

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Influencia del periodo de envejecimiento de mezclas  
asfálticas recicladas sobre la degradación escalonada  
de sus propiedades mecánicas - Huancayo - Junín**

Javier Sergio Larrauri De La Cruz  
Angel Nikola Navarro Perez

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : **FELIPE NÉSTOR GUTARRA MEZA**  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : **RANDO PORRAS OLARTE**  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de la tesis

**FECHA** : 15 de mayo de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulado: **“INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS – HUANCAYO - JUNIN”**, perteneciente al / los estudiante (s): **LARRAURI DE LA CRUZ JAVIER SERGIO** y **NAVARRO PEREZ ANGEL NIKOLA**, de la E.A.P. de **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 **19 %** de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

Filtro de exclusión bibliográfica	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
Filtro de exclusión de grupos de palabras de menores (Numero de palabras excluidas:)	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>
Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>

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

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de igualdad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el reglamento del Registro Nacional de Trabajadores de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales -RENATI y la DIRECTIVA N°003-2016R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro en particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

## **AGRADECIMIENTOS**

EL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN SE LO DEBEMOS A NUESTRAS FAMILIAS, QUE GRACIAS A SU PACIENCIA HEMOS PODIDO DEDICAR PARTE DEL TIEMPO DE NUESTRAS VIDAS PARA QUE SEA UNA REALIDAD ESTA INVESTIGACIÓN.

## **DEDICATORIA**

DEDICAMOS ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
A NUESTROS PADRES, QUIENES DÍA A DÍA  
FUERON EL PILAR Y EL SOPORTE PARA LOGRAR  
SIEMPRE NUESTROS OBJETIVOS.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	1
DEDICATORIA .....	2
ÍNDICE.....	3
LISTA DE TABLAS .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	9
RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento del Problema .....	15
1.2. Formulación del Problema .....	17
1.2.1. Problema General .....	17
1.2.2. Problemas Específicos .....	17
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. Objetivo general .....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificación e importancia.....	18
1.4.1. Justificación práctica .....	18
1.4.2. Justificación económica.....	18
1.4.3. Justificación metodológica.....	19
1.4.4. Importancia .....	19
1.5. Delimitación de la investigación .....	19
1.5.1. Delimitación espacial.....	19
1.5.2. Delimitación temporal .....	20
1.5.3. Delimitación conceptual.....	20

1.6. Hipótesis y descripción de variables .....	20
1.6.1. Hipótesis General.....	20
1.6.2. Hipótesis Específicas .....	20
1.7. Variables .....	21
1.7.1. Variable Independiente.....	21
1.7.2. Variable Dependiente .....	21
1.8. Operacionalización .....	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes del Problema.....	23
2.1.1. Antecedentes Nacionales .....	23
2.1.2. Antecedentes Internacionales .....	25
2.2. Bases Teóricas.....	28
2.2.1. Mezclas asfálticas recicladas .....	28
2.2.2. Usos de la carretera y requisitos de procesamiento .....	32
2.2.3. Propiedades del material.....	36
2.2.4. Procedimientos de construcción .....	43
2.2.5. Envejecimiento del asfalto .....	48
2.3. Definición de Términos Básicos.....	53
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	55
3.1. Métodos y alcance de la investigación.....	55
3.1.1. Método de Investigación.....	55
3.1.2. Nivel .....	55
3.1.3. Tipo .....	56
3.2. Diseño de la investigación .....	56
3.3. Población y muestra .....	57
3.3.1. Población .....	57

3.3.2. Muestra .....	57
3.3.3. Muestreo .....	58
3.4. Técnicas de recolección de datos.....	58
3.5. Instrumento de análisis de datos .....	58
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
4.1. Selección de Materiales del Diseño de Mezcla Patrón.....	59
4.1.1. Agregado Grueso para MAC 01 – Piedra ¾” Sicaya .....	61
4.1.2. Agregado Grueso para MAC 01 – Piedra ½” Sicaya .....	63
4.1.3. Agregado Fino para MAC 01 – Arena Chancada Sicaya .....	65
4.1.4. Agregado Fino para MAC 01 – Arena Zarandeada Sicaya .....	66
4.1.5. Filler para el MAC 01 – Cal Hidratada .....	68
4.1.6. Ligante Asfáltico – CAP PEN 85/100.....	70
4.2. Diseño de Mezcla Asfáltica Patrón – MAC 01.....	71
4.2.1. Mezcla Teórica de agregados para el MAC 01 .....	71
4.2.2. Óptimo Contenido de Asfalto – Marshall MAC 01 .....	76
4.3. Propiedades Mecánicas por Periodo de Envejecimiento del RAP - OE 1 .	83
4.3.1. Caracterización Básica del RAP .....	83
4.3.2. Propiedades mecánicas del RAP – Periodo de Envejecimiento .....	94
4.4. Propiedades Mecánicas por RAP recuperado - OE 2 .....	96
4.4.1. Estabilidad de RAP Recuperado por Periodo de Envejecimiento .....	96
4.4.2. Flujo del RAP Recuperado por Periodo de Envejecimiento .....	102
4.4.3. Vacíos del RAP Recuperado por Periodo de Envejecimiento .....	109
4.5. Coeficiente TSR y Corrección del RAP recuperado - OE 3.....	115
4.5.1. Coeficiente TSR de RAP Recuperado por Periodo de Envejecimiento	115
4.5.2. Corrección del Contenido Asfáltico por Tipo de RAP.....	122
4.6. Análisis de Resultados del RAP por Periodo de Envejecimiento - OG....	125

4.7. Discusión de Resultados en Contraste con Hipótesis .....	130
4.8. Análisis Estadístico de la Base de Datos Generada .....	132
4.8.1. Análisis de estabilidad (kg) al emplear RAP (%).....	132
4.8.2. Análisis de flujo (mm) al emplear RAP (%) .....	143
4.8.3. Análisis de TSR (%) al emplear RAP (%) .....	153
CONCLUSIONES .....	165
RECOMENDACIONES .....	167
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	169
ANEXOS.....	172
ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO.....	173
ANEXO 2. CERTIFICADOS DE ENSAYOS .....	192
ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	209

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable .....	22
Tabla 2. Rango típico de distribución del tamaño de las partículas del RAP .....	39
Tabla 3. Propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica reciclada.....	40
Tabla 4. Características granulares correspondientes a la piedra $\frac{3}{4}$ " .....	61
Tabla 5. Características granulares correspondientes a la piedra $\frac{1}{2}$ " .....	63
Tabla 6. Características granulares correspondientes a la arena chancada.....	65
Tabla 7. Características granulares correspondientes a la arena natural .....	67
Tabla 8. Características granulares correspondientes al filler - Cal.....	68
Tabla 9. Porcentajes en mezcla de agregados – MAC 01 .....	72
Tabla 10. Porcentajes en mezcla de agregados resultantes – MAC 01.....	73
Tabla 11. Porcentajes en mezcla resumen – Materiales Granulares.....	74
Tabla 12. Pesos para la elaboración de briquetas – MAC 01 .....	75
Tabla 13. Datos para el óptimo contenido de asfalto – MAC 01 .....	77
Tabla 14. Análisis Granulométrico por lavado asfáltico – RAP tipo “A” .....	84
Tabla 15. Contenido Asfáltico (%) por lavado – RAP tipo “A” .....	85
Tabla 16. Análisis Granulométrico por lavado asfáltico – RAP tipo “B” .....	86
Tabla 17. Contenido Asfáltico (%) por lavado – RAP tipo “B” .....	88
Tabla 18. Análisis Granulométrico por lavado asfáltico – RAP tipo “C” .....	89
Tabla 19. Contenido Asfáltico (%) por lavado – RAP tipo “C” .....	91
Tabla 20. Análisis Granulométrico por lavado asfáltico – RAP tipo “D” .....	92
Tabla 21. Contenido Asfáltico (%) por lavado – RAP tipo “D” .....	93
Tabla 22. Estabilidad (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “A” .....	97
Tabla 23. Estabilidad (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “B” .....	98
Tabla 24. Estabilidad (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “C” .....	100
Tabla 25. Estabilidad (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “D” .....	101
Tabla 26. Flujo (mm) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “A” .....	102
Tabla 27. Flujo (mm) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “B” .....	104
Tabla 28. Flujo (mm) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “C” .....	105
Tabla 29. Flujo (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “D”.....	107
Tabla 30. Vacíos (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “A” .....	109
Tabla 31. Vacíos (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “B” .....	110

Tabla 32. Vacíos (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “C” .....	112
Tabla 33. Vacíos (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “D” .....	114
Tabla 34. TSR (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “A” .....	115
Tabla 35. TSR (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “B” .....	117
Tabla 36. TSR (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “C” .....	119
Tabla 37. TSR (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “D” .....	120
Tabla 38. Datos de corrección de vacíos experimental – tipo de RAP .....	122
Tabla 39. Detallado estadístico para estabilidad al emplear RAP .....	133
Tabla 40. Distribución paramétrica para estabilidad al emplear RAP .....	137
Tabla 41. Prueba bivariada para estabilidad al emplear RAP “A” .....	140
Tabla 42. Prueba bivariada para estabilidad al emplear RAP “B” .....	141
Tabla 43. Prueba bivariada para estabilidad al emplear RAP “C” .....	141
Tabla 44. Prueba bivariada para estabilidad al emplear RAP “D” .....	142
Tabla 45. Detallado estadístico para flujo al emplear RAP .....	144
Tabla 46. Distribución paramétrica para flujo al emplear RAP .....	148
Tabla 47. Prueba bivariada para flujo al emplear RAP “A” .....	151
Tabla 48. Prueba bivariada para flujo al emplear RAP “B” .....	151
Tabla 49. Prueba bivariada para flujo al emplear RAP “C” .....	152
Tabla 50. Prueba bivariada para flujo al emplear RAP “D” .....	152
Tabla 51. Detallado estadístico para TSR al emplear RAP .....	154
Tabla 52. Distribución paramétrica para TSR al emplear RAP .....	159
Tabla 53. Prueba bivariada para TSR al emplear RAP “A” .....	162
Tabla 54. Prueba bivariada para TSR al emplear RAP “B” .....	162
Tabla 55. Prueba bivariada para TSR al emplear RAP “C” .....	163
Tabla 56. Prueba bivariada para TSR al emplear RAP “D” .....	163

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pavimento asfáltico desgastado en un muy mal estado. PCI .....	17
Figura 2. Procedimiento común para el reciclado de pavimentos.....	29
Figura 3. Maquinaria Wirtgen 2100 DCR para reciclado de pavimentos .....	34
Figura 4. Maquinaria Wirtgen WR-2500 para reciclado de pavimentos .....	35
Figura 5. Planta Chancadora de agregados ubicada en Sicaya .....	60
Figura 6. Curva granulométrica de la piedra ¾” proveniente de Sicaya .....	63
Figura 7. Curva granulométrica de la piedra ½” proveniente de Sicaya .....	65
Figura 8. Curva granulométrica de la arena chancada - Sicaya .....	66
Figura 9. Curva granulométrica de la arena zarandeada - Sicaya .....	68
Figura 10. Curva granulométrica del filler – Cal Hidratada .....	69
Figura 11. Material Asfáltico – Clasificación CAP PEN 85/100.....	71
Figura 12. Curva granulométrica MAC 01 – Mezcla de Agregados .....	74
Figura 13. Porcentaje de Vacíos (%) – MAC 01 Propiedad Volumétrica .....	78
Figura 14. Porcentaje de VMA (%) – MAC 01 Propiedad Volumétrica .....	79
Figura 15. Porcentaje de VLLA (%) – MAC 01 Propiedad Volumétrica .....	80
Figura 16. Estabilidad de la mezcla (kg) – MAC 01 Propiedad Mecánica.....	81
Figura 17. Flujo de la mezcla (mm) – MAC 01 Propiedad Mecánica .....	82
Figura 18. Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) – MAC 01 Propiedad Volumétrica.....	83
Figura 19. Curva Granulométrica por lavado asfáltico – RAP tipo “A” .....	85
Figura 20. Curva Granulométrica por lavado asfáltico – RAP tipo “B” .....	88
Figura 21. Curva Granulométrica por lavado asfáltico – RAP tipo “C” .....	90
Figura 22. Curva Granulométrica por lavado asfáltico – RAP tipo “D” .....	93
Figura 23. Variación de la Estabilidad (kg) – Tipo de RAP comparativo.....	95
Figura 24. Variación del flujo (mm) – Tipo de RAP comparativo .....	96
Figura 25. Variación del contenido asfáltico (%) – Tipo de RAP comparativo .....	96
Figura 26. Gráfica de Estabilidad (kg) – Porcentaje de RAP tipo “A” .....	98
Figura 27. Gráfica de Estabilidad (kg) – Porcentaje de RAP tipo “B” .....	99
Figura 28. Gráfica de Estabilidad (kg) – Porcentaje de RAP tipo “C” .....	101
Figura 29. Gráfica de Flujo (mm) – Porcentaje de RAP tipo “A” .....	103
Figura 30. Gráfica de Flujo (mm) – Porcentaje de RAP tipo “B” .....	105
Figura 31. Gráfica de Flujo (mm) – Porcentaje de RAP tipo “C” .....	107

Figura 32. Gráfica de Flujo (mm) – Porcentaje de RAP tipo “D” .....	109
Figura 33. Gráfica de Vacíos (%) – Porcentaje de RAP tipo “A” .....	110
Figura 34. Gráfica de Vacíos (%) – Porcentaje de RAP tipo “B” .....	112
Figura 35. Gráfica de Vacíos (%) – Porcentaje de RAP tipo “C” .....	114
Figura 36. Gráfica de Vacíos (%) – Porcentaje de RAP tipo “D” .....	115
Figura 37. Gráfica de TSR (%) – Porcentaje de RAP tipo “A” .....	117
Figura 38. Gráfica de TSR (%) – Porcentaje de RAP tipo “B” .....	118
Figura 39. Gráfica de TSR (%) – Porcentaje de RAP tipo “C” .....	120
Figura 40. Gráfica de TSR (%) – Porcentaje de RAP tipo “D” .....	121
Figura 41. Diagrama de corrección de vacíos – tipo de RAP “A” .....	124
Figura 42. Diagrama de corrección de vacíos – tipo de RAP “B” .....	124
Figura 43. Diagrama de corrección de vacíos – tipo de RAP “C” .....	124
Figura 44. Diagrama de corrección de vacíos – tipo de RAP “D” .....	125
Figura 45. Resumen General Estabilidad (kg) – tipo de RAP .....	126
Figura 46. Resumen General Flujo (mm) – tipo de RAP .....	127
Figura 47. Resumen General Vacíos (%) – tipo de RAP .....	128
Figura 48. Resumen General Contenido Asfáltico (%) – tipo de RAP .....	129
Figura 49. Gráfica de cajas para estabilidad al emplear RAP “A” .....	138
Figura 50. Gráfica de cajas para estabilidad al emplear RAP “B” .....	139
Figura 51. Gráfica de cajas para estabilidad al emplear RAP “C” .....	139
Figura 52. Gráfica de cajas para estabilidad al emplear RAP “D” .....	140
Figura 53. Diagrama burbujas para estabilidad al emplear RAP .....	143
Figura 54. Gráfica de cajas para flujo al emplear RAP “A” .....	149
Figura 55. Gráfica de cajas para flujo al emplear RAP “B” .....	149
Figura 56. Gráfica de cajas para flujo al emplear RAP “C” .....	150
Figura 57. Gráfica de cajas para flujo al emplear RAP “D” .....	150
Figura 58. Diagrama burbujas para flujo al emplear RAP .....	153
Figura 59. Gráfica de cajas para TSR al emplear RAP “A” .....	160
Figura 60. Gráfica de cajas para TSR al emplear RAP “B” .....	160
Figura 61. Gráfica de cajas para TSR al emplear RAP “C” .....	161
Figura 62. Gráfica de cajas para TSR al emplear RAP “D” .....	161
Figura 63. Diagrama burbujas para TSR al emplear RAP .....	164

## RESUMEN

El aprovechamiento de las mezclas asfálticas recicladas puede llegar a generar un impacto positivo sobre el medio ambiente al reutilizar un material compuesto de recursos no renovables, pero aún más importante es aplicar de forma adecuada los criterios de recuperación de mezclas asfálticas envejecidas. Por ello, se plantea por objetivo principal el determinar la influencia del periodo de envejecimiento del RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas recuperadas para su aplicación en la región de Huancayo.

El periodo de envejecimiento sobre mezclas de pavimento recuperado puede llegar a generar un efecto directo sobre las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla que admite un porcentaje determinado esta mezcla reciclada, por ello en la presente investigación se obtienen cuatro diferentes mezclas asfálticas recuperadas con distintos periodos de envejecimiento. Estas mezclas asfálticas recuperadas presentan una caracterización básica sobre sus propiedades mecánicas más representativas, para posteriormente incorporar en porcentajes de 10.0%, 20.0% y 30.0% sobre el peso de mezcla. Con las mezclas asfálticas alteradas, se procede a evaluar el efecto que tienen en la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y la resistencia a tracción indirecta; para finalmente analizar un balance entre el porcentaje de adición de pavimento asfáltico recuperado y el periodo de envejecimiento adecuado.

El efecto que se llega a generar ante la aplicación de pavimentos asfálticos recuperados es una alteración el contenido de ligante asfáltico de mezcla final, llegando finalmente a la conclusión de que las mezclas asfálticas recuperadas con mayores periodos de envejecimiento pueden llegar a deteriorar de forma mucho más agresivas a un diseño de mezcla. Incentivando las buenas prácticas de reciclado de pavimento asfálticos se propone aprovechar las mezclas recicladas en periodos no mayores a 25 años.

**Palabras clave:** Pavimentos asfálticos recuperados, periodo de envejecimiento, estabilidad, flujo, vacíos, coeficiente TSR

## ABSTRACT

The use of recycled asphalt mixes can generate a positive impact on the environment, by reusing a material composed of non-renewable resources, but even more important is to properly apply the criteria for the recovery of aged asphalt mixes. Therefore, the main objective is to determine the influence of the aging period of the RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) on the mechanical properties of asphalt mixes recovered for application in the Huancayo region.

The aging period on recovered pavement mixtures can generate a direct effect on the physical and mechanical properties of the mixture that admits a certain percentage of this recycled mixture, for this reason in the present investigation four different recovered asphalt mixtures are obtained with different periods. of aging. These recovered asphalt mixes present a basic characterization of their most representative mechanical properties, to be subsequently incorporated in percentages of 10.0%, 20.0% and 30.0% of the mix weight. With the altered asphalt mixtures, the effect they have on stability, flow, percentage of voids and indirect tensile strength is evaluated; to finally analyze a balance between the percentage of addition of recovered asphalt pavement and the adequate aging period.

The effect that is generated by the application of recovered asphalt pavements is an alteration in the asphalt binder content of the final mix, finally reaching the conclusion that recovered asphalt mixes with longer aging periods can deteriorate much more. aggressive to a mix design. By encouraging good asphalt pavement recycling practices, it is proposed to take advantage of recycled mixtures in periods of no more than 25 years.

**Keywords:** Recovered asphalt pavements, aging period, stability, flow, voids, TSR coefficient

## INTRODUCCIÓN

El uso de mezclas asfálticas recicladas (RAP) se ha vuelto cada vez más popular en la construcción de carreteras debido a su sostenibilidad y ahorro de costos. Sin embargo, la durabilidad de estas mezclas sigue siendo un tema de investigación importante. En particular, el tiempo de envejecimiento de las mezclas asfálticas recicladas, que es el período en el que la mezcla pierde sus propiedades mecánicas y de desempeño debido a la exposición a factores ambientales, es un aspecto crítico que considerar para asegurar su uso a largo plazo. Por lo tanto, esta investigación se enfoca en determinar el tiempo de envejecimiento de las mezclas asfálticas recicladas, lo que ayudará a mejorar la comprensión de cómo las RAP se comportan con el tiempo y permitirá desarrollar estrategias efectivas de mantenimiento y rehabilitación de las carreteras que las utilizan.

De igual forma, el cemento asfáltico es un material esencial en la construcción de carreteras, ya que actúa como el aglutinante que mantiene unida la mezcla asfáltica. Sin embargo, con el tiempo, el cemento asfáltico sufre cambios en sus propiedades físicas y químicas, lo que se conoce como envejecimiento del cemento asfáltico. Este proceso puede estar influenciado por factores como la exposición a la radiación solar, la oxidación, la humedad, la temperatura y el tráfico vehicular. El envejecimiento del cemento asfáltico puede resultar en una disminución de la flexibilidad, una mayor rigidez, una pérdida de adhesividad y una reducción en la resistencia a la fatiga, lo que puede llevar a una reducción del rendimiento y durabilidad de la carretera. Por lo tanto, es esencial comprender el proceso de envejecimiento del cemento asfáltico y desarrollar estrategias efectivas para prevenir o mitigar sus efectos, con el fin de mantener la calidad y la vida útil de las carreteras. Esta investigación se centra en el estudio del envejecimiento del cemento asfáltico, su relación con los diferentes factores ambientales, y en la identificación de técnicas para prevenir o retrasar el envejecimiento del cemento asfáltico y así mejorar la calidad y la durabilidad de las carreteras.

En resumen, el deterioro de las carreteras es un problema constante en la mayoría de las ciudades del mundo, debido a las condiciones climáticas, el tráfico vehicular y otros factores ambientales. Por esta razón, es importante desarrollar estrategias efectivas para mantener y mejorar la calidad y durabilidad de las carreteras, y el reciclaje de los pavimentos es una opción sostenible y económica.

Reciclar los pavimentos permite reutilizar los materiales existentes en lugar de extraer nuevos recursos y reducir el desperdicio, lo que puede disminuir los costos de construcción y mantenimiento. Además, el reciclaje de pavimentos puede mejorar la calidad y durabilidad de las carreteras, ya que se pueden utilizar mezclas asfálticas recicladas y otros materiales que han demostrado tener un buen desempeño en las carreteras.

En conclusión, la comprensión del envejecimiento del cemento asfáltico y el tiempo de envejecimiento de las mezclas asfálticas recicladas son fundamentales para mejorar la calidad y durabilidad de las carreteras. Al mismo tiempo, el reciclaje de pavimentos puede ser una solución efectiva para mantener y mejorar la calidad de las carreteras, reducir los costos y promover la sostenibilidad.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

Existen varios mecanismos que afectan las propiedades viscoelásticas de las mezclas asfálticas con el tiempo, entre los cuales se puede considerar que el endurecimiento por envejecimiento es uno de los más importantes. El endurecimiento por envejecimiento de las mezclas asfálticas es un proceso irreversible, que contribuye a una reducción de la durabilidad de los pavimentos. Aunque el betún es solo un componente de las mezclas asfálticas, el rendimiento general del pavimento asfáltico depende en gran medida de las propiedades viscoelásticas del ligante asfáltico (Allen et al., 2012).

A nivel internacional se ha estudiado un proceso de difusión, el oxígeno atmosférico puede llegar a los hidrocarburos bituminosos reactivos que pueden cambiar estas propiedades viscoelásticas. Este proceso, a menudo, se denomina envejecimiento oxidativo y conduce a un aumento de la rigidez general de la mezcla. Si bien esto puede beneficiar al pavimento a través de una mayor resistencia a la formación de surcos, el endurecimiento por envejecimiento puede causar o acelerar varios problemas, como fatiga, agrietamiento por baja temperatura y daño por humedad (Woo et al., 2008). Además de los efectos ambientales, el envejecimiento de la mezcla asfáltica depende principalmente de las propiedades fisicoquímicas del betún y la morfología de la mezcla, que es un efecto combinado del empaque del agregado, la porosidad, la distribución de vacíos de aire y su interconectividad.

Por lo tanto, una comprensión clara de las propiedades fisicoquímicas del betún y la morfología de la mezcla puede ayudar a predecir el desempeño de las mezclas asfálticas, lo que contribuirá a lograr pavimentos más duraderos y de mejor desempeño.

A nivel nacional se presenta que la red vial nacional y departamental de pavimento flexible presenta ciertas características propias de mezclas asfáltica en caliente que es el envejecimiento a largo plazo que presenta a medida tiempo de vida útil a servicio del transporte vehicular. Teniendo de esta manera distintos factores como el tiempo de servicio y la carga de tráfico como principales factores que pueden llegar a desgastar de forma representativa la condición de la carpeta asfáltica. Al observar el ligante asfáltico en microescala, se pueden ver estructuras que aparecen bajo ciertas condiciones que ven afectadas por el proceso oxidativo de distintas formas (Masson et al., 2006). El comportamiento termo-reológico del ligante asfáltico depende en gran medida de su estructura química y microestructuras intermoleculares. En consecuencia, las propiedades físicas del ligante asfáltico tales como rigidez, elasticidad, plasticidad, adherencia, energía superficial (Lesueur et al., 1996; Loeber et al., 1998). Comprender las condiciones en las que se produce este comportamiento de fase y la velocidad a la que evoluciona es, por tanto, de gran interés.

A nivel local es de vital importancia mantener la red vial local en buenas condiciones para procurar un nivel de serviciabilidad adecuado para el transporte vehicular, por lo que propone afrontar uno de los principales factores que determina el deterioro de la carpeta asfáltica, la edad del pavimento desgastado, que puede ser determinante en proceso de recuperación de la mezcla asfáltica para con sus propiedades mecánicas de la mezcla. Como se aprecia en la figura 1, un pavimento desgastado en un estado malo que requiere de un proceso de repavimentado donde se podría emplear este mismo material a través de un proceso de reciclado de la mezcla envejecida.



*Figura 1. Pavimento asfáltico desgastado en un muy mal estado. PCI*  
*Fuente: Desarrollo de obras públicas, pavimento en mal estado*

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿En qué medida Influencia el Periodo de envejecimiento del RAP en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas recuperadas Huancayo 2022?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿En qué medida influye el Periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica?
- ¿En qué medida influye el Periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas del RAP recuperado?
- ¿Cómo el Periodo de envejecimiento de la mezcla asfáltica altera el porcentaje de asfalto óptimo para el RAP en cumplimiento con las especificaciones técnicas?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia del Periodo de envejecimiento del RAP en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas recuperadas, Huancayo 2022.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Establecer la medida en que influye el periodo de envejecimiento en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.
- Establecer la medida en que influye el periodo de envejecimiento en las propiedades mecánicas del RAP recuperado.
- Analizar el periodo de envejecimiento de la mezcla asfáltica en la alteración del porcentaje de asfalto óptimo para el RAP en cumplimiento con las especificaciones técnicas.

### **1.4. Justificación e importancia**

#### **1.4.1. Justificación práctica**

El proceso de reciclado de mezclas asfálticas comprende una combinación de métodos numéricos y de laboratorio. Dado que la edad del RAP se limita al análisis de la edad sobre su tiempo de servicio, se pretende establecer criterios para la recuperación de las propiedades mecánicas de la mezcla para investigar el efecto del envejecimiento en las propiedades de las correspondientes al ligante asfáltico. Luego, los resultados de que se consigan obtener a partir del aporte que se pretende llegar en la mezcla asfáltica recuperada permitirán establecer parámetros recomendables para la aplicación de mezclas asfálticas recuperadas a nivel local.

#### **1.4.2. Justificación económica**

De acuerdo con los costos que implican el mantenimiento rutinario para conseguir elevar el tiempo de vida útil de la carpeta asfáltica y del mismo modo los costos que implican dejar los pavimentos en mal estado para con

los costes de deterioro vehicular que afecta directamente a los usuarios de las vías deterioradas. Por lo que, en la presente investigación, al estudiar las edades del RAP sobre el proceso de recuperación de las propiedades mecánicas en conformidad con las exigencias normativas establecidas, permite establecer un impacto positivo sobre los costes de producción de mezclas asfálticas en caliente que empleen RAP que comúnmente termina contaminando en botaderos municipales.

### **1.4.3. Justificación metodológica**

Las normativas que establecen los procesos metodológicos para la evaluación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica recuperada permiten justificar la realización de la presente investigación, con la finalidad de establecer los criterios de evaluación para con forma adecuada de aplicación de la mezcla asfáltica recuperada que cumpla con los parámetros mecánicos exigidos por la normativa nacional vigente a través del método de diseño Marshall.

### **1.4.4. Importancia**

Para determinar la importancia de la investigación, cabe señalar que los métodos y supuestos utilizados y desarrollados en esta tesis sólo son válidos bajo ciertas condiciones de contorno. El RAP ha sido un tema para investigar el mecanismo de envejecimiento en la mezcla asfáltica. Sin embargo, una desventaja conocida del tiempo de servicio es que se limita solo a imágenes de superficie y necesita una superficie relativamente suave. Por lo tanto, se debe tener en cuenta que la preparación de la muestra influirá en la medición de la superficie y es posible que las propiedades de la superficie no siempre reflejen las propiedades a granel. El marco de la morfología del asfalto actualmente todavía se basa en la simplificación de que todos los agregados son partículas esféricas y, por lo tanto, no tiene en cuenta la angularidad de los agregados ni la rugosidad de la superficie.

## **1.5. Delimitación de la investigación**

### **1.5.1. Delimitación espacial**

En función del análisis de las edades de la mezcla asfáltica recuperada obtenida de vías locales, la presente investigación se delimita de forma espacial respecto de su aplicabilidad y de los materiales seleccionados para la recuperación de sus propiedades mecánicas a la región de Huancayo. El diseño de mezcla proyectado a realizar para ser mezclada en distintos porcentajes con el RAP provee sus materiales respecto de las especificaciones propias para climas intermedios característicos de la región.

### **1.5.2. Delimitación temporal**

En diversas pruebas de laboratorio realizados para la evaluación de mezclas asfálticas recicladas de diferentes edades, se presenta una delimitación temporal por el año de recolección de datos (enero 2023), donde se evaluó estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y coeficiente de TSR en relación a su alteración por periodos de envejecimiento que tomo ese punto temporal para la aplicación de los RAP de distintas edades.

### **1.5.3. Delimitación conceptual**

Respecto de la información de carácter útil para la evaluación de la mezcla asfáltica recuperada por edades de servicio, se presenta un limitante conceptual respecto a la información o normativa apropiada para el muestreo y ensayo de este tipo de mezclas asfálticas recicladas. Por lo que se vuelve necesario recurrir a información, normativa y bibliografía internacional de referencia para adecuada evaluación del proceso de recuperación de las propiedades del RAP.

## **1.6. Hipótesis y descripción de variables**

### **1.6.1. Hipótesis General**

La influencia del Periodo de envejecimiento a 15 años de la mezcla asfáltica recuperada genera mejoras representativas en las propiedades mecánicas del RAP, Huancayo 2022.

### **1.6.2. Hipótesis Específicas**

- La medida en que influye el periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica genera un aumento del 3.00% adicional sobre el ligante asfáltico requerido.
- La medida en que influye el periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas del RAP recuperado permite una adición de hasta 40 % de mezcla reciclada.
- El periodo de envejecimiento de la mezcla asfáltica aumenta en 3.0% el porcentaje de asfalto óptimo para el RAP en cumplimiento con las especificaciones técnicas.

## **1.7. Variables**

### **1.7.1. Variable Independiente**

Periodo de envejecimiento

### **1.7.2. Variable Dependiente**

Propiedades mecánicas

## 1.8. Operacionalización

Tabla 1. Operacionalización de la variable

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala
VI: Periodo de envejecimiento	El envejecimiento del asfalto se refiere a las propiedades físicas que intervienen en el cambio del asfalto a medida que transcurre el tiempo debido a los cambios en su composición química. Estos cambios se producen por la interacción de variables intrínsecas y extrínsecas asociadas al envejecimiento a corto y largo plazo.	Los períodos de envejecimiento se definen para tener en cuenta específicamente la edad del material recuperado de diferentes puntos, permitiendo diferencias entre los RAP en intervalos anuales detallados.	20 años en periodo de envejecimiento	Acopio de material por reciclar INVÍAS 462-13	Ficha recolección de datos	Razón
				Fresado de pavimento asfáltico INVÍAS 460-13		
				Reciclado de pavimento asfáltico en caliente INVÍAS 462-13		
			25 años en periodo de envejecimiento	Acopio de material por reciclar INVÍAS 462-13		
				Fresado de pavimento asfáltico INVÍAS 460-13		
				Reciclado de pavimento asfáltico en caliente INVÍAS 462-13		
			30 años en periodo de envejecimiento	Acopio de material por reciclar INVÍAS 462-13		
				Fresado de pavimento asfáltico INVÍAS 460-13		
				Reciclado de pavimento asfáltico en caliente INVÍAS 462-13		
VD: Propiedades mecánicas	Las propiedades mecánicas son las propiedades físicas que presenta un material al aplicar fuerzas. Ejemplos de propiedades mecánicas para mezclas asfálticas son porcentaje de vacíos, fluencia y resistencia.	La definición operativa se propone con base en el enfoque definido en la normativa técnica, que define criterios y requerimientos establecidos en cumplimiento con los estándares de diseño para un alto tráfico	Estabilidad	Toma de muestras de mezclas asfálticas MTC E 501	Ficha recolección de datos	Razón
				Resistencia mezcla por Marshall MTC E 504		
				Registro de resultados de muestras MTC E 504		
			Flujo	Toma de muestras de mezclas asfálticas MTC E 501		
				Resistencia mezcla por Marshall MTC E 504		
				Registro de resultados de muestras MTC E 504		
			Ensayo de TSR	Toma de muestras de mezclas asfálticas MTC E 501		
				Gravedad Especifica y peso unitario MTC E 506		
				Ensayo de Cántabro por desgaste MTC E 515		

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del Problema**

#### **2.1.1. Antecedentes Nacionales**

Según (Chávez Céspedes & Fano Descalzi, 2017) en la tesis titulada: “Diseño estructural de un pavimento básico reciclado y mejorado con cemento Portland para diferentes dosificaciones en el proyecto de conservación vial de Huancavelica”; presenta como objetivo definir las bases de los procesos constructivos de trabajo en frío para pavimentos mejorados con cemento portland y establecer los lineamientos y especificaciones aplicables a las etapas de diseño y construcción; y presentar los equipos de procesamiento en frío utilizados en el país y su funcionamiento, así como las últimas innovaciones en este campo. La metodología planteada es de diseño de AUSTROADS como alternativa viable, la cual será comparada con AASHTO para mostrar las ventajas de su aplicación en cuanto a caminos de bajo volumen de tráfico. Por lo que se tiene que pasar a un análisis económico, debido a que ya estas tentativas están cumpliendo técnicamente. Para ello, existen 3 dosis según AUSTROADS y 1 dosis según AASHTO. Se puede observar que los espesores de relleno y homologación son diferentes, siendo la prueba AASHTO la más costosa debido a que se debe recuperar el espesor de 25 cm añadiendo 16,7 cm de material de relleno y 1,50% de cemento aditivo. En conclusión, el método de regeneración en frío descrito en este artículo permite que las iteraciones

propuestas sean más factibles, ya que el equipo de Wirtgen utilizado en el trabajo de regeneración en frío cumple con la mayor precisión posible las proporciones propuestas en el proyecto. En el instante. Esto brinda la oportunidad de garantizar el valor agregado de la calidad y la productividad de la superficie de la carretera.

Según (Aguilar Saravia & Infanzón Reymundez, 2020) en la tesis titulada: “Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente”; presenta como objetivo principal la evaluación del aprovechamiento de la técnica de reciclaje en caliente de los pavimentos asfálticos envejecidos, para su reutilización en una nueva mezcla asfáltica en caliente, en base a investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional. El tipo de metodología de investigación aplicado es el básico con un diseño de investigación tipo no experimental, transversal y descriptivo y la población está conformada por once investigaciones nacionales y once investigaciones internacionales. En los resultados, se obtuvo que los porcentajes de vacíos de aire de la carpeta patrón, y el diseño de carpeta con el 10%, 20% y 30% de reciclaje están cumpliendo con vacíos de aire de la mezcla, de acuerdo con norma indica que deben estar entre el 3 y 5%, el diseño de carpeta con el 40% de reciclaje no cumple con los vacíos ya que tiene un 5.30% estando fuera del rango que especifica la norma. Concluyendo que al realizar una nueva mezcla asfáltica patrón con 10%, 20%, 30% y 40% de RAP (pavimento asfáltico reciclado), donde se pudo verificar el uso de pavimentos envejecidos como aporte de una nueva mezcla asfáltica en caliente; esta tecnología de reciclado en caliente de mezcla asfáltica podría resultar de gran utilidad ya que, se obtendrán beneficios ambientales y reducciones de costos.

Según (Chafloque Aponte & Chininin Zapata, 2021) en la tesis titulada: “Calidad y eficiencia del pavimento asfáltico reciclado para su reutilización en el diseño de mezclas de asfalto en caliente”; presenta como objetivo la obtención de la calidad y eficiencia del pavimento asfáltico reciclado para su reutilización en el diseño de mezclas asfálticas en caliente. Para ello la

metodología empleada es de enfoque cuantitativo, siendo el diseño experimental y el nivel de investigación descriptivo debido a que se determinará la calidad y eficiencia del pavimento reciclado para su reutilización. Los resultados nos demuestran que los avances tecnológicos en maquinaria que hoy existe en el mercado nos llevan a reciclar una gran cantidad de material, donde es muy eficiente en nuestro país por lo cual nos ayuda a cuidar y proteger el medio ambiente. La reutilización del material existente en carretera logra una alta calidad de las capas estructurales recicladas, y menores tiempos de construcción por lo que se reducen los costos y se genera un beneficio a los usuarios de la carretera, seguridad y bienestar ambiental. En conclusión, el asfalto bituminoso resulta ser un agente estabilizador con varios años en el mercado, que es muy poco utilizado entre las personas involucradas en el ámbito de la construcción local, debido a que muchas personas no conocen ni han oído hablar de esta tecnología de reciclado in situ empleando el asfalto bituminoso.

### **2.1.2. Antecedentes Internacionales**

Según (Nie, Sun, Ou, Zhou, & Mao, 2018) en el artículo de investigación titulado: “Investigación experimental sobre el comportamiento del envejecimiento de los ligantes asfálticos y la viabilidad del rejuvenecimiento en el envejecimiento repetido y el reciclaje de varios ciclos”, menciona que las características de deterioro de los ligantes asfálticos envejecidos en pavimentos asfálticos reciclados pueden endurecer la mezcla y provocar la falla por agrietamiento del pavimento si no se tratan con cuidado. Para estimular el uso razonable de pavimentos asfálticos reciclados, es urgente investigar el comportamiento de envejecimiento del asfalto a alta temperatura y en condiciones oxidativas y un rejuvenecedor adecuado agregado al asfalto envejecido con la dosis adecuada. El rejuvenecedor se agregó a las muestras de asfalto envejecido en diferentes contenidos por peso de acuerdo con la duración del envejecimiento respectivo y el número de ciclo. Este estudio se basa en RTFOT (un ensayo película fina y rotatoria), pruebas reológicas empíricas, análisis IR, pruebas comparativas de dosis de rejuvenecedor y sistema de macroevaluación del efecto rejuvenecedor. El

análisis de índices reológicos empíricos indica que el grado de deterioro del asfalto en el proceso de envejecimiento y reciclaje multiciclo depende principalmente de dos factores, el tiempo de envejecimiento y el número de ciclo de envejecimiento. Es factible seleccionar un rejuvenecedor adecuado con el contenido correcto, el envejecimiento y el reciclaje del asfalto del pavimento en varios ciclos. En el estudio de la primera etapa, aún se desconoce el mecanismo de rejuvenecimiento multiciclo relacionado, por ejemplo, la diferencia obvia de los efectos de recuperación del rejuvenecedor en CI y SI, que es el objetivo principal en futuras investigaciones.

Según (Kumar Das, 2014) en su tesis de doctorado titulada: “Envejecimiento de las mezclas asfálticas: Investigación a microescala y morfología de la mezcla”, menciona que el objetivo fue desarrollar una comprensión fundamental sobre el envejecimiento de las mezclas asfálticas que pueda contribuir a que la comunidad del asfalto se aleje de las pruebas de laboratorio de envejecimiento acelerado que se utilizan actualmente y de los modelos empíricos que pueden llevar a conclusiones erróneas. Para investigar el envejecimiento en los pavimentos asfálticos, además de las propiedades fisicoquímicas del betún, se centró también en la influencia de la morfología de la mezcla. La predicción del comportamiento de envejecimiento sin tener en cuenta la influencia de la morfología de la mezcla puede llevar a conclusiones erróneas y a un diseño de mezcla no óptimo. Por lo tanto, es importante entender la interacción entre la morfología de la mezcla y la susceptibilidad al envejecimiento y relacionarla con el rendimiento de la mezcla a largo plazo. En conclusión, el cambio de microestructuras en las superficies del betún debido al aumento o la disminución de la temperatura se ha correlacionado exactamente con los resultados de la prueba de calorimetría diferencial de barrido (DSC). Se ha comprobado que la aparición de microestructuras se produce siempre en el rango de temperatura de cristalización de ese betún específico, mientras que la disolución de estas microestructuras está relacionada con el rango de temperatura de fusión. Así, en base a los análisis de los resultados obtenidos, se puede concluir que el comportamiento y la aparición de

microestructuras está muy relacionado con el comportamiento de la cera. Por lo tanto, esta investigación confirma que las denominadas estructuras "abeja" son efectivamente inducidas por la cera.

Según (Chen, Tang, & Wang, 2022) en el artículo de investigación titulado: "Características de envejecimiento del asfalto reciclado de planta en caliente y su envejecimiento inducido en el asfalto nuevo", menciona que el objetivo de la investigación es explorar el proceso de envejecimiento y el mecanismo del asfalto nuevo y viejo en la planta de mezcla de asfalto reciclado en caliente durante el proceso de mezcla y uso, se lleva a cabo la prueba de viscosidad líquida y la prueba de fluencia de flexión a baja temperatura para probar la viscosidad dinámica, el módulo de rigidez, la tasa de fluencia y la flexibilidad a baja temperatura del asfalto matriz, el asfalto reciclado y el asfalto viejo y nuevo después del envejecimiento en el horno de película fina rodante (RTFOT) y el envejecimiento en el recipiente de envejecimiento presurizado (PAV). Se compara y analiza la ley de atenuación del rendimiento macroscópico del asfalto nuevo y viejo durante el proceso de envejecimiento en la regeneración térmica. Los resultados muestran que el envejecimiento RTFOT y el envejecimiento PAV hacen que la viscosidad del asfalto reciclado aumente significativamente y que el rendimiento a baja temperatura disminuya rápidamente. Tras el envejecimiento RTFOT y el envejecimiento PAV del asfalto nuevo y viejo, el rango de cambio de la viscosidad dinámica y del rendimiento a baja temperatura es mucho mayor que el del asfalto matriz. Mientras tanto, los resultados de la espectroscopia de infrarrojos y del análisis de calorimetría de barrido diferencial muestran que, además del envejecimiento independiente del asfalto nuevo y del asfalto reciclado, también existe un efecto químico entre ellos, es decir, algunos grupos activos del asfalto reciclado tienen un efecto de promoción más obvio en el proceso de envejecimiento del asfalto nuevo, denominado aquí "envejecimiento inducido". En conclusión, este envejecimiento inducido modifica el mecanismo de envejecimiento del asfalto matriz cambiando el proceso de envejecimiento de este, lo que limita en gran medida la popularización y aplicación de la tecnología de regeneración térmica.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Mezclas asfálticas recicladas**

Se denomina mezcla asfáltica reciclada a los materiales de pavimento retirados y/o reprocesados que contienen asfalto y áridos. Estos materiales se generan cuando se retiran los pavimentos de asfalto para su reconstrucción, repavimentación o para obtener acceso a los servicios públicos enterrados. Cuando se tritura y tamiza adecuadamente, la mezcla asfáltica reciclada consiste en agregados de alta calidad y bien graduados recubiertos por cemento asfáltico.

El pavimento asfáltico se retira generalmente mediante el fresado o la retirada en profundidad. El fresado implica la eliminación de la superficie del pavimento mediante una fresadora, que puede eliminar hasta 50 mm (2 pulgadas) de espesor en una sola pasada. La eliminación en profundidad implica el desgarrar y la rotura del pavimento mediante el uso de un cuerno de rinoceronte en una excavadora y/o rompedores neumáticos de pavimento. En la mayoría de los casos, el material roto se recoge y se carga en camiones de transporte con una cargadora frontal y se transporta a una instalación central para su procesamiento. En esta instalación, la mezcla asfáltica reciclada se procesa mediante una serie de operaciones que incluyen la trituración, el cribado, el transporte y el apilamiento. (Quesada Vallejo, 2004)

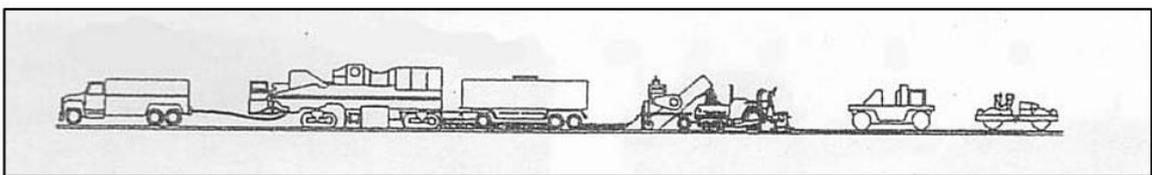
Aunque la mayoría de los pavimentos asfálticos antiguos se reciclan en plantas de procesamiento centrales, los pavimentos asfálticos pueden pulverizarse in situ e incorporarse a las capas de base granular o estabilizada utilizando una máquina pulverizadora autopropulsada. Los procesos de reciclado in situ en caliente y en frío han evolucionado hasta convertirse en operaciones de tren continuo que incluyen la eliminación parcial en profundidad de la superficie del pavimento, la mezcla del material

recuperado con aditivos beneficiosos (como la árido nuevo, el ligante, y/o agentes suavizantes o rejuvenecedores para mejorar las propiedades del ligante), y la colocación y compactación de la mezcla resultante en una sola pasada.

### 2.2.1.1. Reciclaje

La mayor parte de la mezcla asfáltica reciclada que se produce se recicla y se utiliza, aunque no siempre en el mismo año en que se produce. La mezcla asfáltica reciclada casi siempre se devuelve a la estructura de la carretera de alguna forma, normalmente incorporado al pavimento de asfalto mediante el reciclaje en caliente o en frío, pero también se utiliza a veces como agregado en la construcción de la base o sub-base.

Se ha estimado que hasta aproximadamente 33 millones de toneladas métricas (36 millones de toneladas), o entre el 80 y el 85 por ciento del exceso de hormigón asfáltico que se genera en la actualidad, se utiliza como parte del asfalto reciclado en caliente, en mezclas en frío, o como agregado en materiales de base granulares o estabilizados. Parte de la mezcla asfáltica reciclada que no se recicla o utiliza durante la misma temporada de construcción en la que se genera se almacena y se reutiliza eventualmente, en la figura 3 podemos observar el procedimiento común para el reciclado de pavimentos.



*Figura 2. Procedimiento común para el reciclado de pavimentos*

*Fuente: (Rogge, Hicks, Scholz, & Allen, 1992)*

### 2.2.1.2. Eliminación

El exceso de hormigón asfáltico se elimina en vertederos o, a veces, en el derecho de paso. En la mayoría de las situaciones, esto ocurre cuando se trata de pequeñas cantidades, o cuando el material está mezclado con otros materiales, o no hay instalaciones disponibles para recoger y procesar la mezcla asfáltica reciclada. Se calcula que la cantidad de hormigón asfáltico sobrante que debe eliminarse es inferior al 20% de la cantidad anual de la mezcla asfáltica reciclada que se genera.

### **2.2.1.3. Fuentes de mercado**

En la mayoría de los casos, el asfalto reciclado de mezcla en caliente puede obtenerse de las instalaciones centrales de procesamiento de la mezcla asfáltica reciclada, donde los pavimentos de asfalto son triturados, cribados y almacenados para su uso en la producción de hormigón asfáltico, mezcla en frío, o como material de base granular o estabilizado. La mayoría de estas instalaciones de procesamiento están situadas en plantas de asfalto de mezcla en caliente, donde la mezcla asfáltica reciclada se vende o se utiliza como materia prima para la producción de pavimento de mezcla en caliente reciclado o de mezcla en frío reciclada.

Las propiedades de la mezcla asfáltica reciclada dependen en gran medida de las propiedades de los materiales constitutivos y del tipo de hormigón asfáltico utilizado en el antiguo pavimento. Dado que la mezcla asfáltica reciclada puede obtenerse de cualquier número de fuentes de pavimento antiguo, la calidad puede variar. El exceso de material granular o de suelos, o incluso de escombros, puede introducirse a veces en los acopios de pavimento antiguo. El número de veces que el pavimento ha sido repavimentado, la cantidad de parches y/o el sellado de grietas, y la posible presencia de aplicaciones anteriores de capas de sellado influirán en la composición de la mezcla asfáltica reciclada. El control de calidad es necesario para asegurar que la mezcla asfáltica reciclada procesado será adecuado para la aplicación prevista. El proceso de reciclado de

pavimentos en el lugar es particularmente importante. (Quesada Vallejo, 2004)

#### **2.2.1.4. Acopio de material por reciclar**

El acopio del material a reciclar se realiza como parte del proceso de reciclaje de pavimentos. En primer lugar, antes de iniciar el proceso de reciclaje, se realiza una evaluación del pavimento existente para determinar su estado y la cantidad de material que puede ser reciclada. Si se está utilizando el método de reciclaje en caliente o reciclaje en planta, se procede a la extracción de la capa de asfalto existente. Esto puede realizarse mediante el fresado, donde se remueve mecánicamente parte o toda la capa superficial del pavimento. El material extraído se transporta a una planta de reciclaje donde se llevará a cabo el procesamiento y la producción de la mezcla asfáltica reciclada. El transporte se realiza generalmente mediante camiones. En la planta de reciclaje, el material reciclado se almacena temporalmente hasta que esté listo para ser procesado. En algunos casos, puede ser necesario clasificar y separar ciertos componentes antes de la mezcla. El material reciclado se somete a procesos de trituración para reducir su tamaño y luego se mezcla con otros componentes, como agregados frescos y asfalto rejuvenecedor. La mezcla asfáltica reciclada se produce en la planta y se ajustan las proporciones de los materiales para cumplir con las especificaciones deseadas. (González y otros, 2019)

#### **2.2.1.5. Fresado de pavimento asfáltico**

El fresado del pavimento asfáltico es un proceso mediante el cual se remueve mecánicamente una porción de la capa superior de una carretera o superficie asfáltica existente. Este procedimiento es comúnmente utilizado en la construcción y mantenimiento de carreteras para varios propósitos, como la restauración del perfil de la carretera, la mejora del drenaje, la preparación para la colocación de una nueva capa de asfalto, o para llevar a cabo el reciclaje de pavimentos. (Aguiar Moya & Miranda Argüello, 2019)

### **2.2.1.6. Reciclado de pavimento asfáltico en caliente**

El reciclado del pavimento asfáltico es un proceso que implica la reutilización y revitalización de materiales asfálticos existentes para la construcción de nuevas capas de pavimento. Este enfoque sostenible busca maximizar el uso de recursos y minimizar la generación de desechos, contribuyendo a la eficiencia y a la reducción del impacto ambiental.

