diseño de una mezcla de asfalto con RAP entre 30% y 60% mejora el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica reciclada en frío, y en nuestra investigación que los mejores resultados de flujo se dan tras aplicar el 40% de RAP a la mezcla asfáltica semicaliente diseñada para diferentes temperaturas de mezclado.

¿De qué forma la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la resistencia al desgaste Cántabro de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui?

En contraste con la presente tesis, la mezcla asfáltica en caliente convencional diseñada no cumple con los parámetros máximos exigidos por la normativa, por lo que con la adición de Zycotherm se puede llegar a menores temperatura de producción encontrando una mejora en la resistencia al desgaste, permitiendo a la mezcla reducir la masa que se pierde durante el ensayo desde los 142°C en reducción. (Pérez Madrigal, 2018).

En contraste con el antecedente titulado: “Efecto de las condiciones de fabricación en las propiedades de las mezclas bituminosas recicladas”, se concluye que el diseño de una mezcla de asfalto con RAP amplía el tiempo de mezclado y permite que la adherencia entre el betún y el RAP sea buena logrando movilizar una mayor cantidad de betún, y en nuestra investigación que los menores resultados de pérdida por desgaste

en seco se dan tras aplicar el 30% y 40% de RAP y al elaborar la mezcla a 120°C y 130°C .

¿Cuál es la influencia de los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas?

En contraste con la presente tesis, se llegó a establecer un equilibrio en el cumplimiento de las exigencias normativas para un 30.0% de RAP adicionado en reemplazo sobre el diseño de mezcla asfáltica semi caliente, además, se estableció un rango de temperatura de producción entre los 129°C y los 136°C que permite cumplir con las propiedades mecánicas de la mezcla encontrando una mejora considerable para las muestras experimentales en el ensayo de resistencia al Cántabro por ende consiguiendo que la adherencia mejore a estas temperaturas de producción. (Almeida Centeno & Segura Chico, 2022).

En contraste con el antecedente titulado: “Diseño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado de la provincia de Pichincha y recomendaciones en sus usos”, se concluye que el diseño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado es una alternativa viable para su uso en carreteras de tráfico liviano y mediano, ya que se ha demostrado que el método de diseño de Marshall Modificado es adecuado para este propósito, y en nuestra investigación que es factible el cumplimiento de las propiedades de estabilidad, flujo y resistencia al desgaste en una mezcla asfáltica a través de la tecnología de las mezclas asfálticas semi calientes ya que al bajar la temperatura de producción se consigue efectivamente mejorar y mantener las mejores propiedades de una mezcla asfáltica recuperada.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis de resultados realizados, se presentan las siguientes conclusiones en relación con cada uno de los objetivos planteados:

CONCLUSIONES

En función de la aplicabilidad del RAP, se llega a la conclusión de que es factible el cumplimiento de las propiedades de estabilidad, flujo y resistencia al desgaste en una mezcla asfáltica a través de la tecnología de las mezclas asfálticas semi calientes ya que al bajar la temperatura de producción se consigue efectivamente mejorar y mantener las mejores propiedades de una mezcla asfáltica recuperada.

La influencia de los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas con Zycotherm se determina de que el RAP llega a generar alteraciones sobre las propiedades del diseño de mezcla asfáltica semi caliente, donde se presenta una tendencia a bajar la estabilidad, aumentar el flujo y reducir la pérdida de masa por desgaste Cántabro, llegando a establecer un equilibrio en el cumplimiento de las exigencias normativas del MTC E 504 Y MTCE E 515 para un 30.0% de RAP adicionado en reemplazo sobre el diseño de mezcla asfáltica semi caliente. De esta misma forma, se establece un rango de temperatura de producción en función a los requerimientos normativos entre los 129°C y 136°C que permite cumplir con las propiedades mecánicas de la mezcla encontrando una mejora considerable para las muestras experimentales en el ensayo de resistencia al Cántabro.

La influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui, determina que durante el proceso de modificación de la mezcla con Zycotherm y el proceso de sustitución con RAP, se presenta que ambos factores contribuyen con la reducción de la estabilidad de la mezcla. Por lo que es importante cuidar la temperatura mínima de producción de mezcla y el máximo porcentaje de dosificación de RAP en sustitución de la mezcla. Obteniendo un aprovechamiento máximo de 30% de RAP para la estabilidad y en una temperatura mínima de 130°C con una estabilidad promedio mínima de 838.10 kg, por lo tanto, se verifica que la estabilidad presenta una alteración ante el descenso en la temperatura de producción de mezclas asfálticas semi calientes y deteriora sus propiedades de diseño ante mayores porcentajes en admisión de mezclas asfáltica reciclada.

La influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en el flujo de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui,

determina que a mayor porcentaje en sustitución de RAP sobre la mezcla se genera un aumento de la deformación medida a través del flujo, donde con un máximo del 30% de RAP donde se llega a cumplir los requerimientos del MTC E 504 entre temperaturas de 124°C y 152°C. Ante la alteración del flujo obtenido de forma moderada, se presenta un máximo de 30% en sustitución con RAP, por lo tanto, a medida que la temperatura de producción baja en el diseño de mezcla el flujo tiende a bajar de forma directamente proporcional, donde en temperaturas muy frías llega a generarse una mezcla que no cumple con el límite superior de los requisitos exigidos por la norma.

La influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la resistencia al Cántabro de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui, se determina que la mezcla asfáltica en caliente convencional no cumple con los parámetros máximo exigidos por la normativa de Cántabro en la MTC E 515, por lo que con la adición de Zycotherm para llegar a menores temperatura de producción se encontró una mejora en la resistencia al desgaste, permitiendo a la mezcla reducir la masa que se pierde durante desde los 142°C en reducción. Respecto del RAP se encontró de que también permite una ligera mejora en la resistencia al desgaste Cántabro, permitiendo establecer un criterio de selección en un rango entre los 136°C y 129°C, por lo tanto, a medida que baja la temperatura de producción de mezcla se tiende que la mezcla asfáltica recuperada diseñada presente menos desgaste, aunque cumple con el parámetro normativo referencial tomado para la pérdida de masa en porcentaje.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el material asfáltico recuperado (RAP) pase por un proceso de triturado cuidadoso, manteniendo un tamaño máximo nominal entre 19 mm y 25 mm para producción en planta. Para asegurar la consistencia en la producción y mezcla con el diseño de mezcla propuesto, es fundamental contar con una planta trituradora que garantice estas características físicas del RAP. Mantener un tamaño uniforme del RAP es esencial para lograr una distribución homogénea en la mezcla asfáltica y optimizar la compactación. Un tamaño de partícula controlado mejora la interacción entre el RAP y los agregados vírgenes, lo que contribuye a una mezcla más consistente y de mejor desempeño. El triturado adecuado también minimiza la variabilidad en las propiedades del RAP, permitiendo predecir mejor el comportamiento de la mezcla final.

Se recomienda implementar programas de recuperación y almacenamiento adecuado de materiales asfálticos recuperados (RAP). Estos programas deben enfocarse en conocer el origen del RAP y protegerlo de contaminantes externos, para asegurar un aprovechamiento óptimo en la mezcla asfáltica con los criterios aplicados en esta presente investigación. El origen y la calidad del RAP son determinantes en su desempeño en mezclas asfálticas. La contaminación con materiales indeseados (tierra, vegetación u otros residuos) puede comprometer la calidad de la mezcla final. Implementar programas adecuados de recuperación y almacenamiento permite mantener la integridad del RAP y asegurar que cumpla con los estándares necesarios para su reutilización.

Se recomienda evaluar la mezcla asfáltica propuesta utilizando los criterios de la metodología Superpave, a través de ensayos de envejecimiento, ahuellamiento y fatiga. Esta evaluación debe realizarse cuando exista la disponibilidad tecnológica en el país para este tipo de equipos avanzados. La metodología Superpave ofrece un enfoque detallado para el diseño y evaluación de mezclas asfálticas, enfocándose en su desempeño bajo condiciones reales de carga y clima. Implementar estos ensayos avanzados permite predecir con mayor precisión el comportamiento de las mezclas a largo plazo, especialmente en términos de resistencia a la deformación permanente (ahuellamiento), durabilidad frente a la fatiga y envejecimiento. Aunque estos equipos no son muy comunes actualmente en Perú, su uso podría significar un avance significativo en la calidad de las carreteras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida Centeno, M. S., & Segura Chico, K. J. (2022). *Diseño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado de la provincia de Pichincha y recomendaciones en sus usos*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Anderson, R., Baumgardner, G., May, R., & Reinke, G. (2008). *Propiedades de ingeniería, emisiones y rendimiento en campo de las tecnologías de mezcla templada de asfalto*. Washington, D.C.: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP).

Balbin Archi, R., & Chochon Gomez, V. H. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019*. Lima: Universidad de San Martín de Porres.

Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson Educación.

Carrasco Díaz, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.

Chiu, C., Hsu, T., & Yang, W. (2008). Evaluación del ciclo de vida del uso de materiales reciclados para la rehabilitación de pavimentos asfálticos. *Resources Conservation and Recycling*.

Collins, R., & Ciesielski, S. (1994). *Reciclado y utilización de materiales de desecho y subproductos en la construcción de carreteras*. Washington, D.C.: National Cooperative Highway Research Program.

Crispín Paucar, E. J., & Helguero Calderón, L. L. (2019). *Estructura de un pavimento asfáltico en material reciclado para mejorar sus beneficios integrales*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

<https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.14138/2781>

- D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowser, J., . . . Yeaton, B. (2008). *Mezcla bituminosa en caliente: Práctica Europea. FHWA Report No. FHWA-PL-08-007.*
- Flores Gonzales, R. K., & Rojas Pardo, J. G. (2019). *Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias adicionando tensoactivos y sus beneficios respecto a las mezclas asfálticas en caliente.* Lima: Universidad Ricardo Palma.
- González Castellanos, R. (2003). *Metodología de la Investigación Científica para las ciencias Técnicas.* Cuba: Universidad de Mantanzas.
- Hernandez-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* México: McGraw-Hill.
- Kandhal, P., & Mallick, R. (1997). *Directrices de reciclado de firmes para la administración estatal y local.* National Center for Asphalt Technology.
- Mejia Mejia, E. (2005). *Metodología de la investigación científica.* Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Middleton, B., & Forfylyow, R. W. (2009). Evaluación del asfalto de mezcla templada producido con el proceso ecológico de doble barril. *Transportation Research Record*, 19-26.
- Monje Álvarez, C. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA.* Colombia.
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales.* Lima: MTC.
- Pérez Madrigal, D. (2018). *Efecto de las condiciones de fabricación en las propiedades de las mezclas bituminosas recicladas.* Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Porot, L. (2008). *Mezclas asfálticas a más bajas temperaturas.* Rosario, Argentina: XXXV Reunión del asfalto.
- Prowell, B., & Hurley, G. (2006). Evaluación de la evotermia para su uso en mezclas bituminosas templadas. *NCAT Report 06-02.*
- Prowell, B., & Hurley, G. C. (2007). *Mezcla bituminosa en caliente: Buenas prácticas.* Lanham, MD.

Puig Salesa, R. (2021). *Análisis de las técnicas de reciclado de mezclas asfálticas. Evolución y tendencias actuales*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

Transportes y Comunicaciones . (2020). *Diagnostico de la situación de las brechas de infraestructura o de acceso a servicios*. Lima.

Valderrama Mendoza, S. (2017). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.

Wagoner, M., Buttlar, W., & Paulino, G. H. (2005). Investigación de la Resistencia a la Fractura del Hormigón Asfáltico Mezclado en Caliente Utilizando un Ensayo de Tensión Compacta en Forma de Disco. *Transportation Research Record*, 183-192.

Xiao, F., Amirkhanian, S., & Juang, C. H. (2007). Resistencia al agrietamiento de pavimentos de hormigón asfáltico cauchutado que contienen mezclas de pavimento asfáltico regenerado. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 475-483.

Young, T. J. (2007). *Conservación de la energía en la producción de mezcla bituminosa en caliente*. Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association.