El reciclado del pavimento asfáltico reduce la necesidad de nuevos materiales y minimiza la cantidad de residuos. Además, puede proporcionar beneficios económicos al ser una alternativa más rentable en comparación con la construcción convencional. Este enfoque ayuda a conservar recursos naturales y a reducir la huella ambiental asociada con la construcción y el mantenimiento de carreteras. (Zuñiga C., 2016)

### **2.2.2. Usos de la carretera y requisitos de procesamiento**

La mezcla asfáltica reciclada fresado o triturado puede utilizarse en varias aplicaciones de construcción de carreteras. Entre ellas, su uso como sustituto de los áridos y suplemento de cemento asfáltico en la pavimentación con asfalto reciclado (mezcla en caliente o en frío), como base o sub-base granular, agregado de base estabilizada, o como material de terraplén o relleno.

- **Agregado de hormigón asfáltico y suplemento de cemento asfáltico**

El pavimento asfáltico reciclado puede utilizarse como material sustituto de los áridos, pero en esta aplicación también proporciona un ligante adicional de cemento asfáltico, reduciendo así la demanda de cemento asfáltico en las mezclas de asfalto nuevas o recicladas que contienen la mezcla asfáltica reciclada. Cuando se utiliza en aplicaciones de pavimentación de asfalto (mezcla en caliente o en frío), la mezcla asfáltica reciclada puede ser procesado tanto en una instalación central de procesamiento como en el lugar de trabajo (procesamiento in situ). La introducción de la mezcla

asfáltica reciclada en las mezclas de pavimentación de asfalto se lleva a cabo mediante el reciclaje en caliente o en frío.

- **Mezcla asfáltica en caliente (instalación de procesamiento central)**

La mezcla en caliente reciclada se produce normalmente en una instalación central de procesamiento de la mezcla asfáltica reciclada, que normalmente contiene trituradoras, unidades de cribado, transportadores y apiladores diseñados para producir y almacenar un producto granular de la mezcla asfáltica reciclada terminado y procesado a la gradación deseada. Este producto se incorpora posteriormente a las mezclas de asfalto en caliente como sustituto de los áridos. Tanto las plantas de lotes como las de tambor pueden incorporar la mezcla asfáltica reciclada a la mezcla asfáltica en caliente.

- **Mezcla asfáltica en caliente (reciclaje en el lugar)**

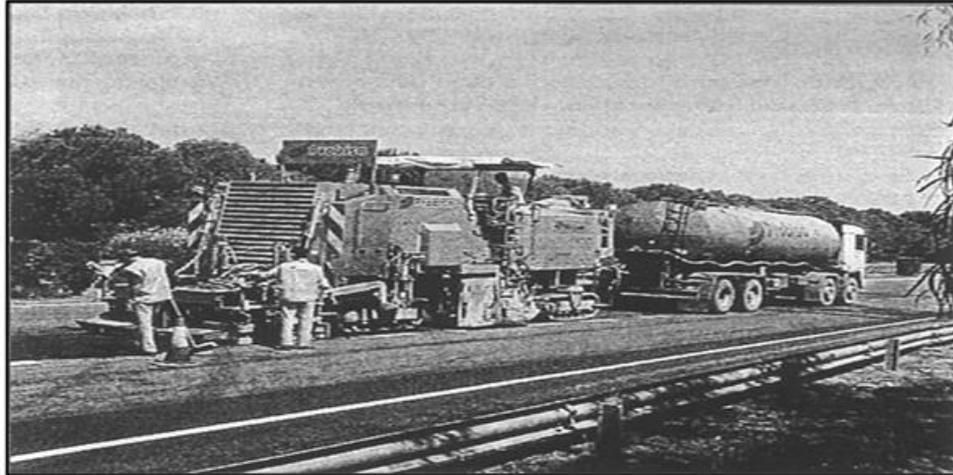
El reciclado en caliente en el lugar es un proceso de repavimentación que se realiza como una operación de una o varias pasadas utilizando equipos especializados de calentamiento, escarificación, rejuvenecimiento, colocación y compactación. No se requiere ningún procesamiento previo a la operación de reciclado.

Como ejemplo, se presentan dos de los equipos que se emplean actualmente:

- **Wirtgen 2100 DCR:** Maquinaria de gran rendimiento que fue adaptada principalmente para el reciclado; sin embargo, eventualmente, se adaptó a operaciones de estabilización (figura 4). Esta maquinaria permite realizar trabajos de alta calidad respecto a su homogeneidad del material reciclado.

Los campos en los que mejor se aprovechan sus capacidades son los materiales reciclados con capas de emulsión de espesor medio (hasta 15 cm), ya que a menudo se requieren sustratos con propiedades geométricas y mecánicas muy exigentes. La Wirtgen 2100 DCR puede moler

simultáneamente capas aglomeradas existentes y matrices de partículas inferiores mientras mezcla estos materiales con nuevos aglutinantes. Su motor de 610 CV permite trabajar en un ancho de 200 cm y un práctico espesor de 22 cm.



*Figura 3. Maquinaria Wirtgen 2100 DCR para reciclado de pavimentos*

*Fuente: (Rogge, Hicks, Scholz, & Allen, 1992)*

- **Wirtgen WR-2500:** La WR-2500 es una máquina de alto rendimiento extremadamente versátil. Adecuada para el procesamiento de cemento y emulsiones y para la estabilización profunda (figura 5). No tiene dispositivos de esparcimiento, por lo que el material recuperado y/o estabilizado, generalmente, se esparcirá y nivelará con una niveladora. Trabaja con un ancho de 250 cm y una profundidad de hasta 50 cm. Es una máquina muy maniobrable, porque se mueve sobre grandes neumáticos orientables.



*Figura 4. Maquinaria Wirtgen WR-2500 para reciclado de pavimentos*

*Fuente: (Rogge, Hicks, Scholz, & Allen, 1992)*

- **Mezcla de asfalto en frío (Instalación de procesamiento central)**

El proceso de la mezcla asfáltica reciclada para el reciclaje de la mezcla en frío es similar al de la mezcla en caliente reciclada, excepto que el producto de la mezcla asfáltica reciclada clasificado se incorpora a las mezclas de pavimentación de asfalto en frío como un sustituto del agregado.

- **Mezcla asfáltica en frío (reciclado en sitio)**

El proceso de reciclado en frío en el lugar involucra plantas especializadas o trenes de procesamiento, por medio de los cuales la superficie del pavimento existente es fresada a una profundidad de hasta 150 mm (6 pulgadas), procesada, mezclada con emulsión asfáltica (o asfalto espumado), y colocada y compactada en una sola pasada. El material de la capa de rodadura es el mismo que el de la capa de rodadura.

- **Agregado de base granular**

El proceso de reciclado se basa en el uso de una mezcla de materiales de base granular con un agregado granular convencional o, a veces, con material de concreto recuperado. La mezcla de la mezcla asfáltica reciclada granular con materiales adecuados es necesaria para alcanzar las resistencias portantes necesarias para la mayoría de las aplicaciones

granulares no ligadas que soportan cargas. La mezcla asfáltica reciclada por sí mismo puede mostrar una capacidad portante algo menor que las bases granulares convencionales.

- **Base estabilizada de áridos**

Para producir una base estabilizada o un agregado de sub-base, la mezcla asfáltica reciclada también debe ser triturada y tamizada, y luego mezclada con uno o más reactivos de estabilización para que el material mezclado, al ser compactado, gane resistencia.

- **Terraplén o relleno**

El material de la mezcla asfáltica reciclada acopiado también puede ser utilizado como relleno granular o base para la construcción de terraplenes o rellenos, aunque dicha aplicación no es muy utilizada y no representa el uso más alto o adecuado para la mezcla asfáltica reciclada. El uso de la mezcla asfáltica reciclada como base de terraplén puede ser una alternativa práctica para el material que ha sido almacenado durante un período de tiempo considerable, o puede ser mezclado de varias fuentes diferentes del proyecto. El uso como base de terraplén o como material de relleno dentro del mismo derecho de paso también puede ser una alternativa adecuada a la eliminación del exceso de hormigón asfáltico que se genera en un proyecto de carretera concreto.

### **2.2.3. Propiedades del material**

#### **2.2.3.1. Propiedades físicas**

Las propiedades de la mezcla asfáltica reciclada dependen en gran medida de las propiedades de los materiales constituyentes y del tipo de mezcla de hormigón asfáltico (superficie de rodadura, capa intermedia, etc.). Puede haber diferencias sustanciales entre las mezclas de hormigón asfáltico en cuanto a la calidad, el tamaño y la consistencia de los áridos. Dado que los áridos de la capa de rodadura deben tener una alta resistencia al desgaste/abrasión (pulido) para contribuir a unas propiedades aceptables de resistencia a la fricción, estos áridos pueden ser de mayor calidad que

los áridos de las aplicaciones de la capa intermedia, donde la resistencia al pulido no es una preocupación. (Quesada Vallejo, 2004)

Tanto el fresado como la trituración pueden causar cierta degradación de los áridos. La gradación de la mezcla asfáltica reciclada fresado es generalmente más fina y más densa que la de los áridos vírgenes. La trituración no causa tanta degradación como el fresado; en consecuencia, la gradación de la mezcla asfáltica reciclada triturado no es generalmente tan fina como la de la mezcla asfáltica reciclada fresado, pero sí más fina que la de los áridos vírgenes triturados con el mismo tipo de equipo.

La distribución granulométrica de la mezcla asfáltica reciclada fresado o triturado puede variar hasta cierto punto, dependiendo del tipo de equipo utilizado para producir la mezcla asfáltica reciclada, el tipo de agregado en el pavimento, y si cualquier agregado de base o sub-base subyacente ha sido mezclado con el material de pavimento asfáltico recuperado durante la remoción del pavimento.

En el proceso, prácticamente, toda la mezcla asfáltica reciclada producida se muele o tritura hasta 38 mm (1,5 pulgadas) o menos, con un tamaño superior máximo permitido de 51 mm (2 pulgadas) o 63 mm (2,5 pulgadas). La tabla 1 enumera el rango típico de distribución del tamaño de las partículas que normalmente resulta de la molienda o trituración de la mezcla asfáltica reciclada. la mezcla asfáltica reciclada molido es generalmente más fino que la mezcla asfáltica reciclada triturada. Los estudios sobre pavimentos en California, Carolina del Norte, Utah y Virginia han demostrado que antes y después de la molienda, la fracción del pavimento que pasa un tamiz de 2.36 mm (No. 8) puede esperarse que aumente de un rango pre-molido de 41 a 69 por ciento a un rango post-molido de 52 a 72 por ciento. La fracción que pasa un tamiz de 0,075 mm (n.º 200) puede esperarse que aumente desde aproximadamente el 6 al 10 por ciento hasta un rango del 8 al 12 por ciento. La mayoría de las fuentes de la mezcla asfáltica reciclada serán un agregado grueso bien clasificado,

comparable a los agregados naturales triturados, o tal vez ligeramente más fino y variable.

El peso unitario de la mezcla asfáltica reciclada fresada o procesado depende del tipo de agregado en el pavimento recuperado y del contenido de humedad del material acopiado. Aunque la literatura disponible sobre el RAP contiene datos limitados relativos al peso unitario, se ha encontrado que el peso unitario del RAP fresado o procesado oscila entre 1940 y 2300 kg/m<sup>3</sup> (120 a 140 lb/pie<sup>3</sup>), que es ligeramente inferior al de los áridos naturales.

La información sobre el contenido de humedad de los acopios de la mezcla asfáltica reciclada es escasa, pero hay indicios de que el contenido de humedad de la mezcla asfáltica reciclada aumentará mientras esté almacenado. La mezcla asfáltica reciclada triturado o molido puede recoger una cantidad considerable de agua si se expone a la lluvia. Se han medido contenidos de humedad de hasta el 5 por ciento o más en la mezcla asfáltica reciclada triturado almacenado. Como se ha señalado anteriormente, durante los períodos de grandes precipitaciones, el contenido de humedad de algunos acopios de la mezcla asfáltica reciclada puede llegar a ser del 7 al 8 por ciento.

El contenido de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica reciclada suele oscilar entre el 3 y el 7 por ciento en peso. El cemento asfáltico adherido al árido es algo más duro que el cemento asfáltico nuevo. Esto se debe principalmente a la exposición del pavimento al oxígeno atmosférico (oxidación) durante el uso y la intemperie. El grado de endurecimiento depende de varios factores, incluyendo las propiedades intrínsecas del cemento asfáltico, la temperatura/tiempo de mezclado (aumenta con el aumento de la exposición a altas temperaturas), el grado de compactación del hormigón asfáltico (aumenta si no está bien compactado), el contenido de cemento asfáltico/vacíos de aire (aumenta con un menor contenido de asfalto/vacíos de aire), y la edad en servicio (aumenta con la edad).

Tabla 2. Rango típico de distribución del tamaño de las partículas del RAP

Tamaño del tamiz (malla)	Porcentaje más fino después del procesamiento o fresado
mm	% en peso que pasa
37.5 mm	100
25 mm	95 - 100
19 mm	84 - 100
12.5 mm	70 - 100
9.5 mm	58 - 95
7.5 mm	38 - 75
2.36 mm	25 - 60
1.18 mm	17 - 40
0.60 mm	10 – 35 (a)
0.30 mm	5 – 25 (b)
0.15 mm	3 – 20 (c)
0.075 mm	2 – 15 (d)
<b>a. Por lo general, menos del 30 por ciento</b>	
<b>b. Normalmente menos del 20 por ciento</b>	
<b>c Normalmente menos del 15 por ciento</b>	
<b>d. Normalmente menos del 10 por ciento</b>	

Fuente: (Kumar Das, 2014)

La mezcla asfáltica reciclada obtenida de la mayoría de las mezclas de superficies de desgaste suele tener un contenido de asfalto en el rango del 4,5 al 6 por ciento. El asfalto recuperado de la mezcla asfáltica reciclada suele mostrar una baja penetración y valores de viscosidad relativamente altos, dependiendo del tiempo que el pavimento original haya estado en servicio. Los valores de penetración a 25°C pueden oscilar entre 10 y 80, mientras que los valores de viscosidad absoluta a 60°C pueden oscilar entre 2.000 poises (equivalente a AC-20) y 50.000 poises o más, dependiendo del grado de envejecimiento. Normalmente se pueden esperar rangos de viscosidad de 4.000 a 25.000 poises del cemento asfáltico que se recupera del material la mezcla asfáltica reciclada. La tabla

2 proporciona un resumen de los rangos típicos de las propiedades físicas de la mezcla asfáltica reciclada, aparte de la gradación.

*Tabla 3. Propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica reciclada*

<b>Tipo de propiedad</b>	<b>Propiedad de la mezcla asfáltica reciclada</b>	<b>Rango típico de valores</b>
<b>Propiedades físicas</b>	Peso unitario	1940 - 2300 kg/m <sup>3</sup> (120-140 lb/ft <sup>3</sup> )
	Contenido de humedad	Normal: hasta el 5% Máximo: 7-8%
	Contenido de asfalto	Normal: 4,5-6% Máximo: 3-7%
	Penetración del asfalto	Normal: 10-80 a 25°C
	Viscosidad absoluta o cemento asfáltico recuperado	Normal: 4.000 - 25.000 poises a 60°C
<b>Propiedades mecánicas</b>	Peso unitario compactado	1600 - 2000 kg/m <sup>3</sup> (100-125 lb/ft <sup>3</sup> )
	Coefficiente de carga de California (CBR)	100% RAP: 20-25% 40% RAP y 60% Agregado Natural: 150% o más

*Fuente: (Kumar Das, 2014)*

### **2.2.3.2. Propiedades químicas**

Los agregados minerales constituyen la inmensa mayoría (93 a 97 por ciento en peso) de la mezcla asfáltica reciclada. Sólo un porcentaje menor (3 a 7 por ciento) de la mezcla asfáltica reciclada consiste en cemento asfáltico endurecido. En consecuencia, la composición química global de la mezcla asfáltica reciclada es esencialmente similar a la del agregado natural que es su principal constituyente.

El cemento asfáltico está formado principalmente por compuestos de hidrocarburos alifáticos de alto peso molecular, pero también por pequeñas concentraciones de otros materiales como azufre, nitrógeno e hidrocarburos policíclicos (aromáticos y/o nafténicos) de muy baja reactividad química. El cemento asfáltico es una combinación de asfaltenos y maltenos (resinas y aceites). Los asfaltenos son más viscosos que las resinas o los aceites y desempeñan un papel importante en la

determinación de la viscosidad del asfalto. La oxidación del asfalto envejecido hace que los aceites se conviertan en resinas y que las resinas se conviertan en asfaltenos, lo que da lugar a un endurecimiento por envejecimiento y a un ligante de mayor viscosidad.

### **2.2.3.3. Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica reciclada dependen del tipo de pavimento asfáltico original, del método o métodos utilizados para recuperar el material y del grado de procesamiento necesario para preparar la mezcla asfáltica reciclada para una aplicación concreta. Dado que la mayor parte de la mezcla asfáltica reciclada se recicla de nuevo en los pavimentos, hay una falta general de datos relativos a las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica reciclada en otras posibles aplicaciones.

#### **Estabilidad:**

Definición: La estabilidad de una mezcla asfáltica en caliente se refiere a su capacidad para resistir deformaciones permanentes bajo cargas repetidas y condiciones de tráfico. La estabilidad es una medida de la fuerza de una mezcla asfáltica para resistir la deformación debida a la carga. Si una estructura de construcción de carreteras no puede soportar la carga existente, se producirán daños en la carretera que pondrán en peligro a los usuarios.

La estabilidad Marshall de las mezclas de pavimentación de cemento asfáltico ha sido la propiedad más importante utilizada por muchos organismos para determinar la capacidad de la mezcla de pavimentación para resistir el empuje y la formación de surcos bajo el tráfico. En esencia, la estabilidad de una mezcla de pavimentación debe ser lo suficientemente alta como para soportar el tráfico adecuadamente, pero no más alta de lo que las condiciones de tráfico requieren; tiene que estar equilibrada, ya que la falta de estabilidad dará lugar a la formación de surcos en la mezcla. (American Society for Testing and Materials, 2015)

Normativa: La normativa ASTM D6927 especifica el procedimiento para evaluar la estabilidad mediante el ensayo de Marshall, que mide la resistencia a la deformación plástica de la mezcla.

### **Flujo:**

Definición: El flujo en una mezcla asfáltica indica su capacidad para deformarse y ajustarse bajo carga, sin agrietarse ni sufrir daños significativos. El flujo Marshall es la capacidad de la mezcla de pavimentación de cemento asfáltico para ajustarse a los asentamientos y movimientos graduales de la subrasante sin agrietarse. La fluidez puede considerarse una propiedad opuesta a la estabilidad, ya que determina el comportamiento inverso de las mezclas bajo la carga del tráfico en relación con sus propiedades plásticas y elásticas. El flujo Marshall de la mezcla de pavimentación de cemento asfáltico se registra en incrementos de 0,25 mm. La relación calculada entre la estabilidad y el flujo representa una aproximación de la relación entre la carga y la deformación en determinadas condiciones de ensayo, y puede utilizarse como medida de la resistencia del material a la deformación permanente en servicio. (American Society for Testing and Materials, 2015)

Normativa: La prueba de flujo se realiza en el ensayo de Marshall según ASTM D6927. Este ensayo también evalúa la fluencia de la mezcla a una temperatura constante durante un tiempo determinado.

### **Coeficiente TSR (Tracción y Resiliencia Splitting):**

Definición: El coeficiente TSR mide la resistencia a la fisuración por tracción de una mezcla asfáltica en caliente y su capacidad para recuperarse después de la deformación.

Normativa: La normativa AASHTO T283 proporciona las pautas para determinar el coeficiente TSR, que implica aplicar fuerzas de tracción cíclicas a muestras de mezcla para evaluar su resistencia a la fisuración y su capacidad de recuperación.

Estas normativas son estándares reconocidos internacionalmente y son utilizadas por ingenieros y especialistas en pavimentos para garantizar la calidad y el rendimiento de las mezclas asfálticas en caliente en proyectos de construcción de carreteras y pavimentos. (Asphalt Institute, 2020)

### **Desgaste por Cántabro:**

Definición: El método de caracterización universal de ligantes o simplemente método UCL, desarrollado en 1994 se basa en el estudio y valoración de las propiedades funcionales que el ligante aporta a la mezcla. Entre estas propiedades se encuentran la cohesión y la susceptibilidad térmica; la primera está relacionada con la capacidad de disgregación del ligante y del material, mientras que la segunda está relacionada con la variabilidad del comportamiento mecánico de las mezclas a diferentes temperaturas.

Para evaluar estas propiedades, el método evaluará la resistencia a la desintegración de muestras sometidas a diferentes condiciones (en seco, tras inmersión, a diferentes temperaturas y periodos de tiempo) mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste a 25°C. (AENOR Spanish Association for standardization and certification, 2006)

## **2.2.4. Procedimientos de construcción**

### **2.2.4.1. Mezcla caliente reciclada**

- Manipulación y almacenamiento del material

La mezcla asfáltica reciclada se produce mediante equipos de fresado, desgarrado, rotura, trituración o pulverización. Para garantizar que el producto final de la mezcla asfáltica reciclada tenga el rendimiento previsto, debe realizarse una inspección de la mezcla asfáltica reciclada entrante con rechazo de las cargas contaminadas (exceso de material granular, tratamiento de superficies, sellador de juntas, etc.). Algunas jurisdicciones también exigen que la mezcla asfáltica reciclada de un proyecto concreto no se mezcle con el de otros proyectos.

Una vez procesado, la mezcla asfáltica reciclada puede ser manipulada y almacenada como un material agregado convencional. Sin embargo, debido a la variabilidad de la mezcla asfáltica reciclada en comparación con los áridos vírgenes, muchas agencias no permiten la mezcla de la mezcla asfáltica reciclada de diferentes proyectos en pilas combinadas. El Instituto del Asfalto recomienda que la altura de los acopios de la mezcla asfáltica reciclada se limite a un máximo de 3 metros para ayudar a prevenir la aglomeración o el pegado de las partículas de la mezcla asfáltica reciclada. El tiempo de acopio también debe minimizarse para evitar que el contenido de humedad de los acopios de la mezcla asfáltica reciclada sea excesivo.

La experiencia ha demostrado que los acopios cónicos son preferibles a los horizontales y que no provocan la reaglomeración de la mezcla asfáltica reciclada en grandes pilas. La mezcla asfáltica reciclada tiende a formar una costra (debido a un efecto solar/térmico del sol) sobre los primeros 200 a 250 mm (8 a 12 pulgadas) de profundidad de la pila, tanto en los acopios cónicos como en los horizontales. Esta corteza tiende a ayudar a desalojar el agua, pero se rompe fácilmente con un cargador frontal, y puede ayudar a evitar que el resto de la pila se aglomere. La mezcla asfáltica reciclada tiende a retener el agua y a no drenar con el tiempo como una pila de áridos. Por lo tanto, los acopios bajos, horizontales y planos están sujetos a una mayor acumulación de humedad que los acopios altos y cónicos. No es inusual encontrar el contenido de humedad de la mezcla asfáltica reciclada en el rango del 7 al 8 por ciento durante la temporada de lluvias en las instalaciones que utilizan técnicas de acopio bajas y horizontales.

Los acopios de la mezcla asfáltica reciclada suelen dejarse al descubierto porque cubrirlos con lonas puede causar condensación bajo la lona y añadir humedad al acopio de la mezcla asfáltica reciclada. Por esta razón, los acopios de la mezcla asfáltica reciclada se dejan al descubierto o se almacenan en un edificio abierto, pero bajo techo.

- Mezcla, colocación y compactación

Cuando se añade la mezcla asfáltica reciclada a la mezcla asfáltica en caliente, deben tomarse medidas para evitar la exposición de la mezcla asfáltica reciclada a temperaturas superiores a 427°C. La exposición de la mezcla asfáltica reciclada a temperaturas superiores a este límite puede dar lugar a emisiones excesivas de hidrocarburos (humo azul). Para reducir este problema, las plantas de mezcla de asfalto en caliente se han modificado para permitir el reciclaje de la mezcla asfáltica reciclada.

En una planta de lotes, la mezcla asfáltica reciclada suele añadirse a los áridos nuevos sobrecalentados en el molino de aglomerado. En las plantas de mezcla en tambor, la mezcla asfáltica reciclada se introduce normalmente con el nuevo árido en el tambor utilizando un sistema de alimentación doble. El nuevo árido se introduce normalmente en el extremo caliente del tambor (normalmente el extremo delantero del tambor), mientras que la mezcla asfáltica reciclada se introduce en el centro o en la parte trasera del tambor para evitar daños por sobrecalentamiento a la mezcla asfáltica reciclada.

En una planta de lotes, las tasas típicas de sustitución de la mezcla asfáltica reciclada están limitadas por la capacidad de calor de la planta y la capacidad de sobrecalentar el agregado a temperaturas que produzcan una temperatura de mezcla adecuada. Esto normalmente limita las mezclas de la planta por lotes a entre el 10 y el 30 por ciento de la mezcla asfáltica reciclada. En una planta de mezcla de tambor, puede añadirse entre un 30 y un 70% de la mezcla asfáltica reciclada, con un límite práctico del 50%, debido a las limitaciones de emisión de hidrocarburos que pueden superarse si se introduce un exceso de la mezcla asfáltica reciclada.

- Control de calidad

Para producir una mezcla asfáltica reciclada en caliente de alta calidad, es esencial la necesidad de un control de calidad sistemático de la mezcla asfáltica reciclada. El proceso debe ser monitoreado para el contenido de humedad de la mezcla asfáltica reciclada procesado, la gradación y el contenido de cemento asfáltico. Se han desarrollado operaciones de planta

controladas para producir una mezcla asfáltica reciclada consistente (homogéneo). Las pruebas de extracción para monitorear la gradación de la mezcla asfáltica reciclada y el contenido de cemento asfáltico, así como las pruebas de penetración y viscosidad del cemento asfáltico recuperado, deben ser realizadas regularmente para monitorear las características de la mezcla asfáltica reciclada para compararlas con la fórmula de la mezcla de trabajo y permitir los ajustes apropiados a la mezcla.

Los mismos procedimientos de pruebas de campo utilizados para las mezclas convencionales de asfalto en caliente deben ser utilizados para las mezclas que contienen pavimento asfáltico recuperado. Las mezclas deben ser muestreadas de acuerdo con la norma AASHTO T168, y ensayadas para determinar la gravedad específica según la norma ASTM D2726 y la densidad en el lugar de trabajo según la norma ASTM D2950.

#### **2.2.4.2. Reciclaje en caliente in situ**

- Mezcla, colocación y compactación

Hay tres procesos básicos de construcción en uso: escarificación con calentador, repavimentación y remezcla. Todos implican una planta especializada en una operación de tren continuo.

La escarificación con calentadores implica una planta que calienta la superficie del pavimento (normalmente utilizando calentadores radiantes de propano), escarifica la superficie del pavimento utilizando un banco de dientes no giratorios, añade un aditivo rejuvenecedor líquido y, a continuación, mezcla y nivela la mezcla reciclada utilizando un sistema de barrena estándar. A continuación, el pavimento de asfalto reciclado se compacta utilizando un equipo de compactación convencional. El proceso es limitado en su capacidad para reparar pavimentos severamente bacheados, que a menudo se recubren con mezcla asfáltica en caliente convencional.

La repavimentación es un proceso más sofisticado que incluye la eliminación (mediante calentamiento y escarificación y/o trituración) de los

25 a 50 mm superiores del antiguo pavimento de asfalto, la adición y mezcla de un agente rejuvenecedor para mejorar la viscosidad del asfalto, la colocación del material reciclado como una capa de nivelación utilizando una regla primaria, y la colocación simultánea de una delgada (por lo general menos de 25 mm pero hasta 50 mm en algunos sistemas) capa de mezcla asfáltica en caliente. El equipo y los procedimientos convencionales se utilizan inmediatamente detrás del tren para compactar ambas capas de material y asegurar una unión monolítica entre la capa nueva y la reciclada.

El proceso de remezcla se utiliza cuando se requieren agregados adicionales para mejorar la resistencia o estabilidad del concreto asfáltico reciclado. La mezcla asfáltica reciclada escarificado o fresado se mezcla con el rejuvenecedor y el nuevo agregado virgen o la nueva mezcla asfáltica en caliente, y luego se coloca mediante una regla de compactación. Se utilizan equipos y procedimientos convencionales para colocar y compactar el material remezclado.

- Control de calidad

El paso inicial en el control de calidad de las mezclas recicladas en caliente es la selección del pavimento a reciclar. El proceso de reciclado se realiza de manera automática. El proceso de reciclado de la mezcla se realiza mediante la aplicación de una técnica de reciclado en caliente en el lugar. El proceso de reciclado es el mismo que en el caso de los pavimentos de hormigón, pero no es el mismo que en el caso de los pavimentos de hormigón de baja densidad. Los pavimentos con delaminaciones, especialmente con delaminaciones saturadas, en los 5 cm superiores (2 pulgadas) no deberían considerarse para proyectos de HIPR. La mayoría de los materiales de construcción son de tipo "no" o "no", y no se pueden utilizar como material de construcción.

La mayoría de los proyectos de pavimentación de la ciudad de Nueva York se han realizado en el marco de un proyecto de rehabilitación de la ciudad de Nueva York. La cantidad de agente rejuvenecedor (1,0 por ciento o más en peso de la mezcla) que debe añadirse para alcanzar la viscosidad

deseada, es probable que la mezcla no deba ser reciclada en el lugar. La mayoría de los materiales de construcción son de tipo "no", es decir, no se pueden reciclar. La mayoría de los pavimentos de la región son de tipo "no", es decir, que no se pueden reciclar en el mismo lugar.

Las muestras de campo también deben ser evaluadas para el contenido de vacíos de aire durante el proceso de selección del pavimento. La mayoría de los materiales de pavimento son de alta calidad, pero la mayoría de los materiales son de alta calidad, y la mayoría de los materiales son de alta calidad, y la mayoría de los materiales son de alta calidad, y la mayoría de los materiales son de alta calidad, y la mayoría de los materiales son de alta calidad, y la mayoría de los materiales son de alta calidad, y la mayoría de los materiales son de alta calidad, y la mayoría de los materiales son de alta calidad. La mayoría de los materiales de la carretera son de tipo "de alta calidad", pero no son de tipo "de alta calidad".

La aplicación de este método es muy importante, ya que el material se puede utilizar para la construcción de un nuevo pavimento o para la construcción de un nuevo pavimento. La mezcla reciclada debe ser obtenida en muestras sueltas y se deben realizar pruebas de extracción para monitorear la gradación de la mezcla asfáltica reciclada, el contenido de cemento asfáltico y de vacíos de aire, y la penetración y viscosidad del ligante asfáltico recuperado para compararlo con la fórmula de la mezcla de la obra. La mezcla reciclada debe ser monitoreada en cuanto a la densidad en el sitio de acuerdo con la norma ASTM D2950.

#### **2.2.5. Envejecimiento del asfalto**

El envejecimiento del asfalto se refiere a las propiedades físicas que intervienen en el cambio del asfalto a medida que transcurre el tiempo debido a los cambios en su composición química. Estos cambios se producen por la interacción de variables intrínsecas y extrínsecas asociadas al envejecimiento a corto y largo plazo. Los mecanismos de envejecimiento consisten en la volatilización, la oxidación y el endurecimiento estérico. Mientras que la volatilización y la oxidación se producen por cambios en la estructura molecular, el endurecimiento estérico se produce por la

reorganización molecular. El envejecimiento del asfalto, también conocido como endurecimiento por edad, describe el endurecimiento.

#### **2.2.5.1. Mecanismos asociados al envejecimiento del ligante asfáltico**

El envejecimiento se produce por tres mecanismos: la volatilización de los componentes ligeros del asfalto, la oxidación durante la vida útil y el endurecimiento estérico. La volatilización y la oxidación son irreversibles, ya que se producen por cambios químicos; el endurecimiento estérico, sin embargo, puede revertirse mediante calor o trabajo mecánico, ya que supone una reorganización estructural de la molécula, producida por cambios de temperatura (Petersen, 1984).

#### **2.2.5.2. Volatilización**

El aumento de la temperatura durante la producción, el almacenamiento, el transporte y la colocación del asfalto da lugar a la volatilización, que está relacionada con el envejecimiento a corto plazo de la mezcla asfáltica calentada. Las temperaturas alcanzan y superan los 150°C, momento en el que las fracciones del asfalto comienzan a evaporarse. Unos 10 o 12°C adicionales podrían duplicar las emisiones de volátiles.

El asfalto caliente recubre los áridos con una fina película durante la mezcla asfáltica; el espesor de esta película oscila entre 6 y 19 micras, aunque dicho espesor no es constante. Cuando la fina película de asfalto entra en contacto con los áridos a temperaturas de 150°C o superiores, las fracciones aromáticas se evaporan rápidamente y los asfaltenos aumentan generalmente entre 1 y 4 wt%. Como resultado de esta reacción, se producen vapores y humos que dependen de la superficie de contacto entre la película asfáltica y los áridos. Aunque la volatilización se produce principalmente durante la mezcla, también puede producirse durante el almacenamiento, el transporte y la colocación.

El principal efecto de la volatilización es la pérdida de peso del asfalto debido a la evaporación. La pérdida de peso, a su vez, reduce las propiedades de fluidez del asfalto, es decir, la viscosidad se ve afectada

por la volatilización, especialmente dada la velocidad con la que ésta se produce. Los investigadores han comprobado que la viscosidad aumenta entre un 150 y un 400% (Christensen & Anderson, 1992).

### **2.2.5.3. Oxidación**

Los complejos componentes orgánicos del asfalto reaccionan con el oxígeno atmosférico y la radiación ultravioleta (UV). El oxígeno atmosférico y la radiación UV reaccionan inicialmente con la superficie del pavimento. Dado que la superficie es más dura, pueden aparecer grietas; después de que aparezcan las grietas, el aire se filtra en las capas de asfalto y engendra la oxidación. La oxidación penetra hasta 15 mm por debajo de la capa superficial. Progresa de forma descendente, ya que la radiación UV aumenta los niveles de energía, lo que provoca la ruptura de las cadenas de carbono-carbono y su combinación con el oxígeno (oxidación); esto ocurre de forma natural durante la vida útil de un pavimento.

Los investigadores Corbett y Mertz estudiaron pavimentos de 18 años, concluyendo que no había una pérdida significativa de las fracciones saturadas debido a la oxidación, mientras que las otras tres fracciones SARA (saturación, aromático, resina y asfalteno) sí mostraban una variación significativa. Además de afectar a tres de las cuatro fracciones SARA, se ha visto que la oxidación reduce los aromáticos, que primero se convierten en resinas y luego en asfaltenos. Se han formado grupos funcionales con oxígeno en las moléculas de asfalto, lo que ha provocado una disminución de las fracciones de resinas y aromáticos y un aumento de las fracciones de asfaltenos. La oxidación del betún puede explicarse por la formación de grupos carbonilo y sulfóxido, y obedece a reacciones cinéticas de primer orden (Herrington, 1998).

El endurecimiento oxidativo por envejecimiento contribuye de forma significativa a la fragilidad de los pavimentos de asfalto, lo que acaba provocando un agrietamiento excesivo del pavimento. El peso molecular real de las moléculas no polares desempeña un papel importante en el rendimiento del pavimento, especialmente a bajas temperaturas, ya que los

pavimentos asfálticos delgados que tienen un exceso de material polar sufrirán agrietamiento por fatiga, agrietamiento térmico y fragilidad. Del mismo modo, los asfaltos con demasiado material no polar o los asfaltos que tienen un peso molecular de material no polar extremadamente bajo experimentarán agrietamiento por fatiga; se ha observado sensibilidad a la humedad y formación de surcos en los pavimentos gruesos.

#### **2.2.5.4. Endurecimiento estérico**

El endurecimiento estérico se refiere al endurecimiento del asfalto a temperatura ambiente a medida que transcurre el tiempo. Esto implica una reorganización molecular del asfalto, que afecta a las fracciones de asfaltenos; esto se produce en el plazo de un día y puede ser reversible debido a las fluctuaciones de temperatura dentro del mismo día. Los efectos del endurecimiento estérico incluyen un aumento de la viscosidad y una ligera contracción del volumen; el endurecimiento estérico se atribuye principalmente a la cristalización de la cera, refiriéndose a la cristalización de los alcanos lineales presentes en las fracciones asfálticas. Este mecanismo también se ha denominado endurecimiento físico.

#### **2.2.5.5. Cambios en las propiedades del ligante asfáltico**

Los mecanismos discutidos hasta ahora producen varios cambios en las propiedades del cemento asfáltico. En cuanto a los cambios físicos, los resultados de laboratorio han demostrado una menor penetración y ductilidad, así como una mayor temperatura de reblandecimiento y punto de ignición. El tamaño molecular provoca estos cambios, reduciendo en última instancia las condiciones de fluidez. También se ha informado de cambios mecánicos debido a un aumento de los módulos (módulos mecánicos y dinámicos). Estos estudios han demostrado que las relaciones de los módulos antes y después del envejecimiento han alcanzado del 100% al 400%, dependiendo del asfalto. Las alteraciones de la rigidez generan una deformación más permanente y un agrietamiento mayor a bajas temperaturas.

La composición de la fracción SARA cambia debido a la interacción de variables intrínsecas y extrínsecas: los aromáticos se convierten en resinas y las resinas en asfaltenos. Estos cambios químicos implican entidades moleculares más grandes y polares, evidenciadas por la formación de nuevos grupos funcionales, como carbonilos y sulfóxidos. El aumento del tamaño molecular forma una respuesta elástica que es más rápida que la respuesta viscosa (resultado del envejecimiento). Aunque la aglomeración molecular reduce la fluidez del asfalto y, por tanto, disminuye el ángulo de fase, la viscosidad y los módulos complejos aumentan. Estos aspectos alteran significativamente las propiedades reológicas del asfalto (Lesueur, 2009).

#### **2.2.5.6. Periodo de envejecimiento**

El periodo de envejecimiento se refiere a los intervalos de tiempo durante los cuales la mezcla asfáltica está expuesta a las condiciones ambientales y al tráfico vehicular después de su fabricación y colocación. Estos períodos son críticos para comprender cómo evoluciona y cambia la mezcla a lo largo del tiempo, lo que impacta en sus propiedades y rendimiento. (Vargas, 2010) Los periodos de envejecimiento pueden clasificarse en dos categorías principales:

Envejecimiento a corto plazo: Este se refiere al período inmediatamente después de la colocación de la mezcla asfáltica en caliente. Durante este tiempo, la mezcla está expuesta a condiciones climáticas, como la radiación solar y las variaciones de temperatura, así como a la acción inicial del tráfico vehicular. Este periodo es crucial para la consolidación y la compactación de la mezcla.

Envejecimiento a largo plazo: Este ocurre a lo largo de los años después de la construcción de la carretera. Durante este periodo, la mezcla asfáltica sigue siendo afectada por las condiciones climáticas, el tráfico continuo, la oxidación, la acción del agua y otros factores. El envejecimiento a largo plazo puede llevar a cambios en las propiedades

mecánicas y físicas de la mezcla, como la pérdida de flexibilidad, la formación de grietas y la pérdida de resistencia.

### 2.3. Definición de Términos Básicos

- Reciclaje

El reciclaje de pavimentos es una alternativa más competitiva y sostenible a la rehabilitación de pavimentos, ya que reduce el uso de recursos no renovables, áridos naturales y asfalto, así como evita la generación de residuos y el vertido de vertederos.

- Asfalto

El asfalto es un material viscoelástico que se obtiene del petróleo crudo o de depósitos naturales; su composición química es compleja y está formada principalmente por átomos de carbono (80-88%) y de hidrógeno (8-12%). Dada esta complejidad química, hay que mencionar que la composición particular del asfalto depende de su fuente y de la destilación implicada; por lo tanto, la química del asfalto debe estudiarse en relación con su estructura y sus interacciones moleculares.

- Árido

Los áridos son materiales granulares inertes como la arena, la grava o la piedra triturada que, junto con el agua y el cemento portland, son un ingrediente esencial del hormigón. Para obtener una buena mezcla de hormigón, los áridos deben ser partículas limpias, duras y resistentes, libres de sustancias químicas absorbidas o recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que puedan causar el deterioro del hormigón.

- Repavimentación

La repavimentación es el proceso de eliminación y sustitución de las capas superiores de su asfalto existente. La nueva superficie, que suele tener un grosor de entre 1 y 2 pulgadas, suele prolongar la vida útil de su calzada o aparcamiento entre 8 y 15 años. Incluso mejor, hace que su pavimento parezca nuevo a una fracción del coste original.

- Envejecimiento

El envejecimiento del asfalto se refiere a las propiedades físicas que intervienen en el cambio del asfalto a medida que transcurre el tiempo debido a los cambios en su composición química. Estos cambios se producen por la interacción de variables intrínsecas y extrínsecas asociadas al envejecimiento a corto y largo plazo.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Métodos y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Método de Investigación**

Según (Baena Paz, 2014), el método científico es el proceso de establecer objetivamente los hechos mediante pruebas y experimentos. El proceso básico consiste en hacer una observación, formular una hipótesis, hacer una predicción, realizar un experimento y, por último, analizar los resultados.

En el presente estudio, se aplicará la metodología científica mediante el ensayo de resistencia por Marshall y el ensayo de desgaste por Cántabro, los cuales determinarán las propiedades mecánicas y físicas de la mezcla asfáltica reciclada.

#### **3.1.2. Nivel**

Según (Carrasco Díaz, 2006), la investigación correlacional es un tipo de método de investigación que consiste en observar dos variables para establecer una relación estadísticamente correspondiente entre ellas. El objetivo de la investigación correlacional es identificar las variables que tienen algún tipo de relación hasta el punto de que un cambio en una crea algún cambio en la otra.

En el presente estudio, se realizará una investigación de nivel correlacional, ya que se busca analizar la correlación entre las variables dependientes e independientes, es así como se plantea analizar las propiedades mecánicas

y físicas de las mezclas asfálticas recicladas de pavimentos asfálticos envejecidos a distintos periodos.

### **3.1.3. Tipo**

Según (Monje Álvarez, 2011), en la investigación aplicada uno resuelve determinados problemas empleando teorías y principios bien conocidos y aceptados, este tipo de investigación es útil para la investigación básica. La investigación cuyo resultado tiene una aplicación inmediata también se denomina investigación aplicada. Este tipo de investigación es de utilidad práctica para la actividad actual.

En el presente estudio, se realizará una investigación de tipo aplicado en el que se determinará el comportamiento mecánico y físico de las mezclas asfálticas recicladas para analizar el nivel de daño en un pavimento asfáltico envejecido a distintos periodos.

## **3.2. Diseño de la investigación**

Según (Bernal Torres, 2010), el diseño de investigación cuasiexperimental es un tipo de estudio que sigue rígidamente un diseño de investigación científica. De acuerdo a las definiciones metodológicas que indican establecer relaciones causales entre variables, el control sobre la asignación no es total debido a limitaciones prácticas o logísticas. Además, los investigadores intentan establecer relaciones causales entre variables, pero no pueden realizar asignaciones aleatorias completas de los participantes a diferentes grupos, como lo harían en un diseño experimental puro.

En el presente estudio, se aplicará un diseño de investigación cuasiexperimental, ya que parece se pretende observar y comparar el impacto del envejecimiento en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas recicladas en condiciones de campo o de laboratorio, pero sin asignar aleatoriamente las muestras. Para ello se asignó como variable independiente el periodo de envejecimiento y como variable dependiente las propiedades mecánicas. Como muestreo se optará por mezclas asfálticas recicladas provenientes de pavimentos asfálticos envejecidos a determinados periodos.

Al definir estos aspectos, se están estableciendo las bases para llevar a cabo una investigación cuasiexperimental que permita abordar la investigación sobre la influencia del período de envejecimiento en las mezclas asfálticas recicladas y su degradación escalonada de propiedades mecánicas.

### **3.3. Población y muestra**

#### **3.3.1. Población**

Según (Ramírez González, 2003), la población es un grupo entero sobre el que se quiere averiguar alguna información. Una población estadística no tiene por qué estar formada sólo por personas. Podemos tener una población definida con criterios explícitos de inclusión y exclusión. Al seleccionar una población para el estudio, la pregunta de investigación o el propósito del estudio sugerirán una definición adecuada de la población a estudiar.

Se plantea para el presente estudio una población de media tonelada (500 kg) de mezcla asfáltica reciclada la cual se obtendrá según las especificaciones de la normativa INVÍAS 462-13 del reciclado de pavimentos asfálticos envejecidos.

#### **3.3.2. Muestra**

Según (Mejía Mejía, 2005), una muestra es cualquier parte de la población totalmente definida y esta debe ser elegida adecuadamente y cumplir con criterios de inclusión y exclusión bien definidos. Para hacer inferencias precisas, la muestra tiene que ser representativa. Una muestra representativa es aquella en la que todos y cada uno de los miembros de la población tienen una oportunidad igual y mutuamente excluyente de ser seleccionados.

Se plantea para el presente estudio una muestra de 75 kg de mezcla asfáltica reciclada proveniente de los pavimentos asfálticos envejecidos a distintos periodos, es decir, una muestra de 25 kg proveniente del pavimento asfáltico a reciclar envejecido a 20 años, otra muestra de pavimento asfáltico

envejecido a 25 años y una última muestra de pavimento asfáltico envejecido a 30 años.

### **3.3.3. Muestreo**

Según (Gomez Bastar, 2012), el muestreo no probabilístico representa un grupo de técnicas de muestreo que ayudan a los investigadores a seleccionar unidades de una población que les interesa estudiar. Siendo una característica fundamental de las técnicas de muestreo no probabilístico que las muestras se seleccionan basándose en el juicio subjetivo del investigador, en lugar de la selección aleatoria.

Se plantea para el presente estudio un muestro no probabilístico de corte longitudinal, debido a que la investigación plantea el análisis de las propiedades mecánicas y físicas en muestras de mezclas asfálticas recicladas provenientes de pavimentos asfálticos envejecidos a determinados periodos.

### **3.4. Técnicas de recolección de datos**

La técnica a emplear en el presente estudio será por observación directa, ya que se requiere analizar y procesar los resultados mediante ensayos de laboratorio, para determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica reciclada se deberán realizar los ensayos de gravedad específica y los de Marshall, mientras que para determinar las propiedades físicas se deberán realizar los ensayos de desgaste por Cántabro, al aplicar estos ensayos se deberán registrar los resultados por medio de certificados de laboratorio que serán constatados por personal capacitado para cada ensayo.

### **3.5. Instrumento de análisis de datos**

Para el presente estudio se requerirá emplear fichas técnicas como instrumento de análisis de datos las cuales serán otorgadas por el laboratorio en el que se llevarán a cabo los ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas asfálticas recicladas obtenidas de pavimento asfáltico envejecido a distintos periodos.

## **CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Selección de Materiales del Diseño de Mezcla Patrón**

En el siguiente apartado, se presentan los lineamientos característicos que se tienen en cuenta para aplicación y diseño de mezclas asfálticas en caliente correspondiente a la disponibilidad de materiales en la región y bajo la metodología de Marshall.

A continuación, se presentan las series de materiales caracterizados que corresponden a una preselección a través empresas distribuidoras que aseguran una calidad mínima en los materiales sobre cada uno de los proveedores. El listado de materiales necesarios para la elaboración de un diseño de mezcla por MAC 01 son los siguientes:

- Agregados gruesos de tamaño máximo nominal  $\frac{3}{4}$ ", Sicaya.
- Agregados gruesos de tamaño máximo nominal  $\frac{1}{2}$ ", Sicaya.
- Agregados finos procesados de tamaño máximo nominal N°4, Sicaya.
- Agregados finos naturales de tamaño máximo nominal N°4, Sicaya.
- Filler pasante de la malla N°200, Cal hidratada.
- Ligante asfáltico CAP PEN 85/100, por temperatura media local.

Estos materiales presentan ciertas características físicas y mecánicas necesarias de evaluar para llegar a una mezcla asfáltica que pueda brindar

las mejores propiedades y que simule de forma adecuada la estructura de los pavimentos particulares de la región. En la siguiente figura 5 se presenta la perspectiva satelital de la planta chancadora de agregados de donde provienen los áridos gruesos y finos para el diseño de mezcla.



*Figura 5. Planta Chancadora de agregados ubicada en Sicaya*

*Fuente: Google Earth – Ubicación Sicaya*

A continuación, presento algunos lineamientos normativos que se tuvieron en cuenta en la aplicación y diseño de mezclas asfálticas recicladas:

1. Selección de la fuente de material reciclado: El material reciclado debe provenir de una fuente confiable y cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en la normativa local o internacional.
2. Diseño de la mezcla asfáltica reciclada: El diseño de la mezcla asfáltica reciclada debe seguir los procedimientos y especificaciones técnicas establecidos en la normativa local o internacional, tomando en cuenta las características del material reciclado y las condiciones ambientales.
3. Evaluación de la calidad del material reciclado: Antes de la utilización del material reciclado, se debe realizar una evaluación de su calidad para determinar su idoneidad. Esta evaluación debe incluir pruebas de laboratorio para determinar la granulometría, contenido de asfalto, contenido de humedad, entre otros.

4. Evaluación de la mezcla asfáltica reciclada: Después de la producción de la mezcla asfáltica reciclada, se deben realizar pruebas de laboratorio y pruebas en campo para evaluar su calidad y desempeño.
5. Control de calidad: Se debe establecer un plan de control de calidad para garantizar que la producción y aplicación de las mezclas asfálticas recicladas cumpla con las especificaciones técnicas y normativas establecidas.
6. Documentación y registros: Se deben mantener registros precisos de los materiales y los procesos utilizados en la producción y aplicación de las mezclas asfálticas recicladas.

Es importante destacar que los lineamientos normativos son tomados de la normativa nacional vigente a través del MTC. Por lo tanto, es esencial revisar y seguir las normas específicas que se aplican a cada material.

#### 4.1.1. Agregado Grueso para MAC 01 – Piedra ¾” Sicaya

La selección y muestreo de agregados para pavimentos es un proceso crítico en la construcción de carreteras y pavimentos duraderos. A continuación, se presentan algunos parámetros que se deben considerar para la selección y muestreo de agregados para pavimentos de acuerdo a los requerimientos establecidos por Marshall – MAC01.

Mediante un muestreo minucioso del agregado grueso (piedra de ¾”) en cumplimiento con las disposiciones normativas se presenta en la siguiente tabla 4, el análisis granulométrico realizado a 3.00 kilogramos de material granular proveniente de la planta chancadora de Sicaya.

*Tabla 4. Características granulares correspondientes a la piedra ¾”*

<b>DATOS DE ENSAYO:</b>	<b>3.0 kg.</b>
-------------------------	----------------

PESO DE MUESTRA		3000 kg.		
MALLA		PESO	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)
1"	25.400	0.00	0.00	<b>100.00</b>
3/4"	19.050	647.40	21.58	<b>78.42</b>
1/2"	12.700	919.20	52.22	<b>47.78</b>
3/8"	9.525	345.60	63.74	<b>36.26</b>
No4	4.763	433.80	78.20	<b>21.80</b>
No8	2.381	68.10	80.47	<b>19.53</b>
No10	1.905	57.90	82.40	<b>17.60</b>
No16	1.191	79.20	85.04	<b>14.96</b>
No30	0.595	132.90	89.47	<b>10.53</b>
No40	0.423	68.70	91.76	<b>8.24</b>
No50	0.298	42.00	93.16	<b>6.84</b>
No80	0.179	51.30	94.87	<b>5.13</b>
No100	0.149	113.40	98.65	<b>1.35</b>
No200	0.074	18.90	99.28	<b>0.72</b>
<N°200		21.60	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>3000.00</b>		

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Los porcentajes de pasantes derivados del análisis granulométrico realizado a los 3.00 kilogramos del agregado grueso de tamaño máximo nominal  $\frac{3}{4}$ " genera una curva granulométrica presentada en la siguiente figura 6, donde se puede observar que el material granular presenta una considerable cantidad de agregados finos lo cual tendrá un efecto directo para diseño patrón de MAC 01.

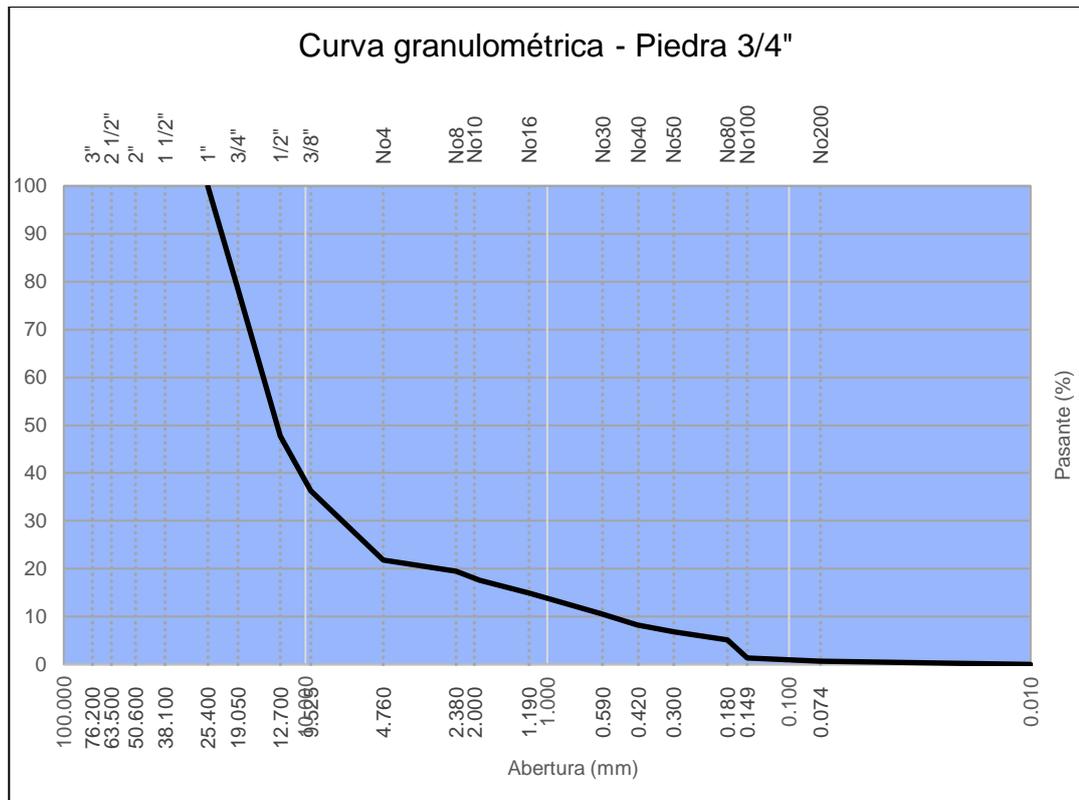


Figura 6. Curva granulométrica de la piedra 3/4" proveniente de Sicaya

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

#### 4.1.2. Agregado Grueso para MAC 01 – Piedra 1/2" Sicaya

Continuando el análisis de los áridos gruesos y mediante un muestreo minucioso del agregado grueso (piedra de 1/2"), en cumplimiento con las disposiciones normativas, se presenta en la siguiente tabla 5, el análisis granulométrico realizado a 3.00 kilogramos de material granular proveniente de la planta chancadora de Sicaya.

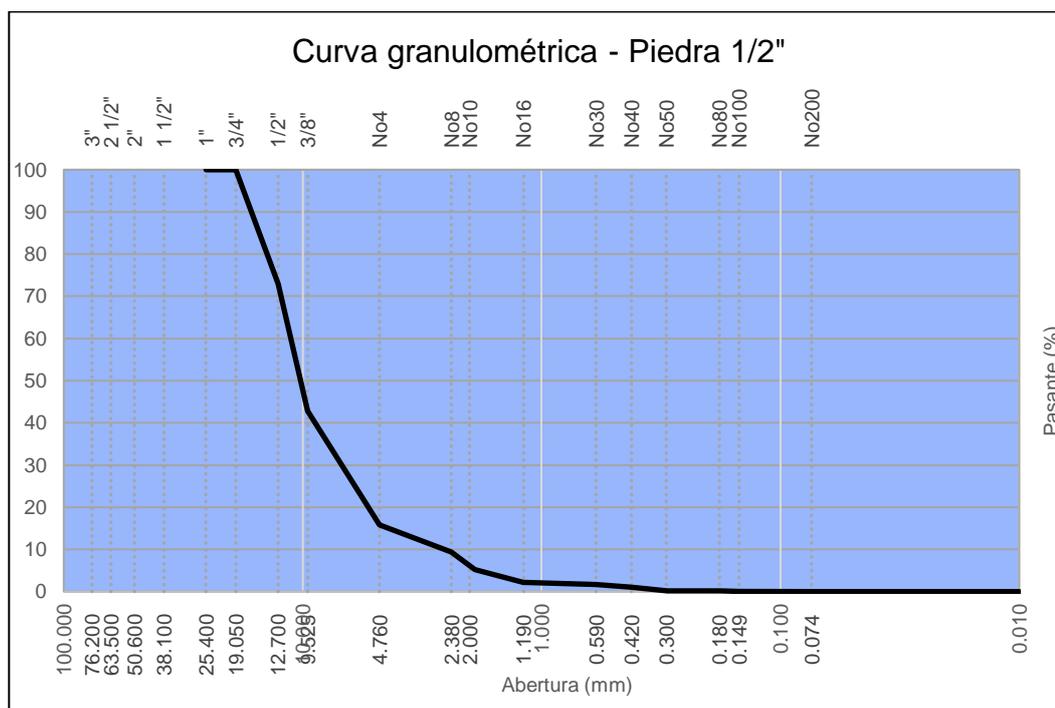
Tabla 5. Características granulares correspondientes a la piedra 1/2"

DATOS DE ENSAYO:		3.0 kg.		
PESO DE MUESTRA		3000 kg.		
MALLA		PESO	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)
3/4"	19.050	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	810.60	27.02	72.98

3/8"	9.525	904.50	57.17	<b>42.83</b>
No4	4.763	809.10	84.14	<b>15.86</b>
No8	2.381	195.60	90.66	<b>9.34</b>
No10	1.905	122.70	94.75	<b>5.25</b>
No16	1.191	92.10	97.82	<b>2.18</b>
No30	0.595	15.30	98.33	<b>1.67</b>
No40	0.423	18.60	98.95	<b>1.05</b>
No50	0.298	26.10	99.82	<b>0.18</b>
No80	0.179	2.10	99.89	<b>0.11</b>
No100	0.149	1.50	99.94	<b>0.06</b>
No200	0.074	1.80	100.00	<b>0.00</b>
<N°200		0.00	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>3000.00</b>		

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Los porcentajes de pasantes derivados del análisis granulométrico realizado a los 3.00 kilogramos del agregado grueso de tamaño máximo nominal 1/2" genera una curva granulométrica presentada en la siguiente figura 7, donde se puede observar que el material granular presenta una considerable cantidad de agregados finos lo cual tendrá un efecto directo para diseño patrón de MAC 01.



*Figura 7. Curva granulométrica de la piedra ½" proveniente de Sicaya*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

#### **4.1.3. Agregado Fino para MAC 01 – Arena Chancada Sicaya**

El análisis de los áridos finos y mediante un muestreo minucioso del agregado fino (arena procesada), en cumplimiento con las disposiciones normativas, se presenta en la siguiente tabla 6, el análisis granulométrico realizado a 1.50 kilogramos de material granular proveniente de la planta chancadora de Sicaya.

*Tabla 6. Características granulares correspondientes a la arena chancada*

<b>DATOS DE ENSAYO:</b>					
<b>PESO DE MUESTRA</b>		<b>1500</b>	<b>gr</b>		
<b>MALLA</b>		<b>PESO</b>	<b>RET. PARCIAL</b>	<b>PASANTE</b>	
<b>TAMIZ</b>	<b>mm</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	
3/4"	19.050	0.00	0.00	<b>100.00</b>	
1/2"	12.700	0.00	0.00	<b>100.00</b>	
3/8"	9.525	0.00	0.00	<b>100.00</b>	
No4	4.763	271.35	18.09	<b>81.91</b>	
No8	2.381	145.95	9.73	<b>72.18</b>	
No10	1.905	160.95	10.73	<b>61.45</b>	
No16	1.191	178.95	11.93	<b>49.52</b>	
No30	0.595	199.20	13.28	<b>36.24</b>	
No40	0.423	120.45	8.03	<b>28.21</b>	
No50	0.298	84.90	5.66	<b>22.55</b>	
No80	0.179	90.45	6.03	<b>16.52</b>	
No100	0.149	87.45	5.83	<b>10.69</b>	
No200	0.074	72.45	4.83	<b>5.86</b>	
<N°200		87.90	5.86	<b>0.00</b>	
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>1500.00</b>			

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Los porcentajes de pasantes derivados del análisis granulométrico realizado a los 1.50 kilogramos del agregado fino de tamaño máximo nominal N°4 genera una curva granulométrica presentada en la siguiente

figura 8, donde se puede observar que el material granular presenta una considerable cantidad de retenido en las mallas pasantes de la malla N°80, lo cual tendrá un efecto directo para diseño patrón de MAC 01.

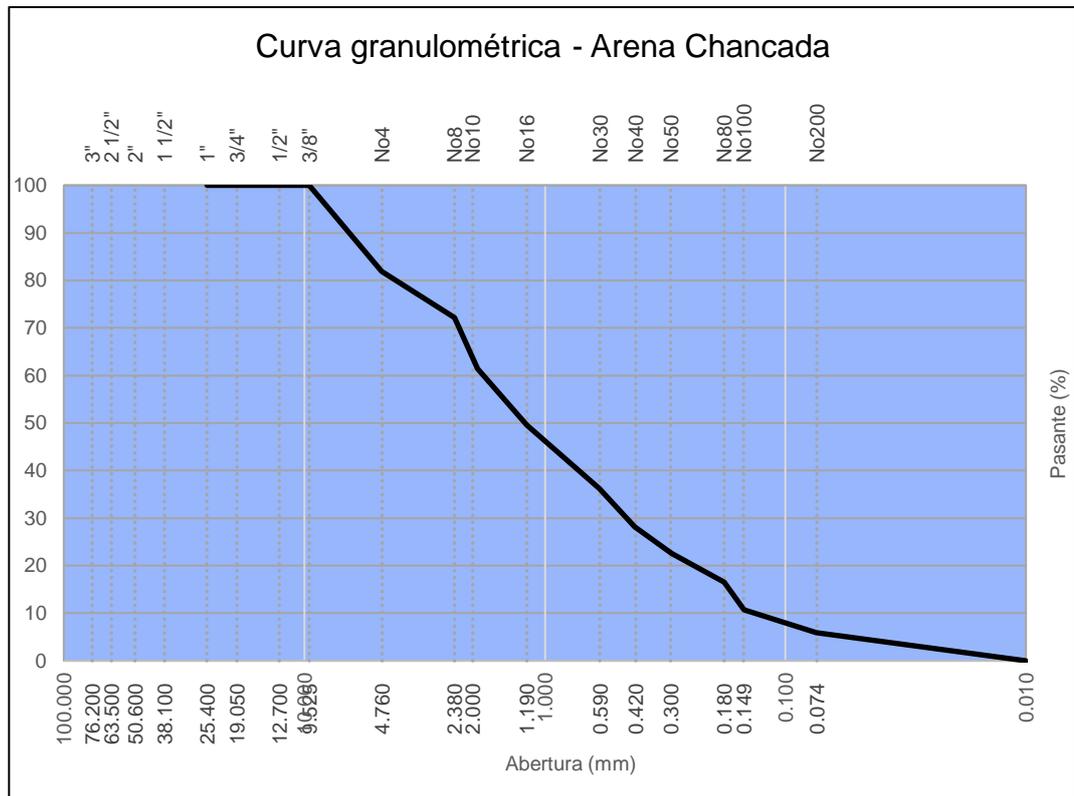


Figura 8. Curva granulométrica de la arena chancada - Sicaya

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

#### 4.1.4. Agregado Fino para MAC 01 – Arena Zarandeada Sicaya

El análisis de los áridos finos y mediante un muestreo minucioso del agregado fino (arena zarandeada), en cumplimiento con las disposiciones normativas, se presenta en la siguiente tabla 7, el análisis granulométrico realizado a 1.50 kilogramos de material granular proveniente del río Mantaro en la localidad de Sicaya.

Tabla 7. Características granulares correspondientes a la arena natural

<b>DATOS DE ENSAYO:</b>				
<b>PESO DE MUESTRA</b>		<b>1500 gr.</b>		
<b>MALLA</b>		<b>PESO</b>	<b>RET. ACUMULADO</b>	<b>PASANTE</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>mm</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
tm - 3/4"	19.050	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°4	4.763	265.65	17.71	<b>82.29</b>
tm - N°8	2.381	47.10	20.85	<b>79.15</b>
tm - N°10	1.905	341.10	43.59	<b>56.41</b>
tm - N°16	1.191	175.20	55.27	<b>44.73</b>
tm - N°30	0.595	130.80	63.99	<b>36.01</b>
tm - N°40	0.423	170.85	75.38	<b>24.62</b>
tm - N°50	0.298	94.35	81.67	<b>18.33</b>
tm - N°80	0.179	102.90	88.53	<b>11.47</b>
tm - N°100	0.149	29.10	90.47	<b>9.53</b>
tm - N°200	0.074	58.65	94.38	<b>5.62</b>
tm - <N°200		84.30	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>1500.00</b>		

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Los porcentajes de pasantes derivados del análisis granulométrico realizado a los 1.50 kilogramos del agregado fino de tamaño máximo nominal N°4 genera una curva granulométrica presentada en la siguiente figura 9, donde se puede observar que el material granular presenta una considerable cantidad de retenido en las mallas pasantes de la malla N°80, lo cual tendrá un efecto directo para diseño patrón de MAC 01.

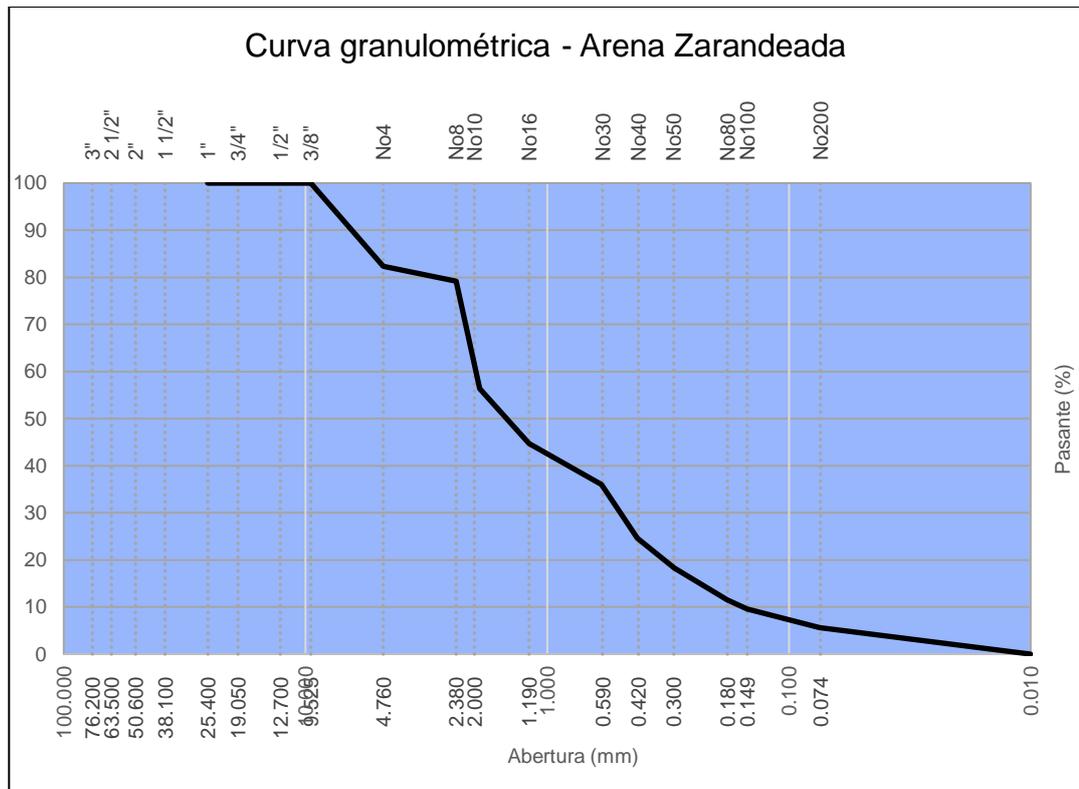


Figura 9. Curva granulométrica de la arena zarandeada - Sicaya

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

#### 4.1.5. Filler para el MAC 01 – Cal Hidratada

El filler es considerado como un material de granulometría muy fina pasante de la malla N°200 que colabora con la conformación del mastico asfáltico de la mezcla. En el presente estudio, se opta por emplear la cal hidratada como material conglomerante para la elaboración del diseño de mezcla MAC 01. En la siguiente tabla 8, se presenta la comprobación granulométrica de un análisis realizado a 0.2 kilogramos de cal hidratada.

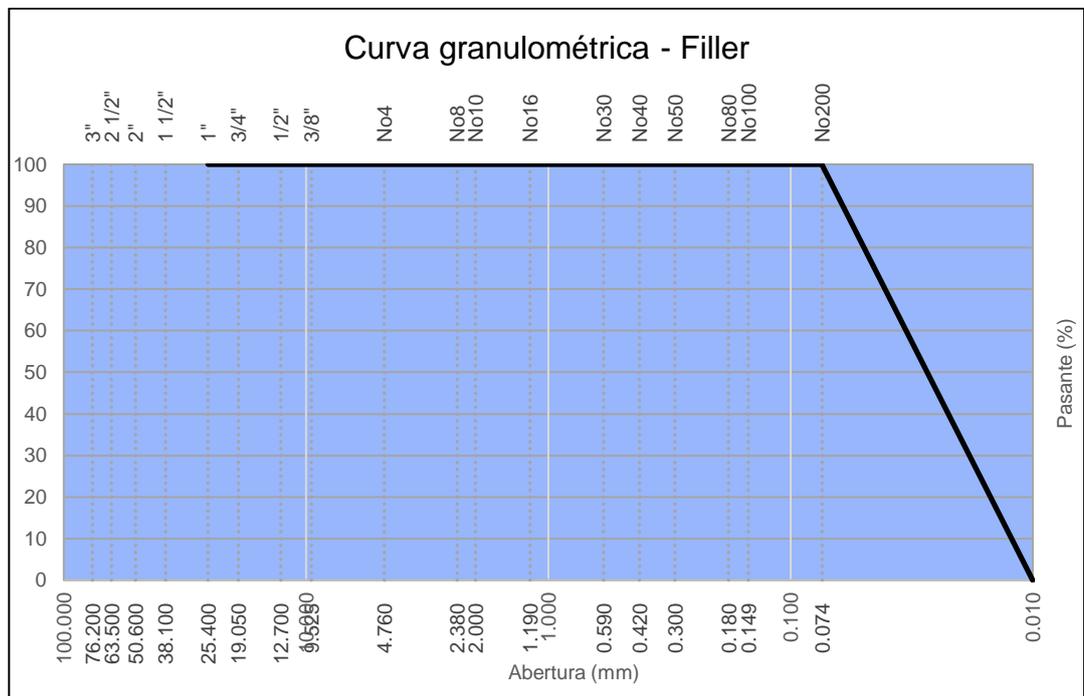
Tabla 8. Características granulares correspondientes al filler - Cal

DATOS DE ENSAYO:				
PESO DE MUESTRA		200 gr		
MALLA		PESO	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)
tm - N°10	1.905	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.191	0.00	0.00	100.00

tm - N°30	0.595	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°40	0.423	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°50	0.298	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°80	0.179	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°100	0.149	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°200	0.074	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - <N°200	0.010	200.00	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>200.00</b>		

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Los porcentajes de pasantes derivados del análisis granulométrico realizado a los 0.2 kilogramos de la cal hidratada como filler pasante de la malla N°200 genera una curva granulométrica presentada en la siguiente figura 10, donde se puede observar que el material granular cumple con las características necesarias como filler, lo cual tendrá una aplicación directa para diseño patrón de MAC 01.



*Figura 10. Curva granulométrica del filler – Cal Hidratada*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

#### **4.1.6. Ligante Asfáltico – CAP PEN 85/100**

La elección de un cemento asfáltico es un proceso crítico en la construcción de carreteras y pavimentos. A continuación, se presentan algunos parámetros que se deben considerar para la elección de un cemento asfáltico de tipo CAP PEN 85/100:

1. **Penetración:** El número de penetración es un parámetro que mide la consistencia del cemento asfáltico a una temperatura determinada. Un CAP PEN 85/100 tiene una penetración de 85-100 décimas de milímetro a 25 °C. Esta propiedad influye en la capacidad del asfalto para resistir la deformación plástica a altas temperaturas y su susceptibilidad a la fisuración térmica.
2. **Punto de ablandamiento:** El punto de ablandamiento es la temperatura a la que el cemento asfáltico se ablanda y fluye bajo carga. El CAP PEN 85/100 tiene un punto de ablandamiento de 50-70 °C. Esta propiedad es importante para evaluar la resistencia del asfalto a la deformación por flujo plástico.
3. **Viscosidad:** La viscosidad es una medida de la resistencia de un líquido al flujo. El CAP PEN 85/100 tiene una viscosidad cinemática a 135 °C de 250-400 cSt. Esta propiedad es importante para determinar la facilidad con la que el asfalto puede ser bombeado y mezclado con otros materiales.
4. **Contenido de asfalto:** El contenido de asfalto es la cantidad de materia asfáltica en el cemento asfáltico. El CAP PEN 85/100 tiene un contenido mínimo de asfalto del 82%. Esta propiedad es importante para evaluar la cantidad de materiales sólidos que quedan después de la evaporación del solvente.
5. **Estabilidad a la oxidación:** La estabilidad a la oxidación es la resistencia del asfalto a la oxidación por la exposición a los elementos. El CAP PEN 85/100 debe tener una estabilidad aceptable a la oxidación para evitar la formación de residuos y la pérdida de propiedades físicas.

Es importante destacar que la elección de un cemento asfáltico de tipo CAP PEN 85/100 para la región de Huancayo es debido a la temperatura media característica de la localidad, definiendo de esta forma un tipo de asfalto adecuado. De esta manera, se puede garantizar la calidad y durabilidad del pavimento, presentando de esta forma en la figura 11 el material asfáltico necesario para el diseño de mezcla tipo MAC 01.



*Figura 11. Material Asfáltico – Clasificación CAP PEN 85/100*

*Fuente: Producción propia en Laboratorio*

## **4.2. Diseño de Mezcla Asfáltica Patrón – MAC 01**

### **4.2.1. Mezcla Teórica de agregados para el MAC 01**

La mezcla de agregados a cumplir con los materiales granulares seleccionados de la cantera de Sicaya se delimita de acuerdo a los requerimientos MAC 01 especificados por la metodología Marshall. Estableciendo límites superiores e inferiores sobre los porcentajes de pasantes de cada uno de los agregados a emplear.

El tipo de mezcla asfáltica en caliente (MAC 01) escogido para la elaboración del diseño patrón se establece de acuerdo a la disponibilidad de agregados en la cantera de Sicaya y apto para admitir pavimento asfáltico reciclado de diversas características granulares.

En función de las características granulares de cada uno de los agregados seleccionados, se presenta en la siguiente tabla 9 los porcentajes resultantes de la metodología del tanteo para establecer un huso que cumpla con las especificaciones normativas en cada uno de los tamices que se reflejan en el listado mostrado.

*Tabla 9. Porcentajes en mezcla de agregados – MAC 01*

		Mezcla de Agregados MAC 01			
Malla	PIEDRAS		ARENAS		
Tamiz	Piedra 3/4"	Piedra 1/2"	Arena natural	Arena chancada	Cal hidratada
Porcentajes	3/4"	1/2"	NATURAL	CHANCADA	FILLER
		24.0%	25.0%	26.0%	24.0%
1"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	78.42	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	47.78	72.98	100.00	100.00	100.00
3/8"	36.26	42.83	100.00	100.00	100.00
N°4	21.80	15.86	82.29	81.91	100.00
N°8	19.53	9.34	79.15	72.18	100.00
N°10	17.60	5.25	56.41	61.45	100.00
N°16	14.96	2.18	44.73	49.52	100.00
N°30	10.53	1.67	36.01	36.24	100.00
N°40	8.24	1.05	24.62	28.21	100.00
N°50	6.84	0.18	18.33	22.55	100.00
N°80	5.13	0.11	11.47	16.52	100.00
N°100	1.35	0.06	9.53	10.69	100.00
N°200	0.72	0.00	5.62	5.86	100.00
<N°200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los porcentajes asignados en cada uno de los agregados seleccionados para la elaboración del diseño de mezcla asfáltica MAC 01, se obtienen porcentajes de mezcla resultantes en la siguiente tabla 10, donde se

presentan que estos porcentajes se encuentra cumpliendo con las especificaciones normativas.

Además, se presentan los valores de curva ideal obtenidos a partir del promedio de los límites especificados por el MAC 01 en función a la metodología Marshall.

*Tabla 10. Porcentajes en mezcla de agregados resultantes – MAC 01*

	Agregados	Especificaciones	
<b>Malla</b>	<b>MEZCLA</b>	<b>MAC - 1</b>	Tamaño máximo
<b>Tamiz</b>		<b>MTC</b>	1/2"
<b>Porcentajes</b>	<b>100.0%</b>	<b>Normativa Marshall</b>	Curva Ideal
1"	<b>100.00</b>	100 - 100	100
3/4"	<b>94.82</b>	80 - 100	90
1/2"	<b>80.71</b>	67 - 85	76
3/8"	<b>70.41</b>	60 - 77	69
N°4	<b>51.25</b>	43 - 54	49
N°8	<b>45.92</b>		
N°10	<b>35.95</b>	29 - 45	37
N°16	<b>28.65</b>		
N°30	<b>22.00</b>		
N°40	<b>16.41</b>	14 - 25	20
N°50	<b>12.86</b>		
N°80	<b>9.21</b>	8 - 17	13
N°100	<b>6.38</b>		
N°200	<b>4.04</b>	4 - 8	6
<N°200	<b>0.00</b>		

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Verificado el cumplimiento de los límites establecidos por el huso granulométrico MAC 01 a través de la metodología Marshall, se presenta en la siguiente figura 12 el comportamiento grafico de la resultante de los

porcentajes de pasantes obtenidos. Comprobando que la curva se encuentra entre las líneas limitantes con una ligera tendencia menores porcentajes de agregados finos.

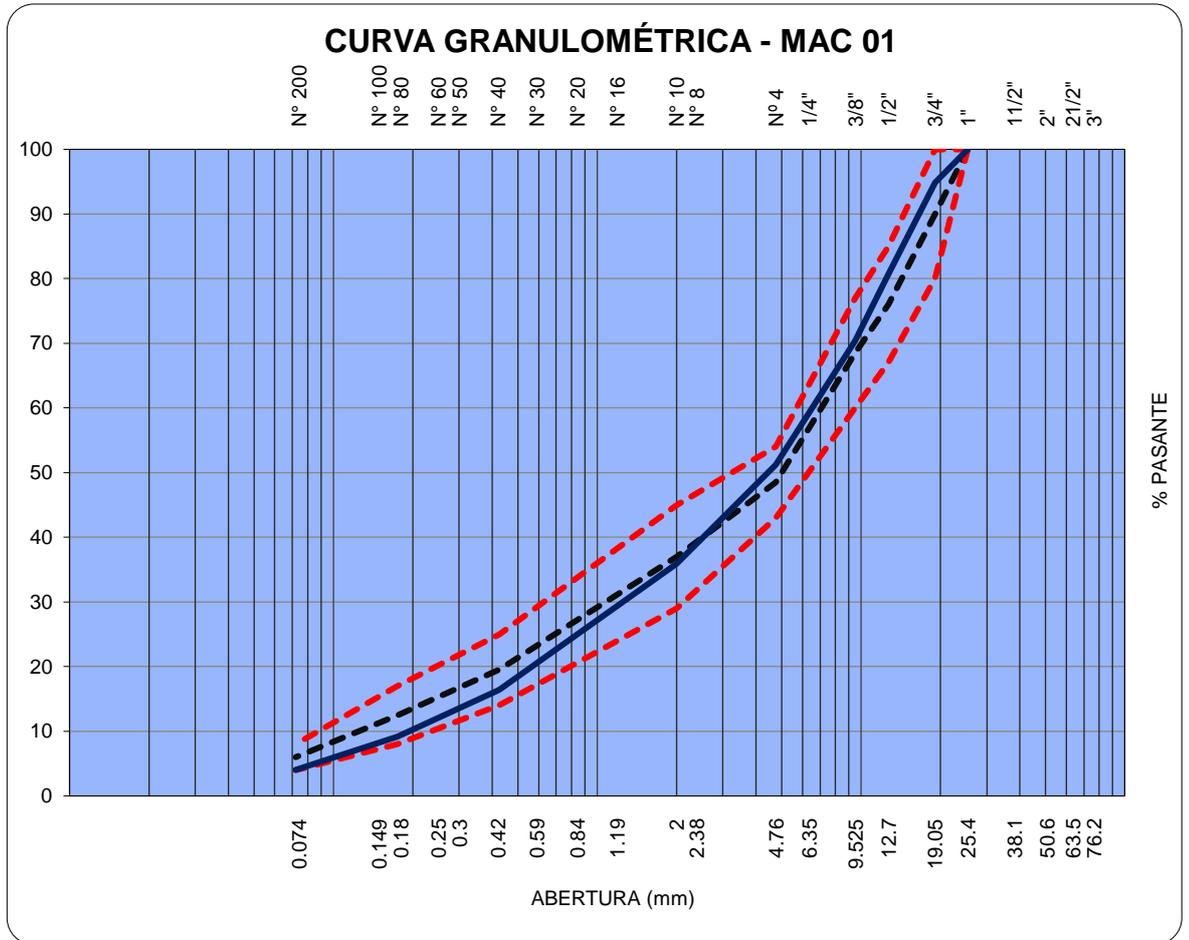


Figura 12. Curva granulométrica MAC 01 – Mezcla de Agregados

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

En la siguiente tabla 11, se presentan los porcentajes de materiales granulares resumen para la elaboración de los pesos específicos para cada briqueta de mezcla asfáltica en caliente por MAC 01.

Tabla 11. Porcentajes en mezcla resumen – Materiales Granulares

Cal hidratada	1.0	%
Arena chancada	24.0	%
Arena natural	26.0	%
Piedra 1/2"	25.0	%

Piedra 3/4"	24.0	%
-------------	------	---

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Para la elaboración de las muestras patrón y las muestras experimentales, es necesario establecer pesos determinados por cada tamiz para la elaboración de cada una de las muestras necesarias para la experimentación, como se presenta en la siguiente tabla 12.

Tabla 12. Pesos para la elaboración de briquetas – MAC 01

% Asfalto	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
Tamiz	<b>Cal hidratada- Peso (gr)</b>					
1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
<b>Subtotal</b>	<b>12.0</b>	<b>11.9</b>	<b>11.9</b>	<b>11.8</b>	<b>11.8</b>	<b>11.7</b>
Tamiz	<b>Arena chancada - Peso (gr)</b>					
1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N°4	52.1	51.8	51.6	51.3	51.0	50.7
N°10	58.9	58.6	58.3	58.0	57.7	57.4
<N°10	177.0	176.1	175.1	174.2	173.3	172.4
<b>Subtotal</b>	<b>288.0</b>	<b>286.5</b>	<b>285.0</b>	<b>283.5</b>	<b>282.0</b>	<b>280.5</b>
Tamiz	<b>Arena natural - Peso (gr)</b>					
1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
N°4	55.3	55.0	54.7	54.4	54.1	53.8
N°10	80.7	80.3	79.9	79.5	79.1	78.6
<N°10	176.0	175.1	174.2	173.2	172.3	171.4
<b>Subtotal</b>	<b>312.0</b>	<b>310.4</b>	<b>308.8</b>	<b>307.1</b>	<b>305.5</b>	<b>303.9</b>
Tamiz	<b>Piedra 1/2" - Peso (gr)</b>					
1/2"	81.1	80.6	80.2	79.8	79.4	78.9

3/8"	90.5	90.0	89.5	89.0	88.6	88.1
N°4	80.9	80.5	80.1	79.6	79.2	78.8
N°10	31.8	31.7	31.5	31.3	31.2	31.0
<N°10	15.8	15.7	15.6	15.5	15.4	15.3
<b>Subtotal</b>	<b>300.0</b>	<b>298.4</b>	<b>296.9</b>	<b>295.3</b>	<b>293.8</b>	<b>292.2</b>
Tamiz	<b>Piedra 3/4" - Peso (gr)</b>					
1/2"	150.4	149.6	148.8	148.0	147.3	146.5
3/8"	33.2	33.0	32.8	32.7	32.5	32.3
N°4	41.6	41.4	41.2	41.0	40.8	40.6
N°10	12.1	12.0	12.0	11.9	11.8	11.8
<N°10	50.7	50.4	50.2	49.9	49.6	49.4
<b>Subtotal</b>	<b>288.0</b>	<b>286.5</b>	<b>285.0</b>	<b>283.5</b>	<b>282.0</b>	<b>280.5</b>
<b>TOTAL (gr)</b>	<b>1200.00</b>	<b>1193.75</b>	<b>1187.50</b>	<b>1181.25</b>	<b>1175.00</b>	<b>1168.75</b>
<b>PEN 85-100</b>	<b>50.00</b>	<b>56.25</b>	<b>62.50</b>	<b>68.75</b>	<b>75.00</b>	<b>81.25</b>
<b>TOTAL (gr)</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>	<b>1250.00</b>

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

#### 4.2.2. Óptimo Contenido de Asfalto – Marshall MAC 01

El óptimo contenido de CAP PEN 85/100 para el diseño de mezcla abordado en el capítulo anterior responde a una serie de propiedades volumétricas y mecánicas que tiene que cumplir la mezcla de agregado patrón elaborada por MAC 01 de acuerdo a los requerimientos normativos especificados por la normativa Marshall.

Bajo una metodología sugerida por el método Marshall donde se elaboran una serie de muestras con contenidos asfálticos que van desde un 4.0% hasta un 6.5% con puntos de análisis cada 0.5%, se busca que se cumplan con las especificaciones normativas. Presentando de esta forma en la siguiente tabla 13 los resultados obtenidos a partir de las propiedades mecánicas y volumétricas obtenidas en laboratorio para un total de 18 briquetas elaboradas a partir de un criterio de repetición muestral de tres para contar con las validaciones estadísticas correspondientes.

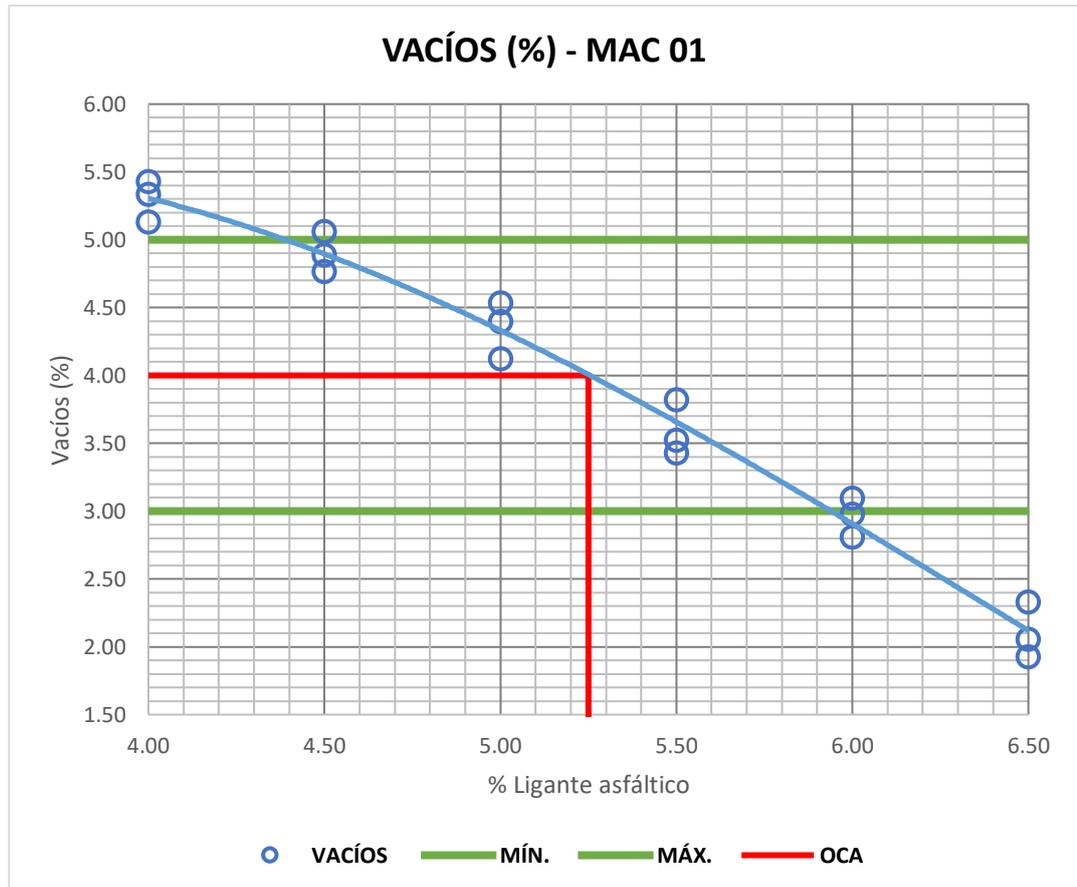
Tabla 13. Datos para el óptimo contenido de asfalto – MAC 01

<b>CEMENTO ASFÁLTICO %</b>	<b>VACÍOS %</b>	<b>FLUJO mm</b>	<b>ESTABILIDAD kg</b>
4.0	5.429621934	0.91	768.3
4.0	5.335457336	1.00	792.4
4.0	5.133871334	1.25	805.9
4.5	4.767142373	1.74	909.1
4.5	5.063002815	1.45	938
4.5	4.890228678	1.57	929.9
5.0	4.123490176	2.42	996.9
5.0	4.400558446	2.08	975
5.0	4.538144998	2.28	1010.6
5.5	3.429367248	2.74	1011.7
5.5	3.524499608	2.87	1027.5
5.5	3.824032735	3.10	1000.7
6.0	2.808430424	3.48	995.3
6.0	2.978949626	3.34	962
6.0	3.096163507	3.56	988.3
6.5	2.329961828	3.62	912.5
6.5	2.055869429	3.88	929.5
6.5	1.926268672	3.70	944

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

En los resultados encontrados sobre los distintos porcentajes de contenido asfáltico analizado, se encuentra un óptimo contenido de CAP PEN 85/100 a 5.25% en peso sobre la mezcla patrón. Presentando de esta forma la comprobación en las distintas propiedades de mezcla a partir de las variaciones de contenido asfáltico y al mismo tiempo los parámetros referentes a la normativa nacional vigente a través del método de Marshall que establece límites en cada una de las propiedades mostradas a continuación.

Inicialmente, se presenta en la figura 13 la alteración en el porcentaje de vacíos por el aumento del contenido de ligante asfáltico PEN 85/100 de forma progresiva, presentando una tendencia a perder el porcentaje de aire en la mezcla a medida que aumenta el contenido asfáltico. Además, se evidencia que el óptimo contenido de asfalto resultante cumple con los límites establecidos y se ubica a un 4.0% de vacíos como criterio de diseño de mezcla del MAC 01.



*Figura 13. Porcentaje de Vacíos (%) – MAC 01 Propiedad Volumétrica*  
*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Como propiedad que forma parte de la volumetría en diseño de mezcla patrón por MAC 01, se presenta en la siguiente figura 14 la alteración los vacíos de agregado mineral a medida que aumenta el porcentaje de ligante asfáltico PEN 85/100. Encontrando una tendencia positiva ante los cambios volumétricos que se producen en los vacíos de agregado mineral, llegando a cumplir con el mínimo establecido por la normativa para la metodología

Marshall y un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ " para la mezcla de agregados del MAC 01 en el óptimo contenido de asfalto resultante.

En la siguiente figura 15, se presenta como propiedad volumétrica a los vacíos llenos de cemento asfáltico correspondiente a la variación de contenido de ligante PEN 85/100. Donde se encuentra una tendencia positiva a medida que aumenta el porcentaje de contenido asfáltico y además un porcentaje superior al 70% para el óptimo resultante.

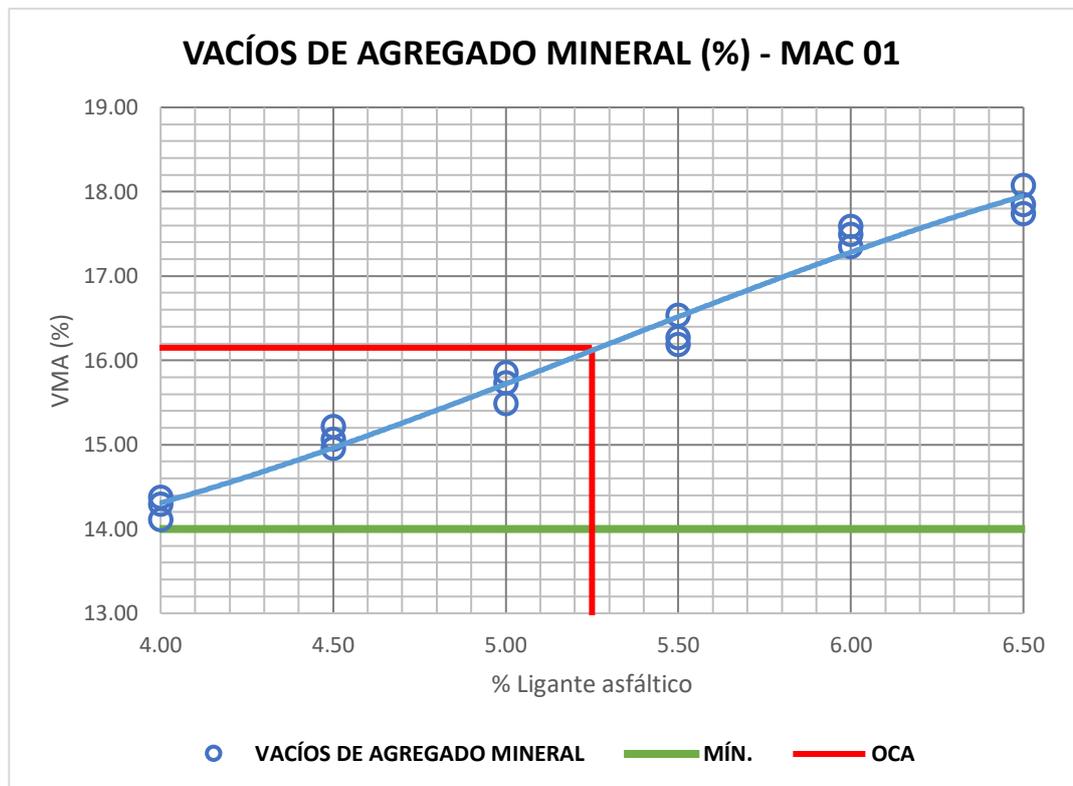


Figura 14. Porcentaje de VMA (%) – MAC 01 Propiedad Volumétrica

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

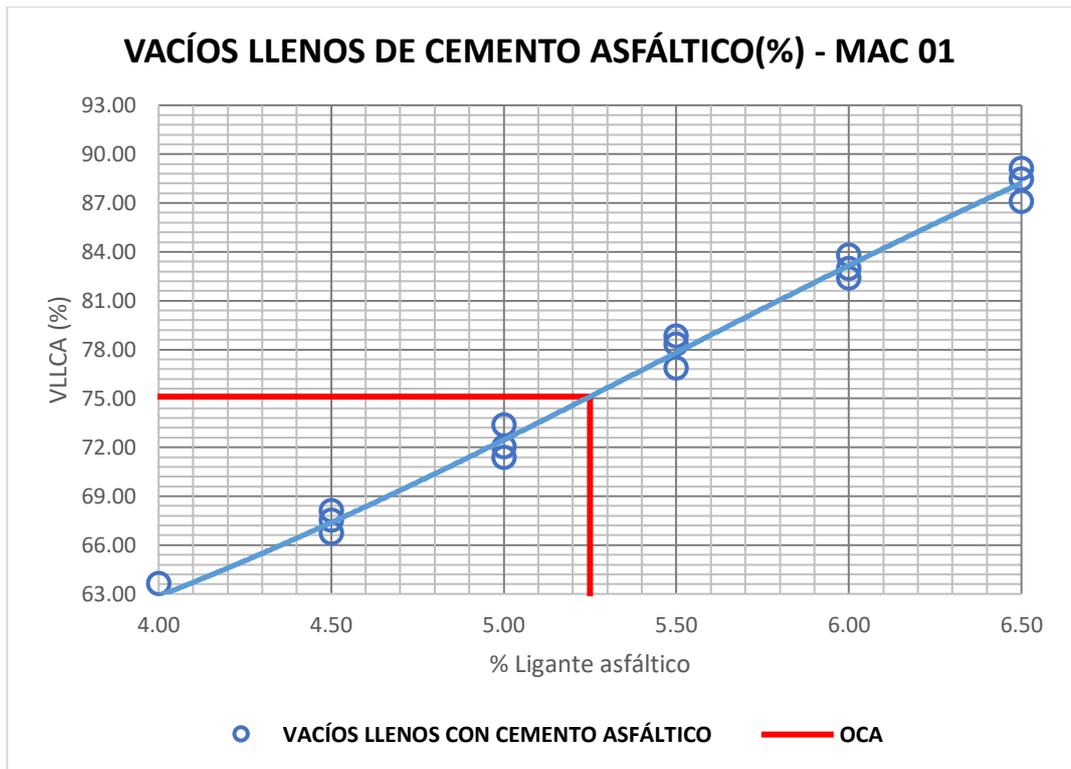


Figura 15. Porcentaje de VLLA (%) – MAC 01 Propiedad Volumétrica

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Como parte de las propiedades mecánicas fundamentales en el diseño de mezclas asfálticas por MAC 01, se presenta en la siguiente figura 16 el comportamiento de la estabilidad (kg.) a medida que aumenta el contenido de ligante asfáltico en las muestras. Obteniendo que para el óptimo contenido de ligante PEN 85/100 resultante el cumplimiento de mínimo valor exigido por la normativa a través de la metodología Marshall. Generando de esta forma la toma de la máxima resistencia como punto de toma muestral para el diseño de mezcla patrón.

De la misma forma, se presenta en la figura 17 el flujo (mm) correspondiente a la alteración del contenido asfáltico del diseño de mezcla patrón. Encontrando que el flujo tiende a aumentar a medida que es mayor el porcentaje de asfalto en la mezcla y que se cumple con el rango establecido por la normativa para óptimo contenido de PEN 85/100 resultante.