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico



1. Cantera de Chanchamayo



2. Extracción de agregados de la cantera de Chanchamayo



3. Agregados gruesos y finos obtenidos para los ensayos de laboratorio, según la norma MTC E 204



4. Muestra de cemento a emplear como filler, según la norma MTC E 204



5. Muestra de cemento asfáltico para elaboración de mezcla asfáltica, según la norma MTC E 508



6. Ensayo de granulometría, según la norma MTC E 204



7. Elaboración de briquetas para el ensayo de peso específico, según la norma MTC E 508



8. Ensayo de peso específico, según la norma MTC E 508



9. Ensayo de Marshall, según la norma MTC E 504



10. Aditivo Zycotherm para la elaboración de mezcla asfáltica semi caliente, según la norma MTC E 515



11. Control de temperatura para aplicación del aditivo Zycotherm, según la norma MTC E 504



12. Briquetas resultantes al adicionar Zycotherm, según la norma MTC E 504



13. Ensayo de peso específico de briquetas de mezcla asfáltica semi caliente al adicionar Zycotherm, según la norma MTC E 504



14. Ensayo de Marshall de briquetas de mezcla asfáltica semi caliente al adicionar Zycotherm según la norma MTC E 504



15. Ensayo de Cántabro en seco de briquetas de mezcla asfáltica semi caliente al adicionar Zycotherm, según la norma MTC E 515



16. Material reciclado obtenido del subtramo 4 del tramo Perené – Pichanaqui, según la norma MTC E 502



17. Control de temperatura para incorporación del material reciclado en distintos porcentajes



18. Briquetas resultantes al incorporar el material reciclado, según la norma MTC E 508



19. Ensayo de Marshall de briquetas de mezcla asfáltica semi caliente modificada al incorporar el material reciclado, según la norma MTC E 504



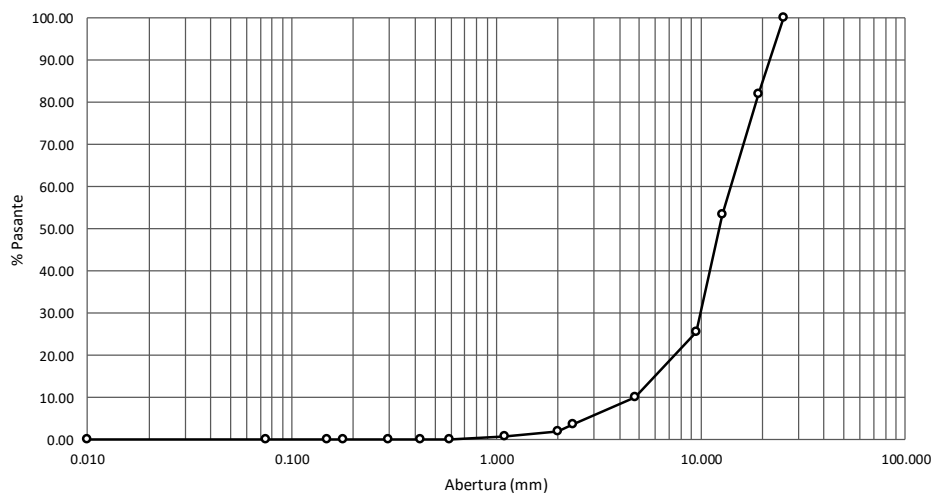
20. Ensayo de Cántabro en seco de briquetas de mezcla asfáltica semi caliente modificada al incorporar el material reciclado según la norma MTC E 515

Anexo 2. Certificados de ensayo



INORME N°.: 0001
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Análisis granulométrico
 NORMA: MTC E 204
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Piedra chancada 3/4"
 PROCEDENCIA: Cantera de Chanchamayo
 FECHA: 17/07/2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Tamiz (")	Abertura (mm)	Peso Ret.	%RP	%RA	% Pasante
2"	50.800	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	542.3	18.08	18.08	81.92
1/2"	12.700	851.6	28.39	46.46	53.54
3/8"	9.500	836.6	27.89	74.35	25.65
#4	4.760	468.3	15.61	89.96	10.04
#8	2.360	188.5	6.28	96.24	3.76
#10	2.000	53.3	1.78	98.02	1.98
#16	1.100	34.2	1.14	99.16	0.84
#30	0.590	23.1	0.77	99.93	0.07
#40	0.425	2.1	0.07	100.00	0.00
#50	0.297	0.0	0.00	100.00	0.00
#80	0.177	0.0	0.00	100.00	0.00
#100	0.149	0.0	0.00	100.00	0.00
#200	0.074	0.0	0.00	100.00	0.00
<#200		0.0	0.00	100.00	0.00
Total		3000.0			



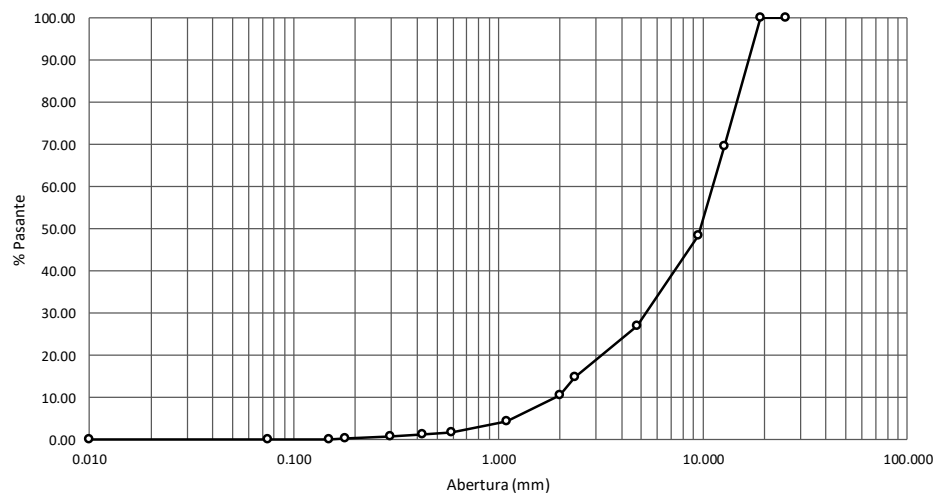
Observaciones: Muestra obtenida por el interesado


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. N° 229051



INORME N°.: 0002
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Análisis granulométrico
 NORMA: MTC E 204
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Piedra chancada 1/2"
 PROCEDENCIA: Cantera de Chanchamayo
 FECHA: 17/07/2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Tamiz (")	Abertura (mm)	Peso Ret.	%RP	%RA	% Pasante
2"	50.800	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	910.8	30.36	30.36	69.64
3/8"	9.500	636.9	21.23	51.59	48.41
#4	4.760	640.5	21.35	72.94	27.06
#8	2.360	365.1	12.17	85.11	14.89
#10	2.000	132.3	4.41	89.52	10.48
#16	1.100	180.3	6.01	95.53	4.47
#30	0.590	78.9	2.63	98.16	1.84
#40	0.425	17.7	0.59	98.75	1.25
#50	0.297	12.6	0.42	99.17	0.83
#80	0.177	14.4	0.48	99.65	0.35
#100	0.149	10.5	0.35	100.00	0.00
#200	0.074	0.0	0.00	100.00	0.00
<#200		0.0	0.00	100.00	0.00
Total		3000.0			



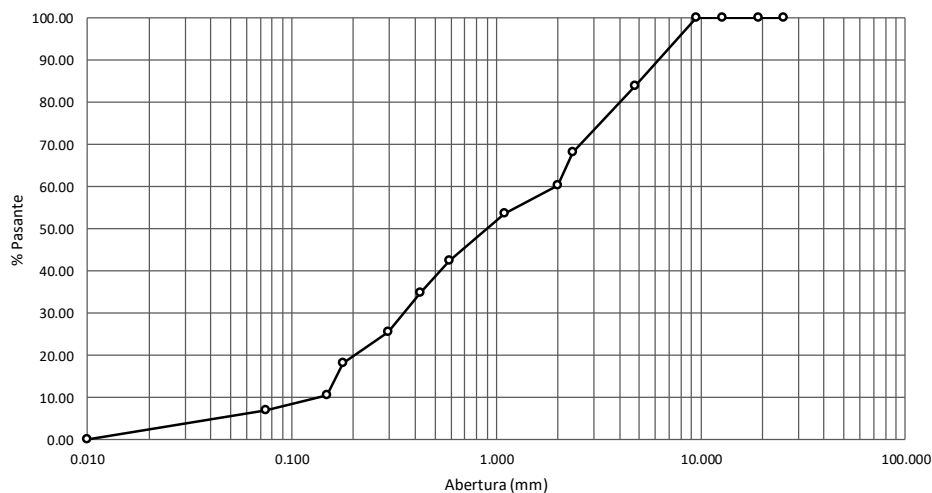
Observaciones: Muestra obtenida por el interesado


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0003
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Análisis granulométrico
 NORMA: MTC E 204
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Arena chancada #4
 PROCEDENCIA: Cantera de Chanchamayo
 FECHA: 17/07/2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Tamiz (")	Abertura (mm)	Peso Ret.	%RP	%RA	% Pasante
2"	50.800	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.0	0.00	0.00	100.00
#4	4.760	241.7	16.11	16.11	83.89
#8	2.360	236.6	15.77	31.88	68.12
#10	2.000	117.8	7.85	39.73	60.27
#16	1.100	98.9	6.59	46.32	53.68
#30	0.590	166.5	11.10	57.42	42.58
#40	0.425	113.9	7.59	65.01	34.99
#50	0.297	140.6	9.37	74.38	25.62
#80	0.177	110.6	7.37	81.75	18.25
#100	0.149	114.3	7.62	89.37	10.63
#200	0.074	54.3	3.62	92.99	7.01
<#200		105.2	7.01	100.00	0.00
Total		1500.0			



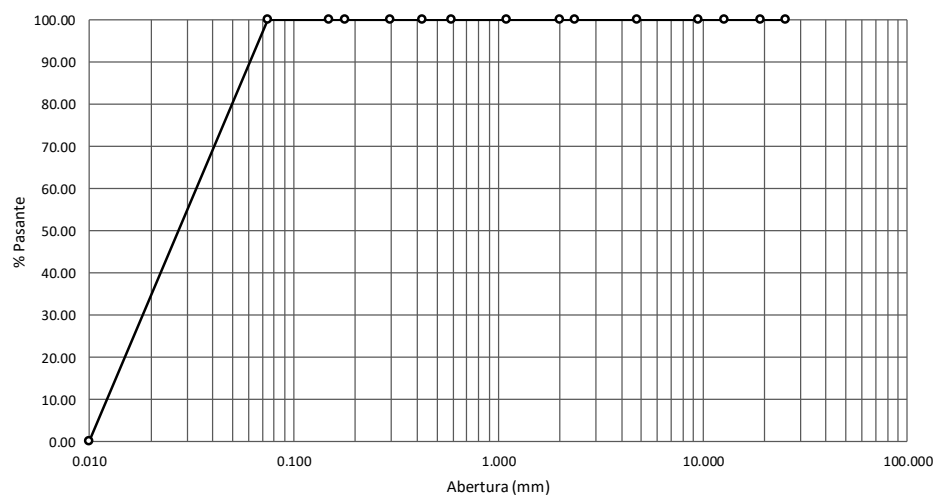
Observaciones: Muestra obtenida por el interesado


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INFORME N°.: 0004
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Análisis granulométrico
 NORMA: MTC E 204
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Cemento (filler)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 17/07/2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Tamiz (")	Abertura (mm)	Peso Ret.	%RP	%RA	% Pasante
2"	50.800	0.0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.0	0.00	0.00	100.00
#4	4.760	0.0	0.00	0.00	100.00
#8	2.360	0.0	0.00	0.00	100.00
#10	2.000	0.0	0.00	0.00	100.00
#16	1.100	0.0	0.00	0.00	100.00
#30	0.590	0.0	0.00	0.00	100.00
#40	0.425	0.0	0.00	0.00	100.00
#50	0.297	0.0	0.00	0.00	100.00
#80	0.177	0.0	0.00	0.00	100.00
#100	0.149	0.0	0.00	0.00	100.00
#200	0.074	0.0	0.00	0.00	100.00
<#200		300.0	100.00	100.00	0.00
Total		300.0			