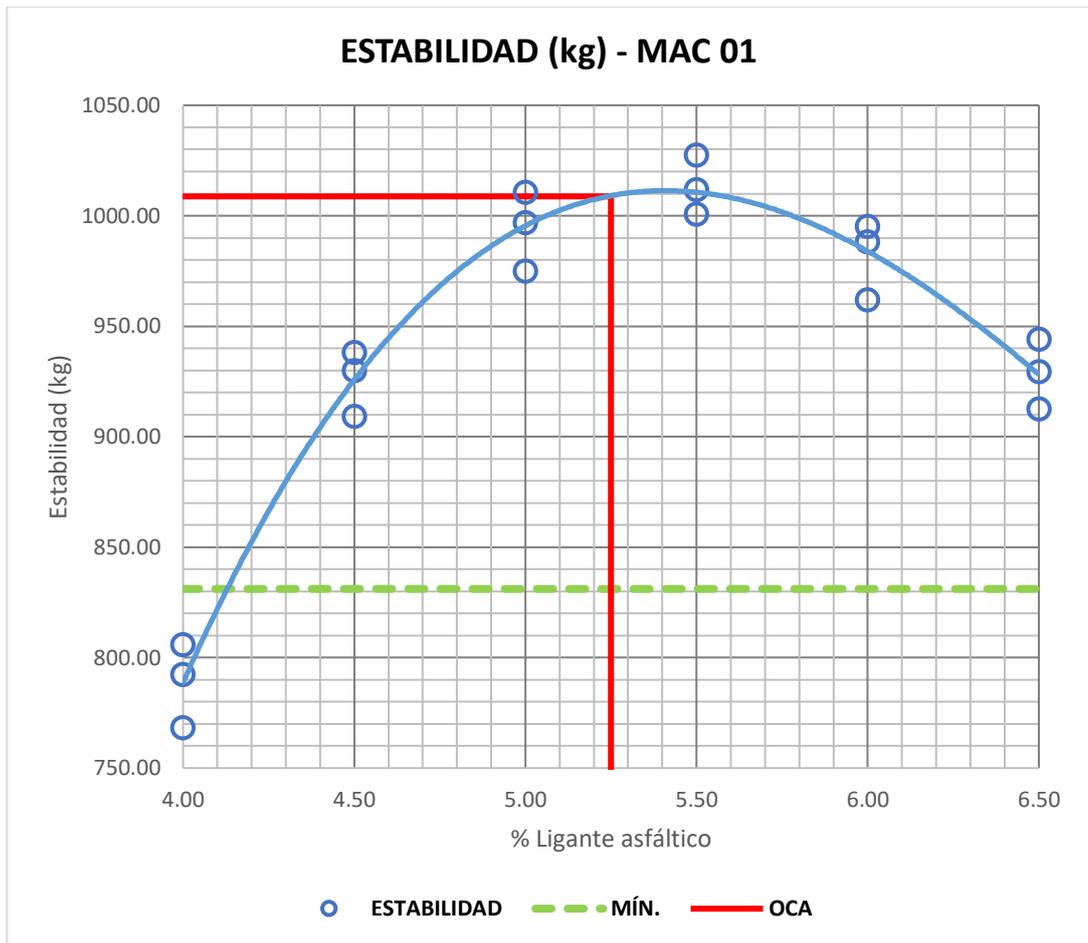


Figura 16. Estabilidad de la mezcla (kg) – MAC 01 Propiedad Mecánica

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

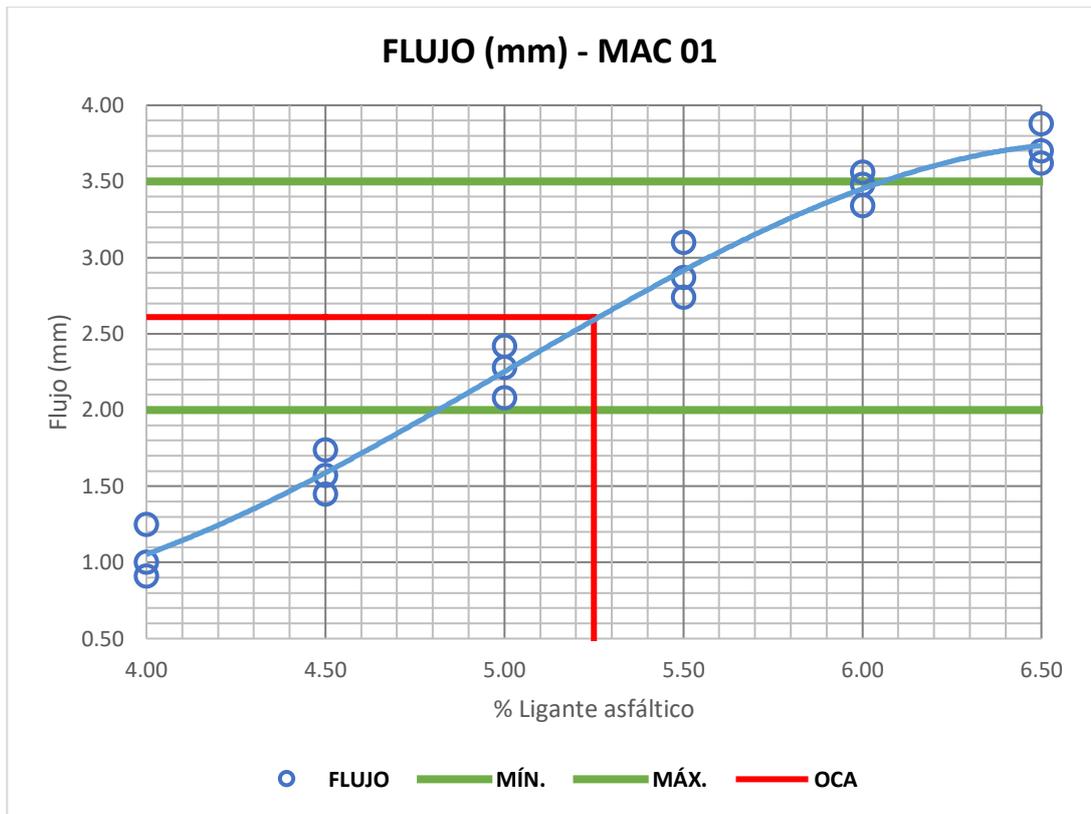
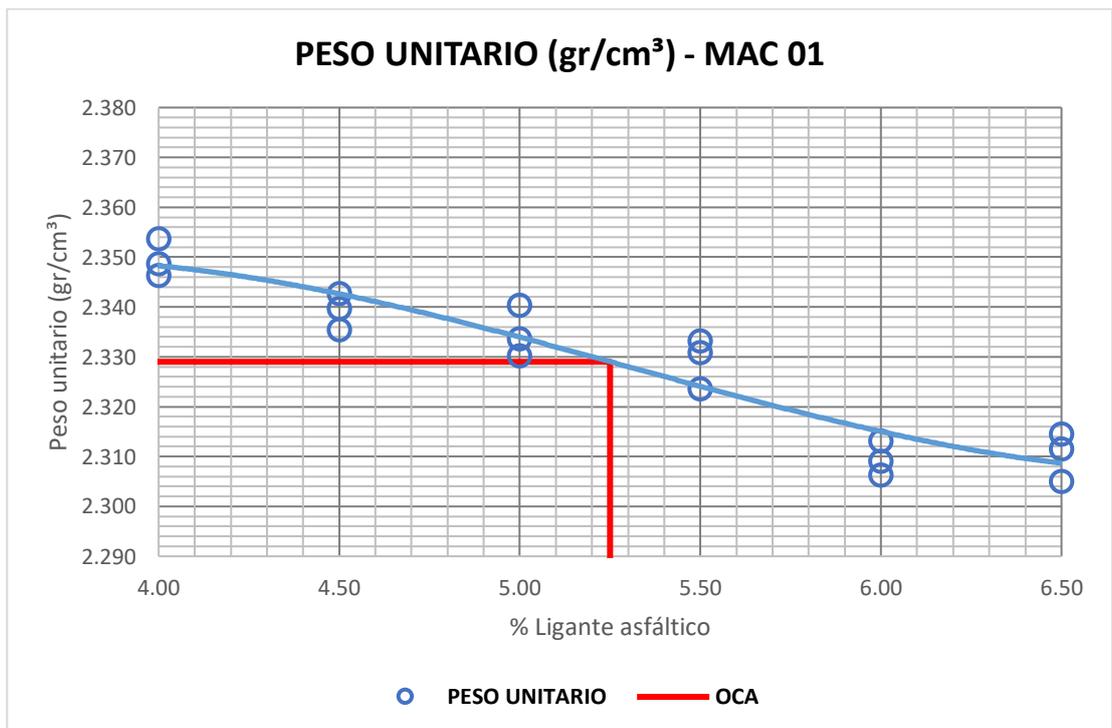


Figura 17. Flujo de la mezcla (mm) – MAC 01 Propiedad Mecánica

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel



*Figura 18. Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>) – MAC 01 Propiedad Volumétrica*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

### **4.3. Propiedades Mecánicas por Periodo de Envejecimiento del RAP - OE 1**

#### **4.3.1. Caracterización Básica del RAP**

Como parte del desarrollo del primer objetivo específico planteado, se detalla en el siguiente apartado las propiedades mecánicas básicas de 4 diferentes pavimentos asfálticos recuperados (RAP), buscando un diferencial principal de disimiles periodos de envejecimiento. Estos diferentes tipos de RAP se clasifican de la siguiente forma:

- Tipo RAP “A” con un periodo de envejecimiento aproximado de 15 años proveniente del Jr. San Antonio.
- Tipo RAP “B” con un periodo de envejecimiento aproximado de 20 años proveniente de la Av. Catalina Huanca.
- Tipo RAP “C” con un periodo de envejecimiento aproximado de 25 años proveniente de la Av. Mariátegui.
- Tipo RAP “D” con un periodo de envejecimiento aproximado de 30 años proveniente de la Av. Leoncio Prado.

Los periodos de envejecimiento contemplados son aproximados al tiempo real del pavimento asfáltico recuperado, ya que se obtuvieron en tiempos prolongados a partir del material desechado producto de reparaciones en el pavimento y del levantamiento mediante el procediendo de fresado.

Requiriendo una caracterización básica sobre los distintos pavimentos asfálticos recuperados (RAP), se presenta en siguiente tabla 14 el análisis granulométrico realizado sobre 1000 gramos de RAP tipo “A” de acuerdo a la ASTM D 2172 / AASHTO T 164 como normativa de referencia. Es importante reportar que la granulometría tipo “A” tiene que cumplir un huso determinado por la normativa de referencia para poder ser aprovechada como pavimento reciclado.

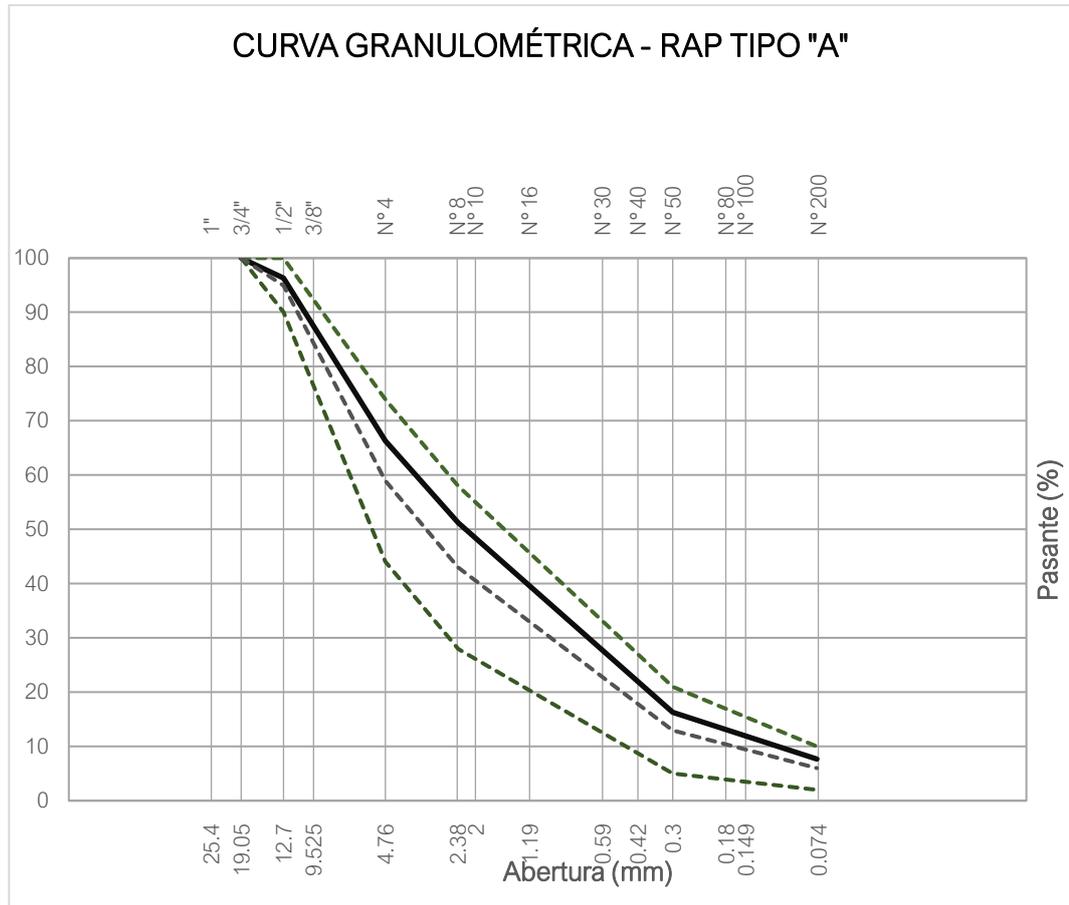
Tabla 14. Análisis Granulométrico por lavado asfáltico – RAP tipo “A”

Análisis granulométrico de RAP - Reporte de lavado asfáltico							
Norma:	ASTM D 2172 / AASHTO T 164						
Peso de la muestra:	1000	gr					
Malla	PESO	RET. PARCIAL	RET. ACUMULADO	PASANTE	HUSO		
Tamiz	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)
1"	-	-	-	-	-		-
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
1/2"	36.90	3.69	3.69	96.31	90	-	100
3/8"	91.60	9.16	12.85	87.15			
N°4	208.70	20.87	33.72	66.28	44	-	74
N°8	150.30	15.03	48.75	51.25	28	-	58
N°10	42.30	4.23	52.98	47.02			
N°16	101.80	10.18	63.16	36.84			
N°30	107.30	10.73	73.89	26.11			
N°40	62.80	6.28	80.17	19.83			
N°50	35.90	3.59	83.76	16.24	5	-	21
N°80	37.30	3.73	87.49	12.51			
N°100	12.10	1.21	88.70	11.30			
N°200	36.30	3.63	92.33	7.67	2	-	10
<N°200	76.70	7.67	100.00	0.00			
<b>TOTAL</b>	1000.00						

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

De los retenidos obtenidos a partir del análisis granulométrico realizado a 1 kilogramo de pavimento asfáltico recuperado (RAP) tipo “A”, se presenta en la siguiente figura 19 se presenta la curva granulométrica resultante del lavado asfáltico realizado al RAP de periodo de envejecimiento tipo “A”. Donde se puede comprobar que el material recuperado tipo “A” cumple con

el huso granulométrico establecido para el aprovechamiento de pavimentos asfálticos recuperados.



*Figura 19. Curva Granulométrica por lavado asfáltico – RAP tipo "A"*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

En la siguiente tabla 15, se presentan las propiedades características principales sobre el pavimento asfáltico recuperado (RAP) tipo "A" y contenido asfalto resultante del ensayo realizado. Obteniendo de esta manera los pesos tomados durante el ensayo realizado bajo la normativa ASTM D 2172 para un periodo de envejecimiento tipo "A".

*Tabla 15. Contenido Asfáltico (%) por lavado – RAP tipo "A"*

Contenido de % de asfalto (ASTM D 2172)		
Antes del ensayo:		
Peso plato + muestra	1000.00	gr

Peso de muestra	1000.00	gr
Peso de filtro	13.75	gr
<b>Después del ensayo:</b>		
Peso recuperado	941.10	gr
Diferencia de peso	58.90	gr
Peso del agregado recuperado	941.10	gr
Peso de filtro seco	15.20	gr
Peso de finos en filtro	1.45	gr
<b>Contenido de % de asfalto</b>		
Peso de agregados y finos	942.55	gr
Diferencia de peso corregido	57.45	gr
<b>Asfalto en la mezcla</b>	<b>5.75</b>	<b>%</b>

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Continuando con la caracterización básica sobre los distintos pavimentos asfálticos recuperados (RAP), se presenta en siguiente tabla 16 el análisis granulométrico realizado sobre 1000 gramos de RAP tipo “B” de acuerdo a la ASTM D 2172 / AASHTO T 164 como normativa de referencia. Es importante reportar que la granulometría tipo “B” tiene que cumplir un huso determinado por la normativa de referencia para poder ser aprovechada como pavimento reciclado al igual que el anterior RAP.

*Tabla 16. Análisis Granulométrico por lavado asfáltico – RAP tipo “B”*

Análisis granulométrico de RAP - Reporte de lavado asfáltico							
<b>Norma:</b>	ASTM D 2172 / AASHTO T 164						
<b>Peso de la muestra:</b>	1000	gr					
<b>Malla</b>	<b>PESO</b>	<b>RET. PARCIAL</b>	<b>RET. ACUMULADO</b>	<b>PASANTE</b>	<b>HUSO</b>		
<b>Tamiz</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>		<b>(%)</b>
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
1/2"	39.60	3.96	3.96	96.04	90	-	100
3/8"	92.50	9.25	13.21	86.79			
N°4	233.70	23.37	36.58	63.42	44	-	74

N°8	171.40	17.14	53.72	46.28	28	-	58
N°10	41.50	4.15	57.87	42.13			
N°16	113.20	11.32	69.19	30.81			
N°30	99.20	9.92	79.11	20.89			
N°40	59.40	5.94	85.05	14.95			
N°50	39.40	3.94	88.99	11.01	5	-	21
N°80	27.60	2.76	91.75	8.25			
N°100	9.40	0.94	92.69	7.31			
N°200	21.40	2.14	94.83	5.17	2	-	10
<N°200	51.70	5.17	100.00	0.00			
<b>TOTAL</b>	1000.00						

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los retenidos obtenidos a partir del análisis granulométrico realizado a 1 kilogramo de pavimento asfáltico recuperado (RAP) tipo "B", se presenta en la siguiente figura 20 se presenta la curva granulométrica resultante del lavado asfáltico realizado al RAP de periodo de envejecimiento tipo "B". Donde se puede comprobar que el material recuperado tipo "B" cumple con el huso granulométrico establecido para el aprovechamiento de pavimentos asfálticos recuperados.

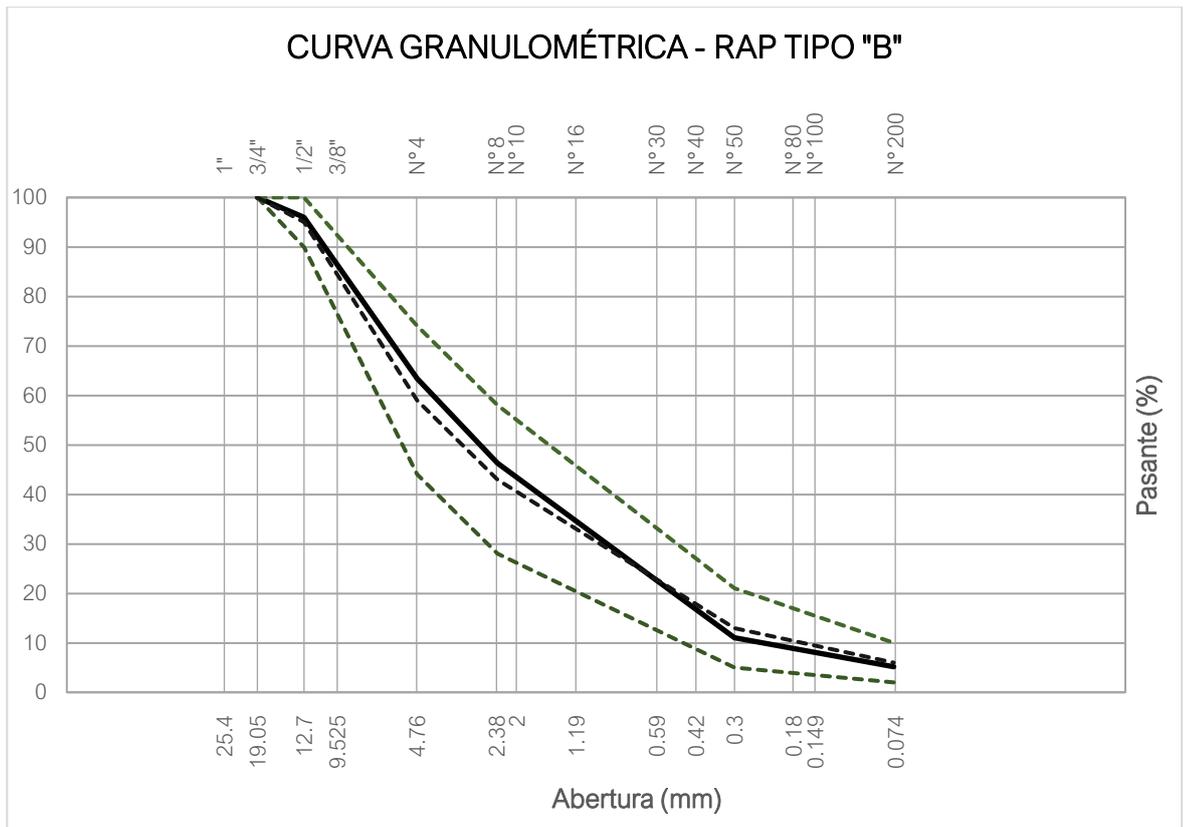


Figura 20. Curva Granulométrica por lavado asfáltico – RAP tipo “B”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

En la siguiente tabla 17, se presentan las propiedades características principales sobre el pavimento asfáltico recuperado (RAP) tipo “B” y el contenido asfalto de 6.01% resultante del ensayo realizado. Obteniendo de esta manera los pesos tomados durante el ensayo realizado bajo la normativa ASTM D 2172 para un periodo de envejecimiento tipo “B”.

Tabla 17. Contenido Asfáltico (%) por lavado – RAP tipo “B”

Contenido de % de asfalto (ASTM D 2172)		
Antes del ensayo:		
Peso plato	0.00	gr
Peso plato + muestra	1000.00	gr
Peso de muestra	1000.00	gr
Peso de filtro	13.80	gr
Después del ensayo:		

Peso recuperado	938.35	gr
Diferencia de peso	61.65	gr
Peso del agregado recuperado	938.35	gr
Peso de filtro seco	15.35	gr
Peso de finos en filtro	1.55	gr
<b>Contenido de % de asfalto</b>		
Peso de agregados y finos	939.90	gr
Diferencia de peso corregido	60.10	gr
<b>Asfalto en la mezcla</b>	<b>6.01</b>	<b>%</b>

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Continuando con la caracterización básica sobre los distintos pavimentos asfálticos recuperados (RAP), se presenta en siguiente tabla 18 el análisis granulométrico realizado sobre 1000 gramos de RAP tipo “C” de acuerdo a la ASTM D 2172 / AASHTO T 164 como normativa de referencia. Es importante reportar que la granulometría tipo “C” tiene que cumplir un huso determinado por la normativa de referencia para poder ser aprovechada como pavimento reciclado al igual que el anterior RAP.

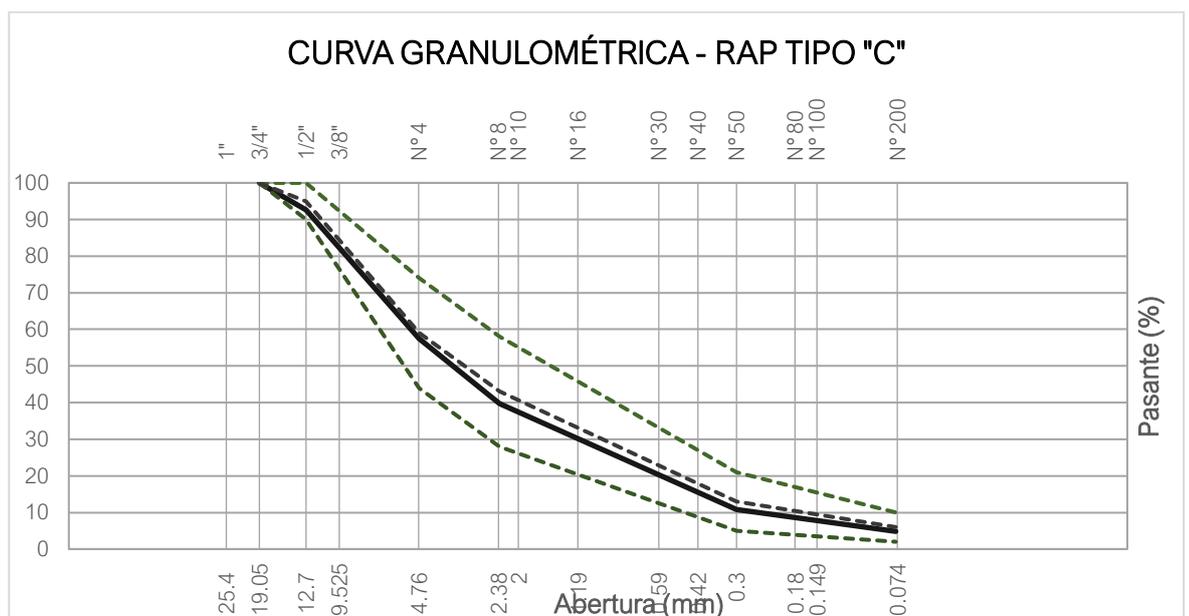
*Tabla 18. Análisis Granulométrico por lavado asfáltico – RAP tipo “C”*

<b>Análisis granulométrico de RAP - Reporte de lavado asfáltico</b>							
<b>Norma:</b>	ASTM D 2172 / AASHTO T 164						
<b>Peso de la muestra:</b>	1000	gr					
<b>Malla</b>	<b>PESO</b>	<b>RET. PARCIAL</b>	<b>RET. ACUMULADO</b>	<b>PASANTE</b>	<b>HUSO</b>		
<b>Tamiz</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>		<b>(%)</b>
1"	-	-	-	-	-		-
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
1/2"	73.30	7.33	7.33	92.67	90	-	100
3/8"	107.10	10.71	18.04	81.96			
N°4	245.30	24.53	42.57	57.43	44	-	74
N°8	177.00	17.70	60.27	39.73	28	-	58
N°10	42.10	4.21	64.48	35.52			

N°16	75.60	7.56	72.04	27.96			
N°30	92.10	9.21	81.25	18.75			
N°40	38.00	3.80	85.05	14.95			
N°50	42.00	4.20	89.25	10.75	5	-	21
N°80	29.60	2.96	92.21	7.79			
N°100	11.70	1.17	93.38	6.62			
N°200	17.90	1.79	95.17	4.83	2	-	10
<N°200	48.30	4.83	100.00	0.00			
<b>TOTAL</b>	1000.00						

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los retenidos obtenidos a partir del análisis granulométrico realizado a 1 kilogramo de pavimento asfáltico recuperado (RAP) tipo "C", se presenta en la siguiente figura 21 se presenta la curva granulométrica resultante del lavado asfáltico realizado al RAP de periodo de envejecimiento tipo "C". Donde se puede comprobar que el material recuperado tipo "C" cumple con el huso granulométrico establecido para el aprovechamiento de pavimentos asfálticos recuperados.



*Figura 21. Curva Granulométrica por lavado asfáltico – RAP tipo "C"*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

En la siguiente tabla 19, se presentan las propiedades características principales sobre el pavimento asfáltico recuperado (RAP) tipo “C” y el contenido asfalto de 5.58% resultante del ensayo realizado. Obteniendo de esta manera los pesos tomados durante el ensayo realizado bajo la normativa ASTM D 2172 para un periodo de envejecimiento tipo “C”.

*Tabla 19. Contenido Asfáltico (%) por lavado – RAP tipo “C”*

<b>Contenido de % de asfalto (ASTM D 2172)</b>		
<b>Antes del ensayo:</b>		
Peso plato	0.00	gr
Peso plato + muestra	1000.00	gr
Peso de muestra	1000.00	gr
Peso de filtro	13.75	gr
<b>Después del ensayo:</b>		
Peso recuperado	942.50	gr
Diferencia de peso	57.50	gr
Peso del agregado recuperado	942.50	gr
Peso de filtro seco	15.46	gr
Peso de finos en filtro	1.71	gr
<b>Contenido de % de asfalto</b>		
Peso de agregados y finos	944.21	gr
Diferencia de peso corregido	55.79	gr
<b>Asfalto en la mezcla</b>	<b>5.58</b>	<b>%</b>

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Finalizando con la caracterización básica sobre los distintos pavimentos asfálticos recuperados (RAP), se presenta en siguiente tabla 20 el análisis granulométrico realizado sobre 1000 gramos de RAP tipo “D” de acuerdo a la ASTM D 2172 / AASHTO T 164 como normativa de referencia. Es importante reportar que la granulometría tipo “D” tiene que cumplir un huso determinado por la normativa de referencia para poder ser aprovechada como pavimento reciclado al igual que el anterior RAP.

Tabla 20. Análisis Granulométrico por lavado asfáltico – RAP tipo “D”

Análisis granulométrico de RAP - Reporte de lavado asfáltico							
<b>Norma:</b>	ASTM D 2172 / AASHTO T 164						
<b>Peso de la muestra:</b>	1000	gr					
<b>Malla</b>	<b>PESO</b>	<b>RET. PARCIAL</b>	<b>RET. ACUMULADO</b>	<b>PASANTE</b>	<b>HUSO</b>		
<b>Tamiz</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>		<b>(%)</b>
1"	-	-	-	-	-		-
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	-	100
1/2"	83.50	8.35	8.35	91.65	90	-	100
3/8"	118.30	11.83	20.18	79.82			
N°4	271.80	27.18	47.36	52.64	44	-	74
N°8	164.80	16.48	63.84	36.16	28	-	58
N°10	50.30	5.03	68.87	31.13			
N°16	69.80	6.98	75.85	24.15			
N°30	75.70	7.57	83.42	16.58			
N°40	47.40	4.74	88.16	11.84			
N°50	31.60	3.16	91.32	8.68	5	-	21
N°80	15.90	1.59	92.91	7.09			
N°100	9.60	0.96	93.87	6.13			
N°200	20.90	2.09	95.96	4.04	2	-	10
<N°200	40.40	4.04	100.00	0.00			
<b>TOTAL</b>	1000.00						

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los retenidos obtenidos a partir del análisis granulométrico realizado a 1 kilogramo de pavimento asfáltico recuperado (RAP) tipo “D”, se presenta en la siguiente figura 22 se presenta la curva granulométrica resultante del lavado asfáltico realizado al RAP de periodo de envejecimiento tipo “D”. Donde se puede comprobar que el material recuperado tipo “D” cumple con el huso granulométrico establecido para el aprovechamiento de pavimentos asfálticos recuperados.

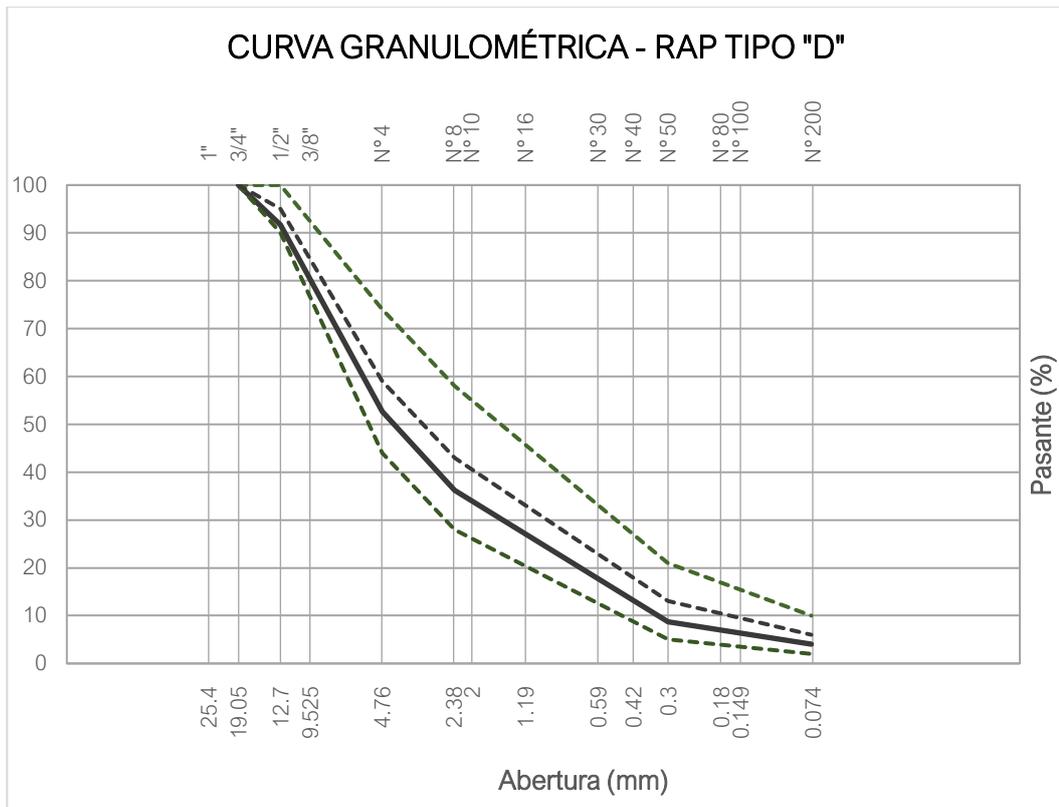


Figura 22. Curva Granulométrica por lavado asfáltico – RAP tipo “D”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

En la siguiente tabla 21, se presentan las propiedades características principales sobre el pavimento asfáltico recuperado (RAP) tipo “D” y el contenido asfalto de 6.10% resultante del ensayo realizado. Obteniendo de esta manera los pesos tomados durante el ensayo realizado bajo la normativa ASTM D 2172 para un periodo de envejecimiento tipo “D”.

Tabla 21. Contenido Asfáltico (%) por lavado – RAP tipo “D”

Contenido de % de asfalto (ASTM D 2172)		
Antes del ensayo:		
Peso plato	0.00	gr
Peso plato + muestra	1000.00	gr
Peso de muestra	1000.00	gr
Peso de filtro	13.80	gr
Después del ensayo:		

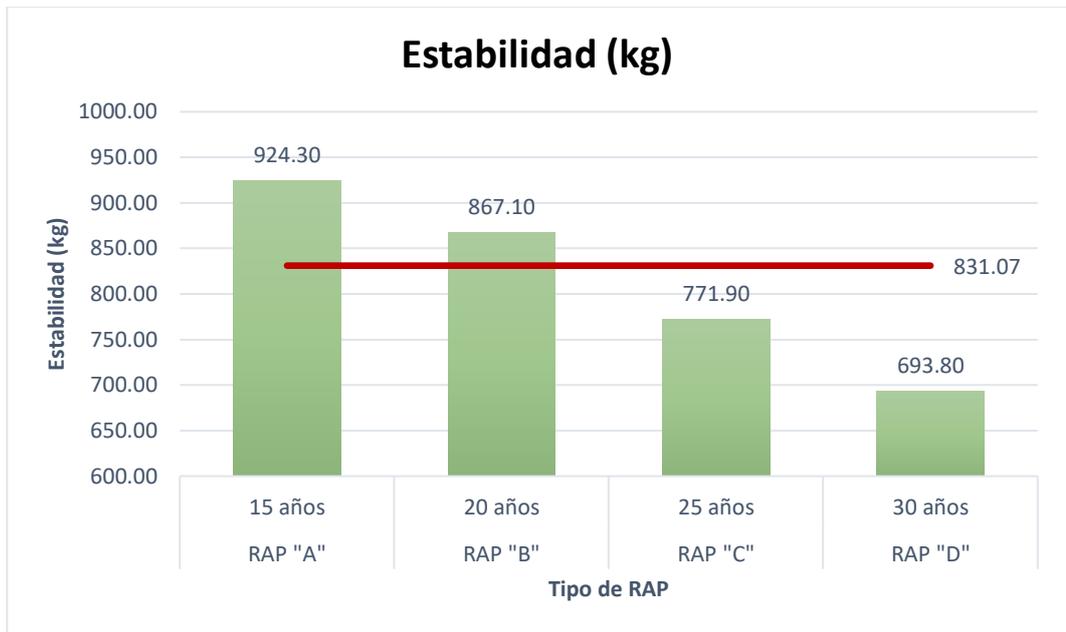
Peso recuperado	937.25	gr
Diferencia de peso	62.75	gr
Peso del agregado recuperado	937.25	gr
Peso de filtro seco	15.51	gr
Peso de finos en filtro	1.71	gr
<b>Contenido de % de asfalto</b>		
Peso de agregados y finos	938.96	gr
Diferencia de peso corregido	61.04	gr
<b>Asfalto en la mezcla</b>	<b>6.10</b>	<b>%</b>

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

#### **4.3.2. Propiedades mecánicas del RAP – Periodo de Envejecimiento**

Mediante la extracción de núcleos sobre cada uno de los pavimentos asfálticos reciclados (RAP), se analizaron mediante la metodología de Marshall, las propiedades mecánicas fundamentales con la finalidad de encontrar variaciones notables en cada una de sus propiedades de acuerdo a los periodos de envejecimiento de cada tipo de RAP.

En la siguiente figura 23, se presenta la variación de la estabilidad (kg) en cada uno de los tipos de RAP de variación por periodo de envejecimiento, donde se encuentra un deterioro notable a medida que aumenta la edad entre estos especímenes muestrales.



*Figura 23. Variación de la Estabilidad (kg) – Tipo de RAP comparativo*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

En la siguiente figura 24, se presenta la variación del flujo (mm) en cada uno de los tipos de RAP (A, B, C y D) de variación por periodo de envejecimiento, donde se encuentra un deterioro notable a medida que aumenta la edad entre estos especímenes muestrales.

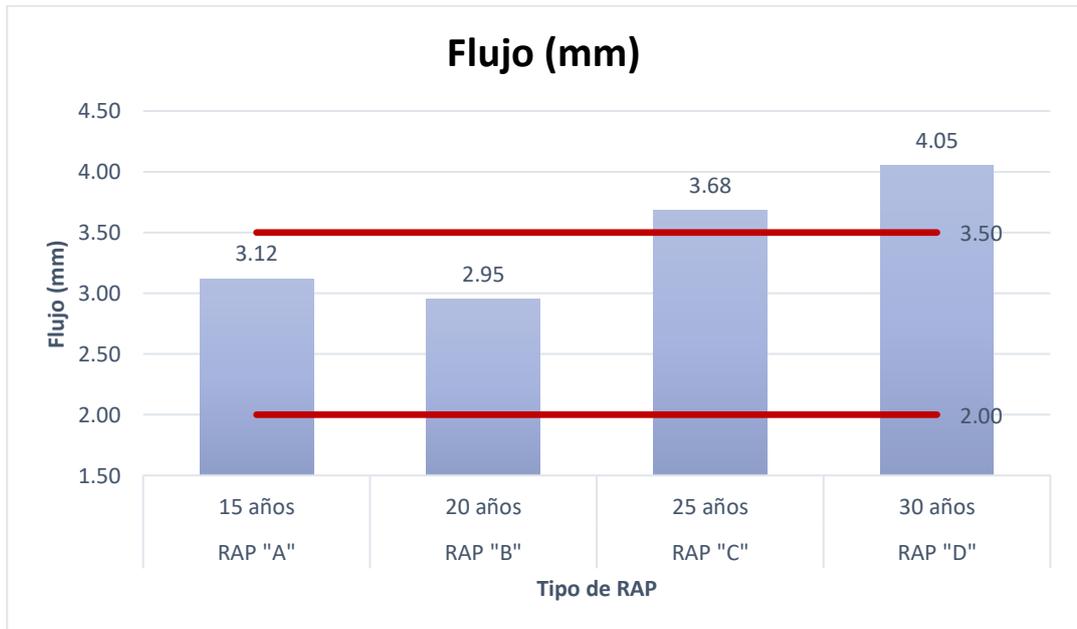


Figura 24. Variación del flujo (mm) – Tipo de RAP comparativo

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Finalmente, en la siguiente figura 25, se presenta la variación del contenido asfáltico (%) en cada uno de los tipos de RAP (A, B, C y D) de variación por periodo de envejecimiento, donde se encuentra una serie de resultados que determinan una propiedad característica del tipo de material asfáltico recuperado.

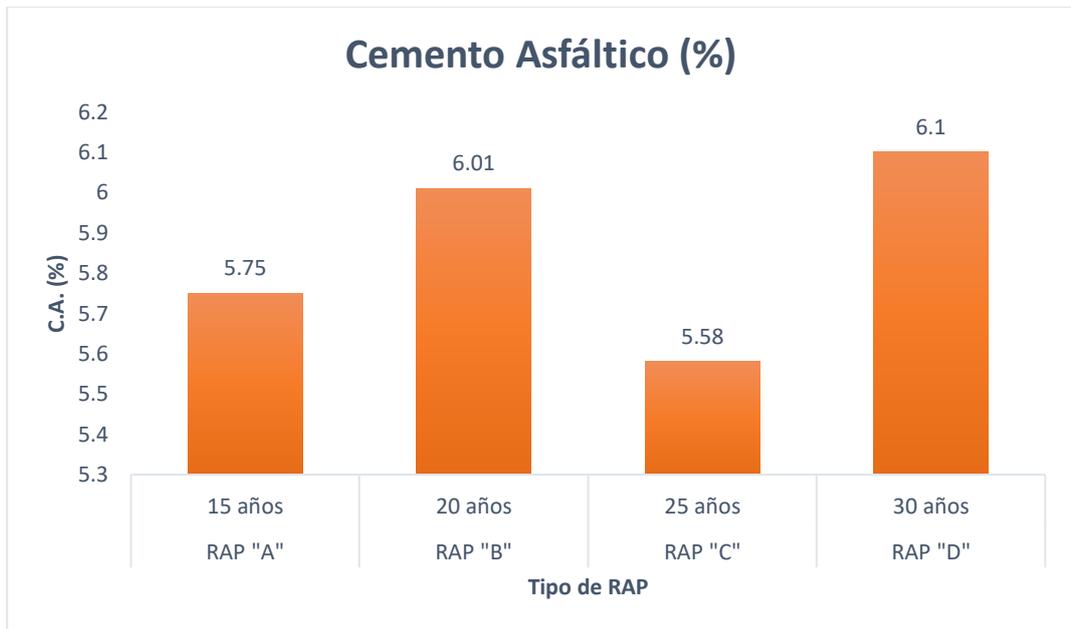


Figura 25. Variación del contenido asfáltico (%) – Tipo de RAP comparativo

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

#### 4.4. Propiedades Mecánicas por RAP recuperado - OE 2

##### 4.4.1. Estabilidad de RAP Recuperado por Periodo de Envejecimiento

A partir de un proceso técnico de recuperación porcentual del Pavimento asfáltico recuperado (RAP), se elaboraron una serie de muestras experimentales de porcentaje de RAP aprovechado de 0.0%, 5.0%, 10.0%, 15.0%, 20.0%, 25.0% y 30.0%. En permutaciones para el aprovechamiento de cada tipo de RAP con variaciones por periodo de envejecimiento (A, B, C y D) analizados de forma independiente y comparados con los parámetros normativos nacionales de referencia.

Para las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo "A", se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 22, sobre la alteración en la estabilidad a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo "A" y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

*Tabla 22. Estabilidad (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo "A"*

<b>Estabilidad (Kg) (RAP "A")</b>		
RAP "A"	Estabilidad	Promedio
(%)	(kg)	(kg)
0	992.64	1008.75
0	1009.16	
0	1024.45	
10	902.28	922.65
10	946.63	
10	919.03	
20	896.83	878.05
20	887.77	
20	849.54	
30	723.57	709.20
30	698.42	
30	705.61	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los resultados obtenidos de la estabilidad (kg), se presenta en la siguiente figura 26 a medida que aumenta el porcentaje de adición del RAP tipo "A". Encontrando una tendencia a perder la resistencia en las muestras experimentales llegado a un punto de quiebre en 24.3% aproximadamente para el tipo de RAP "A" donde dejaría de cumplir con requerimientos normativos Marshall.

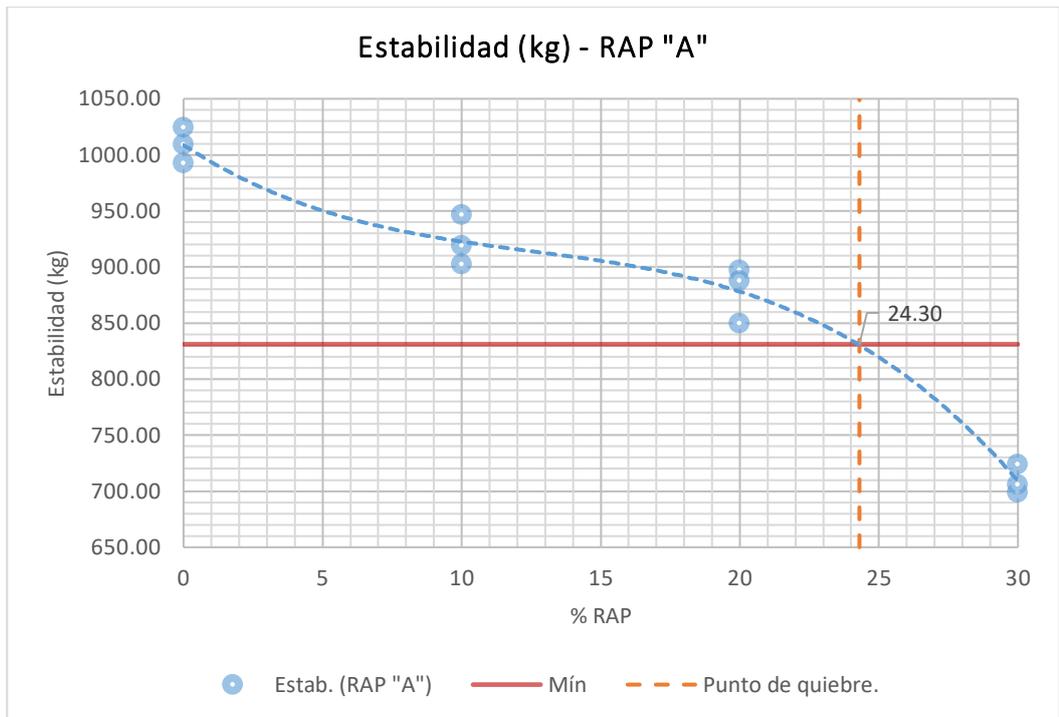


Figura 26. Gráfica de Estabilidad (kg) – Porcentaje de RAP tipo “A”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Continuando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo “B”, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 23 sobre la alteración en la estabilidad a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo “B” y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

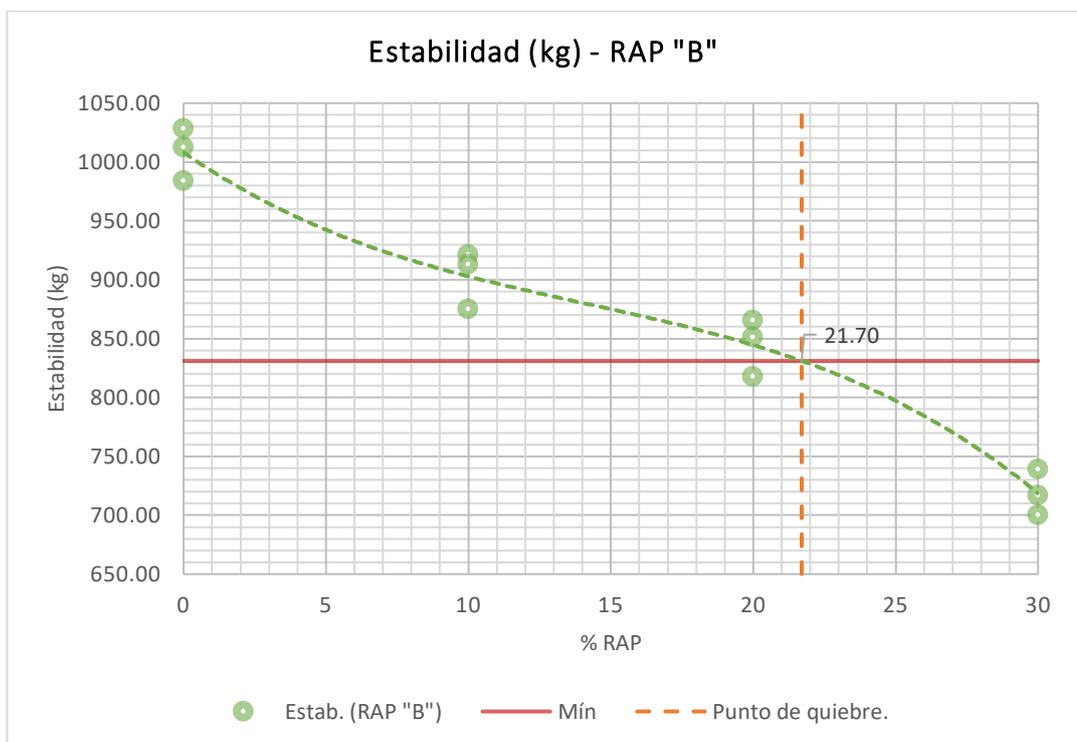
Tabla 23. Estabilidad (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “B”

Estabilidad (Kg) (RAP "B")		
RAP "B" (%)	Estabilidad (kg)	Promedio (kg)
0	1012.49	1008.07
0	1027.99	
0	983.74	
10	920.89	902.87

10	912.98	844.60
10	874.74	
20	865.29	
20	817.48	718.59
20	851.03	
30	700.18	
30	716.61	718.59
30	738.98	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los resultados obtenidos de la estabilidad (kg), se presenta en la siguiente figura 27 el efecto que se genera a medida que aumenta el porcentaje de adición del RAP tipo "B". Encontrando una tendencia a perder la resistencia en las muestras experimentales llegado a un punto de quiebre en 21.7% aproximadamente para el tipo de RAP "B" donde dejaría de cumplir con mínimo normativo Marshall.



*Figura 27. Gráfica de Estabilidad (kg) – Porcentaje de RAP tipo "B"*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Continuando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo “C”, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 24, sobre la alteración en la estabilidad a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo “C” y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

*Tabla 24. Estabilidad (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “C”*

<b>Estabilidad (Kg) (RAP "C")</b>		
RAP "C"	Estabilidad	Promedio
(%)	(kg)	(kg)
0	1010.42	1008.79
0	1026.01	
0	989.95	
10	899.09	876.08
10	880.34	
10	848.81	
20	782.09	774.69
20	789.94	
20	752.04	
30	683.36	684.30
30	660.57	
30	708.97	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los resultados obtenidos de la estabilidad (kg), se presenta en la siguiente figura 28 el efecto que se genera a medida que aumenta el porcentaje de adición del RAP tipo “C”. Encontrando una tendencia a perder la resistencia en las muestras experimentales llegado a un punto de quiebre en 14.20% aproximadamente para el tipo de RAP “C” donde dejaría de cumplir con mínimo normativo Marshall.