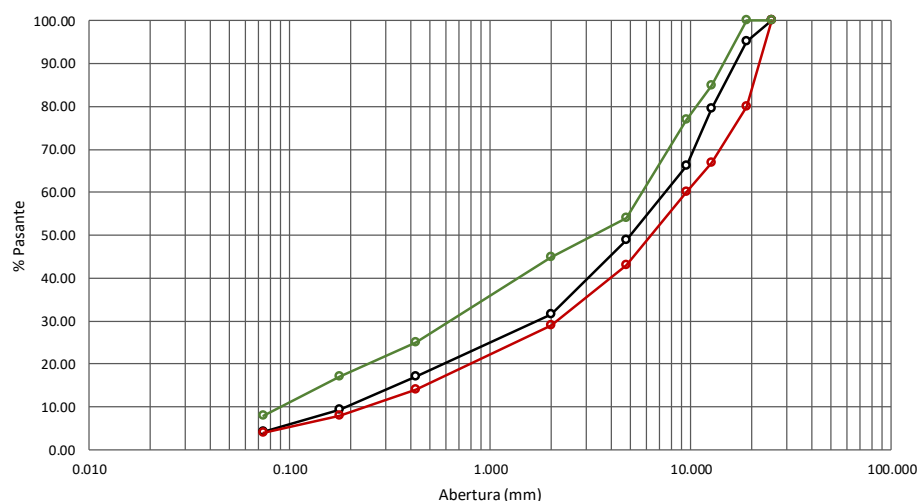
Observaciones: Muestra obtenida por el interesado

SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0005
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Combinación teórica de agregados
 NORMA: MAC 01
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Piedra chancada y arena chancada
 PROCEDENCIA: Cantera de Chanchamayo
 FECHA: 17/07/2023

COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS POR MAC 01								
Tamiz (")	Abertura (mm)	Porcentaje de contribución				Combinación MAC 01	Huso MAC 01	
		Piedra chancada 3/4"	Piedra chancada 1/2"	Arena chancada #4	Filler Cemento		Lím. Inferior	Lím. Superior
		26%	28%	45%	1%		%	%
1"	25.400	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100	100
3/4"	19.000	81.9	100.00	100.00	100.00	95.30	80	100
1/2"	12.700	53.5	69.64	100.00	100.00	79.42	67	85
3/8"	9.500	25.7	48.41	100.00	100.00	66.22	60	77
#4	4.760	10.0	27.06	83.89	100.00	48.94	43	54
#8	2.360	3.8	14.89	68.12	100.00	36.80	-	-
#10	2.000	2.0	10.48	60.27	100.00	31.57	29	45
#16	1.100	0.8	4.47	53.68	100.00	26.63	-	-
#30	0.590	0.1	1.84	42.58	100.00	20.69	-	-
#40	0.425	0.0	1.25	34.99	100.00	17.10	14	25
#50	0.297	0.0	0.83	25.62	100.00	12.76	-	-
#80	0.177	0.0	0.35	18.25	100.00	9.31	8	17
#100	0.149	0.0	0.00	10.63	100.00	5.78	-	-
#200	0.074	0.0	0.00	7.01	100.00	4.15	4	8
<#200		0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-



Observaciones: Muestra obtenida por el interesado


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0006
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Peso específico teórico máximo (Rice)
 NORMA: MTC E 508
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (4% C.A./4.5% C.A./5% C.A./5.5% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023

PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO DE MEZCLAS ASFALTICAS				
Cemento asfáltico	%	4.0		
Peso muestra suelta en aire	(gr)	1248.8	1248.7	1248.6
Peso muestra + agua (25°C)	(gr)	1453.4	1457.0	1453.3
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	2702.2	2705.7	2701.9
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	3232.9	3235.0	3231.7
Volumen	(cm³)	530.7	529.3	529.8
Peso específico Rice	(gr/cm³)	2.353	2.359	2.357
Peso específico Rice (promedio)	(gr/cm³)	2.356		

Cemento asfáltico	%	4.5		
Peso muestra suelta en aire	(gr)	1249.1	1248.9	1246.8
Peso muestra + agua (25°C)	(gr)	1464.4	1467.9	1459.4
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	2713.5	2716.8	2706.2
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	3243.0	3244.7	3232.0
Volumen	(cm³)	529.5	527.9	525.8
Peso específico Rice	(gr/cm³)	2.359	2.366	2.371
Peso específico Rice (promedio)	(gr/cm³)	2.365		

Cemento asfáltico	%	5.0		
Peso muestra suelta en aire	(gr)	1249.5	1247.5	1248.1
Peso muestra + agua (25°C)	(gr)	1467.6	1440.5	1456.8
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	2717.1	2688.0	2704.9
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	3243.8	3213.2	3228.2
Volumen	(cm³)	526.7	525.2	523.3
Peso específico Rice	(gr/cm³)	2.372	2.375	2.385
Peso específico Rice (promedio)	(gr/cm³)	2.378		

Cemento asfáltico	%	5.5		
Peso muestra suelta en aire	(gr)	1247.8	1246.5	1248.4
Peso muestra + agua (25°C)	(gr)	1458.9	1462.3	1466.0
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	2706.7	2708.8	2714.4
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	3232.1	3231.0	3238.8
Volumen	(cm³)	525.4	522.2	524.4
Peso específico Rice	(gr/cm³)	2.375	2.387	2.381
Peso específico Rice (promedio)	(gr/cm³)	2.381		

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0007
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Peso específico teórico máximo (Rice)
 NORMA: MTC E 508
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (6% C.A./6.5% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023

PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO DE MEZCLAS ASFALTICAS				
Cemento asfáltico	%	6.0		
Peso muestra suelta en aire	(gr)	1250.1	1249.1	1245.7
Peso muestra + agua (25°C)	(gr)	1461.4	1440.3	1463.7
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	2711.5	2689.4	2709.4
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	3234.3	3213.4	3233.0
Volumen	(cm³)	522.8	524.0	523.6
Peso específico Rice	(gr/cm³)	2.391	2.384	2.379
Peso específico Rice (promedio)	(gr/cm³)	2.385		

Cemento asfáltico	%	6.5		
Peso muestra suelta en aire	(gr)	1247.8	1247.9	1248.7
Peso muestra + agua (25°C)	(gr)	1455.6	1462.5	1441.6
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	2703.4	2710.4	2690.3
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	3229.2	3235.0	3214.6
Volumen	(cm³)	525.8	524.6	524.3
Peso específico Rice	(gr/cm³)	2.373	2.379	2.382
Peso específico Rice (promedio)	(gr/cm³)	2.378		


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico



INORME N°.: 0008
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (4% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023 - 21/07/2023

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	01	02	03
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	4.00		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	51.84		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	43.20		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.96		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (gr/cm³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (gr/cm³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (gr/cm³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (gr/cm³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	64.3	65.9	64.2
10	Peso de la briqueta al aire (gr)	1250.2	1246.9	1248.7
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1257.2	1256.6	1258.2
12	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	695.6	692.5	694.2
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	561.6	564.1	564.0
14	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.226	2.210	2.214
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.356		
16	Porcentaje de vacíos (%)	5.51	6.18	6.03
17	Peso específico Bulk del agregado total (gr/cm³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	18.33	18.91	18.78
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	69.93	67.32	67.90
20	Peso específico efectivo del agregado total (gr/cm³)	2.495		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-1.89		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	5.80		
23	Flujo (mm)	1.62	1.51	1.22
24	Estabilidad sin corregir (kg)	792.8	816.8	804.8
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	792.8	816.8	804.8
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	4893.8	5409.3	6596.7
28	Compactación (numero de golpes por cara)	75		


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. N° 229051

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados por MAC 01 al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico



INORME N°.: 0009
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (4.5% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023 - 21/07/2023

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	04	05	06
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	4.50		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	51.57		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.98		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.96		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (gr/cm³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (gr/cm³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (gr/cm³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (gr/cm³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	63.9	66.0	63.7
10	Peso de la briqueta al aire (gr)	1250.3	1248.0	1248.5
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1256.6	1255.1	1257.8
12	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	698.1	698.7	702.7
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	558.5	556.4	555.1
14	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.239	2.243	2.249
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.365		
16	Porcentaje de vacíos (%)	5.34	5.16	4.90
17	Peso específico Bulk del agregado total (gr/cm³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	18.30	18.14	17.92
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	70.81	71.56	72.66
20	Peso específico efectivo del agregado total (gr/cm³)	2.525		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-1.41		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	5.83		
23	Flujo (mm)	2.23	1.81	1.94
24	Estabilidad sin corregir (kg)	858.4	851.2	867.1
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	858.4	851.2	867.1
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3849.3	4702.8	4469.6
28	Compactación (numero de golpes por cara)	75		



 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados por MAC 01 al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico



INORME N°.: 0010
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (5% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023 - 21/07/2023

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	07	08	09
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.00		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	51.30		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.75		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.95		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (gr/cm³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (gr/cm³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (gr/cm³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (gr/cm³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	63.9	63.5	63.9
10	Peso de la briqueta al aire (gr)	1248.4	1250.4	1250.7
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1253.7	1254.8	1257.6
12	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	705.5	706.4	705.7
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	548.2	548.4	551.9
14	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.277	2.280	2.266
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.378		
16	Porcentaje de vacíos (%)	4.24	4.12	4.70
17	Peso específico Bulk del agregado total (gr/cm³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	17.33	17.22	17.73
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	75.55	76.10	73.48
20	Peso específico efectivo del agregado total (gr/cm³)	2.561		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-0.85		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	5.80		
23	Flujo (mm)	2.41	2.69	2.57
24	Estabilidad sin corregir (kg)	921.4	898.2	908.9
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	921.4	898.2	908.9
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3823.2	3339.0	3536.6
28	Compactación (numero de golpes por cara)	75		


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. N° 229051

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados por MAC 01 al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico



INFORME N°.: 0011
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (5.5% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023 - 21/07/2023

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	10	11	12
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.50		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	51.03		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.53		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.95		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (gr/cm³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (gr/cm³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (gr/cm³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (gr/cm³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briketa (cm)	65.0	65.5	63.9
10	Peso de la briketa al aire (gr)	1248.3	1248.1	1249.4
11	Peso de la briketa saturada superficialmente seca (gr)	1254.9	1256.9	1255.4
12	Peso de la briketa saturada en agua (gr)	709.8	709.0	711.7
13	Volumen de briketa saturada superficialmente seca (cm³)	545.1	547.9	543.7
14	Peso específico Bulk de la briketa (gr/cm³)	2.290	2.278	2.298
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.381		
16	Porcentaje de vacíos (%)	3.82	4.33	3.49
17	Peso específico Bulk del agregado total (gr/cm³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	17.30	17.74	17.01
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	77.92	75.60	79.50
20	Peso específico efectivo del agregado total (gr/cm³)	2.585		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-0.47		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	5.94		
23	Flujo (mm)	2.84	3.29	3.15
24	Estabilidad sin corregir (kg)	898.9	917.6	904.8
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	898.9	917.6	904.8
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3165.1	2789.1	2872.4
28	Compactación (numero de golpes por cara)	75		


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados por MAC 01 al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico



INORME N°.: 0012
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (6% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023 - 21/07/2023

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	13	14	15
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	6.00		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	50.76		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.30		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.94		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (gr/cm³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (gr/cm³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (gr/cm³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (gr/cm³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	65.5	64.7	65.8
10	Peso de la briqueta al aire (gr)	1247.9	1247.7	1247.9
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1253.8	1258.4	1255.0
12	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	713.2	714.4	711.8
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	540.6	544.0	543.2
14	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.308	2.294	2.297
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.385		
16	Porcentaje de vacíos (%)	3.21	3.83	3.68
17	Peso específico Bulk del agregado total (gr/cm³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	17.08	17.61	17.48
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	81.19	78.23	78.96
20	Peso específico efectivo del agregado total (gr/cm³)	2.612		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	-0.07		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	6.07		
23	Flujo (mm)	3.57	3.48	3.25
24	Estabilidad sin corregir (kg)	893.0	901.4	882.1
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	893.0	901.4	882.1
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2501.4	2590.2	2714.2
28	Compactación (numero de golpes por cara)	75		


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados por MAC 01 al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico



INORME N°.: 0013
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (6.5% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023 - 21/07/2023

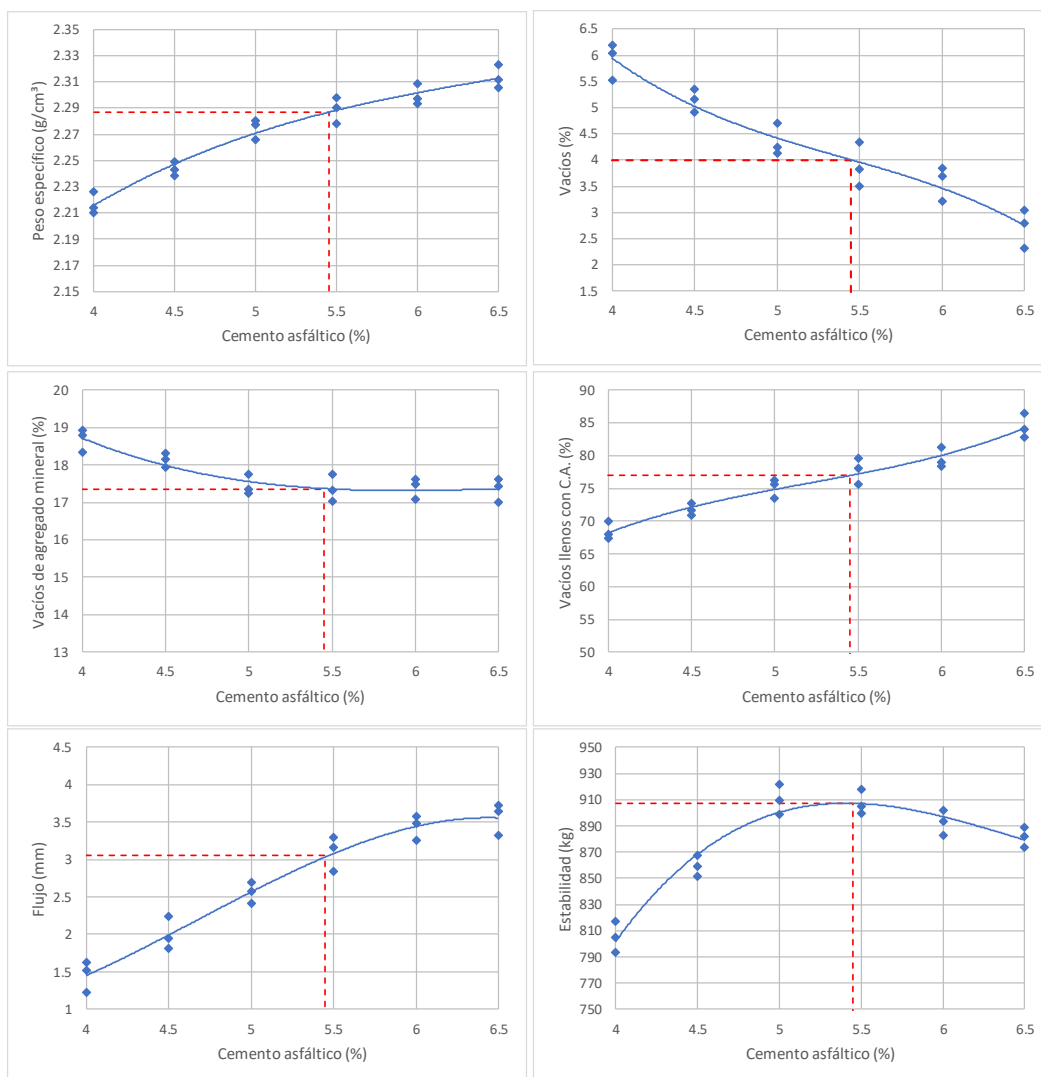
RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	16	17	18
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	6.50		
2	Porcentaje de Agregado grueso (> N° 4) en peso de la mezcla (%)	50.49		
3	Porcentaje de Agregado fino (< N° 4) en peso de la mezcla (%)	42.08		
4	Porcentaje de Filler en peso de la mezcla (%)	0.94		
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente (gr/cm³)	1.010		
6	Peso específico Bulk del agregado grueso (gr/cm³)	2.638		
7	Peso específico Bulk del agregado fino (gr/cm³)	2.536		
8	Peso específico aparente del filler (gr/cm³)	-	-	-
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	65.4	66.0	65.8
10	Peso de la briqueta al aire (gr)	1250.3	1250.2	1248.5
11	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1255.2	1257.0	1257.5
12	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	717.0	714.8	717.4
13	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	538.2	542.2	540.1
14	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.323	2.306	2.312
15	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.378		
16	Porcentaje de vacíos (%)	2.31	3.04	2.79
17	Peso específico Bulk del agregado total (gr/cm³)	2.617		
18	Porcentaje de vacíos de agregado mineral (%)	16.99	17.61	17.40
19	Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	86.42	82.76	83.96
20	Peso específico efectivo del agregado total (gr/cm³)	2.625		
21	Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por el agregado total (%)	0.12		
22	Porcentaje de cemento asfáltico efectivo (%)	6.39		
23	Flujo (mm)	3.64	3.31	3.72
24	Estabilidad sin corregir (kg)	873.4	881.2	888.5
25	Factor de estabilidad	1	1	1
26	Estabilidad corregida (kg)	873.4	881.2	888.5
27	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2399.5	2662.2	2388.4
28	Compactación (numero de golpes por cara)	75		


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados por MAC 01 al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico



INORME N°.: 0014
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (Gráficas)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 18/07/2023 - 21/07/2023



Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados por MAC 01 al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INFORME N°.: 0015
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Peso específico teórico máximo (Rice)
 NORMA: MTC E 508
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica en caliente (5.45% C.A.)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 22/07/2023

PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO DE MEZCLAS ASFALTICAS				
Cemento asfáltico	%	5.45		
Peso muestra suelta en aire	(gr)	1249.4	1250.6	1249.7
Peso muestra + agua (25°C)	(gr)	1454.8	1451.9	1452.0
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	2704.2	2702.5	2701.7
Peso frasco + agua (25°C) + muestra suelta	(gr)	3228.3	3228.8	3226.6
Volumen	(cm³)	524.1	526.3	524.9
Peso específico Rice	(gr/cm³)	2.384	2.376	2.381
Peso específico Rice (promedio)	(gr/cm³)	2.380		

SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229951

Observaciones: Mezcla obtenida de la combinación de agregados al incorporar diferentes porcentajes de cemento asfáltico



INORME N°.: 0016
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente (0.05% ZYCOTHERM a 160°C/150°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 22/07/2023 - 25/07/2023

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	01	02	03
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Temperatura de mezclado (°C)	160		
4	Peso de la briqueta al aire (gr)	1249.4	1247.4	1248.4
5	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1255.1	1255.8	1256.4
6	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	708.1	710.7	709.3
7	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	547.0	545.1	547.1
8	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.284	2.288	2.282
9	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.380		
10	Porcentaje de vacíos (%)	4.03	3.85	4.12
11	Flujo (mm)	2.93	3.02	3.19
12	Estabilidad sin corregir (kg)	891.7	902.0	928.2
13	Factor de estabilidad	1	1	1
14	Estabilidad corregida (kg)	891.7	902.0	928.2
15	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3043.3	2986.8	2909.7
16	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Ítem	N° de briquetas	04	05	06
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Temperatura de mezclado (°C)	150		
4	Peso de la briqueta al aire (gr)	1250.8	1249.9	1248.6
5	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1255.6	1257.7	1257.3
6	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	708.7	710.3	711.6
7	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	546.9	547.4	545.7
8	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.287	2.283	2.288
9	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.380		
10	Porcentaje de vacíos (%)	3.90	4.06	3.86
11	Flujo (mm)	2.66	2.84	2.73
12	Estabilidad sin corregir (kg)	944.5	953.3	931.6
13	Factor de estabilidad	1	1	1
14	Estabilidad corregida (kg)	944.5	953.3	931.6
15	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3550.8	3356.7	3412.5
16	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente elaborada al aplicar 0.05% de aditivo Zycotherm variando la temperatura de mezclado.


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0017
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente (0.05% ZYCOTHERM a 140°C/130°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 22/07/2023 - 25/07/2023

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	07	08	09
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Temperatura de mezclado (°C)	140		
4	Peso de la briqueta al aire (gr)	1249.5	1250.2	1249.5
5	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1257.7	1256.1	1255.9
6	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	710.8	709.7	708.5
7	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	546.9	546.4	547.4
8	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.285	2.288	2.283
9	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.380		
10	Porcentaje de vacíos (%)	4.00	3.86	4.09
11	Flujo (mm)	2.87	3.04	3.12
12	Estabilidad sin corregir (kg)	892.1	912.8	921.7
13	Factor de estabilidad	1	1	1
14	Estabilidad corregida (kg)	892.1	912.8	921.7
15	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3108.4	3002.6	2954.2
16	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Ítem	N° de briquetas	10	11	12
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Temperatura de mezclado (°C)	130		
4	Peso de la briqueta al aire (gr)	1247.8	1249.7	1250.3
5	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1257.1	1257.4	1257.6
6	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	710.3	710.0	710.7
7	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	546.8	547.4	546.9
8	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.282	2.283	2.286
9	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.380		
10	Porcentaje de vacíos (%)	4.12	4.08	3.94
11	Flujo (mm)	3.28	3.14	3.01
12	Estabilidad sin corregir (kg)	876.8	891.4	897.3
13	Factor de estabilidad	1	1	1
14	Estabilidad corregida (kg)	876.8	891.4	897.3
15	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2673.2	2838.9	2981.1
16	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente elaborada al aplicar 0.05% de aditivo Zycotherm variando la temperatura de mezclado.


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. N° 229051



INORME N°.: 0018
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato de Marshall
 NORMA: MTC E 504
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente (0.05% ZYCOTHERM a 120°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 22/07/2023 - 25/07/2023

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL				
Ítem	N° de briquetas	13	14	15
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Temperatura de mezclado (°C)	120		
4	Peso de la briqueta al aire (gr)	1247.5	1250.3	1246.6
5	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (gr)	1256.2	1257.9	1256.3
6	Peso de la briqueta saturada en agua (gr)	710.3	710.0	711.0
7	Volumen de briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	545.9	547.9	545.3
8	Peso específico Bulk de la briqueta (gr/cm³)	2.285	2.282	2.286
9	Peso específico máximo Rice (MTC E 508) (gr/cm³)	2.380		
10	Porcentaje de vacíos (%)	3.98	4.12	3.95
11	Flujo (mm)	3.18	3.14	3.40
12	Estabilidad sin corregir (kg)	896.9	905.8	880.8
13	Factor de estabilidad	1	1	1
14	Estabilidad corregida (kg)	896.9	905.8	880.8
15	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2820.4	2884.7	2590.6
16	Compactación (numero de golpes por cara)	75		


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente elaborada al aplicar 0.05% de aditivo Zycotherm variando la temperatura de mezclado.