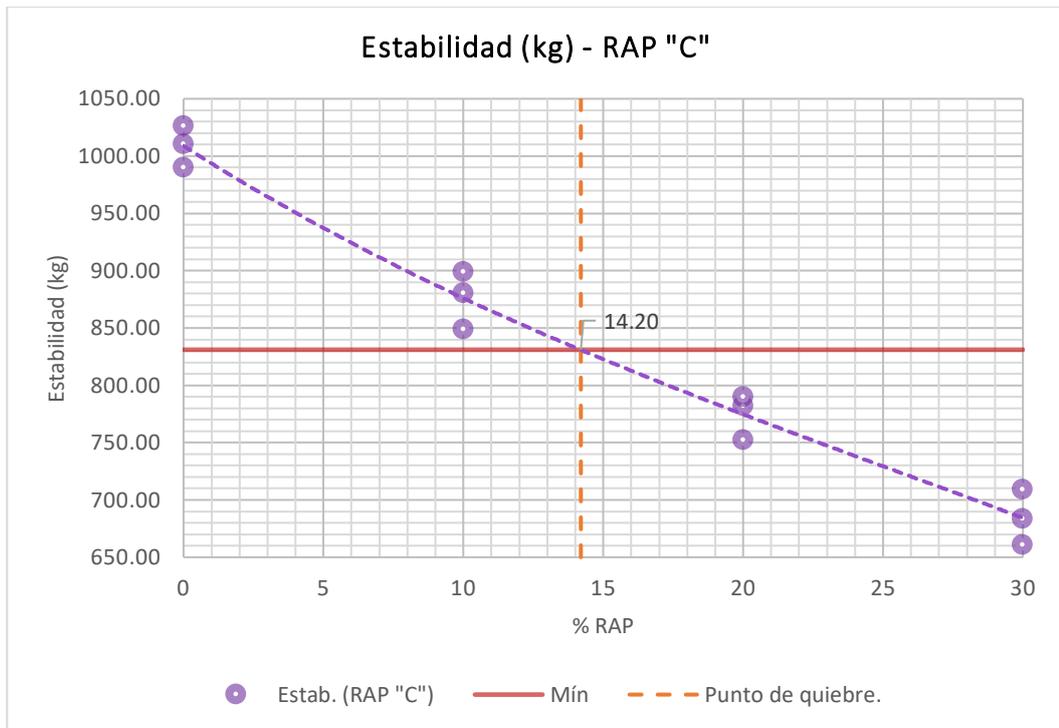


Figura 28. Gráfica de Estabilidad (kg) – Porcentaje de RAP tipo “C”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Finalizando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo “D”, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 25, sobre la alteración en la estabilidad a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo “D” y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

Tabla 25. Estabilidad (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “D”

Estabilidad (Kg) (RAP "D")		
RAP "D"	Estabilidad	Promedio
(%)	(kg)	(kg)
0	1010.47	1008.01
0	1032.41	
0	981.15	
10	805.44	828.26

10	854.66	745.31
10	824.68	
20	767.79	
20	747.94	693.06
20	720.20	
30	713.25	
30	688.93	693.06
30	677.01	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

#### 4.4.2. Flujo del RAP Recuperado por Periodo de Envejecimiento

Para las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo "A", se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 26, sobre la alteración en el flujo a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo "A" y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

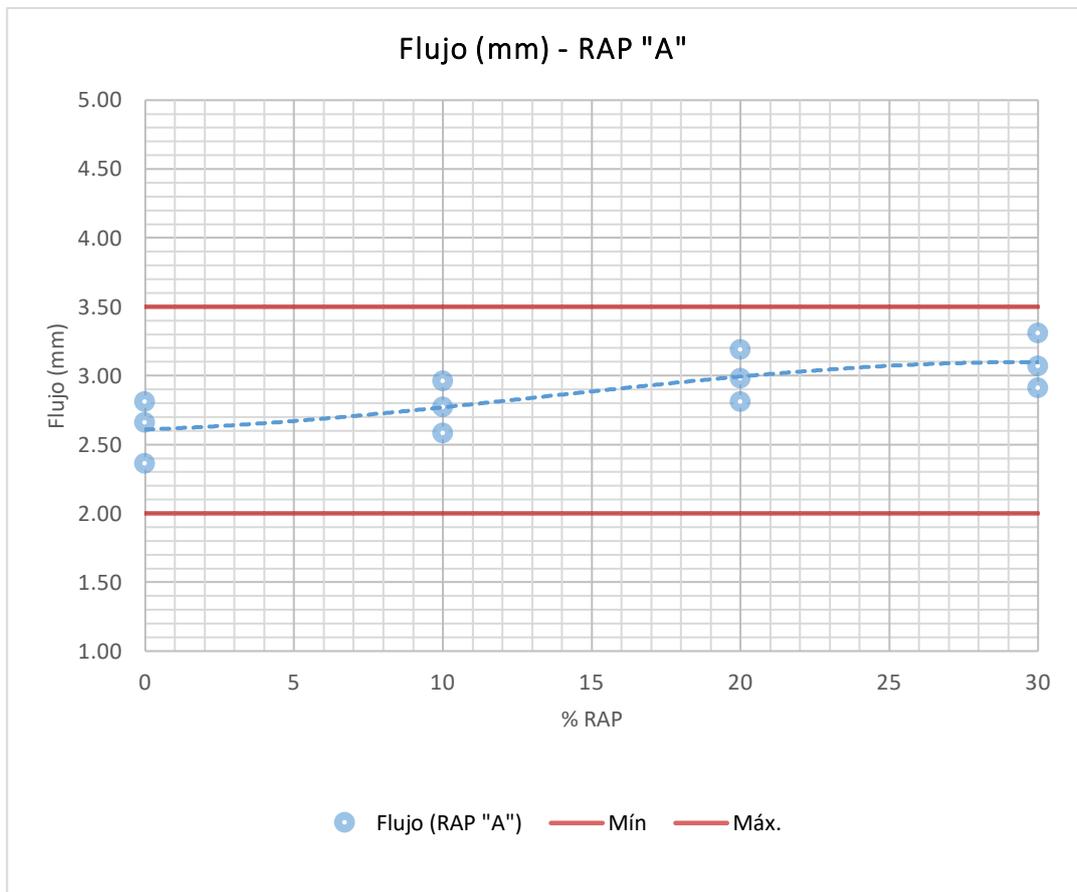
*Tabla 26. Flujo (mm) por porcentaje de reciclado – RAP tipo "A"*

Flujo (RAP "A")		
RAP "A"	Flujo	Promedio
(%)	(mm)	(mm)
0	2.36	2.61
0	2.66	
0	2.81	
10	2.77	2.77
10	2.96	
10	2.58	
20	2.81	2.99
20	2.98	
20	3.19	

30	3.31	3.10
30	2.91	
30	3.07	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los resultados obtenidos del flujo (mm), se presenta en la siguiente figura 29 la medida en que aumenta el porcentaje de adición del RAP tipo "A" alterando la deformación. Encontrando una tendencia a aumentar el flujo de forma progresiva sin llegar pasar el límite superior establecido por la normativa nacional a través de la metodología Marshall. Es decir que se cumple con los requerimientos normativos en todos los puntos de verificación para el tipo de rap "A".



*Figura 29. Gráfica de Flujo (mm) – Porcentaje de RAP tipo "A"*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Continuando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo “B”, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 27, sobre la alteración en el flujo a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo “B” y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

*Tabla 27. Flujo (mm) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “B”*

<b>Flujo (RAP "B")</b>		
RAP "B"	Flujo	Promedio
(%)	(mm)	(mm)
0	2.81	2.64
0	2.61	
0	2.50	
10	2.86	3.03
10	3.02	
10	3.22	
20	3.26	3.25
20	3.44	
20	3.04	
30	3.55	3.56
30	3.75	
30	3.39	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los resultados obtenidos del flujo (mm), se presenta en la siguiente figura 30 el efecto que se genera a medida que aumenta el porcentaje de adición del RAP tipo “B”. Encontrando una tendencia a aumentar el flujo de forma progresiva llegando a pasar el límite superior establecido por la normativa nacional a través de la metodología Marshall en el punto de 28.11% en tendencia. Es decir que no se cumple con los requerimientos

normativos en todos los puntos de verificación superiores al mencionado para el tipo de rap "B".

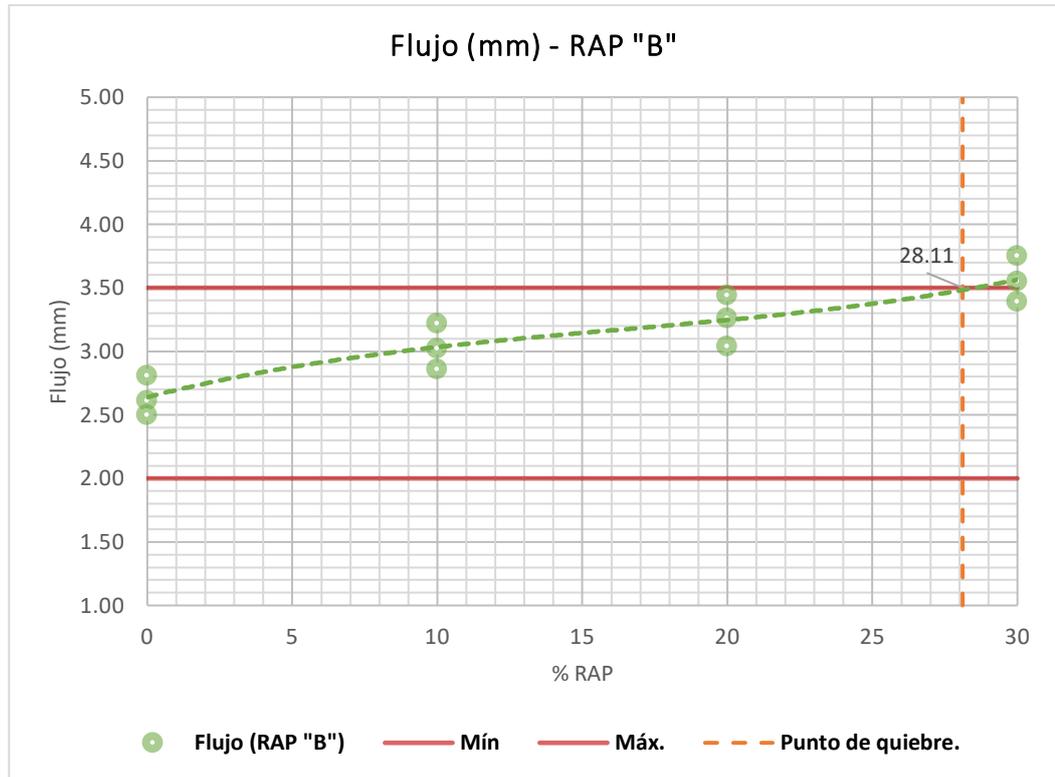


Figura 30. Gráfica de Flujo (mm) – Porcentaje de RAP tipo "B"

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Continuando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo "C", se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 28, sobre la alteración en el flujo a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo "C" y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

Tabla 28. Flujo (mm) por porcentaje de reciclado – RAP tipo "C"

Flujo (RAP "C")		
RAP "C"	Flujo	Promedio
(%)	(mm)	(mm)
0	2.38	2.60

0	2.76	
0	2.65	
10	3.17	2.92
10	2.74	
10	2.84	
20	3.35	3.31
20	3.50	
20	3.09	
30	3.82	3.93
30	4.08	
30	3.88	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los resultados obtenidos del flujo (mm), se presenta en la siguiente figura 31 el efecto que se genera a medida que aumenta el porcentaje de adición del RAP tipo "C". Encontrando una tendencia a aumentar el flujo de forma progresiva llegando a pasar el límite superior establecido por la normativa en el punto de 23.70% en tendencia. Es decir que no se cumple con los requerimientos normativos en todos los puntos de verificación superiores al mencionado para el tipo de rap "C".

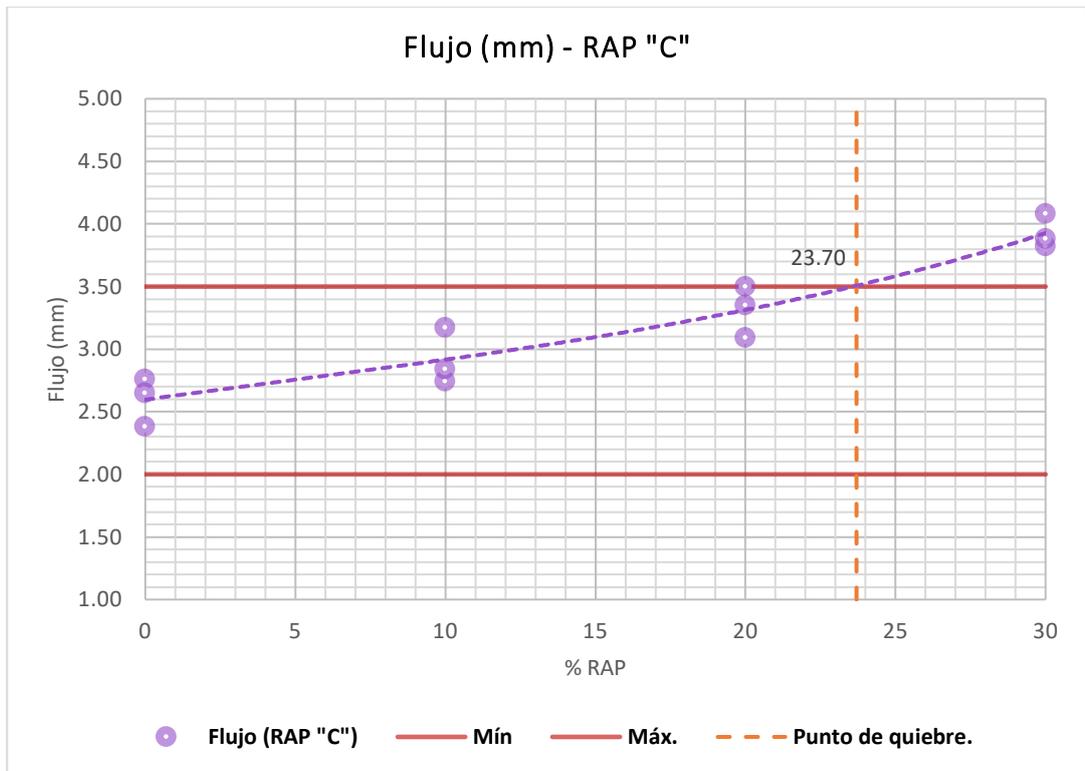


Figura 31. Gráfica de Flujo (mm) – Porcentaje de RAP tipo “C”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Finalizando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo “D”, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 29, sobre la alteración en el flujo a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo “D” y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

Tabla 29. Flujo (kg) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “D”

Flujo (mm) (RAP "D")		
RAP "D"	Flujo	Promedio
(%)	(mm)	(mm)
0	2.71	2.60
0	2.48	
0	2.60	

10	3.29	3.09
10	3.09	
10	2.90	
20	3.56	3.74
20	3.71	
20	3.94	
30	4.16	4.24
30	4.07	
30	4.49	

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

De los resultados obtenidos del flujo (mm), se presenta en la siguiente figura 32 el efecto que se genera a medida que aumenta el porcentaje de adición del RAP tipo "D". Encontrando una tendencia a aumentar el flujo de forma progresiva llegando a pasar el límite superior establecido por la normativa en el punto de 16.30% en tendencia. Es decir que no se cumple con los requerimientos normativos en todos los puntos de verificación superiores al mencionado para el tipo de rap "D".

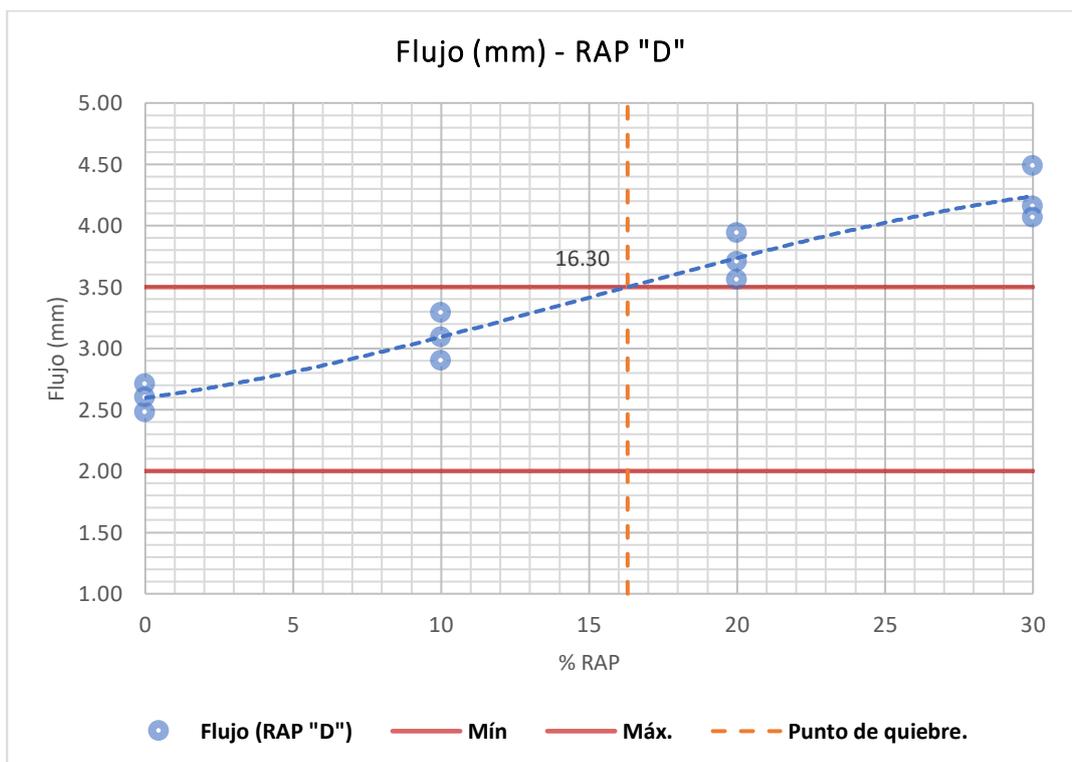


Figura 32. Gráfica de Flujo (mm) – Porcentaje de RAP tipo “D”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

#### 4.4.3. Vacíos del RAP Recuperado por Periodo de Envejecimiento

Para las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo “A”, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 30, sobre la alteración en los vacíos de aire a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo “A” y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

Tabla 30. Vacíos (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “A”

Vacíos (RAP "A")						
RAP "A"	Peso (seco)	Peso (saturado)	Peso (sumergido)	Volumen	Peso específico	Vacíos
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)
0	1247.4	1256.1	722.5	533.6	2.338	3.76
0	1249.7	1257.3	721.1	536.2	2.331	4.05
0	1247.4	1257.0	721.0	536.0	2.327	4.19
10	1250.1	1255.9	721.6	534.3	2.340	3.68
10	1250.4	1258.3	723.0	535.3	2.336	3.83
10	1249.1	1259.5	723.2	536.3	2.329	4.11
20	1247.5	1256.9	722.6	534.3	2.335	3.88
20	1248.4	1255.8	722.4	533.4	2.340	3.65
20	1247.5	1254.7	722.7	532.0	2.345	3.46
30	1249.3	1256.6	723.6	533.0	2.344	3.50
30	1247.3	1256.5	723.2	533.3	2.339	3.71
30	1250.3	1255.0	722.5	532.5	2.348	3.34

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

De los resultados obtenidos de los vacíos de aire (%), se presenta en la siguiente figura 33 la medida en que decrece el porcentaje de adición del

RAP tipo "A" reduciendo los vacíos de forma sutil. Encontrando una tendencia negativa poco representativa, pero que podría llegar influir directamente sobre el diseño patrón del tipo de RAP "A".

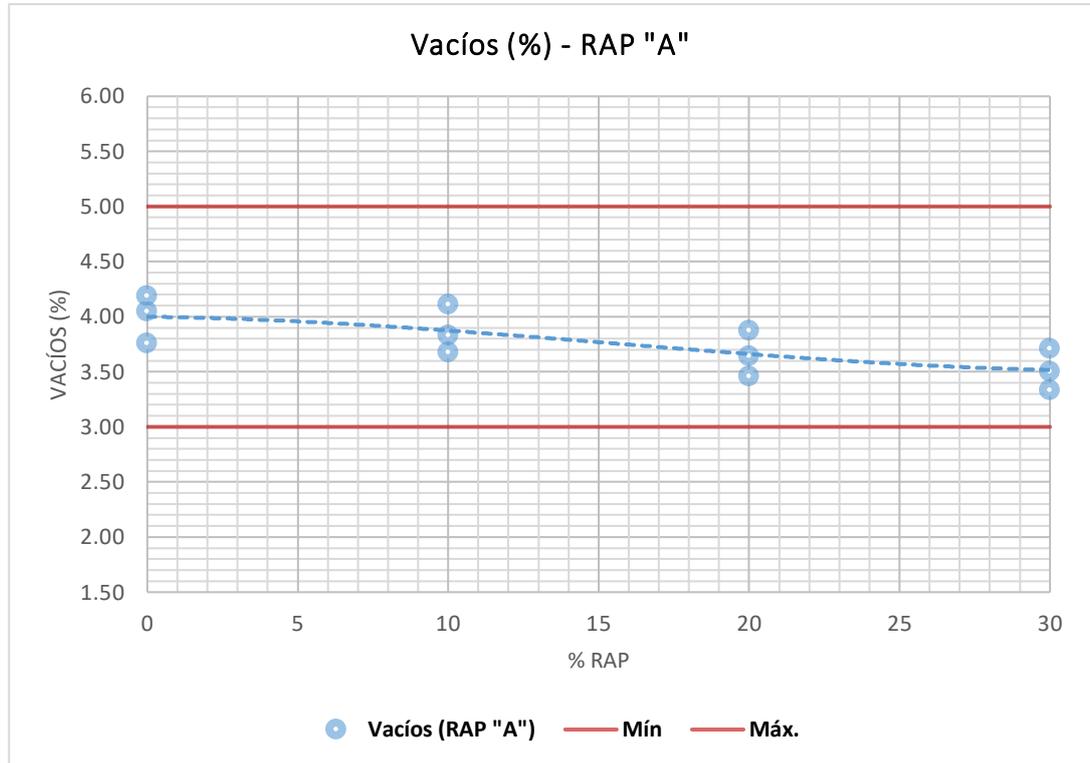


Figura 33. Gráfica de Vacíos (%) – Porcentaje de RAP tipo "A"

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Continuando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo "B", se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 31, sobre la alteración en los vacíos de aire a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo "B" y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

Tabla 31. Vacíos (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo "B"

Vacíos (RAP "B")						
RAP "B"	Peso (seco)	Peso (saturado)	Peso (sumergido)	Volumen	Peso específico	Vacíos

(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)
0	1249.3	1256.5	721.6	534.9	2.336	3.85
0	1247.1	1256.6	721.0	535.6	2.328	4.14
0	1247.0	1256.8	721.9	534.9	2.331	4.02
10	1250.1	1258.4	722.3	536.1	2.332	4.00
10	1249.7	1257.0	723.1	533.9	2.341	3.64
10	1247.1	1256.4	722.7	533.7	2.337	3.80
20	1248.1	1256.2	722.9	533.3	2.340	3.65
20	1247.0	1254.2	722.8	531.4	2.347	3.39
20	1248.8	1254.7	723.3	531.4	2.350	3.25
30	1247.6	1255.7	723.9	531.8	2.346	3.42
30	1248.9	1254.9	723.5	531.4	2.350	3.24
30	1249.6	1255.8	722.6	533.2	2.344	3.52

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Continuando con los resultados obtenidos de los vacíos de aire (%), se presenta en la siguiente figura 34 la medida en que decrece el porcentaje de adición del RAP tipo "B" reduciendo los vacíos en mayor medida que el anterior análisis. Encontrando una tendencia negativa poco representativa, pero que podría llegar a influir directamente sobre el diseño patrón del tipo de RAP "B".

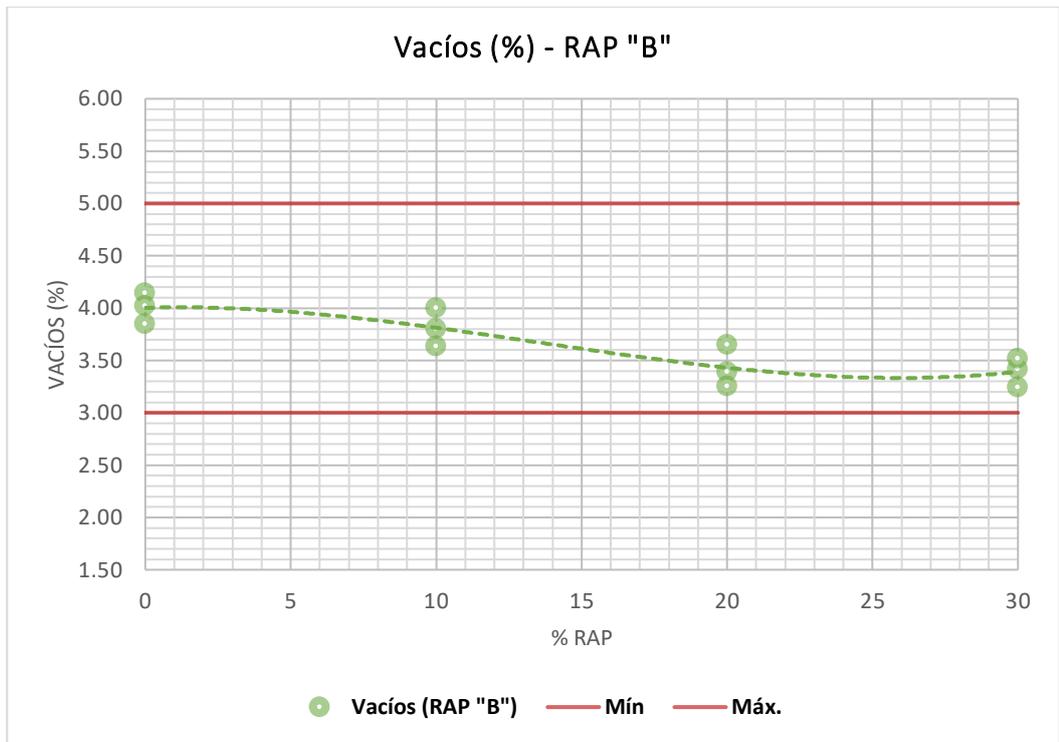


Figura 34. Gráfica de Vacíos (%) – Porcentaje de RAP tipo “B”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Continuando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo “C”, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 32, sobre la alteración en los vacíos de aire a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo “C” y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

Tabla 32. Vacíos (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “C”

Vacíos (RAP "C")						
RAP "C"	Peso (seco)	Peso (saturado)	Peso (sumergido)	Volumen	Peso específico	Vacíos
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)
0	1249.8	1257.1	722.7	534.4	2.339	3.72
0	1250.4	1258.3	722.0	536.3	2.332	4.01
0	1248.6	1258.1	721.1	537.0	2.325	4.28

10	1249.0	1256.6	722.9	533.7	2.340	3.65
10	1249.2	1258.5	723.2	535.3	2.334	3.93
10	1250.4	1256.3	722.6	533.7	2.343	3.55
20	1250.2	1255.5	722.3	533.2	2.345	3.47
20	1249.4	1257.4	723.7	533.7	2.341	3.62
20	1248.3	1255.9	724.5	531.4	2.349	3.29
30	1250.0	1254.0	723.9	530.1	2.358	2.92
30	1249.9	1255.3	724.2	531.1	2.353	3.11
30	1250.3	1257.2	724.6	532.6	2.348	3.35

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Continuando con los resultados obtenidos de los vacíos de aire (%), se presenta en la siguiente figura 35 la medida en que decrece el porcentaje de adición del RAP tipo "C" reduciendo los vacíos en mayor medida que el anterior análisis. Encontrando una tendencia negativa poco representativa, pero que podría llegar a influir directamente sobre el diseño patrón del tipo de RAP "C".

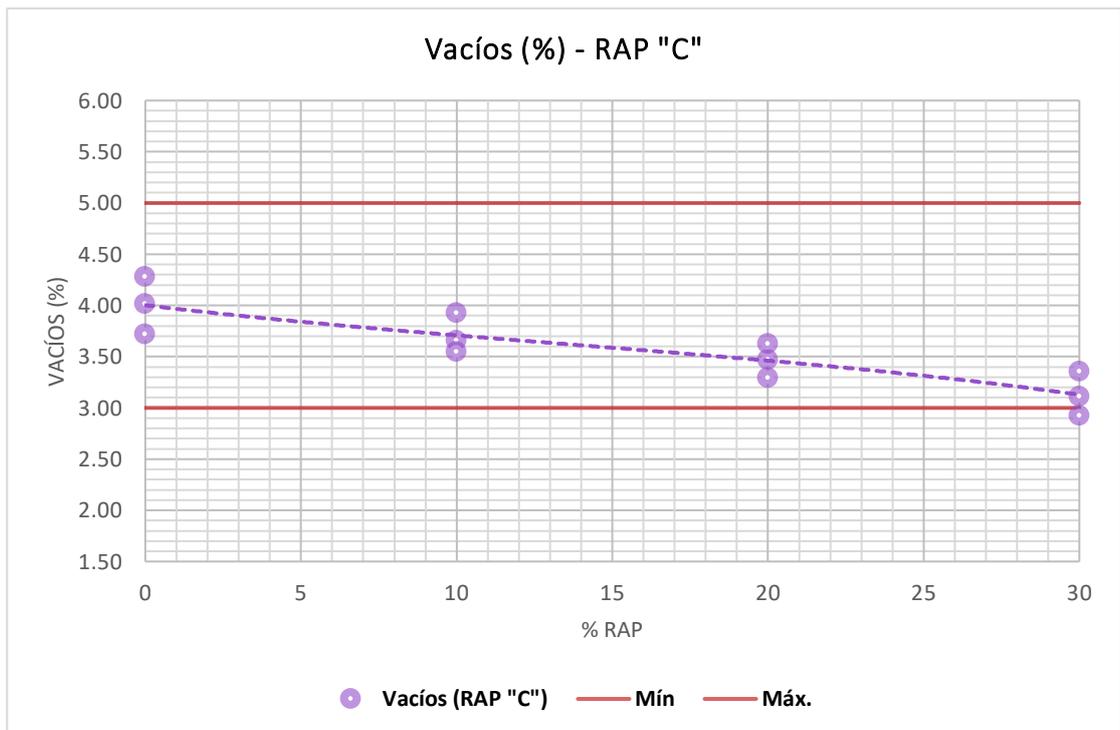


Figura 35. Gráfica de Vacíos (%) – Porcentaje de RAP tipo “C”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Finalizando con las muestras experimentales con incorporaciones porcentuales del RAP de periodo de envejecimiento tipo “D”, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla 33, sobre la alteración en los vacíos de aire a medida que aumenta el contenido de RAP recuperado tipo “D” y los promedios derivados de unos grados de libertad de tres sobre cada punto de análisis realizado.

Tabla 33. Vacíos (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “D”

Vacíos (RAP "D")						
RAP "D"	Peso (seco)	Peso (saturado)	Peso (sumergido)	Volumen	Peso específico	Vacíos
(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)
0	1247.6	1256.1	722.2	533.9	2.337	3.80
0	1249.7	1257.3	721.4	535.9	2.332	3.99
0	1247.1	1256.8	720.9	535.9	2.327	4.19
10	1249.7	1257.8	722.8	535	2.336	3.83
10	1247.3	1255.4	723.5	531.9	2.345	3.46
10	1248	1256.1	722.7	533.4	2.340	3.68
20	1249.1	1255	724.2	530.8	2.353	3.12
20	1247	1255.6	724.5	531.1	2.348	3.34
20	1248.8	1257.9	724.8	533.1	2.343	3.56
30	1248.7	1253.8	725.6	528.2	2.364	2.67
30	1248.8	1255.5	724.9	530.6	2.354	3.11
30	1247.1	1253.4	725.2	528.2	2.361	2.80

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Finalizando con los resultados obtenidos de los vacíos de aire (%), se presenta en la siguiente figura 36 la medida en que decrece el porcentaje de adición del RAP tipo “D” reduciendo los vacíos en mayor medida que el

anterior análisis. Encontrando una tendencia negativa representativa, que llega a incumplir el límite en su último punto, lo que podría llegar influir directamente sobre el diseño patrón del tipo de RAP "D".

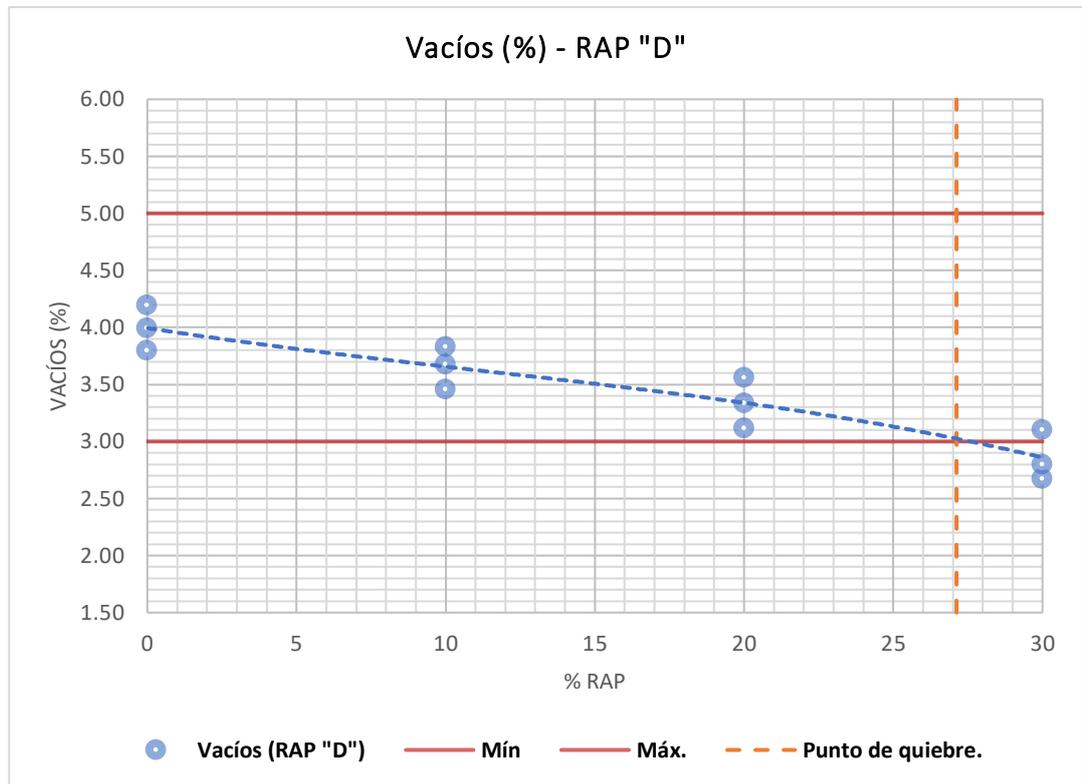


Figura 36. Gráfica de Vacíos (%) – Porcentaje de RAP tipo “D”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

#### 4.5. Coeficiente TSR y Corrección del RAP recuperado - OE 3

##### 4.5.1. Coeficiente TSR de RAP Recuperado por Periodo de Envejecimiento

Como parte complementaria a los ensayos realizados, se presenta en la siguiente tabla 34 el coeficiente de TSR resultante de la variación del porcentaje en adición del RAP tipo “A”. Este ensayo revela una práctica poco común que demuestra una deficiencia en las mezclas ante la resistencia a humedad bajo criterios muy exigentes de comparación.

Tabla 34. TSR (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “A”

<b>TSR (RAP "A")</b>
--------------------------

RAP "A"	TSR	Promedio
(%)	(%)	(%)
0	73.36	70.45
0	69.69	
0	68.29	
10	68.72	66.52
10	64.12	
10	66.73	
20	57.26	56.78
20	54.38	
20	58.70	
30	50.52	51.04
30	48.21	
30	54.40	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Respecto del comportamiento gráfico del coeficiente de TSR resultante ante la variación del porcentaje en adición del RAP tipo "A", se presenta en la figura 37 una tendencia a perder ligeramente el porcentaje de resistencia a la humedad producto de emplear asfalto envejecidos.

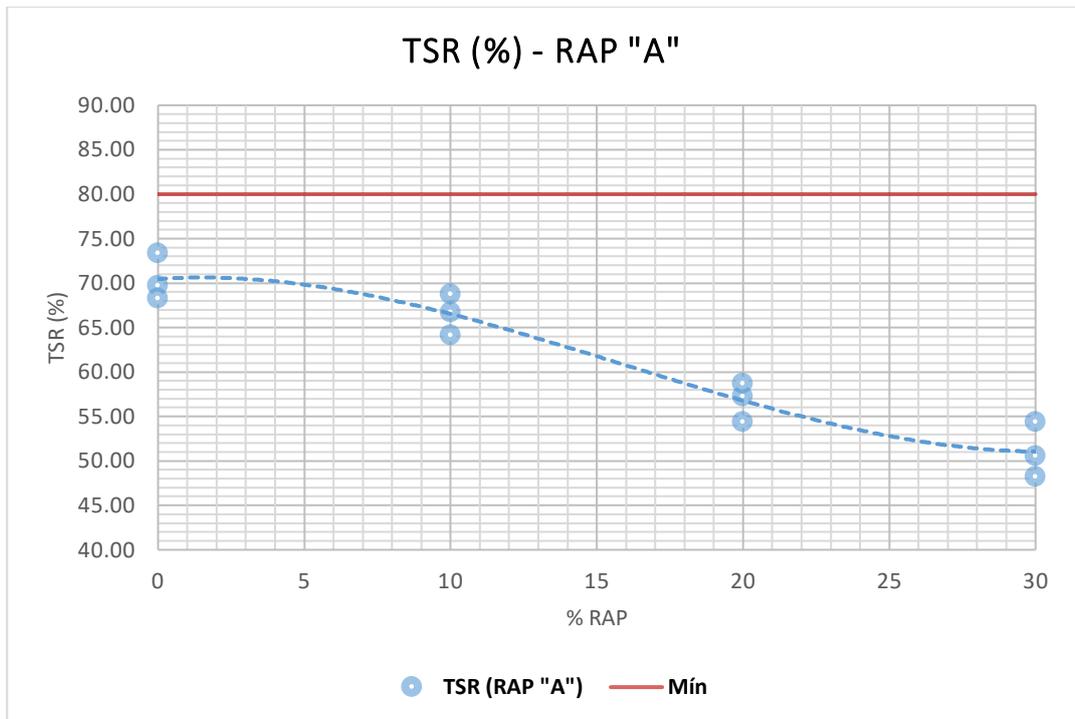


Figura 37. Gráfica de TSR (%) – Porcentaje de RAP tipo “A”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Los ensayos realizados sobre tracción indirecta se presentan en la siguiente tabla 35, donde se presenta el coeficiente de TSR resultante de la variación del porcentaje en adición del RAP tipo “B”. Este ensayo revela una práctica poco común que demuestra una deficiencia en las mezclas ante la resistencia a humedad bajo criterios muy exigentes de comparación.

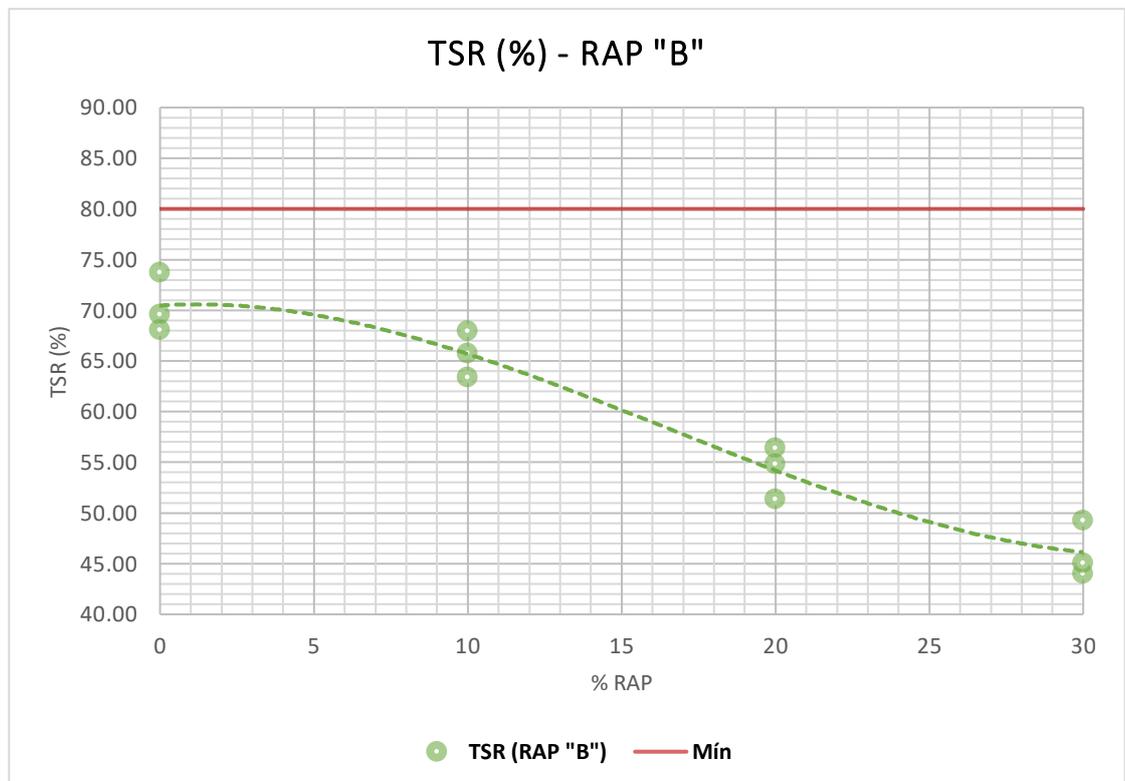
Tabla 35. TSR (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “B”

TSR (RAP "B")		
RAP "B"	TSR	Promedio
(%)	(%)	(%)
0	69.60	70.47
0	73.73	
0	68.07	
10	63.37	65.69

10	65.75	54.20
10	67.95	
20	56.41	
20	54.82	46.14
20	51.36	
30	44.03	
30	45.09	46.14
30	49.29	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Respecto del comportamiento gráfico del coeficiente de TSR resultante ante la variación del porcentaje en adición del RAP tipo "B", se presenta en la figura 38 una tendencia a perder de forma representativa el porcentaje de resistencia a la humedad producto de emplear el pavimento asfáltico recuperado en mayores porcentajes.



*Figura 38. Gráfica de TSR (%) – Porcentaje de RAP tipo "B"*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Los ensayos realizados sobre tracción indirecta se presentan en la siguiente tabla 36, donde se presenta el coeficiente de TSR resultante de la variación del porcentaje en adición del RAP tipo "C". Este ensayo revela una práctica poco común que demuestra una deficiencia en las mezclas ante la resistencia a humedad bajo criterios muy exigentes de comparación.

*Tabla 36. TSR (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo "C"*

TSR (RAP "C")		
RAP "C"	TSR	Promedio
(%)	(%)	(%)
0	66.71	70.50
0	73.75	
0	71.04	
10	61.60	64.41
10	64.65	
10	66.98	
20	49.24	51.47
20	53.15	
20	52.02	
30	46.05	45.32
30	42.26	
30	47.65	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Respecto del comportamiento gráfico del coeficiente de TSR resultante ante la variación del porcentaje en adición del RAP tipo "C", se presenta en la figura 39 una tendencia a perder de forma representativa el porcentaje de resistencia a la humedad producto de emplear el pavimento asfáltico recuperado en mayores porcentajes.

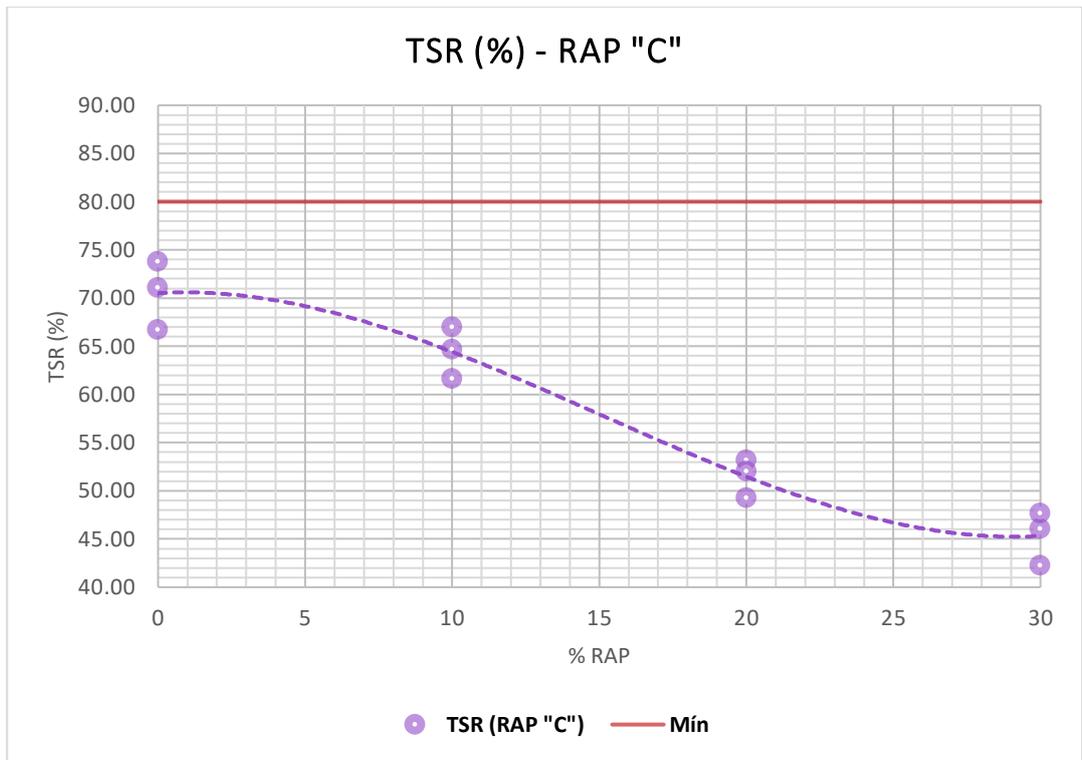


Figura 39. Gráfica de TSR (%) – Porcentaje de RAP tipo “C”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Los ensayos realizados sobre tracción indirecta se presentan en la siguiente tabla 37, donde se presenta el coeficiente de TSR resultante de la variación del porcentaje en adición del RAP tipo “D”. Este ensayo revela una práctica poco común que demuestra una deficiencia en las mezclas ante la resistencia a humedad bajo criterios muy exigentes de comparación.

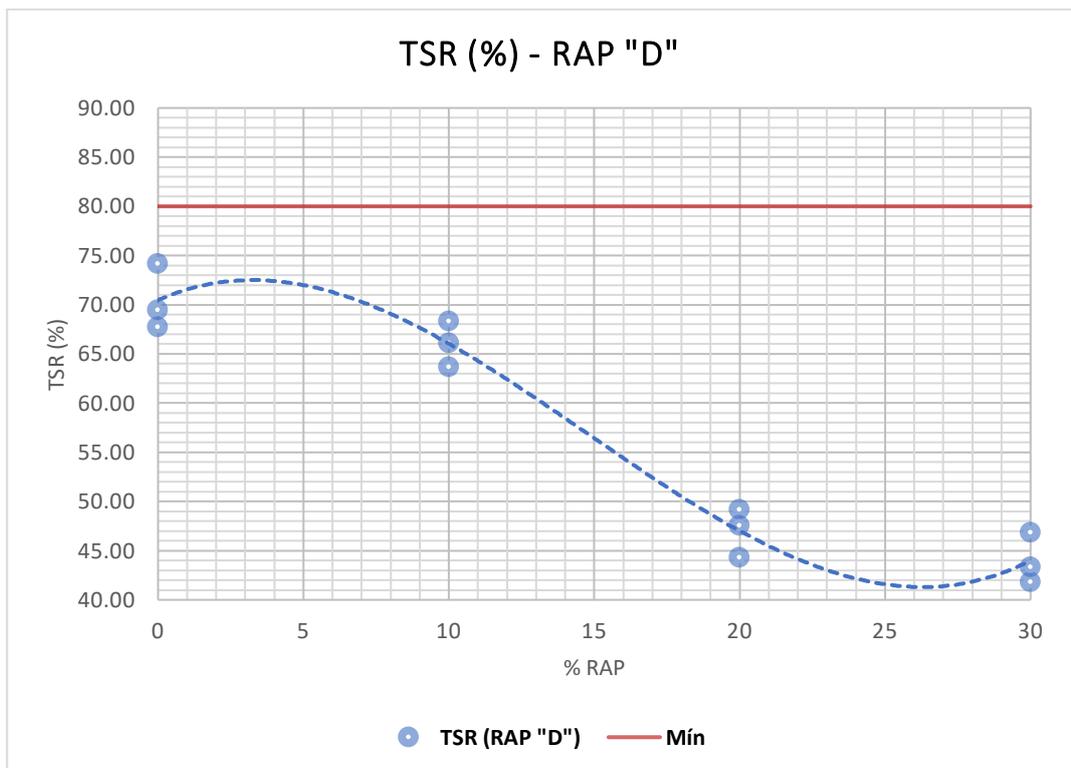
Tabla 37. TSR (%) por porcentaje de reciclado – RAP tipo “D”

TSR (RAP "D")		
RAP "D"	TSR	Promedio
(%)	(%)	(%)
0	74.17	70.46
0	67.74	
0	69.48	

10	68.35	66.03
10	63.66	
10	66.09	
20	49.17	47.00
20	47.54	
20	44.29	
30	46.84	44.00
30	41.82	
30	43.35	

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

Respecto del comportamiento gráfico del coeficiente de TSR resultante ante la variación del porcentaje en adición del RAP tipo "D", se presenta en la figura 40 una tendencia a perder de forma representativa el porcentaje de resistencia a la humedad producto de emplear el pavimento asfáltico recuperado en mayores porcentajes.



*Figura 40. Gráfica de TSR (%) – Porcentaje de RAP tipo "D"*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

#### 4.5.2. Corrección del Contenido Asfáltico por Tipo de RAP

La alteración del porcentaje de vacíos ante la aplicación de los distintos tipos de RAP (A, B, C y D) sugiere un proceso de corrección del contenido asfáltico de las mezclas experimentales con la finalidad de recuperar el 4.0% de vacíos como propiedades determinantes en el diseño de mezcla. El efecto que genera la aplicación de asfalto envejecidos como parte del RAP genera una técnica de recuperación, que en las pruebas experimentales realizadas se consigue recuperar con la aplicación de asfalto nuevo en mayores porcentajes,

En la siguiente tabla 38, se presentan los resultados obtenidos a partir del proceso de recuperación del contenido de vacíos de las mezclas experimentales. Encontrando que hay que cuidar este porcentaje de asfalto a adicionar ya que en porcentajes muy elevados podría llegar a alterar las demás propiedades mecánicas de mezcla.

Tabla 38. Datos de corrección de vacíos experimental – tipo de RAP

Corrección de vacíos - RAP "A"		
RAP "A"	Cemento asfáltico	CA (vacíos)
(%)	(%)	%
0	5.25	0.00
10	5.22	0.03
20	5.29	0.04
30	5.36	0.11
Corrección de vacíos - RAP "B"		
RAP "B"	Cemento asfáltico	CA (vacíos)
(%)	(%)	%
0	5.25	0.00
10	5.28	0.03
20	5.37	0.12
30	5.43	0.18
Corrección de vacíos - RAP "C"		

RAP "C"	Cemento asfáltico	CA (vacíos)
(%)	(%)	%
0	5.25	0.00
10	5.31	0.06
20	5.52	0.27
30	5.76	0.51
<b>Corrección de vacíos - RAP "D"</b>		
RAP "D"	Cemento asfáltico	CA (vacíos)
(%)	(%)	%
0	5.25	0.00
10	5.42	0.17
20	5.86	0.61
30	6.28	1.03

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

De los porcentajes logrados, se presentan en las siguientes figuras 41, 42, 43 y 44 los diagramas comparativos entre los contenidos de ligante asfáltico adicionado para conseguir recuperar el porcentaje de vacíos por cada tipo de mezcla RAP recuperada.

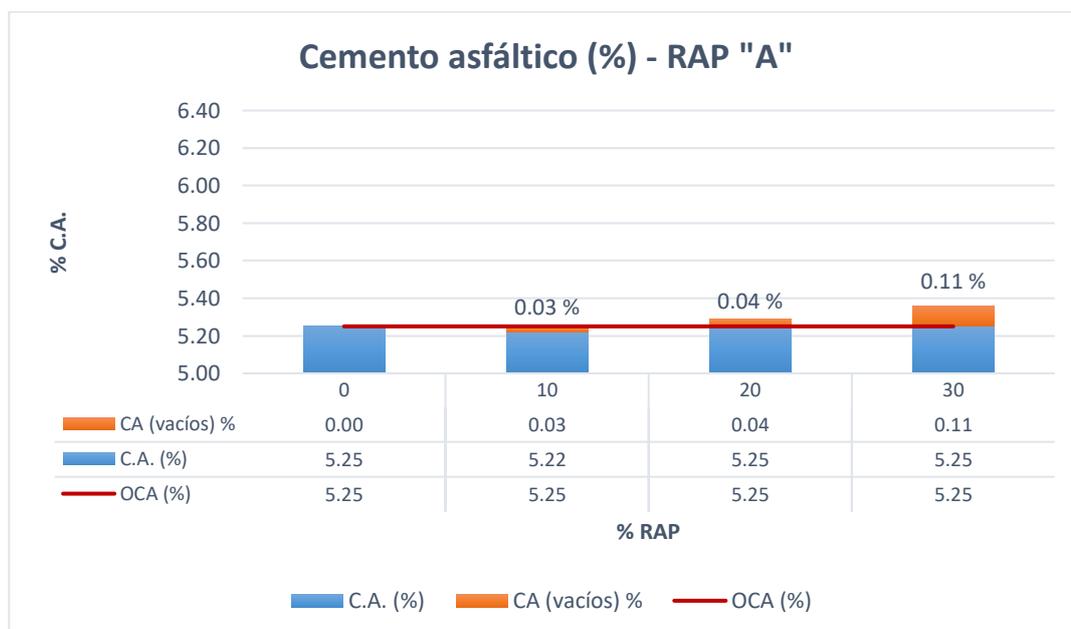


Figura 41. Diagrama de corrección de vacíos – tipo de RAP “A”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

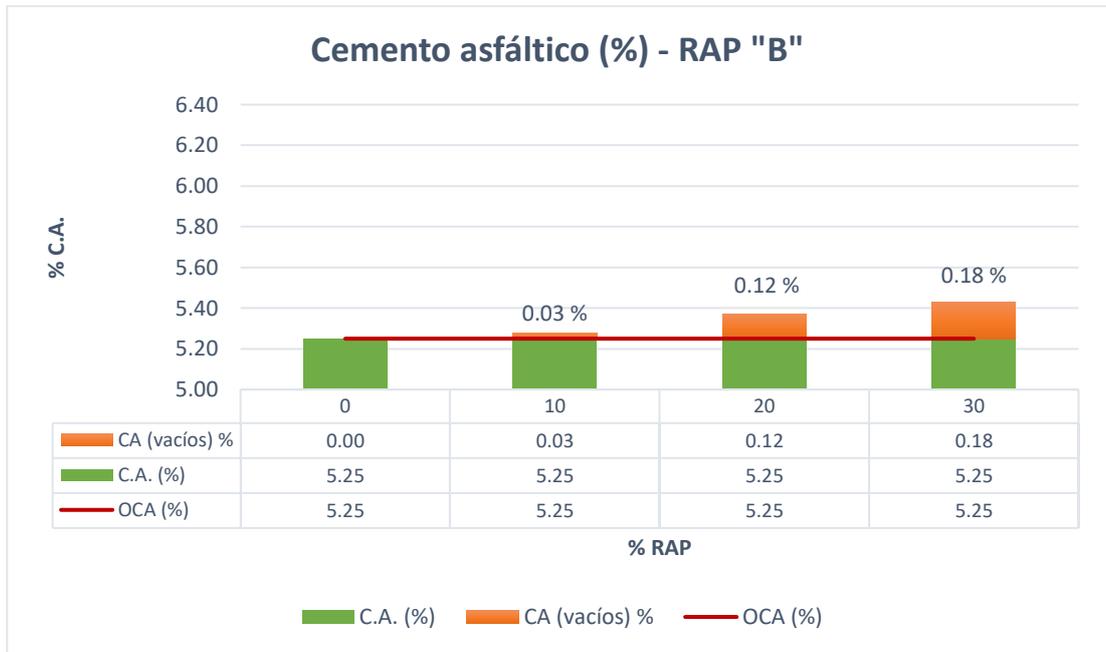


Figura 42. Diagrama de corrección de vacíos – tipo de RAP “B”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

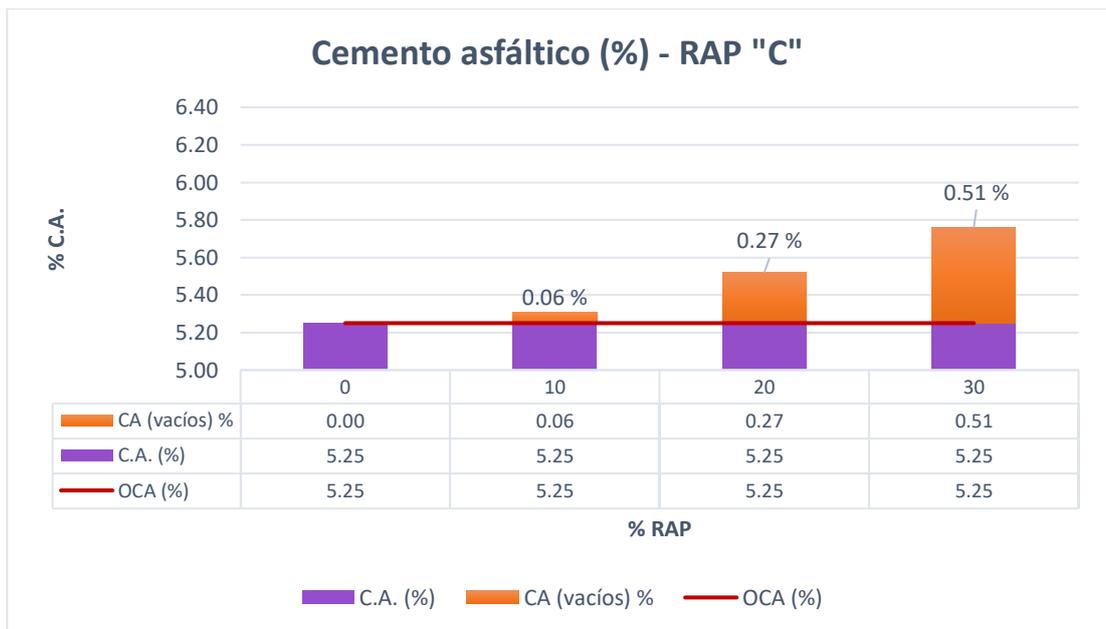
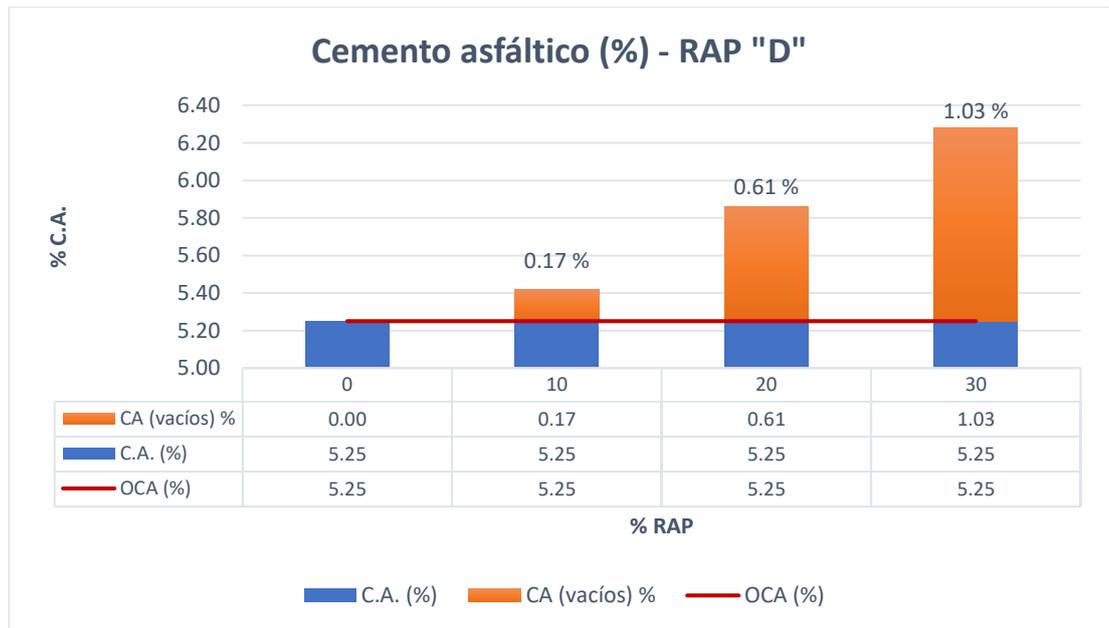


Figura 43. Diagrama de corrección de vacíos – tipo de RAP “C”

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

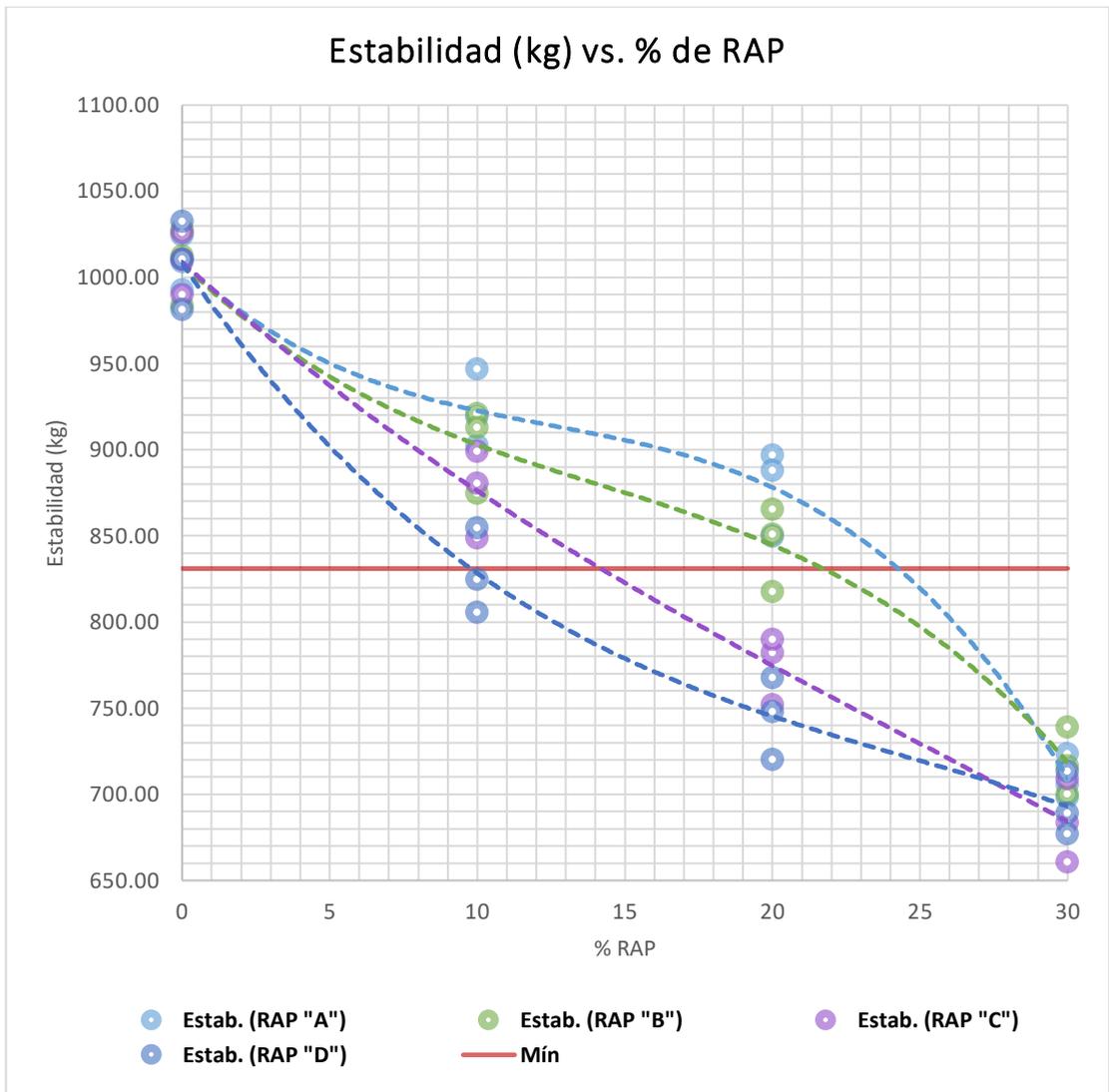


*Figura 44. Diagrama de corrección de vacíos – tipo de RAP “D”*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

#### **4.6. Análisis de Resultados del RAP por Periodo de Envejecimiento - OG**

Los resultados alcanzados determinan un comportamiento determinado en función de la alteración en las propiedades mecánicas producto de la aplicación de los RAP de diversos periodos de envejecimiento. Por lo que se presenta en la siguiente figura 45 el cuadro resumen de estabilidad en comparativa con cada tipo de RAP. Encontrando que existe un deterioro en la resistencia a medida que es mayor la edad del RAP a emplear, además se encuentra que los RAP de menor periodo de envejecimiento puede llegar a ser mucho más aprovechables que los de mayor edad. Una buena práctica se podría llegar a sugerir a partir de la aplicación de RAP menores de del tipo “C” evaluado en el presente estudio.



*Figura 45. Resumen General Estabilidad (kg) – tipo de RAP*

*Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel*

El flujo como punto de comparación general se presenta en la siguiente figura 46, donde se encuentra que el comportamiento final obedece a un aumento en la deformación de mezcla a medida que es mayor el periodo de envejecimiento del RAP recuperado. Generando que la mezcla pueda llegar a ser mucho más susceptible a las deformaciones permanentes, producto de flujos muy elevados.

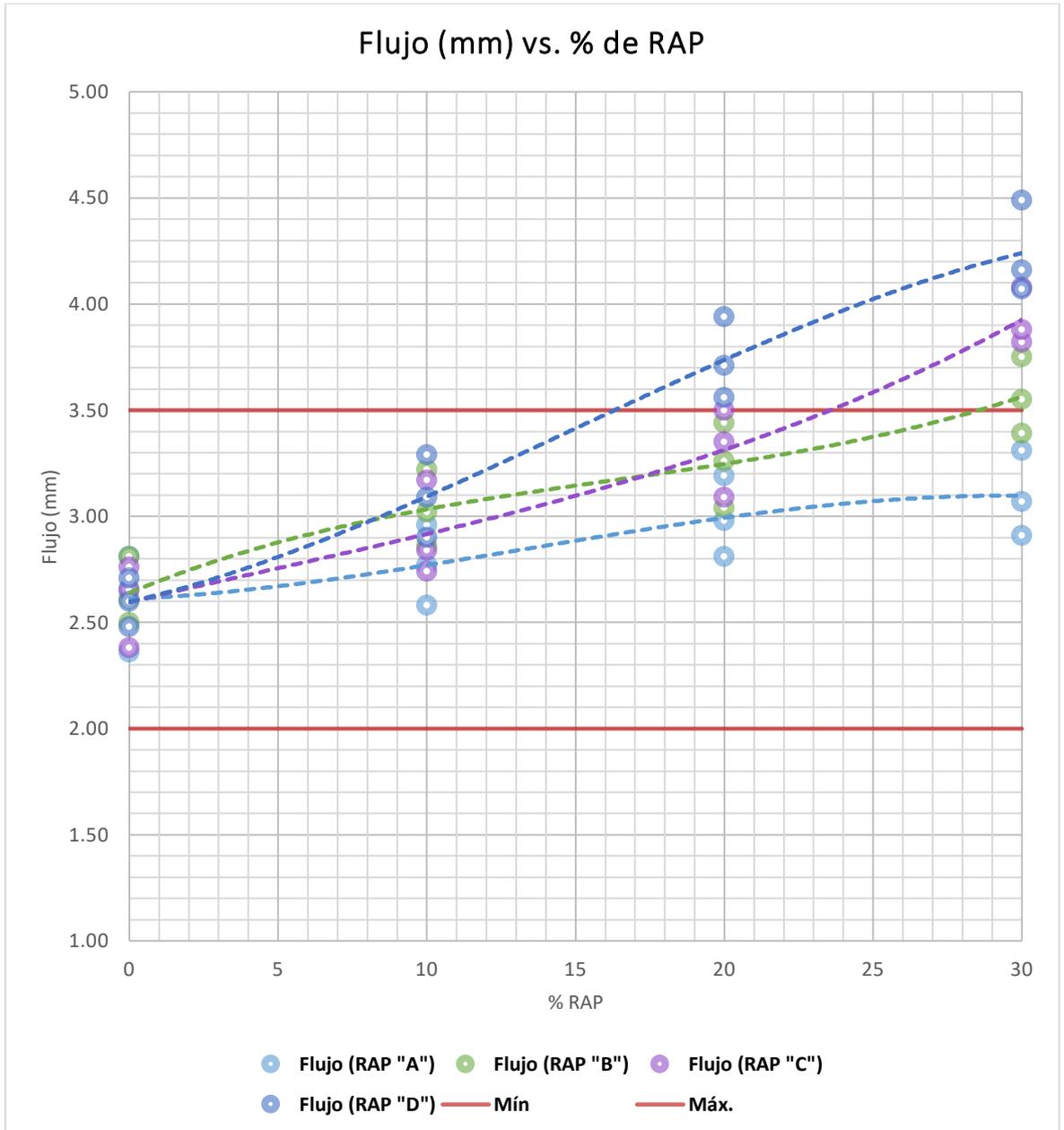


Figura 46. Resumen General Flujo (mm) – tipo de RAP

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Respecto del porcentaje de vacíos, se presenta en la siguiente figura 47 el comportamiento comparativo general que evidencia un ligero descenso progresivo a medida que es mayor el periodo de envejecimiento del RAP. Llegando a niveles que pueden a pasar límite inferior especificado por la normativa. Es importante tener en consideración el porcentaje de vacíos de diseño, ya que este podría llegar a influir directamente sobre el contenido

asfáltico, si es que se requiriese no alterar el 4.0% de vacíos que se emplea como criterio de diseño para mezclas asfálticas en caliente por características climáticas adversas.

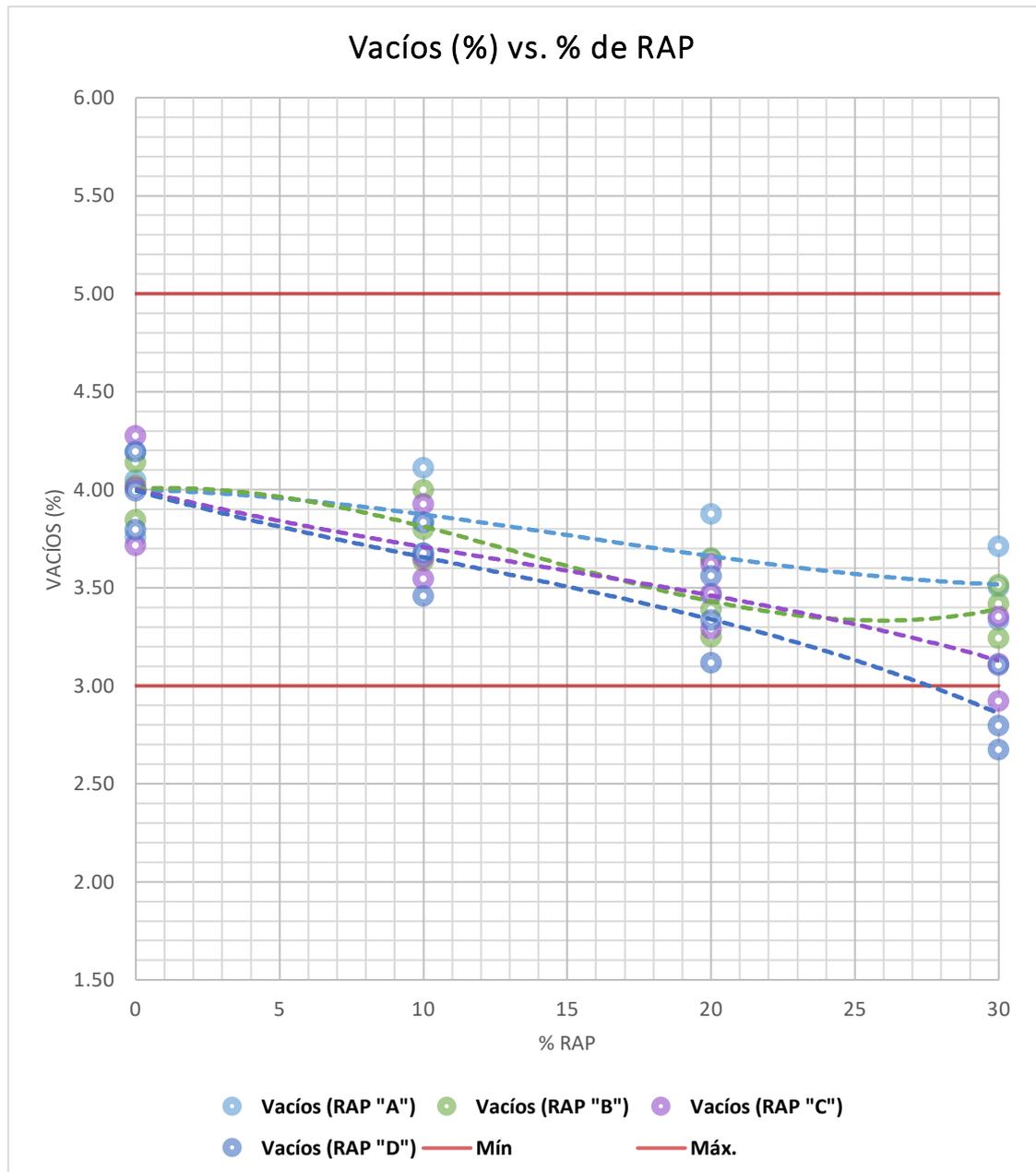


Figura 47. Resumen General Vacíos (%) – tipo de RAP

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

Finalmente, como complemento ante la variación del porcentaje de vacíos, se presenta en siguiente figura 48 las variaciones comparativas en el contenido asfáltico que se genera con la finalidad de recuperar el porcentaje de vacíos

al 4.0%. Encontrando que se requiere un mayor porcentaje asfalto a medida que es mayor el periodo de envejecimiento del RAP empleado en porcentajes determinados sobre la mezcla.

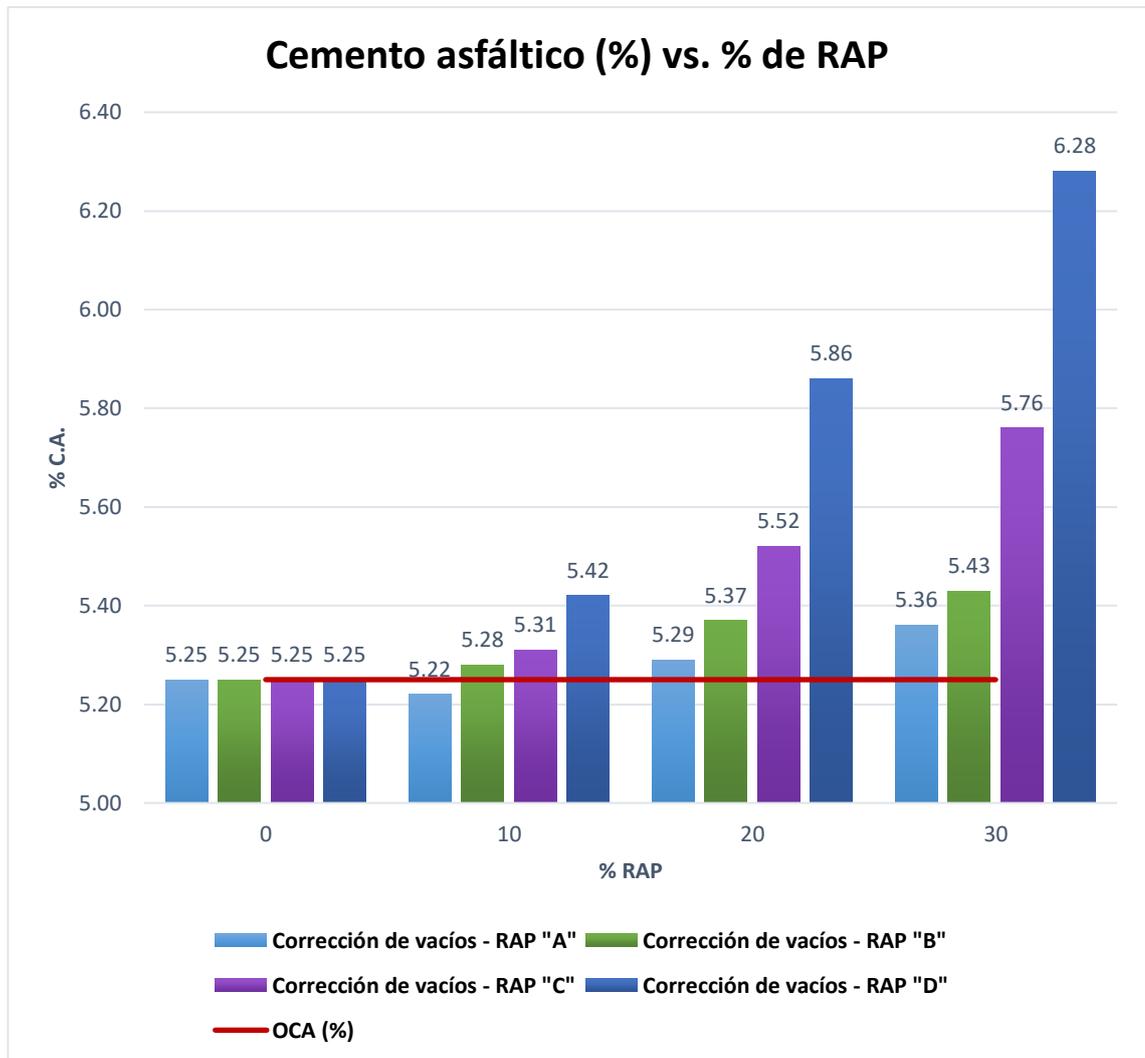


Figura 48. Resumen General Contenido Asfáltico (%) – tipo de RAP

Fuente: Procesamiento realizado en Microsoft Excel

#### 4.7. Discusión de Resultados en Contraste con Hipótesis

La investigación se centra en la evaluación de la influencia del periodo de envejecimiento de mezclas asfálticas recicladas sobre la degradación escalonada de sus propiedades mecánicas, específicamente en el caso del RAP (Recycled Asphalt Pavement) en Huancayo, 2023. La gestión sostenible de pavimentos requiere una comprensión profunda de cómo la durabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas recicladas pueden ser mejoradas mediante el envejecimiento controlado. Esta tesis aborda hipótesis fundamentales que exploran el impacto del periodo de envejecimiento en las propiedades mecánicas y físicas del RAP, así como su influencia en la cantidad de ligante asfáltico requerido y la viabilidad de su incorporación en nuevas mezclas.

Hipótesis 1 (Alternativa): Influencia Positiva a 15 Años de Envejecimiento:

La hipótesis propuesta es que un período de envejecimiento de 15 años mejora significativamente las propiedades mecánicas del RAP en comparación con un uso aceptable de hasta 20 años, lo que la convierte en una hipótesis alternativa. La literatura existente sugiere que la exposición prolongada a las condiciones ambientales promueve el envejecimiento de las mezclas asfálticas, mejorando su resistencia y durabilidad. Estudios previos han sugerido que el envejecimiento a largo plazo puede conducir a una redistribución de los componentes asfálticos, lo que fortalece la estructura interna de la mezcla. Investigaciones similares han observado mejoras en la resistencia a la fatiga y deformación permanente con un envejecimiento prolongado. (Chen, Tang, & Wang, 2022)

Hipótesis 2 (Nula): Incremento Adicional del 3.00% en el Ligante Asfáltico:

La segunda hipótesis planteaba que el periodo de envejecimiento afectaría las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla, dando como resultado un aumento del 3,00% en la cantidad de ligante asfáltico requerido, pero esta afirmación resultó insuficiente, con un cambio del 1,03% en el diseño del OCA.

Este enfoque se basa en la idea de que el envejecimiento cambia la composición química del adhesivo, afectando su rendimiento. Investigaciones anteriores han indicado que el envejecimiento prolongado puede resultar en una pérdida de volátiles y una mayor viscosidad del ligante, lo que podría demandar una mayor cantidad para mantener las propiedades deseadas de la mezcla. (Nie, Sun, Ou, Zhou, & Mao, 2018)

Hipótesis 3 (Alternativa): Adición de hasta 40% de Mezcla Reciclada:

La tercera hipótesis demostró que el periodo de envejecimiento afecta las propiedades físicas y mecánicas del RAP reciclado, permitiendo agregar hasta un 40% de mezcla reciclada, confirmando el cambio en sus propiedades, pero solo permitiendo la adición de 20 a 25% de RAP. La literatura existente apoya esta hipótesis, indicando que el envejecimiento puede mejorar la cohesión interna de las partículas de RAP, facilitando su incorporación a nuevas mezclas. Estudios anteriores han demostrado que el envejecimiento controlado puede reducir la susceptibilidad al agrietamiento y mejorar la compatibilidad entre el RAP y el asfalto fresco, facilitando así una mayor incorporación del material reciclado. (Nie, Sun, Ou, Zhou, & Mao, 2018)

Hipótesis 4 (Nula): Aumento del 3.0% en el Porcentaje de Asfalto Óptimo:

La hipótesis final establece que el período de envejecimiento de la mezcla asfáltica aumenta el porcentaje óptimo de asfalto de RAP en un 3,0% dentro de la especificación con un cambio comparativo del 1,03%. Esta hipótesis se basa en investigaciones que muestran que el envejecimiento puede mejorar la adherencia entre el asfalto reciclado y el asfalto fresco, reduciendo así la necesidad de ajustes significativos en la formulación. Se espera que este aumento del porcentaje de asfalto óptimo contribuya a la estabilidad estructural y durabilidad de las mezclas asfálticas recicladas en cumplimiento con los estándares técnicos requeridos para proyectos de pavimentación. (Chen, Tang, & Wang, 2022).

#### **4.8. Análisis Estadístico de la Base de Datos Generada**

Como parte de la validación de la base datos formada del estudio de las propiedades de la mezcla asfáltica reciclada, se presenta en siguiente apartado la validación estadística a través del contraste de hipótesis.

##### **4.8.1. Análisis de estabilidad (kg) al emplear RAP (%)**

- **Detallado estadístico:**

En el siguiente esquema estadístico se presentan los detallados resultantes de estabilidad del ensayo de Marshall en relación con diferentes porcentajes de RAP empleado en 0%, 10%, 20% y 30%, presentando en la siguiente tabla los resultados al utilizar el RAP "A", RAP "B", RAP "C" y RAP "D".

Tabla 39. Detallado estadístico para estabilidad al emplear RAP

		Porcentaje de RAP (%)	Estadístico	Error estándar		
<b>Estabilidad (kg) - RAP "A"</b>	<b>0</b>	<b>Media</b>	1008,7500	9,18504		
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	969,2299		
			<b>Límite superior</b>	1048,2701		
		<b>Media recortada al 5%</b>	.			
		<b>Mediana</b>	1009,1600			
		<b>Varianza</b>	253,095			
		<b>Desviación estándar</b>	15,90896			
		<b>Mínimo</b>	992,64			
		<b>Máximo</b>	1024,45			
		<b>Rango</b>	31,81			
		<b>Rango intercuartil</b>	.			
		<b>Asimetría</b>	-,116	1,225		
		<b>Curtosis</b>	.			
		<b>10</b>	<b>10</b>	<b>Media</b>	922,6467	12,92982
				<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	867,0141
<b>Límite superior</b>	978,2792					
<b>Media recortada al 5%</b>	.					
<b>Mediana</b>	919,0300					
<b>Varianza</b>	501,541					
<b>Desviación estándar</b>	22,39511					
<b>Mínimo</b>	902,28					
<b>Máximo</b>	946,63					
<b>Rango</b>	44,35					
<b>Rango intercuartil</b>	.					
<b>Asimetría</b>	,708			1,225		
<b>Curtosis</b>	.					
<b>20</b>	<b>20</b>			<b>Media</b>	878,0467	14,49130
				<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	815,6956
		<b>Límite superior</b>	940,3977			
		<b>Media recortada al 5%</b>	.			
		<b>Mediana</b>	887,7700			
		<b>Varianza</b>	629,993			
		<b>Desviación estándar</b>	25,09967			

		<b>Mínimo</b>	849,54	
		<b>Máximo</b>	896,83	
		<b>Rango</b>	47,29	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	
		<b>Asimetría</b>	-1,482	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	
	30	<b>Media</b>	709,2000	7,47879
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	677,0214 741,3786
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	
		<b>Mediana</b>	705,6100	
		<b>Varianza</b>	167,797	
		<b>Desviación estándar</b>	12,95364	
		<b>Mínimo</b>	698,42	
		<b>Máximo</b>	723,57	
		<b>Rango</b>	25,15	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	
		<b>Asimetría</b>	1,151	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	
<b>Estabilidad (kg) - RAP "B"</b>	0	<b>Media</b>	1008,0733	12,96336
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	952,2965 1063,8502
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	
		<b>Mediana</b>	1012,4900	
		<b>Varianza</b>	504,146	
		<b>Desviación estándar</b>	22,45319	
		<b>Mínimo</b>	983,74	
		<b>Máximo</b>	1027,99	
		<b>Rango</b>	44,25	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	
		<b>Asimetría</b>	-,851	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	
	10	<b>Media</b>	902,8700	14,24915
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	841,5609 964,1791
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	
		<b>Mediana</b>	912,9800	
		<b>Varianza</b>	609,115	
		<b>Desviación estándar</b>	24,68025	
		<b>Mínimo</b>	874,74	
		<b>Máximo</b>	920,89	
		<b>Rango</b>	46,15	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	
		<b>Asimetría</b>	-1,534	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	
	20	<b>Media</b>	844,6000	14,17107
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	783,6268 905,5732
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	
		<b>Mediana</b>	851,0300	
		<b>Varianza</b>	602,458	
		<b>Desviación estándar</b>	24,54501	
		<b>Mínimo</b>	817,48	
		<b>Máximo</b>	865,29	
		<b>Rango</b>	47,81	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	
		<b>Asimetría</b>	-1,098	1,225

		<b>Curtosis</b>		
30		<b>Media</b>	718,5900	11,24426
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	670,2098 766,9702
		<b>Media recortada al 5%</b>		
		<b>Mediana</b>	716,6100	
		<b>Varianza</b>	379,300	
		<b>Desviación estándar</b>	19,47563	
		<b>Mínimo</b>	700,18	
		<b>Máximo</b>	738,98	
		<b>Rango</b>	38,80	
		<b>Rango intercuartil</b>		
		<b>Asimetría</b>	,453	1,225
		<b>Curtosis</b>		
<b>Estabilidad (kg) - RAP "C"</b>	0	<b>Media</b>	1008,7933	10,44135
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	963,8678 1053,7188
		<b>Media recortada al 5%</b>		
		<b>Mediana</b>	1010,4200	
		<b>Varianza</b>	327,065	
		<b>Desviación estándar</b>	18,08495	
		<b>Mínimo</b>	989,95	
		<b>Máximo</b>	1026,01	
		<b>Rango</b>	36,06	
		<b>Rango intercuartil</b>		
		<b>Asimetría</b>	-,401	1,225
		<b>Curtosis</b>		
10		<b>Media</b>	876,0800	14,67004
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	812,9599 939,2001
		<b>Media recortada al 5%</b>		
		<b>Mediana</b>	880,3400	
		<b>Varianza</b>	645,630	
		<b>Desviación estándar</b>	25,40926	
		<b>Mínimo</b>	848,81	
		<b>Máximo</b>	899,09	
		<b>Rango</b>	50,28	
		<b>Rango intercuartil</b>		
		<b>Asimetría</b>	-,733	1,225
		<b>Curtosis</b>		
20		<b>Media</b>	774,6900	11,54949
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	724,9965 824,3835
		<b>Media recortada al 5%</b>		
		<b>Mediana</b>	782,0900	
		<b>Varianza</b>	400,173	
		<b>Desviación estándar</b>	20,00431	
		<b>Mínimo</b>	752,04	
		<b>Máximo</b>	789,94	
		<b>Rango</b>	37,90	
		<b>Rango intercuartil</b>		
		<b>Asimetría</b>	-1,437	1,225
		<b>Curtosis</b>		
30		<b>Media</b>	684,3000	13,97978
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	624,1499 744,4501
		<b>Media recortada al 5%</b>		

		<b>Mediana</b>	683,3600		
		<b>Varianza</b>	586,303		
		<b>Desviación estándar</b>	24,21369		
		<b>Mínimo</b>	660,57		
		<b>Máximo</b>	708,97		
		<b>Rango</b>	48,40		
		<b>Rango intercuartil</b>	.		
		<b>Asimetría</b>	,174	1,225	
		<b>Curtosis</b>	.	.	
<b>Estabilidad (kg) - RAP "D"</b>	<b>0</b>	<b>Media</b>	1008,0100	14,84852	
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	944,1220 1071,8980	
			<b>Media recortada al 5%</b>	.	
			<b>Mediana</b>	1010,4700	
			<b>Varianza</b>	661,436	
			<b>Desviación estándar</b>	25,71839	
			<b>Mínimo</b>	981,15	
			<b>Máximo</b>	1032,41	
			<b>Rango</b>	51,26	
			<b>Rango intercuartil</b>	.	
			<b>Asimetría</b>	-,426	1,225
			<b>Curtosis</b>	.	.
		<b>10</b>	<b>Media</b>	828,2600	14,32090
			<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	766,6421 889,8779
			<b>Media recortada al 5%</b>	.	
			<b>Mediana</b>	824,6800	
			<b>Varianza</b>	615,264	
			<b>Desviación estándar</b>	24,80452	
			<b>Mínimo</b>	805,44	
			<b>Máximo</b>	854,66	
		<b>Rango</b>	49,22		
		<b>Rango intercuartil</b>	.		
		<b>Asimetría</b>	,636	1,225	
		<b>Curtosis</b>	.	.	
	<b>20</b>	<b>Media</b>	745,3100	13,80084	
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	685,9298 804,6902	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.		
		<b>Mediana</b>	747,9400		
		<b>Varianza</b>	571,390		
		<b>Desviación estándar</b>	23,90376		
		<b>Mínimo</b>	720,20		
		<b>Máximo</b>	767,79		
		<b>Rango</b>	47,59		
		<b>Rango intercuartil</b>	.		
		<b>Asimetría</b>	-,489	1,225	
		<b>Curtosis</b>	.	.	
	<b>30</b>	<b>Media</b>	693,0633	10,66377	
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	647,1809 738,9458	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.		
		<b>Mediana</b>	688,9300		
		<b>Varianza</b>	341,148		
		<b>Desviación estándar</b>	18,47018		
		<b>Mínimo</b>	677,01		
		<b>Máximo</b>	713,25		

<i>Rango</i>	36,24	
<i>Rango intercuartil</i>	.	
<i>Asimetría</i>	,957	1,225
<i>Curtosis</i>	.	.

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

▪ **Distribución paramétrica:**

Para determinar la distribución de los resultados de estabilidad al emplear diferentes porcentajes de RAP, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de estabilidad ante los diferentes porcentajes de RAP empleados pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de estabilidad ante los diferentes porcentajes de RAP empleados no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se obtiene que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde cada significancia resultante es mayor al máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de RAP” en función de la variable dependiente “estabilidad”.

Tabla 40. Distribución paramétrica para estabilidad al emplear RAP

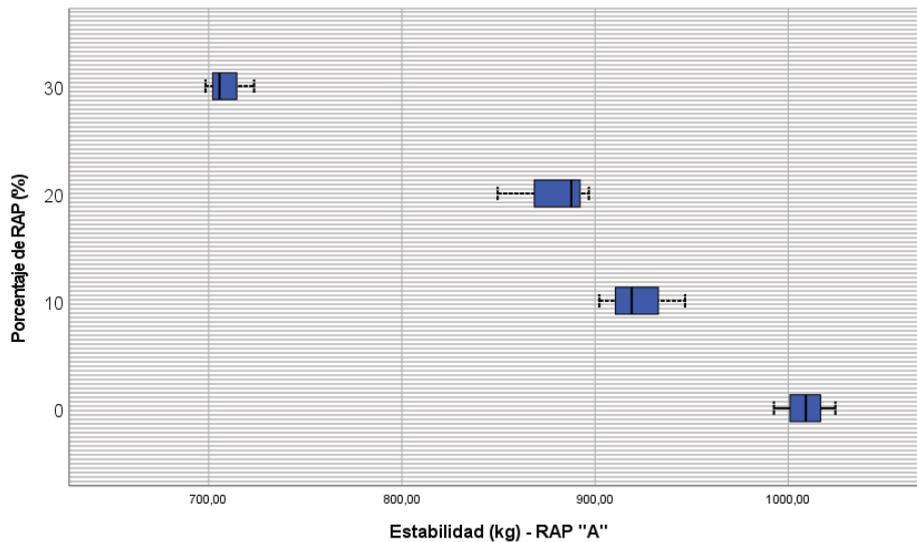
Porcentaje de RAP (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<i>Estabilidad (kg) - RAP "A"</i>						
0	,178	3	.	1,000	3	,957
10	,231	3	.	,980	3	,732
20	,317	3	.	,887	3	,347
30	,276	3	.	,942	3	,537
<i>Estabilidad (kg) - RAP "B"</i>						
0	,245	3	.	,971	3	,673
10	,326	3	.	,874	3	,307
20	,270	3	.	,949	3	,563
30	,207	3	.	,992	3	,832
<i>Estabilidad (kg) - RAP "C"</i>						
0	,203	3	.	,994	3	,851
10	,233	3	.	,979	3	,722
20	,311	3	.	,897	3	,377
30	,182	3	.	,999	3	,936
<i>Estabilidad (kg) - RAP "D"</i>						
0	,205	3	.	,993	3	,842
10	,224	3	.	,984	3	,761
20	,210	3	.	,991	3	,818
30	,255	3	.	,962	3	,628

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

- **Gráfica de cajas:**

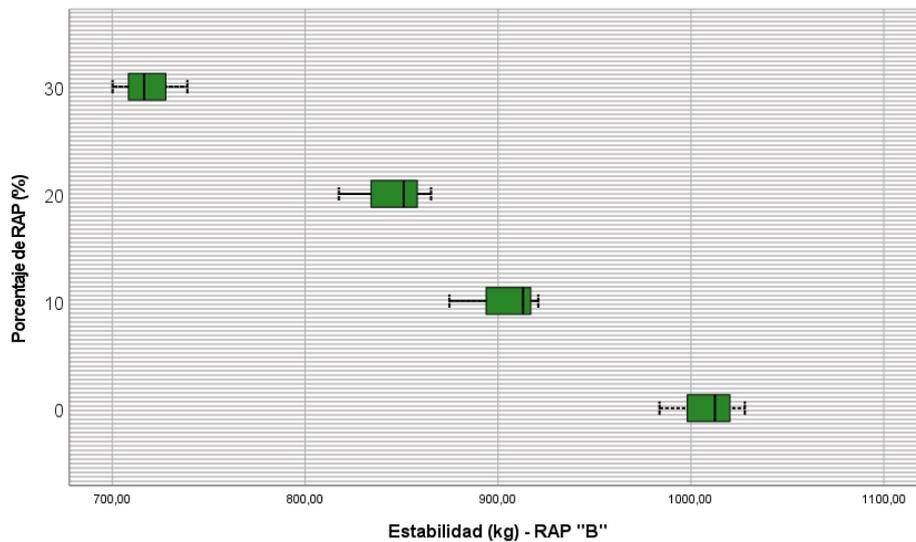
En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de estabilidad del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP "A", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Figura 49. Gráfica de cajas para estabilidad al emplear RAP "A"*

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

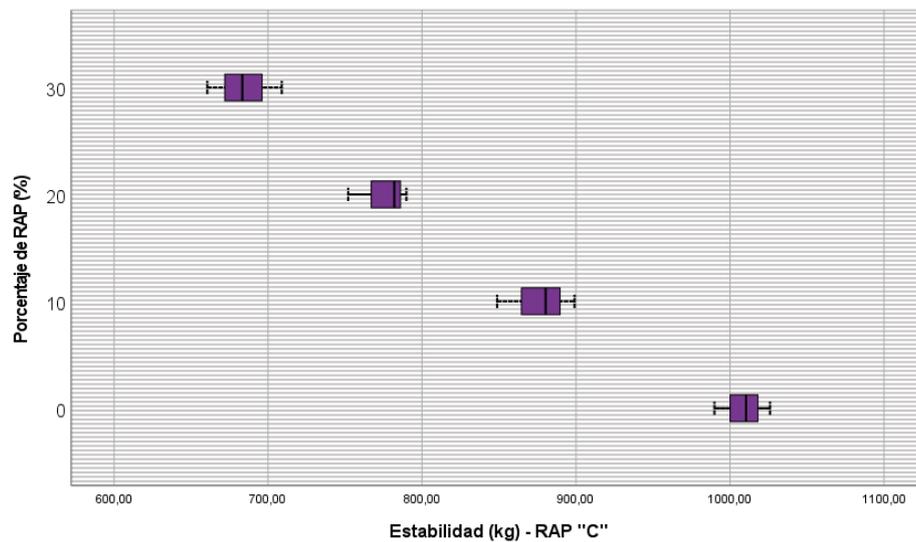
En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de estabilidad del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP "B", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Figura 50. Gráfica de cajas para estabilidad al emplear RAP "B"*

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de estabilidad del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP "C", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Figura 51. Gráfica de cajas para estabilidad al emplear RAP "C"*

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de estabilidad del ensayo de Marshall de las muestras al emplear

el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP “D”, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.

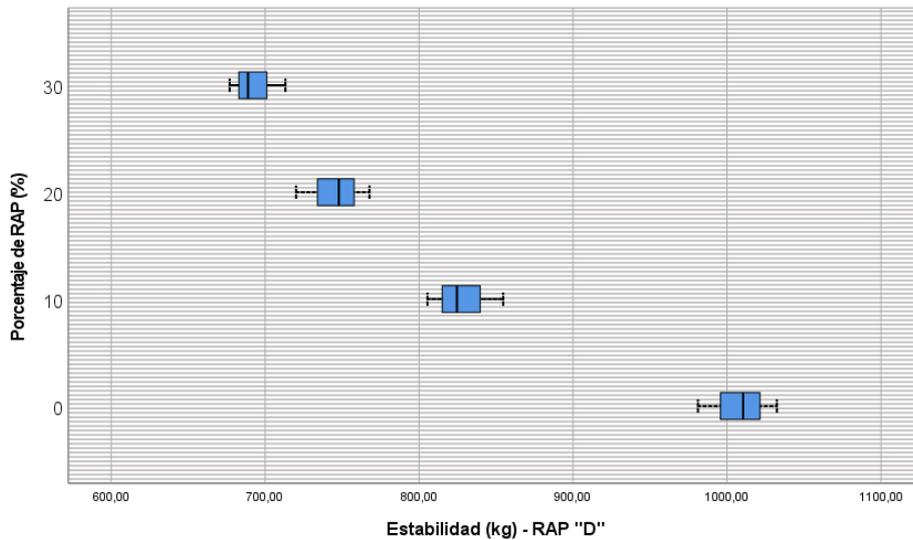


Figura 52. Gráfica de cajas para estabilidad al emplear RAP “D”

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

▪ **Prueba bivariada Pearson:**

Para la distribución de datos normal de los resultados de estabilidad al emplear el RAP “A” en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.957 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “estabilidad” y la variable independiente “porcentaje de RAP “A”” es negativa muy alta.