INORME N°.: 0018
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Caracterización de las mezclas bituminosas por medio del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente (0.05% ZYCOTHERM a 160°C a 120°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 26/07/2023 - 27/07/2023

ENSAYO DE CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE				
Ítem	N° de briquetas	76	77	78
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Temperatura de mezclado (°C)	160		
3	Peso seco inicial de briq.(gr)	1248.3	1247.1	1250.3
4	Peso seco final de briq.(gr)	846.6	837.1	869.0
5	Pérdida por desgaste en seco (%)	32.18	32.88	30.50
6	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Ítem	N° de briquetas	79	80	81
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Temperatura de mezclado (°C)	150		
3	Peso seco inicial de briq.(gr)	1249.4	1250.0	1247.0
4	Peso seco final de briq.(gr)	841.7	865.1	856.4
5	Pérdida por desgaste en seco (%)	32.63	30.79	31.32
6	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Ítem	N° de briquetas	82	83	84
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Temperatura de mezclado (°C)	140		
3	Peso seco inicial de briq.(gr)	1247.1	1248.7	1250.1
4	Peso seco final de briq.(gr)	866.1	887.9	859.6
5	Pérdida por desgaste en seco (%)	30.55	28.89	31.24
6	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Ítem	N° de briquetas	85	86	87
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Temperatura de mezclado (°C)	130		
3	Peso seco inicial de briq.(gr)	1249.3	1247.5	1250.4
4	Peso seco final de briq.(gr)	908.9	940.5	923.0
5	Pérdida por desgaste en seco (%)	27.25	24.61	26.18
6	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Ítem	N° de briquetas	88	89	90
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Temperatura de mezclado (°C)	120		
3	Peso seco inicial de briq.(gr)	1247.4	1248.6	1247.6
4	Peso seco final de briq.(gr)	925.7	914.2	939.7
5	Pérdida por desgaste en seco (%)	25.79	26.78	24.68
6	Compactación (numero de golpes por cara)	75		

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente elaborada al aplicar 0.05% de aditivo Zycotherm variando la temperatura de mezclado.

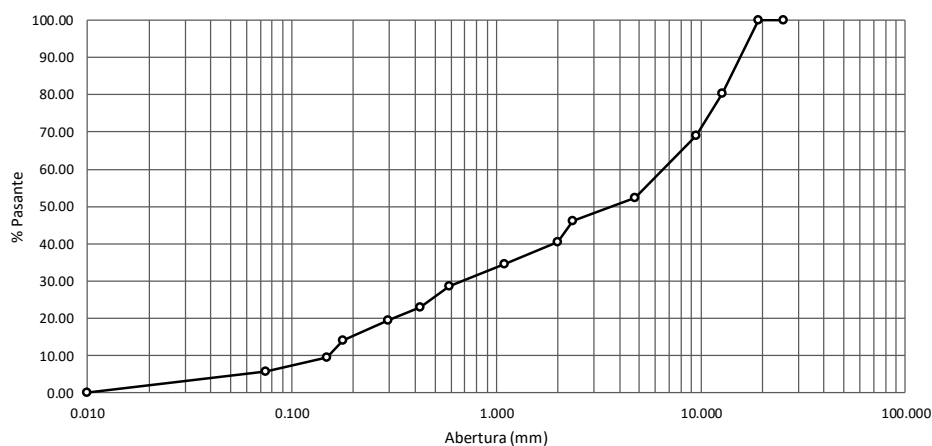

 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0019
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Ensayo de lavado asfáltico y análisis granulométrico
 NORMA: MTC E 502 / MTC E 503
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Material reciclado
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 28/07/2023

ENSAYO DE LAVADO ASFÁLTICO				
Peso inicial (gr)	Peso lavado	Peso en filtro (gr)	Peso de residuo (gr)	Residuo asfáltico (%)
1000	950.65	1.05	50.40	5.04%
1000	951.08	1.01	49.93	4.99%
1000	950.83	1.07	50.24	5.02%

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Tamiz (")	Abertura (mm)	Peso Ret.	%RP	%RA	% Pasante
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	196.4	19.64	19.64	80.36
3/8"	9.500	113.1	11.31	30.95	69.05
#4	4.760	167.1	16.71	47.66	52.34
#8	2.360	62.2	6.22	53.88	46.12
#10	2.000	56.4	5.64	59.52	40.48
#16	1.100	58.0	5.80	65.32	34.68
#30	0.590	61.0	6.10	71.42	28.58
#40	0.425	55.9	5.59	77.01	22.99
#50	0.297	33.7	3.37	80.38	19.62
#80	0.177	53.6	5.36	85.74	14.26
#100	0.149	46.3	4.63	90.37	9.63
#200	0.074	37.4	3.74	94.11	5.89
<#200		58.9	5.89	100.00	0.00
Total		1000.0			



Observaciones: Material reciclado obtenido del subtramo 4 del tramo Perene, Pichanaqui


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0020
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas mediante Marshall / Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 504 / MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente modificada (10% RAP a 160°C/150°C/140°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 29/07/2023 - 1/08/2023

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES AL INCORPORAR MATERIAL RECICLADO				
Ítem	N° de briquetas	16	17	18
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	10.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	160		
5	Flujo (mm)	3.43	3.49	3.29
6	Estabilidad sin corregir (kg)	906.7	918.5	897.0
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	906.7	918.5	897.0
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2643.4	2631.8	2726.4
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	31.68	30.16	31.08

Ítem	N° de briquetas	19	20	21
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	10.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	150		
5	Flujo (mm)	3.09	2.95	3.17
6	Estabilidad sin corregir (kg)	928.1	942.9	922.3
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	928.1	942.9	922.3
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	3003.6	3196.3	2909.5
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	31.03	32.01	32.29

Ítem	N° de briquetas	22	23	24
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	10.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	140		
5	Flujo (mm)	3.23	3.01	3.13
6	Estabilidad sin corregir (kg)	899.8	915.6	884.3
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	899.8	915.6	884.3
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2785.8	3041.9	2825.2
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	28.57	29.99	29.10

*Determinado con otro grupo de briquetas en las mismas condiciones especificadas

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente modificada con Zycotherm variando la temperatura de mezclado e incorporando material reciclado RAP en distintos porcentajes.


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0021
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas mediante Marshall / Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 504 / MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente modificada (10% RAP a 130°C/120°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 29/07/2023 - 1/08/2023

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES AL INCORPORAR MATERIAL RECICLADO				
Ítem	N° de briquetas	25	26	27
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	10.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	130		
5	Flujo (mm)	3.11	3.35	3.26
6	Estabilidad sin corregir (kg)	856.0	868.1	873.4
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	856.0	868.1	873.4
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2752.4	2591.3	2679.1
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	26.50	28.16	27.49

Ítem	N° de briquetas	28	29	30
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	10.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	120		
5	Flujo (mm)	3.30	3.35	3.10
6	Estabilidad sin corregir (kg)	848.8	831.5	860.0
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	848.8	831.5	860.0
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2572.1	2482.1	2774.2
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	25.63	26.75	26.22

*Determinado con otro grupo de briquetas en las mismas condiciones especificadas


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente modificada con Zycotherm variando la temperatura de mezclado e incorporando material reciclado RAP en distintos porcentajes.



INORME N°.: 0022
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas mediante Marshall / Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 504 / MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente modificada (20% RAP a 160°C/150°C/140°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 30/07/2023 - 2/08/2023

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES AL INCORPORAR MATERIAL RECICLADO				
Ítem	N° de briquetas	31	32	33
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	20.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	160		
5	Flujo (mm)	3.47	3.60	3.33
6	Estabilidad sin corregir (kg)	881.3	905.0	877.4
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	881.3	905.0	877.4
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2539.8	2513.9	2634.8
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	29.37	30.15	31.44

Ítem	N° de briquetas	34	35	36
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	20.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	150		
5	Flujo (mm)	3.11	3.36	3.32
6	Estabilidad sin corregir (kg)	894.0	878.4	905.2
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	894.0	878.4	905.2
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2874.6	2614.3	2726.5
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	30.82	31.49	32.35

Ítem	N° de briquetas	37	38	39
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	20.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	140		
5	Flujo (mm)	3.02	3.30	3.15
6	Estabilidad sin corregir (kg)	880.7	854.6	858.8
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	880.7	854.6	858.8
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2916.2	2589.7	2726.3
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	27.48	28.64	29.05

*Determinado con otro grupo de briquetas en las mismas condiciones especificadas

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente modificada con Zycotherm variando la temperatura de mezclado e incorporando material reciclado RAP en distintos porcentajes.


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P. N° 229051



INORME N°.: 0023
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas mediante Marshall / Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 504 / MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente modificada (20% RAP a 130°C/120°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 30/07/2023 - 2/08/2023

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES AL INCORPORAR MATERIAL RECICLADO				
Ítem	N° de briquetas	40	41	42
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	20.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	130		
5	Flujo (mm)	3.53	3.37	3.26
6	Estabilidad sin corregir (kg)	812.0	827.2	836.8
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	812.0	827.2	836.8
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2300.3	2454.6	2566.9
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	25.32	26.37	24.66

Ítem	N° de briquetas	43	44	45
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	20.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	120		
5	Flujo (mm)	3.54	3.61	3.40
6	Estabilidad sin corregir (kg)	821.9	817.8	798.6
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	821.9	817.8	798.6
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2321.8	2265.4	2348.8
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	22.83	24.04	24.65

*Determinado con otro grupo de briquetas en las mismas condiciones especificadas


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente modificada con Zycotherm variando la temperatura de mezclado e incorporando material reciclado RAP en distintos porcentajes.



INORME N°.: 0024
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas mediante Marshall / Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 504 / MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente modificada (30% RAP a 160°C/150°C/140°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 31/07/2023 - 3/08/2023

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES AL INCORPORAR MATERIAL RECICLADO				
Ítem	N° de briquetas	46	47	48
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	30.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	160		
5	Flujo (mm)	3.74	3.61	3.45
6	Estabilidad sin corregir (kg)	869.0	892.9	883.3
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	869.0	892.9	883.3
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2323.5	2473.4	2560.3
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	31.06	29.13	29.79

Ítem	N° de briquetas	49	50	51
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	30.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	150		
5	Flujo (mm)	3.56	3.43	3.34
6	Estabilidad sin corregir (kg)	882.9	894.5	865.9
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	882.9	894.5	865.9
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2480.1	2607.9	2592.5
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	29.87	30.31	31.28

Ítem	N° de briquetas	52	53	54
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	30.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	140		
5	Flujo (mm)	3.43	3.26	3.47
6	Estabilidad sin corregir (kg)	853.6	845.6	870.4
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	853.6	845.6	870.4
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2488.6	2593.9	2508.4
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	27.92	26.96	25.61

*Determinado con otro grupo de briquetas en las mismas condiciones especificadas

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente modificada con Zycotherm variando la temperatura de mezclado e incorporando material reciclado RAP en distintos porcentajes.


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0025
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas mediante Marshall / Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 504 / MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente modificada (30% RAP a 130°C/120°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 31/07/2023 - 3/08/2023

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES AL INCORPORAR MATERIAL RECICLADO				
Ítem	N° de briquetas	55	56	57
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	30.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	130		
5	Flujo (mm)	3.41	3.25	3.48
6	Estabilidad sin corregir (kg)	843.5	837.2	833.6
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	843.5	837.2	833.6
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2473.6	2576.0	2395.4
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	23.84	22.68	22.04

Ítem	N° de briquetas	58	59	60
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	30.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	120		
5	Flujo (mm)	3.72	3.66	3.49
6	Estabilidad sin corregir (kg)	784.5	803.0	809.5
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	784.5	803.0	809.5
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2108.9	2194.0	2319.5
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	21.38	23.64	22.58

*Determinado con otro grupo de briquetas en las mismas condiciones especificadas


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente modificada con Zycotherm variando la temperatura de mezclado e incorporando material reciclado RAP en distintos porcentajes.



INORME N°.: 0026
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas mediante Marshall / Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 504 / MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente modificada (40% RAP a 160°C/150°C/140°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 1/08/2023 - 4/08/2023

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES AL INCORPORAR MATERIAL RECICLADO				
Ítem	N° de briquetas	61	62	63
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	40.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	160		
5	Flujo (mm)	3.57	3.74	3.77
6	Estabilidad sin corregir (kg)	889.4	870.6	861.4
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	889.4	870.6	861.4
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2491.3	2327.8	2284.9
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	28.19	29.92	28.87

Ítem	N° de briquetas	64	65	66
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	40.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	150		
5	Flujo (mm)	3.67	3.84	3.63
6	Estabilidad sin corregir (kg)	847.7	868.8	873.7
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	847.7	868.8	873.7
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2309.8	2262.5	2406.9
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	29.81	30.38	28.47

Ítem	N° de briquetas	67	68	69
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	40.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	140		
5	Flujo (mm)	3.44	3.30	3.16
6	Estabilidad sin corregir (kg)	825.3	807.6	798.6
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	825.3	807.6	798.6
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2399.1	2447.3	2527.2
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	25.06	24.50	26.25

*Determinado con otro grupo de briquetas en las mismas condiciones especificadas

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente modificada con Zycotherm variando la temperatura de mezclado e incorporando material reciclado RAP en distintos porcentajes.