Tabla 41. Prueba bivariada para estabilidad al emplear RAP “A”

		Porcentaje de RAP (%)	Estabilidad (kg) - RAP "A"
Porcentaje de RAP (%)	Correlación de Pearson	1	-.957**
	Sig. (bilateral)		<.001
	N	12	12
Estabilidad (kg) - RAP "A"	Correlación de Pearson	-.957**	1
	Sig. (bilateral)	<.001	
	N	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

Para la distribución de datos normal de los resultados de estabilidad al emplear el RAP “B” en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.976 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “estabilidad” y la variable independiente “porcentaje de RAP “B”” es negativa muy alta.

*Tabla 42. Prueba bivariada para estabilidad al emplear RAP “B”*

		Porcentaje de RAP (%)	Estabilidad (kg) - RAP “B”
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-.976**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>Estabilidad (kg) - RAP “B”</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-.976**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

Para la distribución de datos normal de los resultados de estabilidad al emplear el RAP “C” en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.985 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “estabilidad” y la variable independiente “porcentaje de RAP “C”” es negativa muy alta.

*Tabla 43. Prueba bivariada para estabilidad al emplear RAP “C”*

		Porcentaje de RAP (%)	Estabilidad (kg) - RAP “C”
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-.985**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>Estabilidad (kg) - RAP “C”</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-.985**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

Para la distribución de datos normal de los resultados de estabilidad al emplear el RAP “D” en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.950 lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “estabilidad” y la variable independiente “porcentaje de RAP “D”” es negativa muy alta.

*Tabla 44. Prueba bivariada para estabilidad al emplear RAP “D”*

		Porcentaje de RAP (%)	Estabilidad (kg) - RAP “D”
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-.950**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>Estabilidad (kg) - RAP “D”</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-.950**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

- **Diagrama de burbujas:**

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con las líneas y ecuaciones de ajuste resultantes del análisis de la distribución normal de la estabilidad entre las diferentes muestras al emplear diferentes porcentajes de RAP, observando un comportamiento inversamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.979 al emplear RAP “A”, un R2 igual a 0.969 al emplear RAP “B”, un R2 igual a 0.978 al emplear RAP “C” y un R2 igual a 0.975 al emplear RAP “D”.

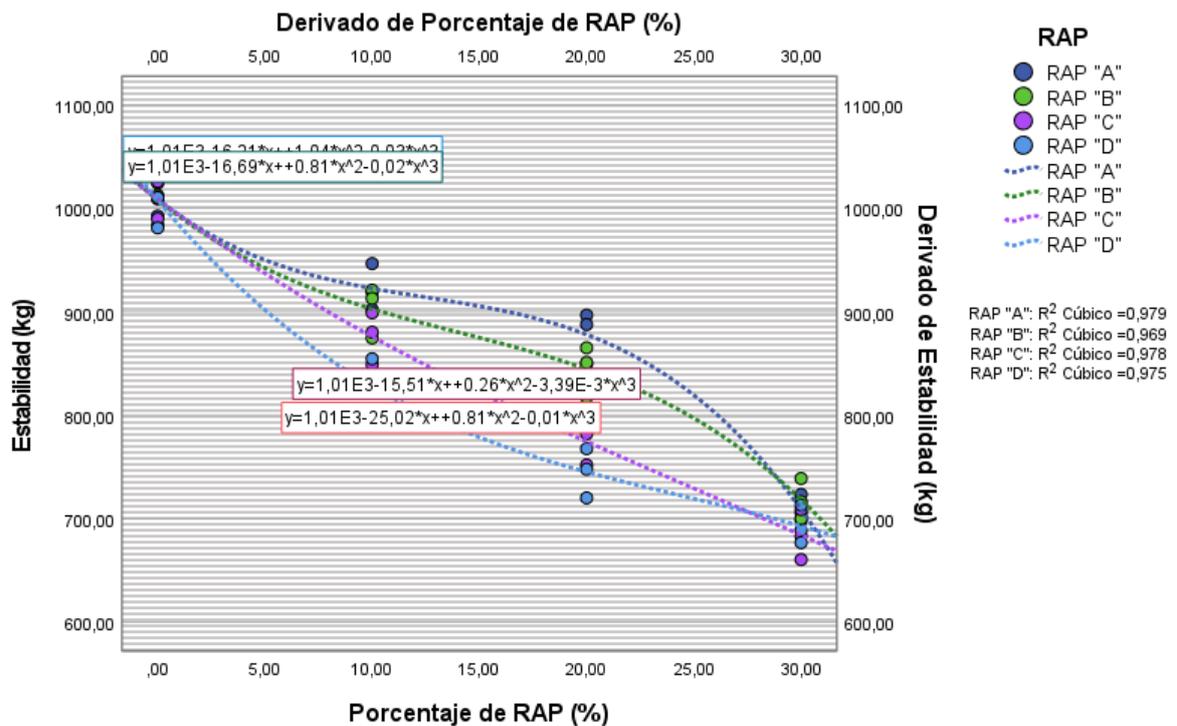


Figura 53. Diagrama burbujas para estabilidad al emplear RAP

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

#### 4.8.2. Análisis de flujo (mm) al emplear RAP (%)

- **Detallado estadístico:**

En el siguiente esquema estadístico se presentan los detallados resultantes de flujo del ensayo de Marshall en relación con diferentes porcentajes de RAP empleado en 0%, 10%, 20% y 30%, presentando en la siguiente tabla los resultados al utilizar el RAP "A", RAP "B", RAP "C" y RAP "D".

Tabla 45. Detallado estadístico para flujo al emplear RAP

Porcentaje de RAP (%)		Estadístico	Error estándar	
Flujo (mm) - RAP "A"	0	<b>Media</b>	2,6100	,13229
	95% de intervalo de confianza para la media	<b>Límite inferior</b>	2,0408	
		<b>Límite superior</b>	3,1792	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		2,6600	
	<b>Varianza</b>		,053	
	<b>Desviación estándar</b>		,22913	
	<b>Mínimo</b>		2,36	
	<b>Máximo</b>		2,81	
	<b>Rango</b>		,45	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		-,935	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.
	10		<b>Media</b>	2,7700
95% de intervalo de confianza para la media		<b>Límite inferior</b>	2,2980	
		<b>Límite superior</b>	3,2420	
<b>Media recortada al 5%</b>		.		
<b>Mediana</b>		2,7700		
<b>Varianza</b>		,036		
<b>Desviación estándar</b>		,19000		
<b>Mínimo</b>		2,58		
<b>Máximo</b>		2,96		
<b>Rango</b>		,38		
<b>Rango intercuartil</b>		.		
<b>Asimetría</b>		,000	1,225	
<b>Curtosis</b>		.	.	
20			<b>Media</b>	2,9933
	95% de intervalo de confianza para la media	<b>Límite inferior</b>	2,5205	
		<b>Límite superior</b>	3,4662	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		2,9800	
	<b>Varianza</b>		,036	
	<b>Desviación estándar</b>		,19035	
	<b>Mínimo</b>		2,81	
	<b>Máximo</b>		3,19	
	<b>Rango</b>		,38	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		,314	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.
	30		<b>Media</b>	3,0967
95% de intervalo de confianza para la media		<b>Límite inferior</b>	2,5965	
		<b>Límite superior</b>	3,5968	
<b>Media recortada al 5%</b>		.		
<b>Mediana</b>		3,0700		
<b>Varianza</b>		,041		
<b>Desviación estándar</b>		,20133		
<b>Mínimo</b>		2,91		
<b>Máximo</b>		3,31		
<b>Rango</b>		,40		
<b>Rango intercuartil</b>		.		
<b>Asimetría</b>		,586	1,225	
<b>Curtosis</b>		.	.	

<b>Flujo (mm) - RAP "B"</b>	<b>0</b>	<b>Media</b>		2,6400	,09074
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,2496	
			<b>Límite superior</b>	3,0304	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		2,6100	
		<b>Varianza</b>		,025	
		<b>Desviación estándar</b>		,15716	
		<b>Mínimo</b>		2,50	
		<b>Máximo</b>		2,81	
		<b>Rango</b>		,31	
		<b>Rango intercuartil</b>		.	
		<b>Asimetría</b>		,828	1,225
		<b>Curtosis</b>		.	.
		<b>10</b>	<b>Media</b>		3,0333
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,5853	
			<b>Límite superior</b>	3,4814	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		3,0200	
		<b>Varianza</b>		,033	
		<b>Desviación estándar</b>		,18037	
		<b>Mínimo</b>		2,86	
		<b>Máximo</b>		3,22	
		<b>Rango</b>		,36	
		<b>Rango intercuartil</b>		.	
		<b>Asimetría</b>		,331	1,225
		<b>Curtosis</b>		.	.
	<b>20</b>	<b>Media</b>		3,2467	,11566
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,7490	
			<b>Límite superior</b>	3,7443	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		3,2600	
		<b>Varianza</b>		,040	
		<b>Desviación estándar</b>		,20033	
		<b>Mínimo</b>		3,04	
		<b>Máximo</b>		3,44	
		<b>Rango</b>		,40	
		<b>Rango intercuartil</b>		.	
		<b>Asimetría</b>		-,298	1,225
		<b>Curtosis</b>		.	.
	<b>30</b>	<b>Media</b>		3,5633	,10414
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	3,1153	
			<b>Límite superior</b>	4,0114	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		3,5500	
		<b>Varianza</b>		,033	
		<b>Desviación estándar</b>		,18037	
		<b>Mínimo</b>		3,39	
		<b>Máximo</b>		3,75	
		<b>Rango</b>		,36	
		<b>Rango intercuartil</b>		.	
		<b>Asimetría</b>		,331	1,225
		<b>Curtosis</b>		.	.
<b>Flujo (mm) - RAP "C"</b>	<b>0</b>	<b>Media</b>		2,5967	,11289
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,1109	
			<b>Límite superior</b>	3,0824	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	

		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,1109	
			<b>Límite superior</b>	3,0824	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		2,6500	
		<b>Varianza</b>		,038	
		<b>Desviación estándar</b>		,19553	
		<b>Mínimo</b>		2,38	
		<b>Máximo</b>		2,76	
		<b>Rango</b>		,38	
		<b>Rango intercuartil</b>		.	
		<b>Asimetría</b>		-1,136	1,225
		<b>Curtosis</b>		.	.
	<b>10</b>	<b>Media</b>		2,9167	,12991
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,3577	
			<b>Límite superior</b>	3,4756	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		2,8400	
		<b>Varianza</b>		,051	
		<b>Desviación estándar</b>		,22502	
		<b>Mínimo</b>		2,74	
		<b>Máximo</b>		3,17	
		<b>Rango</b>		,43	
		<b>Rango intercuartil</b>		.	
		<b>Asimetría</b>		1,355	1,225
		<b>Curtosis</b>		.	.
	<b>20</b>	<b>Media</b>		3,3133	,11977
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,7980	
			<b>Límite superior</b>	3,8287	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		3,3500	
		<b>Varianza</b>		,043	
		<b>Desviación estándar</b>		,20744	
		<b>Mínimo</b>		3,09	
		<b>Máximo</b>		3,50	
		<b>Rango</b>		,41	
		<b>Rango intercuartil</b>		.	
		<b>Asimetría</b>		-,771	1,225
		<b>Curtosis</b>		.	.
	<b>30</b>	<b>Media</b>		3,9267	,07860
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	3,5885	
			<b>Límite superior</b>	4,2649	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		3,8800	
		<b>Varianza</b>		,019	
		<b>Desviación estándar</b>		,13614	
		<b>Mínimo</b>		3,82	
		<b>Máximo</b>		4,08	
		<b>Rango</b>		,26	
		<b>Rango intercuartil</b>		.	
		<b>Asimetría</b>		1,361	1,225
		<b>Curtosis</b>		.	.
	<b>Flujo (mm) - RAP "D" 0</b>	<b>Media</b>		2,5967	,06642
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,3109	
			<b>Límite superior</b>	2,8824	
		<b>Media recortada al 5%</b>		.	
		<b>Mediana</b>		2,6000	

	<b>Varianza</b>		,013	
	<b>Desviación estándar</b>		,11504	
	<b>Mínimo</b>		2,48	
	<b>Máximo</b>		2,71	
	<b>Rango</b>		,23	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		-,130	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.
10	<b>Media</b>		3,0933	,11260
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	2,6089	
		<b>Límite superior</b>	3,5778	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		3,0900	
	<b>Varianza</b>		,038	
	<b>Desviación estándar</b>		,19502	
	<b>Mínimo</b>		2,90	
	<b>Máximo</b>		3,29	
	<b>Rango</b>		,39	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		,077	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.
20	<b>Media</b>		3,7367	,11050
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	3,2612	
		<b>Límite superior</b>	4,2121	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		3,7100	
	<b>Varianza</b>		,037	
	<b>Desviación estándar</b>		,19140	
	<b>Mínimo</b>		3,56	
	<b>Máximo</b>		3,94	
	<b>Rango</b>		,38	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		,615	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.
30	<b>Media</b>		4,2400	,12767
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	3,6907	
		<b>Límite superior</b>	4,7893	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		4,1600	
	<b>Varianza</b>		,049	
	<b>Desviación estándar</b>		,22113	
	<b>Mínimo</b>		4,07	
	<b>Máximo</b>		4,49	
	<b>Rango</b>		,42	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		1,415	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	.

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

▪ **Distribución paramétrica:**

Para determinar la distribución de los resultados de flujo al emplear diferentes porcentajes de RAP, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de flujo ante los diferentes porcentajes de RAP empleados pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de flujo ante los diferentes porcentajes de RAP empleados no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico se obtiene que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde cada significancia resultante es mayor al máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de RAP” en función de la variable dependiente “flujo”.

*Tabla 46. Distribución paramétrica para flujo al emplear RAP*

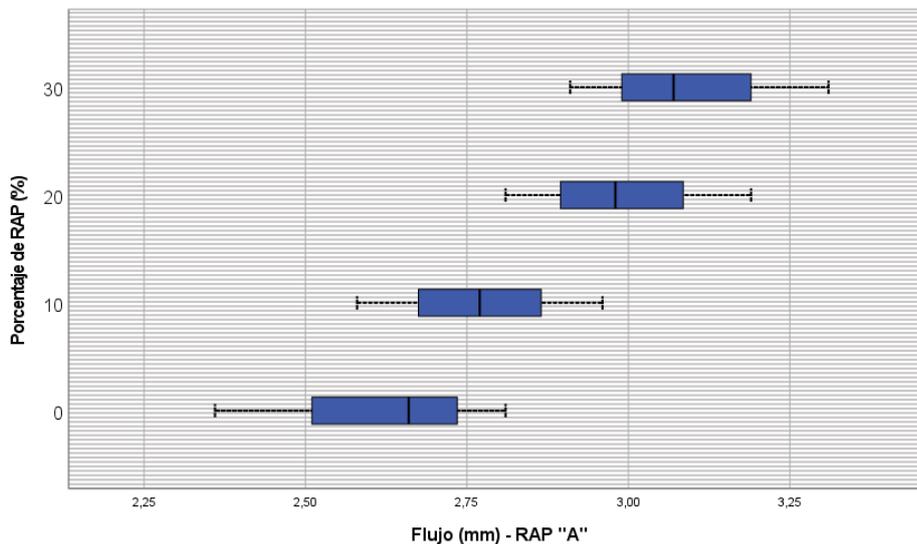
Porcentaje de RAP (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Flujo (mm) - RAP "A"</b>						
0	,253	3	.	,964	3	,637
10	,175	3	.	1,000	3	1,000
20	,195	3	.	,996	3	,884
30	,219	3	.	,987	3	,780
<b>Flujo (mm) - RAP "B"</b>						
0	,242	3	.	,973	3	,683
10	,196	3	.	,996	3	,878
20	,193	3	.	,997	3	,890
30	,196	3	.	,996	3	,878
<b>Flujo (mm) - RAP "C"</b>						
0	,274	3	.	,944	3	,545
10	,300	3	.	,913	3	,428
20	,237	3	.	,977	3	,706
30	,301	3	.	,912	3	,424
<b>Flujo (mm) - RAP "D"</b>						
0	,178	3	.	,999	3	,952
10	,177	3	.	1,000	3	,972
20	,222	3	.	,985	3	,769
30	,308	3	.	,902	3	,391

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

▪ **Gráfica de cajas:**

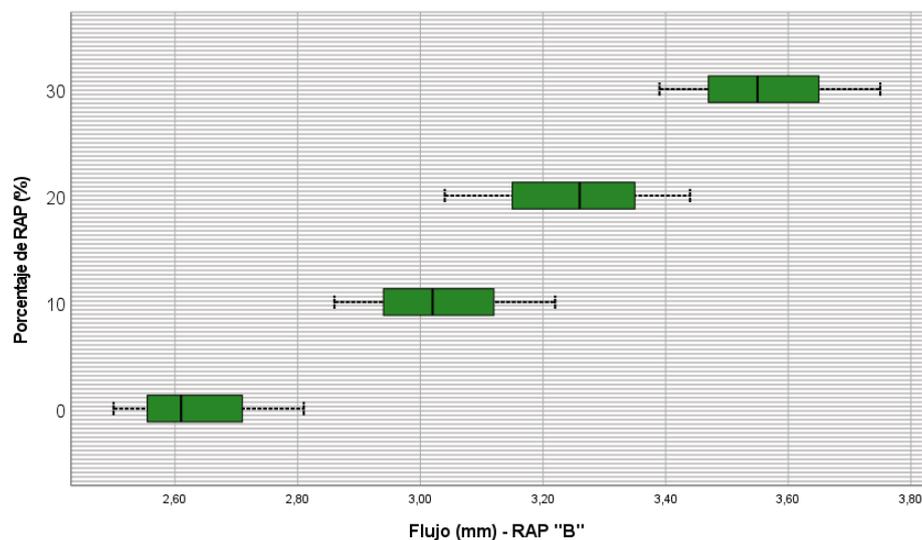
En el siguiente diagrama estadístico se aprecia la dispersión para los resultados de flujo del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP “A”, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Figura 54. Gráfica de cajas para flujo al emplear RAP "A"*

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

En el siguiente diagrama estadístico se aprecia la dispersión para los resultados de flujo del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP "B", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Figura 55. Gráfica de cajas para flujo al emplear RAP "B"*

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de flujo del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%,

10%, 20% y 30% de RAP "C", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.

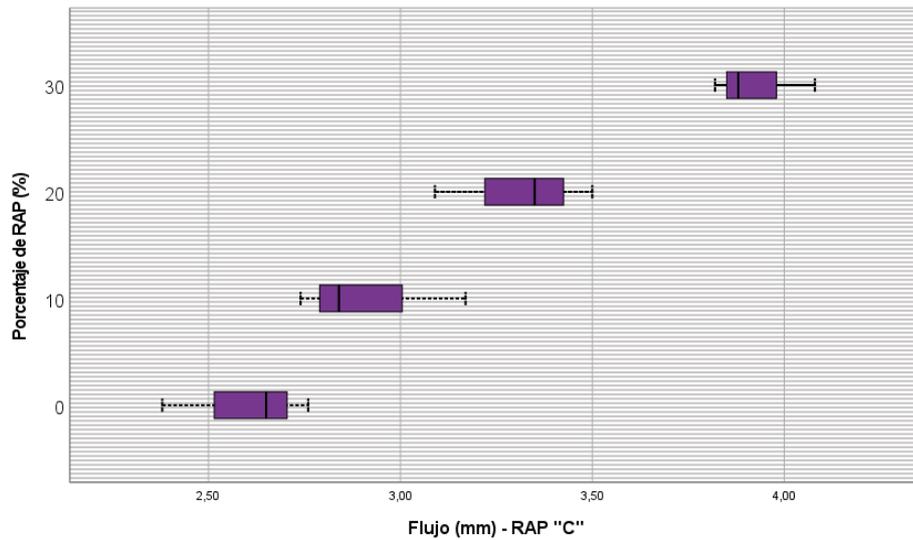


Figura 56. Gráfica de cajas para flujo al emplear RAP "C"

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de flujo del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP "D", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.

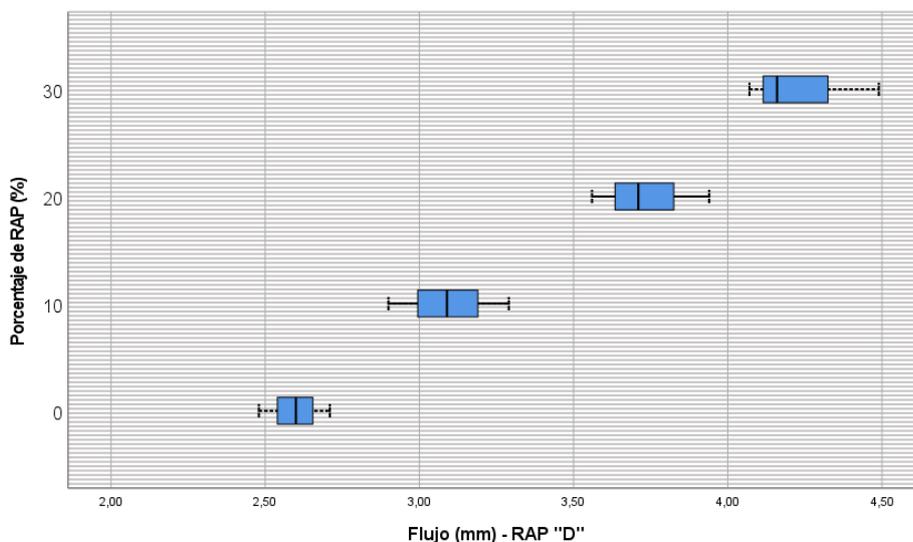


Figura 57. Gráfica de cajas para flujo al emplear RAP "D"

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

- **Prueba bivariada Pearson:**

Para la distribución de datos normal de los resultados de flujo al emplear el RAP "A" en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de 0.746, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente "flujo" y la variable independiente "porcentaje de RAP "A"" es positiva alta.

Tabla 47. Prueba bivariada para flujo al emplear RAP "A"

		Porcentaje de RAP (%)	Flujo (mm) - RAP "A"
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	,746**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		,005
	<b>N</b>	12	12
<b>Flujo (mm) - RAP "A"</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	,746**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	,005	
	<b>N</b>	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

Para la distribución de datos normal de los resultados de flujo al emplear el RAP "B" en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de 0.910, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente "flujo" y la variable independiente "porcentaje de RAP "B"" es positiva muy alta.

Tabla 48. Prueba bivariada para flujo al emplear RAP "B"

		Porcentaje de RAP (%)	Flujo (mm) - RAP "B"
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	,910**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>Flujo (mm) - RAP "B"</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	,910**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

Para la distribución de datos normal de los resultados de flujo al emplear el RAP “C” en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de 0.942, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “flujo” y la variable independiente “porcentaje de RAP “C”” es positiva muy alta.

Tabla 49. Prueba bivariada para flujo al emplear RAP “C”

		Porcentaje de RAP (%)	Flujo (mm) - RAP “C”
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	,942**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>Flujo (mm) - RAP “C”</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	,942**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

Para la distribución de datos normal de los resultados de flujo al emplear el RAP “D” en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de 0.971, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente “flujo” y la variable independiente “porcentaje de RAP “D”” es positiva muy alta.

Tabla 50. Prueba bivariada para flujo al emplear RAP “D”

		Porcentaje de RAP (%)	Flujo (mm) - RAP “D”
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	,971**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>Flujo (mm) - RAP “D”</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	,971**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

- **Diagrama de burbujas:**

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con las líneas y ecuaciones de ajuste resultantes del análisis de la distribución normal del flujo entre las diferentes muestras al emplear diferentes porcentajes de RAP, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.567 al emplear RAP "A", un R2 igual a 0.839 al emplear RAP "B", un R2 igual a 0.908 al emplear RAP "C" y un R2 igual a 0.945 al emplear RAP "D".

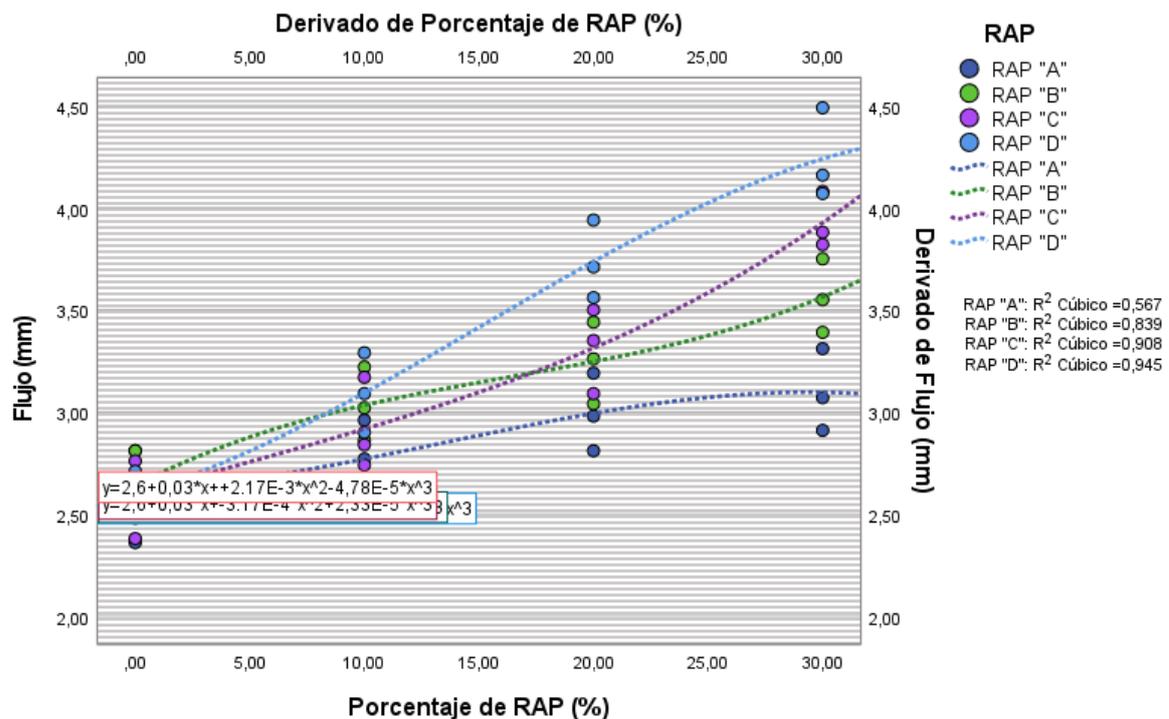


Figura 58. Diagrama burbujas para flujo al emplear RAP

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

#### 4.8.3. Análisis de TSR (%) al emplear RAP (%)

- **Detallado estadístico:**

En el siguiente esquema estadístico, se presentan los detallados resultantes de TSR del ensayo de resistencia al daño por humedad en relación con diferentes porcentajes de RAP empleado en 0%, 10%, 20% y 30%, presentando en la siguiente tabla los resultados al utilizar el RAP "A", RAP "B", RAP "C" y RAP "D".

Tabla 51. Detallado estadístico para TSR al emplear RAP

<b>Porcentaje de RAP (%)</b>		<b>Estadístico</b>	<b>Error estándar</b>	
<b>TSR (%) - RAP "A" 0</b>	<b>Media</b>	70,4467	1,51169	
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	63,9424	
		<b>Límite superior</b>	76,9510	
	<b>Media recortada al 5%</b>	.		
	<b>Mediana</b>	69,6900		
	<b>Varianza</b>	6,856		
	<b>Desviación estándar</b>	2,61833		
	<b>Mínimo</b>	68,29		

	<b>Máximo</b>		73,36	
	<b>Rango</b>		5,07	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		1,192	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	
<b>10</b>	<b>Media</b>		66,5233	1,33192
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	60,7925	
		<b>Límite superior</b>	72,2541	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		66,7300	
	<b>Varianza</b>		5,322	
	<b>Desviación estándar</b>		2,30695	
	<b>Mínimo</b>		64,12	
	<b>Máximo</b>		68,72	
	<b>Rango</b>		4,60	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		-,400	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	
<b>20</b>	<b>Media</b>		56,7800	1,26996
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	51,3158	
		<b>Límite superior</b>	62,2442	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		57,2600	
	<b>Varianza</b>		4,838	
	<b>Desviación estándar</b>		2,19964	
	<b>Mínimo</b>		54,38	
	<b>Máximo</b>		58,70	
	<b>Rango</b>		4,32	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		-,935	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	
<b>30</b>	<b>Media</b>		51,0433	1,80596
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	43,2729	
		<b>Límite superior</b>	58,8137	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		50,5200	
	<b>Varianza</b>		9,784	
	<b>Desviación estándar</b>		3,12801	
	<b>Mínimo</b>		48,21	
	<b>Máximo</b>		54,40	
	<b>Rango</b>		6,19	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		,732	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	
<b>TSR (%) - RAP "B" 0</b>	<b>Media</b>		70,4667	1,69039
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	63,1935	
		<b>Límite superior</b>	77,7398	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		69,6000	
	<b>Varianza</b>		8,572	
	<b>Desviación estándar</b>		2,92784	
	<b>Mínimo</b>		68,07	
	<b>Máximo</b>		73,73	
	<b>Rango</b>		5,66	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	

		<b>Asimetría</b>	1,215	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	.
<b>10</b>		<b>Media</b>	65,6900	1,32247
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	
			59,9999 71,3801	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	.
		<b>Mediana</b>	65,7500	
		<b>Varianza</b>	5,247	
		<b>Desviación estándar</b>	2,29059	
		<b>Mínimo</b>	63,37	
		<b>Máximo</b>	67,95	
		<b>Rango</b>	4,58	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	.
		<b>Asimetría</b>	-,118	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	.
<b>20</b>		<b>Media</b>	54,1967	1,49075
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	
			47,7825 60,6109	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	.
		<b>Mediana</b>	54,8200	
		<b>Varianza</b>	6,667	
		<b>Desviación estándar</b>	2,58206	
		<b>Mínimo</b>	51,36	
		<b>Máximo</b>	56,41	
		<b>Rango</b>	5,05	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	.
		<b>Asimetría</b>	-1,023	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	.
<b>30</b>		<b>Media</b>	46,1367	1,60609
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	
			39,2262 53,0471	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	.
		<b>Mediana</b>	45,0900	
		<b>Varianza</b>	7,739	
		<b>Desviación estándar</b>	2,78182	
		<b>Mínimo</b>	44,03	
		<b>Máximo</b>	49,29	
		<b>Rango</b>	5,26	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	.
		<b>Asimetría</b>	1,453	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	.
<b>TSR (%) - RAP "C"</b>	<b>0</b>	<b>Media</b>	70,5000	2,05013
		<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b> <b>Límite superior</b>	
			61,6790 79,3210	
		<b>Media recortada al 5%</b>	.	.
		<b>Mediana</b>	71,0400	
		<b>Varianza</b>	12,609	
		<b>Desviación estándar</b>	3,55093	
		<b>Mínimo</b>	66,71	
		<b>Máximo</b>	73,75	
		<b>Rango</b>	7,04	
		<b>Rango intercuartil</b>	.	.
		<b>Asimetría</b>	-,669	1,225
		<b>Curtosis</b>	.	.

10	<b>Media</b>		64,4100	1,55770
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	57,7078	
		<b>Límite superior</b>	71,1122	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		64,6500	
	<b>Varianza</b>		7,279	
	<b>Desviación estándar</b>		2,69802	
	<b>Mínimo</b>		61,60	
	<b>Máximo</b>		66,98	
	<b>Rango</b>		5,38	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		-.397	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	
	20	<b>Media</b>		51,4700
<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>		<b>Límite inferior</b>	46,4714	
		<b>Límite superior</b>	56,4686	
<b>Media recortada al 5%</b>			.	
<b>Mediana</b>			52,0200	
<b>Varianza</b>			4,049	
<b>Desviación estándar</b>			2,01219	
<b>Mínimo</b>			49,24	
<b>Máximo</b>			53,15	
<b>Rango</b>			3,91	
<b>Rango intercuartil</b>			.	
<b>Asimetría</b>			-1,138	1,225
<b>Curtosis</b>			.	
30		<b>Media</b>		45,3200
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	38,4435	
		<b>Límite superior</b>	52,1965	
	<b>Media recortada al 5%</b>		.	
	<b>Mediana</b>		46,0500	
	<b>Varianza</b>		7,663	
	<b>Desviación estándar</b>		2,76816	
	<b>Mínimo</b>		42,26	
	<b>Máximo</b>		47,65	
	<b>Rango</b>		5,39	
	<b>Rango intercuartil</b>		.	
	<b>Asimetría</b>		-1,104	1,225
	<b>Curtosis</b>		.	
	TSR (%) - RAP "D" 0	<b>Media</b>		70,4633
<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>		<b>Límite inferior</b>	62,2014	
		<b>Límite superior</b>	78,7253	
<b>Media recortada al 5%</b>			.	
<b>Mediana</b>			69,4800	
<b>Varianza</b>			11,061	
<b>Desviación estándar</b>			3,32587	
<b>Mínimo</b>			67,74	
<b>Máximo</b>			74,17	
<b>Rango</b>			6,43	
<b>Rango intercuartil</b>			.	
<b>Asimetría</b>			1,214	1,225
<b>Curtosis</b>			.	
10		<b>Media</b>		66,0333
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	60,2068	
		<b>Límite superior</b>	71,8599	

	<b>Media recortada al 5%</b>		
	<b>Mediana</b>	66,0900	
	<b>Varianza</b>	5,501	
	<b>Desviación estándar</b>	2,34551	
	<b>Mínimo</b>	63,66	
	<b>Máximo</b>	68,35	
	<b>Rango</b>	4,69	
	<b>Rango intercuartil</b>		
	<b>Asimetría</b>	-,109	1,225
	<b>Curtosis</b>		
20	<b>Media</b>	47,0000	1,43438
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	40,8284
		<b>Límite superior</b>	53,1716
	<b>Media recortada al 5%</b>		
	<b>Mediana</b>	47,5400	
	<b>Varianza</b>	6,172	
	<b>Desviación estándar</b>	2,48441	
	<b>Mínimo</b>	44,29	
	<b>Máximo</b>	49,17	
	<b>Rango</b>	4,88	
	<b>Rango intercuartil</b>		
	<b>Asimetría</b>	-,932	1,225
	<b>Curtosis</b>		
30	<b>Media</b>	44,0033	1,48551
	<b>95% de intervalo de confianza para la media</b>	<b>Límite inferior</b>	37,6117
		<b>Límite superior</b>	50,3950
	<b>Media recortada al 5%</b>		
	<b>Mediana</b>	43,3500	
	<b>Varianza</b>	6,620	
	<b>Desviación estándar</b>	2,57298	
	<b>Mínimo</b>	41,82	
	<b>Máximo</b>	46,84	
	<b>Rango</b>	5,02	
	<b>Rango intercuartil</b>		
	<b>Asimetría</b>	1,069	1,225
	<b>Curtosis</b>		

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

▪ **Distribución paramétrica:**

Para determinar la distribución de los resultados de TSR al emplear diferentes porcentajes de RAP se plantean las siguientes hipótesis:

Ho (Hipótesis nula): Los resultados de TSR ante los diferentes porcentajes de RAP empleados pertenecen a una distribución normal.

Ha (Hipótesis alterna): Los resultados de TSR ante los diferentes porcentajes de RAP empleados no pertenecen a una distribución normal.

En el siguiente esquema estadístico, se obtiene que los datos pertenecen a una distribución normal, bajo la interpretación estadística que señala un análisis por Shapiro-Wilk para grados de libertad igual a 3, donde cada significancia resultante es mayor al máximo establecido de 0,05 como valor de referencia. Para la variable independiente “porcentaje de RAP” en función de la variable dependiente “TSR”.

*Tabla 52. Distribución paramétrica para TSR al emplear RAP*

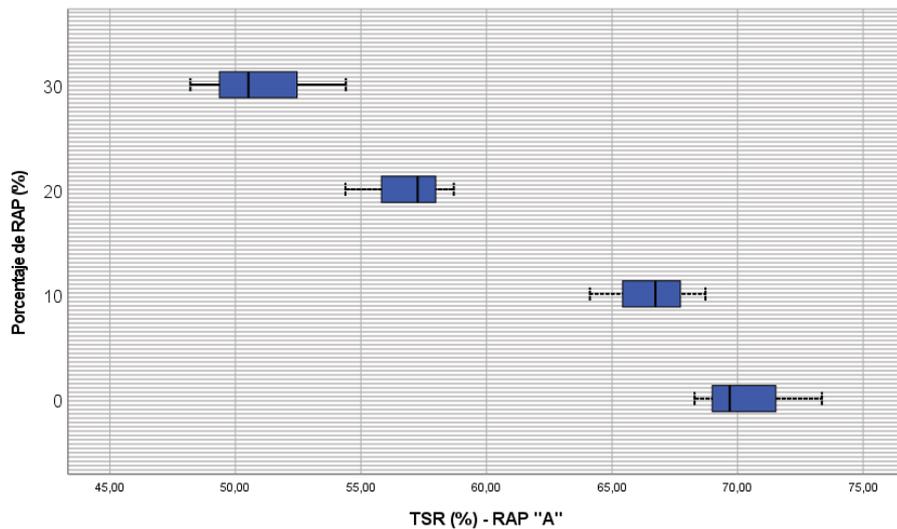
Porcentaje de RAP (%)	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>TSR (%) - RAP "A"</b>						
0	,280	3	.	,937	3	,517
10	,202	3	.	,994	3	,852
20	,253	3	.	,964	3	,637
30	,233	3	.	,979	3	,722
<b>TSR (%) - RAP "B"</b>						
0	,283	3	.	,934	3	,505
10	,178	3	.	,999	3	,957
20	,262	3	.	,956	3	,598
30	,313	3	.	,894	3	,366
<b>TSR (%) - RAP "C"</b>						
0	,227	3	.	,983	3	,748
10	,202	3	.	,994	3	,853
20	,274	3	.	,944	3	,544
30	,271	3	.	,948	3	,560
<b>TSR (%) - RAP "D"</b>						
0	,283	3	.	,934	3	,505
10	,178	3	.	1,000	3	,960
20	,253	3	.	,965	3	,638
30	,267	3	.	,952	3	,577

a. Corrección de significación de Lilliefors

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

▪ **Gráfica de cajas:**

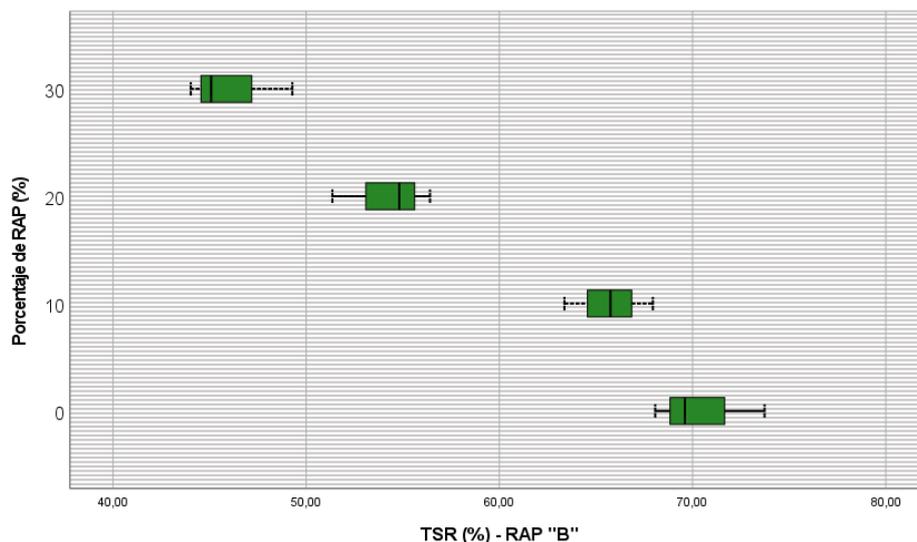
En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de TSR del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP “A”, observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Figura 59. Gráfica de cajas para TSR al emplear RAP "A"*

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de TSR del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP "B", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.



*Figura 60. Gráfica de cajas para TSR al emplear RAP "B"*

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de TSR del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%,

10%, 20% y 30% de RAP "C", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.

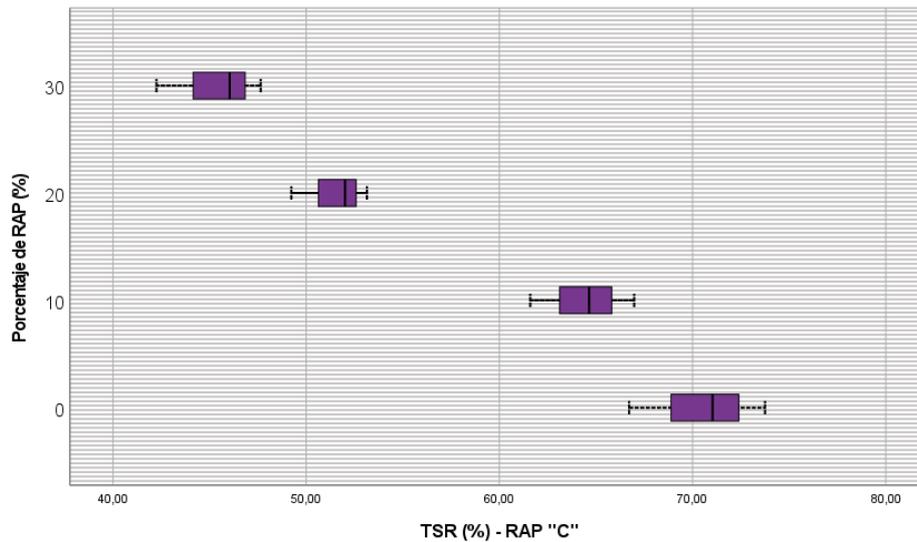


Figura 61. Gráfica de cajas para TSR al emplear RAP "C"

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la dispersión para los resultados de TSR del ensayo de Marshall de las muestras al emplear el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP "D", observando que se cumple con una dispersión dentro de sus rangos.

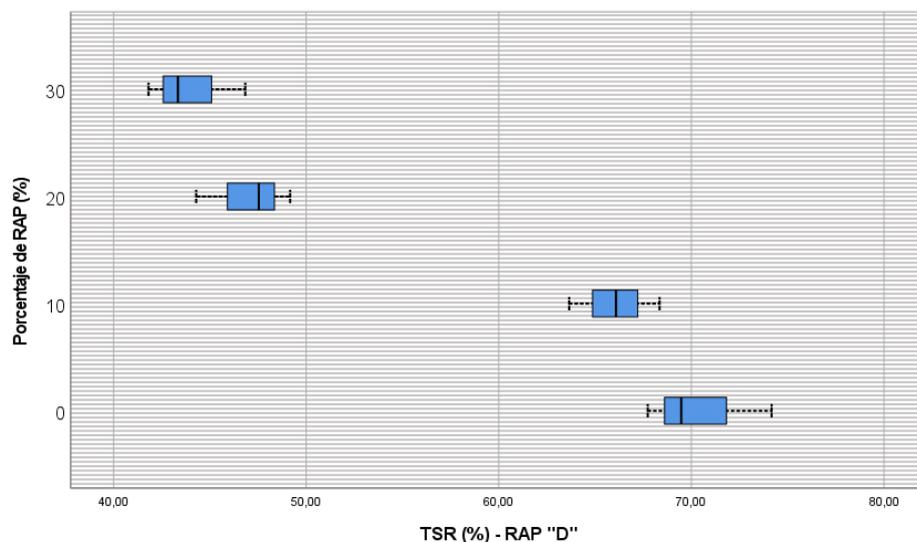


Figura 62. Gráfica de cajas para TSR al emplear RAP "D"

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

▪ **Prueba bivariada Pearson:**

Para la distribución de datos normal de los resultados de TSR al emplear el RAP "A" en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.953, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente "TSR" y la variable independiente "porcentaje de RAP "A"" es negativa muy alta.

*Tabla 53. Prueba bivariada para TSR al emplear RAP "A"*

		Porcentaje de RAP (%)	TSR (%) - RAP "A"
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-.953**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>TSR (%) - RAP "A"</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-.953**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

Para la distribución de datos normal de los resultados de TSR al emplear el RAP "B" en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.965, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente "TSR" y la variable independiente "porcentaje de RAP "B"" es negativa muy alta.

*Tabla 54. Prueba bivariada para TSR al emplear RAP "B"*

		Porcentaje de RAP (%)	TSR (%) - RAP "B"
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-.965**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>TSR (%) - RAP "B"</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-.965**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

Para la distribución de datos normal de los resultados de TSR al emplear el RAP "C" en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.963, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente "TSR" y la variable independiente "porcentaje de RAP "C"" es positiva alta.

*Tabla 55. Prueba bivariada para TSR al emplear RAP "C"*

		<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>TSR (%) - RAP "C"</b>
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-.963**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>TSR (%) - RAP "C"</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-.963**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

Para la distribución de datos normal de los resultados de TSR al emplear el RAP "D" en distintos porcentajes, se realiza la prueba bivariada por Pearson, obteniendo en el siguiente esquema estadístico que el valor de la correlación por Pearson es de -0.937, lo que nos indica que la correlación entre la variable dependiente "TSR" y la variable independiente "porcentaje de RAP "D"" es positiva alta.

*Tabla 56. Prueba bivariada para TSR al emplear RAP "D"*

		<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>TSR (%) - RAP "D"</b>
<b>Porcentaje de RAP (%)</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	1	-.937**
	<b>Sig. (bilateral)</b>		<.001
	<b>N</b>	12	12
<b>TSR (%) - RAP "D"</b>	<b>Correlación de Pearson</b>	-.937**	1
	<b>Sig. (bilateral)</b>	<.001	
	<b>N</b>	12	12

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

*Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023*

▪ **Diagrama de burbujas:**

En el siguiente diagrama estadístico, se aprecia la gráfica de burbujas con las líneas y ecuaciones de ajuste resultantes del análisis de la distribución normal de la TSR entre las diferentes muestras al emplear diferentes porcentajes de RAP, observando un comportamiento directamente proporcional entre las variables con un R2 igual 0.930 al emplear RAP "A", un R2 igual a 0.951 al emplear RAP "B", un R2 igual a 0.950 al emplear RAP "C" y un R2 igual a 0.965 al emplear RAP "D".

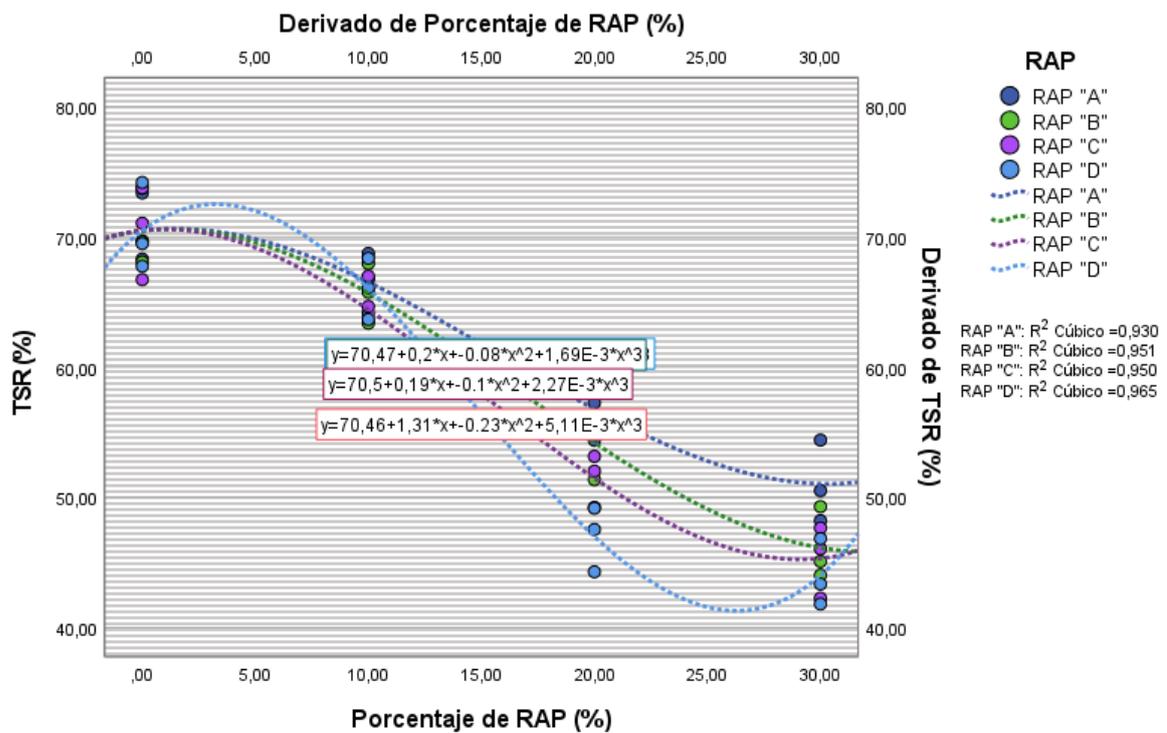


Figura 63. Diagrama burbujas para TSR al emplear RAP

Fuente: Elaboración propia en SPSS Statistics 2023

## CONCLUSIONES

Comprobados los resultados obtenidos a partir de cada uno de los objetivos planteados sobre el estudio del periodo de envejecimiento en el aprovechamiento de mezclas asfálticas recicladas que permiten llegar a las conclusiones presentadas a continuación:

1. Con base en el análisis de las propiedades de estabilidad, flujo, vacíos y coeficientes TSR de los pavimentos asfálticos recuperados (RAP), este estudio esencialmente concluyó que existe un deterioro significativo en proporción al período de envejecimiento típico de los pavimentos asfálticos recuperados (RAP). Para promover buenas prácticas en el uso de pavimentos asfálticos reciclados, se puede agregar un 14,5% adicional de materiales reciclados a las mezclas asfálticas estándar. Esto lleva a sugerir el aprovechar las técnicas de reciclado en periodos de envejecimiento no mayores a 25 años de forma aproximada. Deduciendo que la aplicación de un sistema de aprovechamiento de mezclas asfálticas recuperadas podría llegar a ser beneficioso de forma económica y ambiental para nuestra comunidad.
2. Los resultados obtenidos de pavimentos asfálticos restaurados con diferentes periodos de envejecimiento permiten concluir que cuanto más antiguo es el material restaurado, mayor es el deterioro de las propiedades mecánicas características del pavimento estudiado, que puede ser causado por fuerzas de erosión y el alto tráfico al que se encuentra expuesto el pavimento a lo largo de su tiempo de vida útil. Dado que los pavimentos de asfalto reciclado se construyen individualmente y varían en muchos aspectos, es importante mencionar que el flujo de 0,74 mm obtenido en los resultados es significativo y por encima del límite normativo, y que la estabilidad es de 138,01 kg por debajo del mínimo exigido por la normativa. Esto revela un comportamiento significativo de degradado respecto al de los pavimentos asfálticos que se recuperan después de un envejecimiento más prolongado o de una edad relativamente avanzada.
3. Respecto a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas experimentales evaluadas con la adición de pavimento asfáltico reciclado

(RAP) en diferentes porcentajes, se concluyó que los coeficientes evaluados de estabilidad, fluidez, vacíos y TSR efectivamente se vieron comprometidos, dando como resultado que la mezcla permite el uso de cantidades más pequeñas de RAP a medida que aumenta el tiempo de envejecimiento del material recuperado. Según los resultados de estabilidad, la estabilidad promedio de la mezcla disminuyó un 31,24%, pero el flujo aumentó un 38,76%, lo que hizo que la mezcla asfáltica fuera propensa a deformaciones permanentes. El análisis de estas propiedades mecánicas siempre ha sido importante en el diseño Marshall para reflejar una visión más integral, complementada con análisis de desempeño de equipos especializados.