 SAUL F. DIONISIO ACUÑA
 INGENIERO CIVIL
 CIP. N° 229051



INORME N°.: 0027
 INTERESADO: Bach. Carlos Apolinario Peñaloza Ripas
 TIPO DE ENSAYO: Resistencia de mezclas bituminosas mediante Marshall / Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste
 NORMA: MTC E 504 / MTC E 515
 PROYECTO: "Efecto del material reciclado del subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semicalientes modificadas, Huancayo 2023"
 MATERIAL: Mezcla asfáltica semicaliente modificada (10% RAP a 130°C/120°C de mezclado)
 PROCEDENCIA: ---
 FECHA: 1/08/2023 - 4/08/2023

MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES AL INCORPORAR MATERIAL RECIKLADO				
Ítem	N° de briquetas	70	71	72
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	40.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	130		
5	Flujo (mm)	3.73	3.50	3.66
6	Estabilidad sin corregir (kg)	789.8	806.0	779.2
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	789.8	806.0	779.2
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2117.4	2302.9	2129.0
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	23.40	22.00	23.74

Ítem	N° de briquetas	73	74	75
1	Porcentaje de Cemento Asfáltico en peso de la mezcla (%)	5.45		
2	Aditivo Zycotherm (%)	0.05		
3	Material reciclado RAP (%)	40.0		
4	Temperatura de mezclado (°C)	120		
5	Flujo (mm)	3.60	3.87	3.71
6	Estabilidad sin corregir (kg)	759.0	781.5	778.2
7	Factor de estabilidad	1	1	1
8	Estabilidad corregida (kg)	759.0	781.5	778.2
9	Relación Estabilidad/Flujo (kg/mm)	2108.3	2019.4	2097.6
10	Pérdida por desgaste en seco* (%)	24.47	23.45	22.78

*Determinado con otro grupo de briquetas en las mismas condiciones especificadas

Observaciones: Mezcla asfáltica semicaliente modificada con Zycotherm variando la temperatura de mezclado e incorporando material reciclado RAP en distintos porcentajes.

Anexo 3. Ficha técnica Zycotherm





NANOTECNOLOGÍA PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

REDUCCIÓN DE TEMPERATURAS MEJOR COMPACTACIÓN COBERTURA TOTAL MAYOR ADHERENCIA

Un solo producto que permite reducir las temperaturas de producción y compactación de las mezclas asfálticas, generar una cobertura total y aumentar la adherencia entre el asfalto y los agregados.

La tecnología del aditivo Zycotherm funciona a base de organosilanos de segunda generación que reaccionan químicamente con los agregados y el asfalto y que generan los siguientes beneficios:

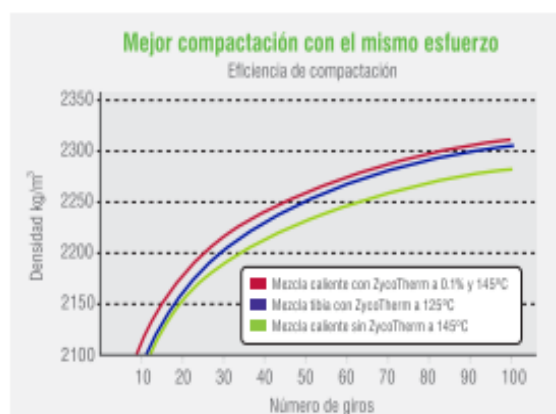
Reducción de temperaturas de compactación y producción.	Afinidad entre el asfalto y los agregados, logrando su cobertura total y pavimentos más negros.
Mayores distancias de acarreo al disminuir la temperatura de compactación, lo que aumenta el radio de acción de la planta.	Aumento de adherencia entre la superficie del agregado y el asfalto, lo que reduce notablemente los problemas de desprendimiento.
Ahorro en combustible en planta y optimización del tiempo de producción.	Mejor distribución de esfuerzos e incremento de la resistencia a la fatiga.
Menor emisión de gases contaminantes y reducción de olores emitidos por la mezcla, brindando mayor confort para operadores y vecinos.	Excelente resistencia al agua y al intemperismo, lo que prolonga la vida útil del pavimento y reduce sus necesidades de mantenimiento.
Las moléculas de la mezcla con Zycotherm repelen a las de acero, lo que permite trabajar con equipos siempre limpios y que requieren menos mantenimiento.	
Zycotherm es compatible con el empleo de polímeros (SBS, SBR, entre otros) y se puede utilizar también con asfalto reciclado.	
Uso más eficiente de los recursos, pavimentos sustentables.	

Reducción de temperaturas y compactación mejorada

La adición de Zycotherm al asfalto permite reducir las temperaturas de producción y compactación de las mezclas y facilitar su colocación.

- Las temperaturas de producción de las mezclas asfálticas pueden reducirse en 10 - 30°C, ahorrando cantidades considerables de combustible.
- Las temperaturas de compactación pueden abatirse hasta los 100°C, extendiendo el radio de acción de la planta al posibilitar el aumento de las longitudes de acarreo.

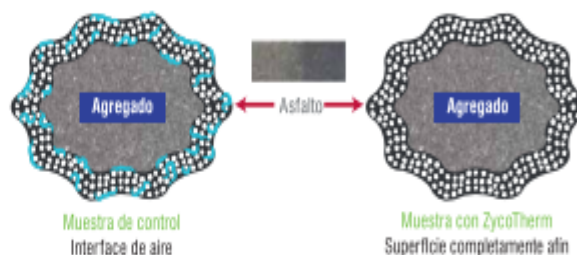
www.zydex.mx



Cobertura total del agregado

El asfalto con Zycotherm logra una cobertura total del agregado debido a una mejor impregnación. También satura los poros y cavidades de la superficie del agregado y en 45-60 segundos de mezclado asegura que no exista interfaces de aire, mitigando el fenómeno de oxidación.

Al generar enlaces químicos, las mezclas producidas con asfaltos mejorados con Zycotherm aumentan la adherencia entre el asfalto y el agregado, reduciendo potencialmente el desprendimiento y mejorando su resistencia a la fatiga



Mayor adherencia

El asfalto común, al mezclarse con agregados hidrófilos (afines al agua), forma enlaces físicos débiles que fallan ante condiciones de humedad, lo que genera grietas y baches en el pavimento.

- Zycotherm modifica químicamente la superficie del agregado y la vuelve completamente afín al asfalto.
- Zycotherm genera un enlace químico fuerte entre el asfalto y el agregado, que aumenta de manera considerable los valores de TSR.
- Si el agregado y la temperatura de compactación son adecuados, Zycotherm permite reducir el contenido de asfalto en la mezcla.
- Zycotherm extiende la vida útil del pavimento al blindarlo contra el intemperismo.



Almacenamiento

ZycoTherm no requiere precauciones especiales y es seguro de manipular. Debe almacenarse entre 5-45°C, alejado de la luz solar y en ambiente seco, lejos del calor, fuentes de ignición, lluvia y agua estancada. El contenedor debe cerrarse completamente tras cada uso. Su caducidad es de 24 meses.

Zydex Inc. 106, Kitty Hawk Drive, Morrisville, NC 27560, USA
 Call : 919 342 6551 Fax : 919 544 3487 Email : us.sales@zydexindustries.com

Zydex® : "Sustainability through innovation"

TerraSil

Estabilización de suelos /
Resistencia al agua de Terracerías,
Subbases y Bases

Nanotac

Riegos asfálticos
Mezclas en frío
Morteros asfálticos

ZycoTherm

Mezclas asfálticas
calientes y tibias

Anexo 4. Certificado de calibración de equipos

Fecha de emisión 2024/05/01

Solicitante INGEODINAMICA E.I.R.L.

Dirección JR. LOS INCAS NRO. 217 URB. SATIPO (5 72621376
1/2 CDRA DE AGENCIA LOBATO) JUNIN - SATIPO -
SATIPO

Instrumento de medición **BALANZA**

Identificación NO INDICA

Intervalo de indicación 6200 g

División de escala 0,1 g

Resolución

División de verificación 0,1 g

(e)

Tipo de indicación Digital

Marca / Fabricante OHAUS

Modelo 55X6201/E

N° de serie 901871106

Procedencia ESTADOS UNIDOS

Ubicación Laboratorio de suelos

Lugar de calibración Instalaciones del cliente

Fecha de calibración 2024/05/01

Método/Procedimiento de calibración

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metroológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnic
METROLOGIA

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1045-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1044-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1046-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1047-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1048-MPES-C-2023

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 28 °C	Final: 28 °C
Humedad Relativa	Inicial: 51 %hr	Final: 51 %hr

Resultados

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 3100 g			Carga L1= 6200 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	3100,0	0,001	-0,001	6200	0,005	-0,002
2	3100,0	0,002	-0,004	6200	0,004	-0,004
3	3100,0	0,004	-0,005	6200	0,006	-0,004
4	3100,0	0,003	-0,007	6200	0,003	-0,009
5	3100,0	0,003	-0,009	6200	0,005	-0,012
6	3100,0	0,004	-0,001	6200	0,007	-0,014
7	3100,0	0,004	-0,004	6200	0,003	-0,01
8	3100,0	0,007	-0,008	6200	0,005	-0,009
9	3100,0	0,006	-0,004	6200	0,004	-0,007
10	2999,8	0,005	-0,003	6200	0,004	-0,008
Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)		Error Máximo Permitido (g)			
3000	0		0,05			
6200	0		0,3			



ARSOU GROUP S.A.C.

Ing. Hugo Luis Arevalo Cerbasi
METROLOGÍA

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E_0				Determinación de E_0				
	Carga Mín ⁽¹⁾ (g)	I (kg)	ΔL (g)	E_0 (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)
1	1	1	0,004	-0,001	500	500	0,006	-0,001	0,001
2		1	0,006	-0,004		500	0,001	-0,001	0,004
3		1	0,005	0,004		500	0,002	-0,002	-0,001
4		1	0,007	0,001		500	0,001	0,001	0,003
5		1	0,009	-0,002		500	0,005	0,004	0,001

⁽¹⁾ Valor entre 0 y 10 e

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP ⁽²⁾ (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)	
1,0	1,0	0,004	-0,001	0,005					0,05
10,0	10,0	0,006	0,004	0,004	10,0	0,006	0,001	0,004	0,05
20,0	20,0	0,002	-0,005	0,003	20,0	0,005	0,004	-0,003	0,05
50,0	50,0	0,002	0,004	0,005	50,0	0,009	-0,003	-0,003	0,05
100,0	100,0	0,004	0,004	0,006	100,0	0,005	0,003	0,001	0,05
200,0	200,0	0,001	0,005	0,002	200,0	0,004	-0,004	0,001	0,05
500,0	500,0	0,003	0,004	0,003	500,0	0,004	0,004	0,004	0,05
1000,0	1000,0	0,004	0,004	0,002	1000,0	0,005	-0,03	-0,002	0,05
2000,0	2000,0	0,009	0,004	0,003	2000,0	0,003	-0,004	-0,01	0,3
5000,0	5000,0	0,012	0,008	0,001	5000,0	0,014	-0,009	-0,01	0,3
6200,0	6200,0	0,009	0,006	0,005	6200,0	0,004	-0,015	-0,011	0,3

Leyenda

I: Indicación de la balanza

ΔL : Carga incrementada

E: Error encontrado

E_0 : Error en cero

E_c : Error corregido

EMP: Error máximo permitido

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

Incertidumbre expandida de medición $U_{95} = 2 \cdot \sqrt{0,00205 \text{ g}^2 + 0,0000000104046 \text{ R}^2}$

Lectura Corregida $R_{\text{corregida}} = R + 7,523685435 \cdot R$

R: Indicación de lectura de balanza (g)



Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metrología Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura $k=2$.
4. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

Fin de documento

Fecha de emisión	2024/05/01
Solicitante	INGEODINAMICA E.I.R.L.
Dirección	JR. LOS INCAS NRO. 217 URB. SATIPO (S 72621376 1/2 CDRA DE AGENCIA LOBATO) JUNIN - SATIPO - SATIPO
Instrumento de medición	BALANZA
Identificación	NO INDICA
Intervalo de indicación	30000 g
División de escala Resolución	1 g
División de verificación (e)	1 g
Tipo de indicación	Digital
Marca / Fabricante	OHAUS
Modelo	R31PE30
N° de serie	8340110606
Procedencia	ESTADOS UNIDOS
Ubicación	Laboratorio de suelos
Lugar de calibración	Instalaciones del cliente
Fecha de calibración	2024/05/01
Método/Procedimiento de calibración	"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metrológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003:2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.





Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LMA-086-2024

Página 2 de 3

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1045-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1044-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1046-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1047-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1048-MPES-C-2023

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 28 °C Final: 28 °C
 Humedad Relativa Inicial: 51 %hr Final: 51 %hr
Resultados

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 15000 g			Carga L1= 30000 g		
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15000	0,001	-0,001	30001	0,007	-0,004
2	15000	0,002	-0,004	30001	0,003	-0,006
3	15000	0,003	0,005	30000	0,004	-0,004
4	15002	0,001	0,001	30000	0,001	-0,009
5	15002	0,004	-0,007	30001	0,001	-0,004
6	15002	0,001	-0,005	30001	0,002	-0,003
7	15002	0,003	-0,003	30002	0,003	-0,009
8	15002	0,009	-0,001	30002	0,003	-0,001
9	15002	0,007	-0,002	30002	0,004	-0,001
10	15002	0,005	-0,003	30002	0,003	-0,001
Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)		Error Máximo Permitido (g)			
15000	0		1			
30002	0		5			



ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arévalo Carnica
METROLOGÍA

ARSOU GROUP S.A.C.
 Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
 Telf: +51 201-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
 ventas@arsougroup.com
 www.arsougroup.com



Arso Group

Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LMA-086-2024

Página 3 de 3

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Posición de la Carga	Determinación de E_0				Determinación de E_0				
	Carga Min ⁽¹⁾ (g)	I (g)	ΔL (g)	E_0 (g)	Carga L (g)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)
1	50	50	0,004	-0,001	10000	10002	0,006	-0,001	0,001
2		50	0,003	0,003		9997	0,004	-0,003	0,001
3		50	0,002	0,001		9998	0,005	0,001	0,001
4		50	0,002	0,003		10001	0,004	0,002	0,006
5		50	0,006	0,002		9999	0,007	0,001	-0,002

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	Crecientes				Decrecientes				EMP ⁽²⁾ (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E_c (g)	
1	1	0,010	0,001	0,001					
5	5	0,030	0,001	0,001	5	0,008	-0,005	0,001	0,1
10	10	0,020	-0,002	0,002	10	0,006	-0,001	0,003	0,1
50	50	0,002	0,002	0,001	50	0,002	0,002	0,001	0,1
100	100	0,009	0,004	0,001	100	0,004	0,005	0,006	0,1
500	500	0,009	0,006	-0,002	500	0,006	0,007	0,009	0,2
1000	1000	0,010	-0,005	0,005	1000	0,001	0,007	0,002	0,2
5000	5001	0,012	0,008	0,006	5001	0,007	0,001	0,001	0,2
10000	10001	0,008	0,003	0,001	10001	0,017	0,002	0,006	0,2
20000	20002	0,015	0,002	0,011	20002	0,009	-0,001	0,012	0,6
30000	30000	0,011	0,006	0,007	30000	0,005	0,004	-0,002	0,6

Leyenda

I: Indicación de la balanza

ΔL : Carga incrementada

E: Error encontrado

E_0 : Error en cero

E_c : Error corregido

EMP: Error máximo permitido

INCERTIDUMBRE EXPANDIDA Y LECTURA CORREGIDA

$$\text{Incertidumbre expandida de medición} \quad U_M = 2 \cdot \sqrt{0.25508 \text{ g}^2 + 0.0000000011012 \text{ R}^2}$$

$$\text{Lectura Corregida} \quad R_{\text{corregida}} = R + 0.000671328 \quad R$$

R: Indicación de lectura de balanza (g)



Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. Los EMP para esta balanza, corresponden para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II según la Norma Metroológica Peruana NMP 003:2009
3. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura $k=2$.
4. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
5. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

Fin de documento

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mr C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Tel: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arévalo Carnic
METROLOGÍA



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LMI-022-2024

Página 1 de 5

Fecha de emisión	2024/05/01
Solicitante	INGEODINAMICA E.I.R.L.
Dirección	JR. LOS INCAS NRO. 217 URB. SATIPO (S 72621376 1/2 CDRA DE AGENCIA LOBATO) JUNIN - SATIPO - SATIPO
Instrumento de medición	HORNO DE LABORATORIO
Identificación	NO INDICA
Marca	A & A INSTRUMENTS
Modelo	STHX-1A
Serie	210673
Resolución	0.1 °C
Cámara	76 Litros
Ventilación	NATURAL
Pirómetro	DIGITAL
Modelo	NO INDICA
Procedencia	CHINA
Ubicación	Laboratorio de suelos
Lugar de calibración	Instalaciones del cliente
Fecha de calibración	2024/05/01

Método/Procedimiento de calibración

- SNM – PC-018 2da Ed. 2009 – Procedimiento para la calibración de medios isotermos con aire como medio termostático. INACAL.
- ASTM D 2216, MTC E 108 – Método de ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.

Ing. Lidia Leticia Araya-García
M. C. 10000000000000000000

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
CADENT S.A.C.	Termómetro con 12 sondas TIPO K	0478-LT-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 27 °C Final: 27 °C
Humedad Relativa Inicial: 52 %hr Final: 52 %hr

Resultados

TEMPERATURA

Tiempo (hh:mm)	Pirómetro °C	INDICACIONES CORREGIDAS DE CADA TERMOCUPLA ° C										T° Prom. °C	Tmax - Tmin °C
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00:00	110	110,4	111,2	114,1	109,9	106,6	108,2	112,5	110,0	108,4	110,7	110,2	7,5
00:02	110	112,3	111,4	108,4	110,6	109,7	106,5	108,7	109,3	110,2	106,1	109,3	6,2
00:04	110	114,2	110,1	109,8	112,0	111,6	109,4	112,8	108,5	113,6	107,1	110,9	7,1
00:06	110	109,6	108,7	114,0	109,6	112,0	110,9	109,2	111,2	108,3	112,0	110,6	5,7
00:08	110	110,6	112,1	109,5	111,1	107,4	106,2	107,4	106,1	112,6	110,7	109,4	6,5
00:10	110	113,2	109,2	114,9	112,6	107,1	112,6	108,8	114,3	112,4	112,1	111,7	7,8
00:12	110	110,1	108,7	108,8	106,7	108,3	108,2	112,7	107,3	106,2	107,8	108,5	6,5
00:14	110	111,2	109,6	111,2	109,0	107,9	113,9	113,6	113,3	108,8	108,8	110,7	6,0
00:16	110	112,6	111,3	108,1	112,2	113,1	108,9	111,2	110,7	107,4	109,4	110,5	5,7
00:18	110	108,4	110,3	106,4	108,4	113,6	110,2	112,3	108,8	108,1	109,2	109,6	7,2
00:20	110	108,1	109,1	111,2	107,2	111,3	107,4	107,8	109,0	112,4	107,9	109,1	5,2
00:22	110	108,9	112,1	108,8	107,3	113,6	113,2	111,7	111,8	107,5	107,6	110,3	6,3
00:24	110	112,3	110,7	111,1	115,0	112,8	106,8	112,7	110,6	112,4	114,0	111,8	8,2
00:26	110	108,6	108,4	110,0	110,5	112,8	111,0	113,2	112,2	113,7	109,4	111,0	5,3
00:28	110	107,9	112,1	112,8	112,0	111,4	110,3	109,3	109,3	113,1	109,3	110,8	5,2
00:30	110	109,6	111,9	110,0	108,6	110,1	113,9	114,7	111,1	114,6	111,8	111,6	6,1
00:32	110	112,3	112,1	109,7	109,6	110,4	112,7	108,7	114,6	108,2	108,4	110,7	6,4
00:34	110	106,5	111,7	107,2	110,1	110,0	112,8	113,3	110,9	114,3	111,6	110,8	7,8
00:36	110	109,3	108,4	110,2	109,2	108,3	107,9	114,9	107,0	109,7	106,5	109,1	8,4
00:38	110	107,9	111,9	107,5	109,9	112,7	110,0	112,2	113,3	110,3	113,5	110,9	6,0
00:40	110	108,7	109,1	107,3	109,9	114,4	108,1	110,7	110,3	110,8	114,4	110,4	7,1
00:42	110	112,3	110,7	109,7	113,7	114,6	113,7	114,9	108,5	110,5	113,2	112,2	6,4
00:44	110	109,8	110,0	112,9	107,7	112,6	113,9	112,0	114,0	114,0	106,9	111,4	7,1
00:46	110	111,8	109,1	111,0	112,8	110,2	113,2	114,1	111,1	110,4	110,9	111,5	5,0
00:48	110	107,8	111,6	112,6	108,7	107,3	114,0	109,1	107,2	109,0	107,0	109,4	7,0
00:50	110	109,8	109,1	111,1	108,0	111,9	112,1	106,6	107,2	114,4	106,5	109,7	7,9
T. PROM.	110	110,2	110,4	110,3	110,1	110,8	110,6	111,4	110,3	110,8	109,7	110,5	
T. MAX.	110	114,2	112,1	114,9	115,0	114,6	114,0	114,9	114,6	114,6	114,4		
T. MIN.	110	106,5	108,4	106,4	106,7	106,6	106,2	106,6	106,1	106,2	106,1		

Nomenclatura:

T. P Promedio de indicaciones corregidas de los termopares para un instante de tiempo.
Tmax Diferencia entre máxima y mínima temperatura para un instante de tiempo.
T. P Promedio de indicaciones corregidas para a cada termocupla durante el tiempo total.
T. M La Máxima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.
T. M La Mínima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.

ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Jorge Luis Arzuaga Carnica
METROLOGÍA

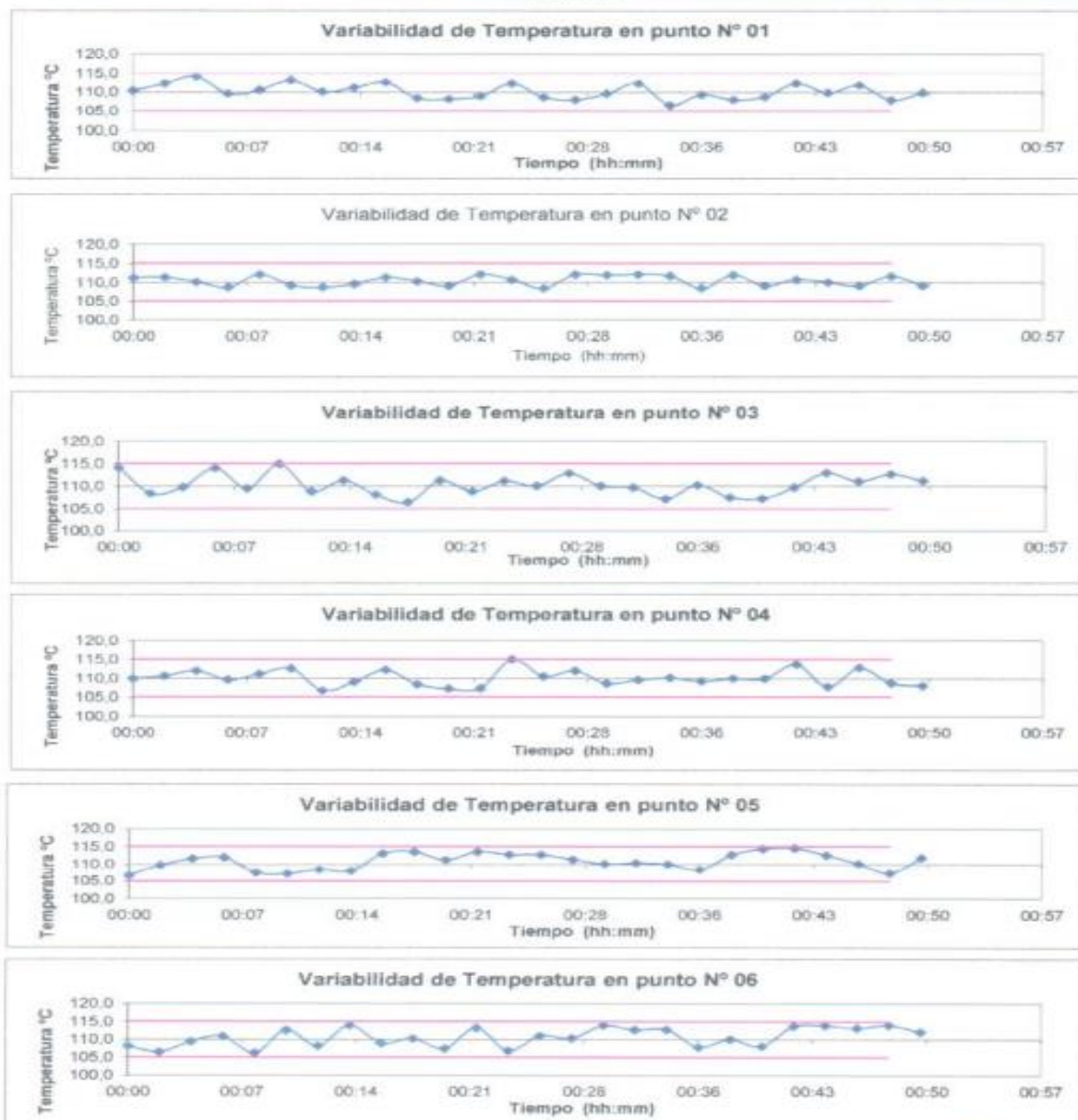


Arsou Group
Laboratorio de Metrología

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LMI-022-2024

Página 3 de 5

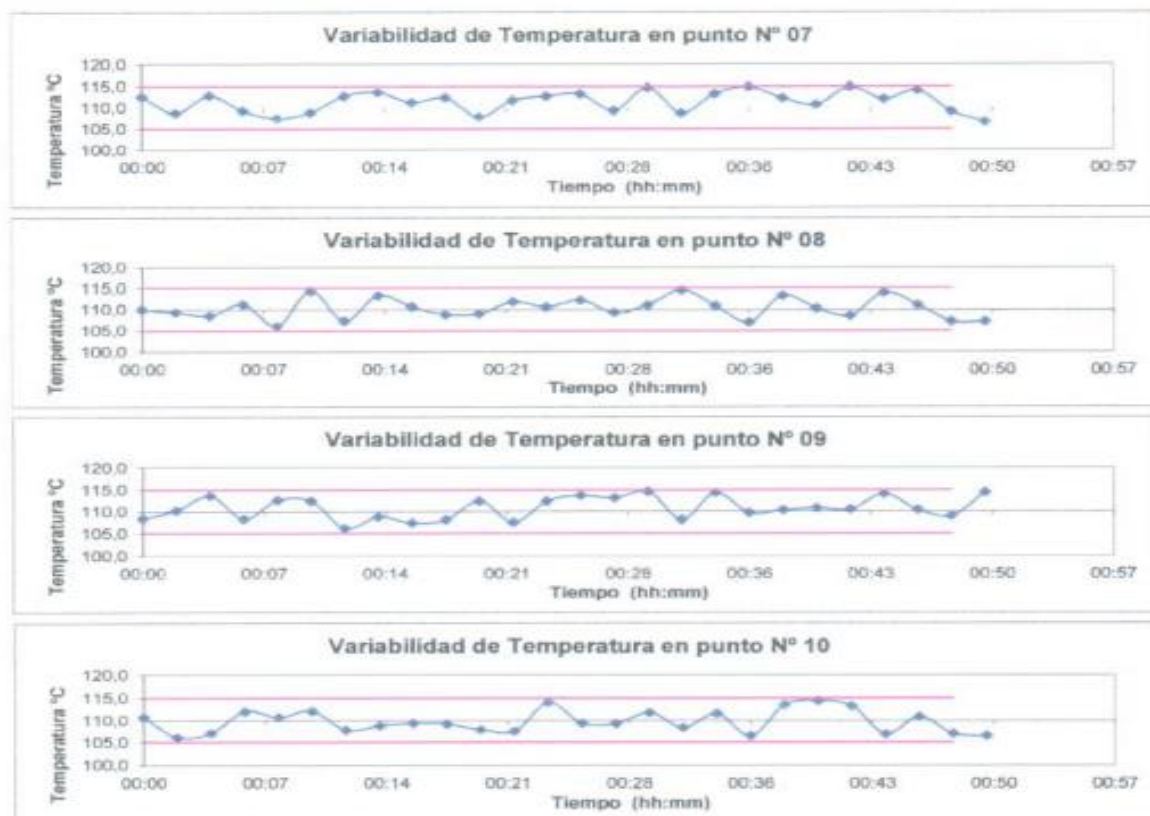
GRÁFICO



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Hugo Chao Alvarado Carnica
METROLOGÍA



DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL ESPACIO



NIVEL SUPERIOR



NIVEL INFERIOR



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú

Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437

ventas@arsougroup.com

www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Augusto Arriaga Carnica
METROLOGÍA



Arsou Group
Laboratorio de Metrología

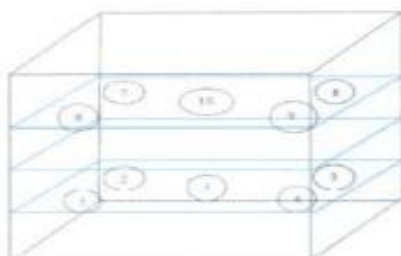
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° LMI-022-2024

Página 5 de 5

IMAGEN



GRÁFICO DE DISTRIBUCIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA



PANEL FRONTAL DEL EQUIPO

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. La incertidumbre de la medición ha sido calculada para un nivel de confianza de aproximadamente del 95 % con un factor de cobertura $k=2$.
3. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
4. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"

Fin de documento



ARSOU GROUP S.A.C.

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú
Telf: +51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437
ventas@arsougroup.com
www.arsougroup.com

ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arévalo Carnicé
METROLOGÍA

Fecha de emisión	2023/09/05
Solicitante	INGEODINAMICA E.I.R.L.
Dirección	JR. LOS INCAS NRO. 217 URB. SATIPO (S 72621376 1/2 CDRA DE AGENCIA LOBATO) JUNIN - SATIPO -
Instrumento de medición	ABRASIÓN LOS ANGELES
Identificación	NÓ INDICA
Marca	ARSOU
Modelo	NO INDICA
Serie	M-168
Estructura	FIERRO
Carga abrasiva	12 BILLAS
Procedencia	PERÚ
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
Lugar de calibración	JR. LOS INCAS NRO. 217 URB. SATIPO (S 72621376 1/2 CDRA DE AGENCIA LOBATO) JUNIN - SATIPO - SATIPO
Fecha de calibración	2023/09/05

Método/Procedimiento de calibración

La Calibración se realizó por comparación entre las lecturas del indicador digital de la máquina los Ángeles y un cronómetro, se usó una balanza certificada para el peso de las cargas abrasivas, y el vernier para el diámetro de las esferas. Tomando como referencia el manual de ensayo materiales (EM 2000) ABRASION LOS ANGELES (L.A.) al desgaste de los agregados MTC E207-2000, AASHTO T-96 y la norma ASTM C 131- 1 Standard Test Method for Resistance to degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact In the Angeles Machine.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
DSI AUTOMATION E.I.R.L.	Pie de Rey digital	L-0063-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1045-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1044-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1046-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1047-MPES-C-2023
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1048-MPES-C-2023

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental Inicial: 27 °C Final: 27 °C
Humedad Relativa Inicial: 61 %hr Final: 61 %hr

Resultados

Dimensiones cilindro : Long Int. 20" x Diam Int 28" +/- 0.2"

N° DE VUELTAS POR NORMA	INDICACIÓN TIEMPO PROMEDIO
ENSAYO 1	30 - 33 T=1':00"
	31 T Prom.: 1':00"
ENSAYO 2	500 15':15" <T<17':06"
	T Prom.: 15':09"
ENSAYO 3	1000 30':30" <T<33':33"
	T Prom.: 32':38"

Medición	Diámetro de las Esferas (mm)	Diámetro de las Esferas (mm)	Promedio (mm)	Incertidumbre (mm)
Nro.	1era Lectura	2da Lectura	47 ± 0.63	
1	46.811	46.231	46.521	0.01
2	46.669	46.215	46.442	0.01
3	46.369	46.118	46.244	0.01
4	47.003	46.706	46.855	0.01
5	45.722	46.950	46.336	0.01
6	45.867	47.036	46.452	0.01
7	46.370	46.811	46.591	0.01
8	47.150	46.829	46.990	0.01
9	47.110	46.759	46.935	0.01
10	46.360	46.834	46.597	0.01
11	47.387	46.798	47.093	0.01
12	46.524	46.773	46.649	0.01



ARSOU GROUP S.A.C.
Ing. Jorge Luis Arriola Carnica
METROLOGÍA

Pesaje	Peso de las billas (Carga Abrasiva)	Incertidumbre (g.)
Nro.	417,5 ± 27,5	
1	416.4	1.00
2	416.8	1.00
3	415.9	1.00
4	415.8	1.00
5	415.7	1.00
6	416.2	1.00
7	416.3	1.00
8	416.8	1.00
9	416.7	1.00
10	414.8	1.00
11	417.6	1.00
12	416.9	1.00
Total	4995.9	

Observaciones

1. Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
2. (*) Código indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
3. Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"



ARSOU GROUP S.A.C

Ing. Hugo Luis Arevalo Carnicero
METROLOGÍA

Anexo 5. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cuál es la influencia de los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas?	Determinar la influencia de los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas.	Los materiales reciclados del subtramo 4 tramo Perené – Pichanaqui influyen significativamente en el diseño de mezclas asfálticas semi calientes modificadas, permitiendo un mayor aprovechamiento.	Material reciclado	5% de RAP en reemplazo	MTC E 501 Muestreo mezcla MTC E 502 Extracción Asfalto MTC E 204 Granulometría R.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN Método Científico
				10% de RAP en reemplazo	MTC E 501 Muestreo mezcla MTC E 502 Extracción Asfalto MTC E 204 Granulometría R.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN Tipo correlacional
				15% de RAP en reemplazo	MTC E 501 Muestreo mezcla MTC E 502 Extracción Asfalto MTC E 204 Granulometría R.	TIPO DE INVESTIGACIÓN Tipo aplicado
¿Cómo influye la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la estabilidad de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui?	Determinar la influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la estabilidad de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui	La estabilidad aumenta significativamente mediante la aplicación de la mezcla asfáltica semi caliente con adición de material reciclado proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.	Mezcla asfáltica semi caliente	Resistencia Marshall	MTC E 501 Apresto Muestras MTC E 504 Ensayo Marshall MTC E 507 Corrección valor	POBLACIÓN Subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui
¿Cómo influye la variación del porcentaje en adición de material reciclado en el flujo de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui?	Determinar la influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en el flujo de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui	El flujo decrece representativamente mediante la aplicación de la mezcla asfáltica semi caliente con adición de material reciclado proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.		Deformación Marshall	MTC E 501 Apresto Muestras MTC E 504 Ensayo Marshall MTC E 507 Corrección valor	MUESTRA 80 kg del material reciclado
¿De qué forma la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la resistencia al desgaste Cántabro de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui?	Examinar la influencia de la variación del porcentaje en adición de material reciclado en la resistencia al Cántabro de la mezcla asfáltica semi caliente proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.	La resistencia al desgaste Cántabro aumenta ligeramente mediante la aplicación de la mezcla asfáltica semi caliente con adición de material reciclado proveniente de subtramo 4 tramo Perene – Pichanaqui.		Resistencia al desgaste	MTC E 501 Apresto Muestras MTC E 515 Ensayo Cántabro MTC E 505 Porcentaje aire	