4. En ensayos de resistencia a la tracción directa, con base en la evaluación del coeficiente TSR, se concluyó que, en promedio, las mezclas asfálticas experimentales pueden reducirse representativamente hasta en un 37,55%, lo que puede resultar en que las mezclas asfálticas sean sensibles a la humedad. Estos comportamientos mecánicos y físicos logrados están diseñados para cuidar el período de envejecimiento de los pavimentos asfálticos reciclados, al tiempo que crean la necesidad de un mayor contenido de asfalto para renovar el asfalto envejecido en los pavimentos reciclados. Para restaurar los porcentajes de vacíos alterados mediante el uso de un determinado porcentaje de RAP, el porcentaje de contenido de asfalto resultante se incrementa en un 1,03% con respecto al contenido de asfalto óptimo, teniendo cuidado de no alterar otras propiedades relevantes de la mezcla.

## RECOMENDACIONES

A partir del análisis de resultados obtenido sobre los ensayos realizados en la presente investigación se llega a las siguientes recomendaciones referentes a nuevos estudios sobre el tiempo de envejecimiento de mezclas asfálticas recicladas:

1. Realizar un estudio exhaustivo de las propiedades térmicas y desempeño de las mezclas asfálticas recicladas: Es necesario realizar pruebas térmicas y de desempeño para comprender el comportamiento de las RAP durante el tiempo de envejecimiento y cómo esto afecta su desempeño Superpave. Esto cuando exista disponibilidad tecnológica a nivel nacional de equipos especializados que permitan evaluar factores como ahuellamiento, modulo dinámico, fatiga, envejecimiento a corto y largo plazo.
2. Investigar los factores ambientales que afectan el envejecimiento de las mezclas asfálticas recicladas: Es importante identificar los factores ambientales que aceleran el proceso de envejecimiento, como la exposición a la radiación solar, la humedad, la temperatura y el tráfico vehicular. Debido a que los factores erosivos podrían llegar a simularse con los quipos necesarios que actualmente no se encuentran disponibles a nivel local para llegar a evaluar este tipo de efectos.
3. Estudiar los efectos de los aditivos y las técnicas de mezclado en el envejecimiento de las mezclas asfálticas recicladas: Se deben evaluar los efectos de los aditivos y técnicas de mezclado en el envejecimiento de las RAP y cómo estos pueden mejorar o disminuir su durabilidad. Planteando de acuerdo al efecto generado sobre las propiedades evaluadas, la aplicación de aditivos como los Antistripping (Adhesol, Quimibond, Polímeros SBS), aditivos Tensoactivos y técnicas de espumado asfáltico. La aplicación de este tipo de aditivos se elige a partir de las necesidades y requerimientos definidos por la mezcla asfáltica diseñada a partir de los métodos correspondientes a la localidad o zona geográfica.

4. Realizar pruebas a largo plazo en campo: Las pruebas en campo son esenciales para validar los resultados obtenidos en laboratorio y evaluar el comportamiento real de las mezclas asfálticas recicladas durante el tiempo de envejecimiento. Estas pruebas permitirán ajustar y mejorar las estrategias de mantenimiento y rehabilitación de las carreteras que utilizan RAP. Este proceso requiere de la presente investigación como referente técnico que en coordinación con las entidades municipales y gubernamentales permiten subvencionar los costes que implica realizar este tipo de proyectos en tramos representativos de la red vial nacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR Spanish Association for standardization and certification. (2006). *Bituminous mixtures – test methods for hot mix asphalt – Part 17: Particle loss of porous asphalt specimen, UNE EN 12697-17:2006*. Madrid: AENOR.
- Aguiar Moya, J. P., & Miranda Argüello, F. (2019). Mezclas asfálticas con RAP: Pavimentos Asfálticos Reciclados. *Boletín Técnico PITRA-LanammeUCR*.
- Aguilar Saravia, A. C., & Infanzón Reymundez, R. (2020). *Aprovechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- American Society for Testing and Materials. (2015). *Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures ASTM D6927-15*. . United States: ASTM.
- Asphalt Institute. (2020). *Asphalt Designe Construct Maintain*. Texas: Vol 35, N°2.
- Baena Paz, G. (2014). *Metodología de la investigación*. Distrito Federal, Mexico: GRUPO EDITORIAL PATRIA.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Colombia: Pearson Educación.
- Carrasco Díaz, S. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*. Lima: San Marcos.
- Chafloque Aponte, P. G., & Chininin Zapata, L. S. (2021). *Calidad y eficiencia del pavimento asfáltico reciclado para su reutilización en el diseño de mezclas de asfalto en caliente*. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Chávez Céspedes, M., & Fano Descalzi, J. C. (2017). *Diseño estructural de un pavimento básico reciclado y mejorado con cemento Portland para diferentes dosificaciones en el proyecto de conservación vial de Huancavelica*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Chen, H., Tang, G., & Wang, X. (2022). Características de envejecimiento del asfalto reciclado de planta en caliente y su envejecimiento inducido en el asfalto nuevo. *Processes*, 10, 908.

Christensen, D. W., & Anderson, D. A. (1992). Interpretación de los datos de los ensayos mecánicos dinámicos para los cementos asfálticos de grado de pavimentación (con discusión). *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*.

Gomez Bastar, S. (2012). *Metodología de la investigación*. Estado de México: Ma. Eugenia Buendía López.

González, D., Melo, O., & Rodríguez, J. (2019). *Comportamiento de mezclas asfálticas con pavimento reciclado y aceite usado de motor como rejuvenecedor*. Ibagué, Colombia.

Herrington, P. R. (1998). Oxidación del betún en presencia de una concentración constante de oxígeno. *Petroleum Science and Technology*, 1061-1084.

Kumar Das, P. (2014). *Envejecimiento de las mezclas asfálticas: Investigación a microescala y morfología de la mezcla*. Stockholm, Sweden: KTH Royal Institute of Technology.

Lesueur, D. (2009). La estructura coloidal del betún: consecuencias sobre la reología y sobre los mecanismos de modificación del betún. *Advances in Colloid and Interface Science*, 42-82.

Mejia Mejia, E. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Monje Álvarez, C. (2011). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA*. Colombia.

Nie, Y., Sun, S., Ou, Y., Zhou, C., & Mao, K. (2018). Investigación experimental sobre el comportamiento del envejecimiento de los ligantes asfálticos y la viabilidad del rejuvenecimiento en el envejecimiento repetido y el reciclaje de varios ciclos. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-11.

Petersen, J. (1984). Composición química del asfalto en relación con la durabilidad del mismo: estado del arte. *Consejo de Investigación del Transporte*, 13-30.

Quesada Vallejo, I. (2004). *Evaluación del comportamiento de diferentes tramos de carretera rehabilitados utilizando mezclas recicladas en frío*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

Ramírez González, A. (2003). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Javeriana.

Rogge, D., Hicks, G., Scholz, T., & Allen, D. (1992). Case histories of cold in-place recycled asphalt pavements in central Oregon. *Transportation Research*, 61-70.

Vargas, X. R. (2010). El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos. *Universidad Nacional de Colombia, ingeniería de investigación*, 3(3).

Zuñiga C., R. (2016). *Mescla asfáltica en caliente con pavimento asfáltico reciclado RAP*. Santiago de Chile, Chile: MINISTERIO DE CHILE.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO

### A. Ensayo de caracterización de materiales



*Anexo 1: Muestra de agregado fino, arena natural y arena chancada obtenida de la cantera de Sicaya*



*Anexo 2: Muestra de agregado grueso, piedra de 3/4" y piedra de 1/2" obtenida de la cantera de Sicaya*



*Anexo 3: Muestra de agregado obtenido por el método del cuarteo según lo especificado en la norma MTC E 204 para su caracterización*



*Anexo 4: Se coloca la muestra en la serie de tamices para el ensayo de análisis granulométrico y se procede a tamizar la muestra manualmente*



*Anexo 5: Se coloca el material retenido de cada tamiz en un pequeño recipiente, se coloca en una balanza de 0.1 gr de precisión y se registran los pesos retenidos*

## **B. Elaboración de briquetas**



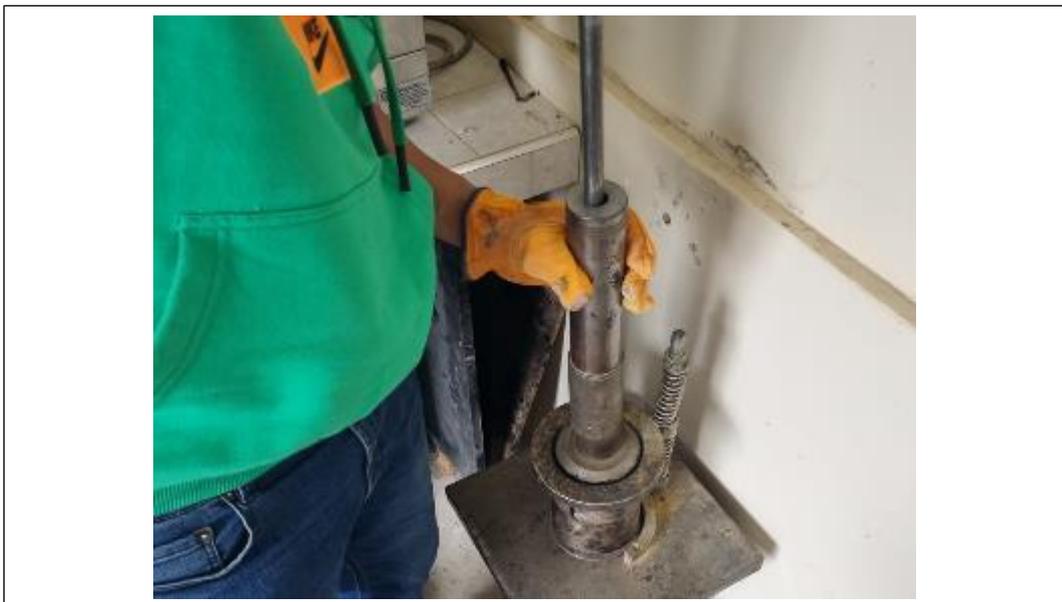
*Anexo 6: Se presenta el material retenido en cada tamiz de cada agregado necesario para la elaboración de la mezcla de agregados por MAC 01*



*Anexo 7: Se coloca la mezcla de agregados en un recipiente y se calienta a 150°C para la mezcla con el cemento asfáltico en distintos porcentajes del peso total*



*Anexo 8: La mezcla asfáltica resultante se coloca en el molde para la elaboración de las briquetas, habiendo colocado previamente un papel filtro*



*Anexo 9: Se compacta la mezcla a 75 golpes cada cara*



*Anexo 10: Tras colocar las briquetas resultantes a temperatura ambiente se procede a desmoldar cada briqueta y etiquetarlas según el porcentaje de cemento asfáltico empleado en la mezcla*



*Anexo 11: Se presentan las briquetas obtenidas para su posterior caracterización y ser ensayadas por el método Marshall*

### **C. Ensayo de peso unitario**



*Anexo 12: Se pesa cada briqueta y se registran los pesos como peso seco*



*Anexo 13: Se coloca cada briqueta en una canastilla dentro de un recipiente con agua y se registra el peso sumergido*



*Anexo 14: Se coloca cada briqueta en el recipiente con agua por media hora, se seca superficialmente y se registra el peso superficialmente seco*



*Anexo 15: Cada briqueta se seca superficialmente y se registra el peso superficialmente seco*

#### **D. Ensayo de Marshall**



*Anexo 16: Se acondicionan las briquetas en baño María a una temperatura de 60°C*



*Anexo 17: Se coloca cada briqueta en una mordaza para el ensayo de Marshall según las especificaciones de la norma MTC E 504*

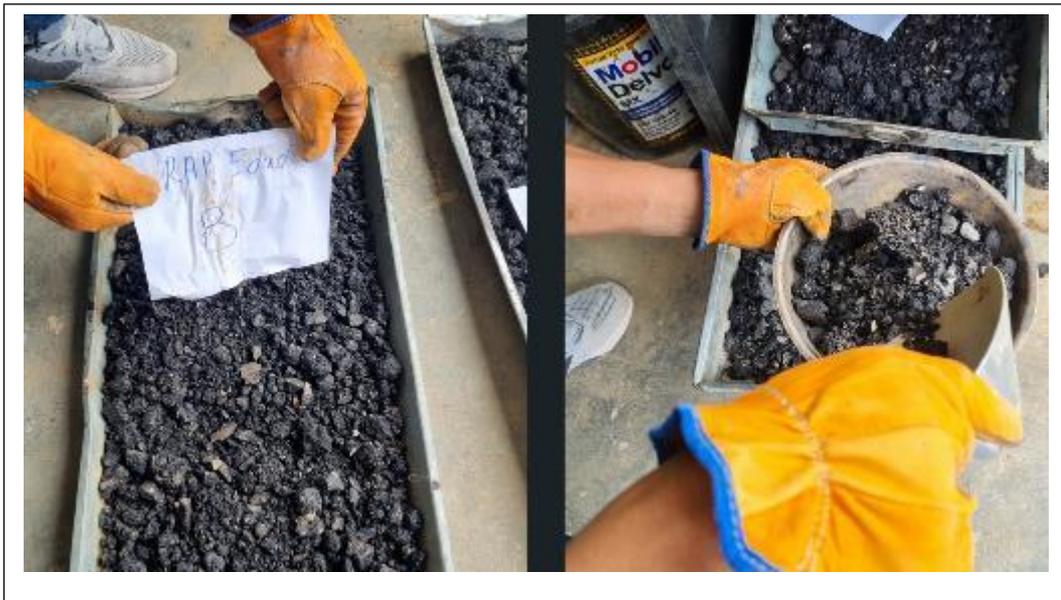


*Anexo 18: Se coloca la mordaza en la prensa de Marshall y se procede a lecturar los diales de deformación y de carga*

## E. Obtención de material asfáltico reciclado



*Anexo 19: Para el ensayo de lavado asfáltico, se obtiene una muestra de 1000 gr de material reciclado del pavimento de 15 años de edad (RAP edad "A")*



*Anexo 20: Para el ensayo de lavado asfáltico, se obtiene una muestra de 1000 gr de material reciclado del pavimento de 20 años de edad (RAP edad "B")*



*Anexo 21: Para el ensayo de lavado asfáltico, se obtiene una muestra de 1000 gr de material reciclado del pavimento de 25 años de edad (RAP edad "C")*



*Anexo 22: Para el ensayo de lavado asfáltico, se obtiene una muestra de 1000 gr de material reciclado del pavimento de 30 años de edad (RAP edad "D")*



*Anexo 23: Máquina de centrifugado para el lavado asfáltico*



*Anexo 24: Se prepara la muestra de 1000 gr para colocarla en la máquina de centrifugado*



*Anexo 25: Tras realizar el lavado asfáltico, se presenta el agregado de RAP resultante para cada material de diferentes edades*



*Anexo 26: Se procede a caracterizar cada muestra para registrar los resultados y proceder con el nuevo diseño al incorporar RAP*

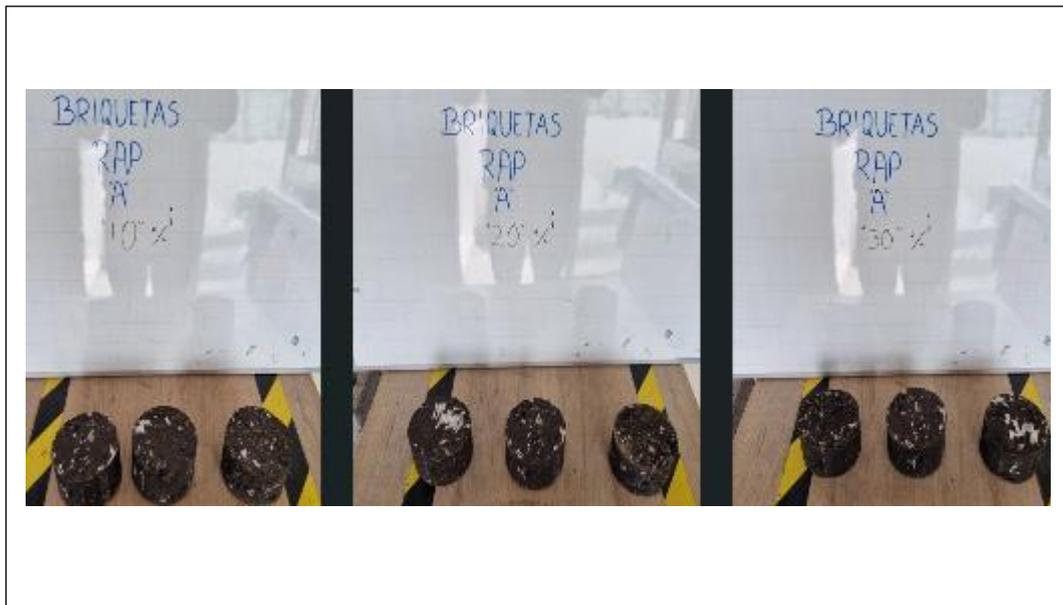
## F. Elaboración de briquetas al incorporar RAP



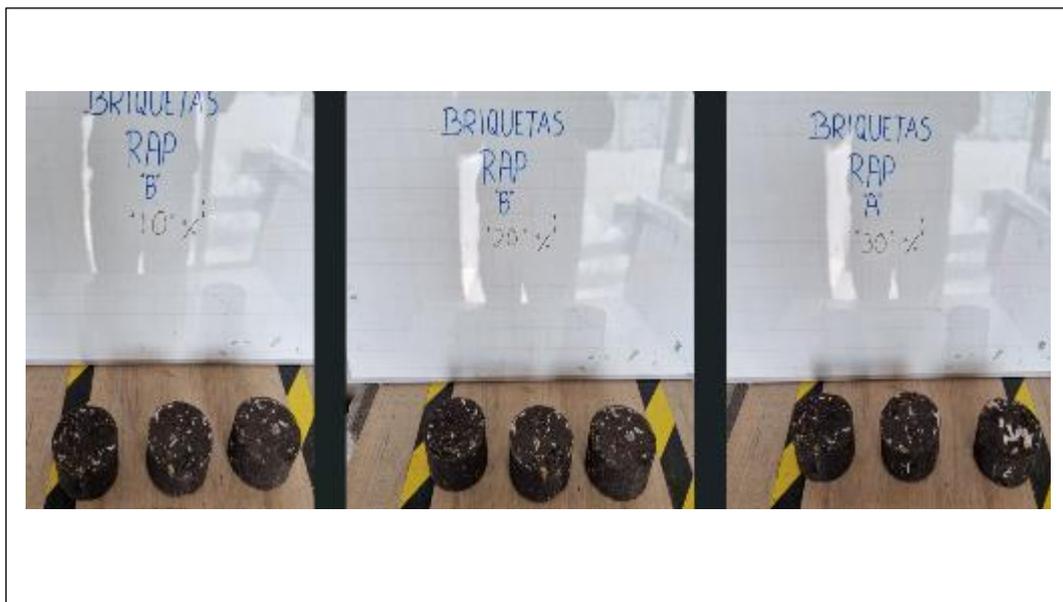
*Anexo 27: Se procede a elaborar un nuevo grupo de briquetas al incorporar a la mezcla asfáltica el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP*



*Anexo 28: Se procede con elaborar la mezcla asfáltica en caliente al incorporar distintos porcentajes de RAP*



*Anexo 29: Briquetas resultantes al incorporar RAP "A" en distintos porcentajes de 10%, 20% y 30%*



*Anexo 30: Briquetas resultantes al incorporar RAP "B" en distintos porcentajes de 10%, 20% y 30%*



Anexo 31: Briquetas resultantes al incorporar RAP "C" en distintos porcentajes de 10%, 20% y 30%



Anexo 32: Briquetas resultantes al incorporar RAP "A" en distintos porcentajes de 10%, 20% y 30%

### G. Ensayo de Marshall de briquetas al incorporar RAP



*Anexo 33: Tras realizar el ensayo de peso unitario para cada briqueta, se procede a repetir el procedimiento del ensayo de Marshall en las briquetas elaboradas con mezcla asfáltica reciclada*

### H. Ensayo de resistencia al daño inducido por humedad



*Anexo 34: Se procede a elaborar un nuevo grupo de briquetas al incorporar el 0%, 10%, 20% y 30% de RAP que cumplan con las dimensiones para el ensayo de resistencia según las especificaciones de la norma MTC E 522*



*Anexo 35: Se coloca la briqueta en la mordaza para el ensayo de TSR y se roturan las muestras para registrar las cargas máximas*



*Anexo 36: Briquetas resultantes del ensayo de TSR*

## ANEXO 2. CERTIFICADOS DE ENSAYOS

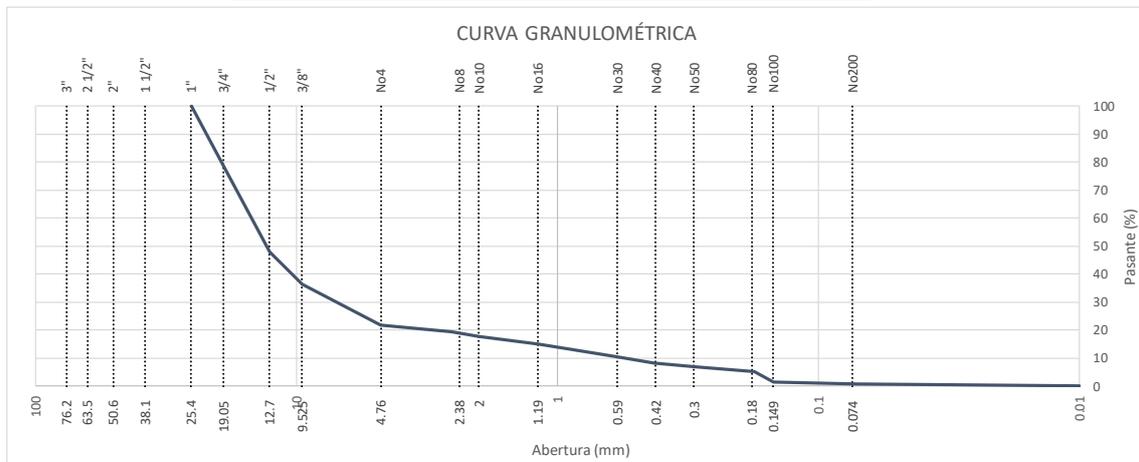


### LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	SICAYA
<b>MUESTRA:</b>	M01
<b>FECHA:</b>	23/01/2023

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
tmz - 3"	76.200				
tmz - 2 1/2"	63.550				
tmz - 2"	50.800				
tmz - 1 1/2"	38.110				
tmz - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 3/4"	19.055	647.40	21.58	21.58	78.42
tmz - 1/2"	12.700	919.20	30.64	52.22	47.78
tmz - 3/8"	9.525	345.60	11.52	63.74	36.26
tmz - N°4	4.750	433.80	14.46	78.20	21.80
tmz - N°8	2.550	68.10	2.27	80.47	19.53
tmz - N°10	2.000	57.90	1.93	82.40	17.60
tmz - N°16	1.185	79.20	2.64	85.04	14.96
tmz - N°30	0.600	132.90	4.43	89.47	10.53
tmz - N°40	0.425	68.70	2.29	91.76	8.24
tmz - N°50	0.295	42.00	1.40	93.16	6.84
tmz - N°80	0.175	51.30	1.71	94.87	5.13
tmz - N°100	0.148	113.40	3.78	98.65	1.35
tmz - N°200	0.072	18.90	0.63	99.28	0.72
< tmz - N°200	0.010	21.60	0.72	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		3000.00 gr			



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

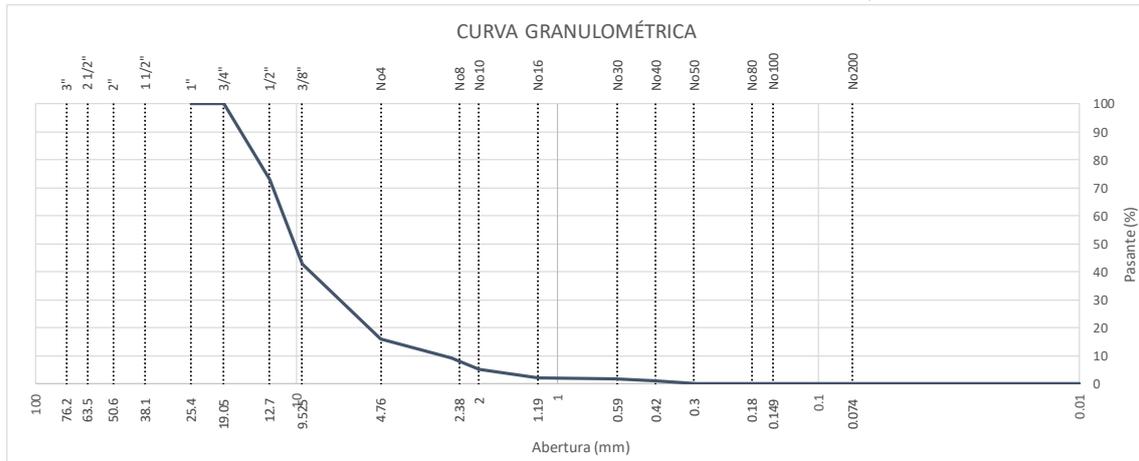
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	SICAYA
<b>MUESTRA:</b>	M02
<b>FECHA:</b>	23/01/2023

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

PIEDRA DE 1/2"					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
tmz - 3"	76.200				
tmz - 2 1/2"	63.550				
tmz - 2"	50.800				
tmz - 1 1/2"	38.110				
tmz - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 1/2"	12.700	810.60	27.02	27.02	72.98
tmz - 3/8"	9.525	904.50	30.15	57.17	42.83
tmz - N°4	4.750	809.10	26.97	84.14	15.86
tmz - N°8	2.550	195.60	6.52	90.66	9.34
tmz - N°10	2.000	122.70	4.09	94.75	5.25
tmz - N°16	1.185	92.10	3.07	97.82	2.18
tmz - N°30	0.600	15.30	0.51	98.33	1.67
tmz - N°40	0.425	18.60	0.62	98.95	1.05
tmz - N°50	0.295	26.10	0.87	99.82	0.18
tmz - N°80	0.175	2.10	0.07	99.89	0.11
tmz - N°100	0.148	1.50	0.05	99.94	0.06
tmz - N°200	0.072	1.80	0.06	100.00	0.00
< tmz - N°200	0.010	0.00	0.00	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		3000.00	gr		



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

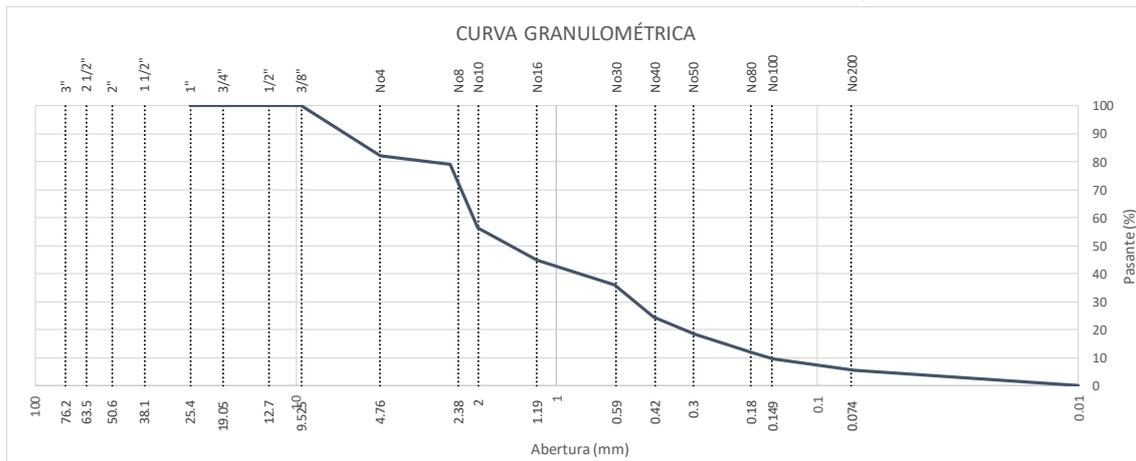
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



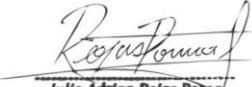
<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS REICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	SICAYA
<b>MUESTRA:</b>	M03
<b>FECHA:</b>	23/01/2023

### ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA NATURAL					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
tmz - 3"	76.200				
tmz - 2 1/2"	63.550				
tmz - 2"	50.800				
tmz - 1 1/2"	38.110				
tmz - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - N°4	4.750	265.65	17.71	17.71	82.29
tmz - N°8	2.550	47.10	3.14	20.85	79.15
tmz - N°10	2.000	341.10	22.74	43.59	56.41
tmz - N°16	1.185	175.20	11.68	55.27	44.73
tmz - N°30	0.600	130.80	8.72	63.99	36.01
tmz - N°40	0.425	170.85	11.39	75.38	24.62
tmz - N°50	0.295	94.35	6.29	81.67	18.33
tmz - N°80	0.175	102.90	6.86	88.53	11.47
tmz - N°100	0.148	29.10	1.94	90.47	9.53
tmz - N°200	0.072	58.65	3.91	94.38	5.62
< tmz - N°200	0.010	84.30	5.62	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		1500.00	gr		



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

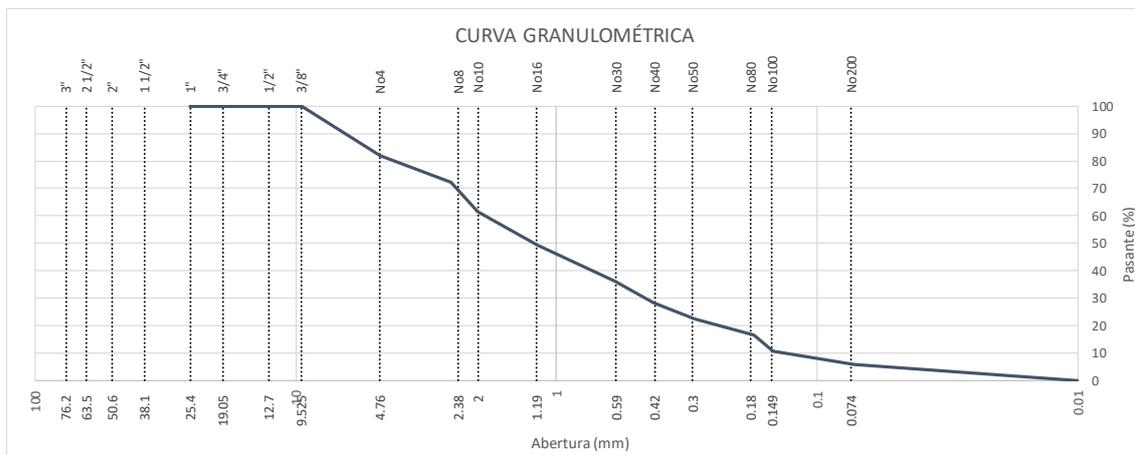


## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

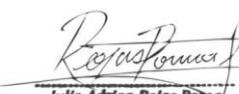
<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	SICAYA
<b>MUESTRA:</b>	M04
<b>FECHA:</b>	30/05/2022

### ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA CHANCADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamiz	mm				
tmz - 3"	76.200				
tmz - 2 1/2"	63.550				
tmz - 2"	50.800				
tmz - 1 1/2"	38.110				
tmz - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tmz - N°4	4.750	271.35	18.09	18.09	81.91
tmz - N°8	2.550	145.95	9.73	27.82	72.18
tmz - N°10	2.000	160.95	10.73	38.55	61.45
tmz - N°16	1.185	178.95	11.93	50.48	49.52
tmz - N°30	0.600	199.20	13.28	63.76	36.24
tmz - N°40	0.425	120.45	8.03	71.79	28.21
tmz - N°50	0.295	84.90	5.66	77.45	22.55
tmz - N°80	0.175	90.45	6.03	83.48	16.52
tmz - N°100	0.148	87.45	5.83	89.31	10.69
tmz - N°200	0.072	72.45	4.83	94.14	5.86
< tmz - N°200	0.010	87.90	5.86	100.00	0.00
<b>TOTAL MUESTRA =</b>		<b>1500.00</b>	<b>gr</b>		



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



**PROYECTO:** INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN

**CONSULTOR:** Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola

**UBICACIÓN:** HUANCAYO

**CANTERA:** SICAYA

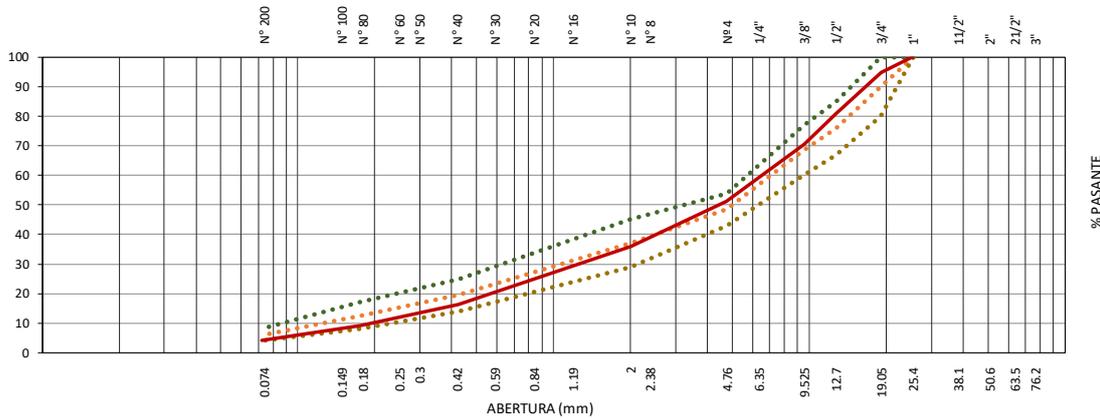
**MUESTRA:**

**FECHA:** 23/01/2023

### COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS - MAC 01

Malla		Porcentaje pasantes (%)					Especificaciones		
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS			MEZCLA	MAC 01	Tamaño máximo
Agregados		Piedra 3/4"	Piedra 1/2"	Arena Natural	Arena Chancada	Cal hidratada			3/8"
Proporciones		3/4"	1/2"	NATURAL	CHANCADA	FINO	100%	Curva Ideal	
		24%	25%	26%	24%	1%			
tmz - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	<b>100.00</b>	100 - 100	100
tmz - 3/4"	19.055	78.42	100.00	100.00	100.00	100.00	<b>94.82</b>	80 - 100	90
tmz - 1/2"	12.700	47.78	72.98	100.00	100.00	100.00	<b>80.71</b>	67 - 85	76
tmz - 3/8"	9.525	36.26	42.83	100.00	100.00	100.00	<b>70.41</b>	60 - 77	69
tmz - N°4	4.750	21.80	15.86	82.29	81.91	100.00	<b>51.25</b>	43 - 54	49
tmz - N°8	2.550	19.53	9.34	79.15	72.18	100.00	<b>45.92</b>		
tmz - N°10	2.000	17.60	5.25	56.41	61.45	100.00	<b>35.95</b>	29 - 45	37
tmz - N°16	1.185	14.96	2.18	44.73	49.52	100.00	<b>28.65</b>		
tmz - N°30	0.600	10.53	1.67	36.01	36.24	100.00	<b>22.00</b>		
tmz - N°40	0.425	8.24	1.05	24.62	28.21	100.00	<b>16.41</b>	14 - 25	20
tmz - N°50	0.295	6.84	0.18	18.33	22.55	100.00	<b>12.86</b>		
tmz - N°80	0.175	5.13	0.11	11.47	16.52	100.00	<b>9.21</b>	8 - 17	13
tmz - N°100	0.148	1.35	0.06	9.53	10.69	100.00	<b>6.38</b>		
tmz - N°200	0.072	0.72	0.00	5.62	5.86	100.00	<b>4.04</b>	4 - 8	6
< tmz - N°200		100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>		

### CURVA GRANULOMÉTRICA



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

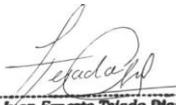


<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	SICAYA
<b>MUESTRA:</b>	BQ01 - BQ06 (DISEÑO 1/3)
<b>FECHA:</b>	24/01/2023 - 27/01/2023

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS POR MARSHALL

(MTC E 504)

	BRIQUETAS	Nº	1°	2°	3°	4°	5°	6°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	47.04	47.04	47.04	46.80	46.80	46.80
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	48.00	48.00	48.00	47.75	47.75	47.75
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1249.4	1249.0	1248.6	1246.8	1250.4	1249.4
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1258.9	1255.0	1258.3	1253.0	1259.2	1256.9
11	Peso de la briqueta en agua	gr	726.4	723.2	727.8	720.8	723.8	722.9
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	532.5	531.8	530.5	532.2	535.4	534.0
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2.346	2.349	2.354	2.343	2.335	2.340
14	Peso específico máximo (MTC E-508)	gr/cm³	2.481	2.481	2.481	2.460	2.460	2.460
15	Vacíos (MTC E-505)	%	5.43	5.34	5.13	4.77	5.06	4.89
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631
17	V.M.A.	%	14.38	14.30	14.11	14.96	15.22	15.07
18	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	62.25	62.68	63.63	68.13	66.74	67.54
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2.638	2.638	2.638	2.635	2.635	2.635
20	Cemento asfáltico absorbido por agregado total	%	0.112	0.112	0.112	0.066	0.066	0.066
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3.89	3.89	3.89	4.44	4.44	4.44
22	Flujo	mm	0.91	1.00	1.25	1.74	1.45	1.57
23	Estabilidad sin corregir	kg	768.3	792.4	805.9	909.1	938.0	929.9
24	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
25	Estabilidad corregida	kg	768	792	806	909	938	930
26	Estabilidad - Flujo	kg/cm	8443	7924	6447	5225	6469	5923
27	Compactación, numero de golpes por cara		75 golpes			75 golpes		

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES ; MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	SICAYA
<b>MUESTRA:</b>	BQ07 - BQ12 (DISEÑO 2/3)
<b>FECHA:</b>	24/01/2023 - 27/01/2023

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS POR MARSHALL

(MTC E 504)

	BRIQUETAS	Nº	7°	8°	9°	10°	11°	12°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	46.55	46.55	46.55	46.31	46.31	46.31
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	47.50	47.50	47.50	47.25	47.25	47.25
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1246.0	1249.4	1249.0	1248.7	1250.5	1250.8
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1256.0	1255.8	1258.5	1256.3	1257.4	1257.6
11	Peso de la briqueta en agua	gr	723.6	720.4	722.5	721.1	720.9	719.3
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	532.4	535.4	536.0	535.2	536.5	538.3
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2.340	2.334	2.330	2.333	2.331	2.324
14	Peso específico máximo (MTC E-508)	gr/cm³	2.441	2.441	2.441	2.416	2.416	2.416
15	Vacios (MTC E-505)	%	4.12	4.40	4.54	3.43	3.52	3.82
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631
17	V.M.A.	%	15.49	15.73	15.85	16.19	16.27	16.53
18	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	73.38	72.03	71.38	78.82	78.34	76.87
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2.634	2.634	2.634	2.625	2.625	2.625
20	Cemento asfáltico absorbido por agregado total	%	0.049	0.049	0.049	-0.084	-0.084	-0.084
21	Cemento asfáltico efectivo	%	4.95	4.95	4.95	5.58	5.58	5.58
22	Flujo	mm	2.42	2.08	2.28	2.74	2.87	3.10
23	Estabilidad sin corregir	kg	996.9	975.0	1010.6	1011.7	1027.5	1000.7
24	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
25	Estabilidad corregida	kg	997	975	1011	1012	1028	1001
26	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4119	4688	4432	3692	3580	3228
27	Compactación, numero de golpes por cara		75 golpes			75 golpes		

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

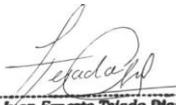


<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS REICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	SICAYA
<b>MUESTRA:</b>	BQ13 - BQ18 (DISEÑO 3/3)
<b>FECHA:</b>	24/01/2023 - 27/01/2023

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS POR MARSHALL

(MTC E 504)

	BRIQUETAS	Nº	13°	14°	15°	16°	17°	18°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > Nº 4	%	46.06	46.06	46.06	45.82	45.82	45.82
3	Agregado fino en peso de la mezcla < Nº 4	%	47.00	47.00	47.00	46.75	46.75	46.75
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
5	Peso específico del cemento asfáltico aparente	gr/cm³	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020
6	Peso específico del agregado grueso - Bulk	gr/cm³	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604
7	Peso específico del agregado fino - Bulk	gr/cm³	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605
8	Peso específico del filler - aparente	gr/cm³	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1249.8	1248.3	1246.1	1250.7	1248.2	1248.0
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1259.6	1255.0	1255.1	1259.8	1253.5	1257.1
11	Peso de la briqueta en agua	gr	719.3	714.4	714.8	717.2	713.5	717.9
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	540.3	540.6	540.3	542.6	540.0	539.2
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2.313	2.309	2.306	2.305	2.311	2.315
14	Peso específico máximo (MTC E-508)	gr/cm³	2.380	2.380	2.380	2.360	2.360	2.360
15	Vacíos (MTC E-505)	%	2.81	2.98	3.10	2.33	2.06	1.93
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631
17	V.M.A.	%	17.35	17.49	17.59	18.08	17.85	17.74
18	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	83.81	82.97	82.40	87.11	88.48	89.14
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2.601	2.601	2.601	2.597	2.597	2.597
20	Cemento asfáltico absorbido por agregado total	%	-0.438	-0.438	-0.438	-0.502	-0.502	-0.502
21	Cemento asfáltico efectivo	%	6.41	6.41	6.41	6.96	6.96	6.96
22	Flujo	mm	3.48	3.34	3.56	3.62	3.88	3.70
23	Estabilidad sin corregir	kg	995.3	962.0	988.3	912.5	929.5	944.0
24	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
25	Estabilidad corregida	kg	995	962	988	913	930	944
26	Estabilidad - Flujo	kg/cm	2860	2880	2776	2521	2396	2551
27	Compactación, numero de golpes por cara		75 golpes			75 golpes		

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.



## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

**PROYECTO:** INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN

**CONSULTOR:** Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola

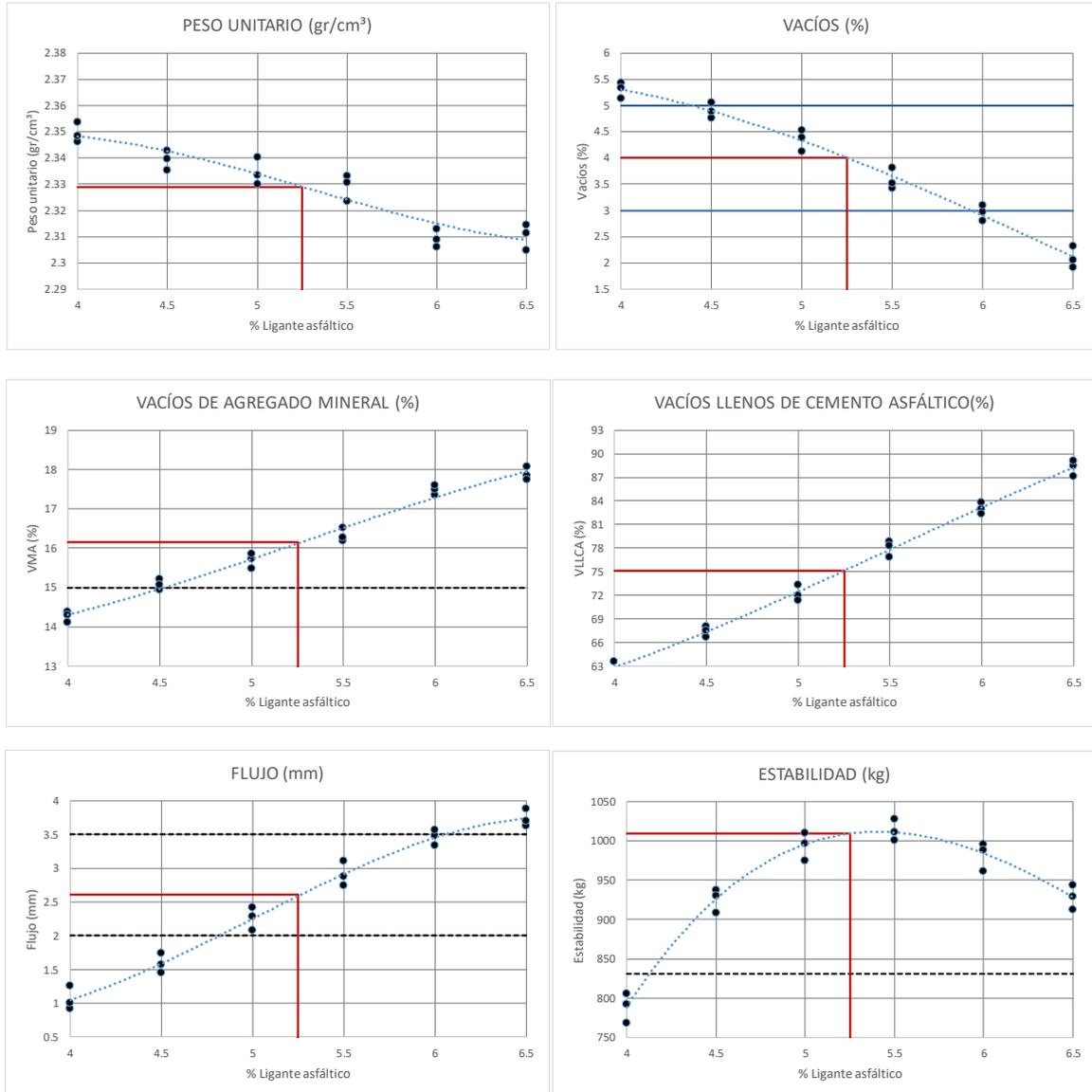
**UBICACIÓN:** HUANCAYO

**CANTERA:** SICAYA

**MUESTRA:** DISEÑO GRÁFICAS

**FECHA:** 27/01/2023

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS POR CÁNTABRO Y POR MARSHALL (MTC E 504)



  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	
<b>MUESTRA:</b>	RAP 15 años (Jr. San Antonio - San Carlos - Huancayo)
<b>FECHA:</b>	28/01/2023

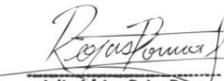
### Análisis granulométrico de RAP (15 años) - Reporte de lavado asfáltico

Malla		PESO	RET. PARCIAL	RET. ACUMULADO	PASANTE	HUSO	Curva ideal
Tamiz	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	
tmz - 1"	25.405	-	-	-	-	-	
tmz - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100	100
tmz - 1/2"	12.700	36.90	3.69	3.69	96.31	90 - 100	95
tmz - 3/8"	9.525	91.60	9.16	12.85	87.15		
tmz - N°4	4.750	208.70	20.87	33.72	66.28	44 - 74	59
tmz - N°8	2.550	150.30	15.03	48.75	51.25	28 - 58	43
tmz - N°10	2.000	42.30	4.23	52.98	47.02		
tmz - N°16	1.185	101.80	10.18	63.16	36.84		
tmz - N°30	0.600	107.30	10.73	73.89	26.11		
tmz - N°40	0.425	62.80	6.28	80.17	19.83		
tmz - N°50	0.295	35.90	3.59	83.76	16.24	5 - 21	13
tmz - N°80	0.175	37.30	3.73	87.49	12.51		
tmz - N°100	0.148	12.10	1.21	88.70	11.30		
tmz - N°200	0.072	36.30	3.63	92.33	7.67	2 - 10	6
< tmz - N°200		76.70	7.67	100.00	0.00		
TOTAL		1000.00					

Contenido de % de asfalto (ASTM D 2172)	
<b>Antes del ensayo:</b>	
Peso plato	0.00 gr
Peso plato + muestra	1000.00 gr
Peso de muestra	1000.00 gr
Peso de filtro	13.75 gr
<b>Después del ensayo:</b>	
Peso recuperado	941.10 gr
Diferencia de peso	58.90 gr
Peso del agregado recuperado	941.10 gr
Peso de filtro seco	15.20 gr
Peso de finos en filtro	1.45 gr
<b>Contenido de % de asfalto</b>	
Peso de agregados y finos	942.55 gr
Diferencia de peso corregido	57.45 gr
Asfalto en la mezcla	5.75 %

Ensayo de Marshall (MTC E 504)	
RAP	15 años
% C.A.	5.75
Estabilidad (kg)	924.3
Flujo (mm)	3.12

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	
<b>MUESTRA:</b>	RAP 20 años (Av. Catalina Huanca - La Ribera - Huancayo)
<b>FECHA:</b>	29/01/2023

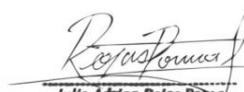
### Análisis granulométrico de RAP (20 años) - Reporte de lavado asfáltico

Malla		PESO	RET. PARCIAL	RET. ACUMULADO	PASANTE	HUSO	Curva ideal
Tamiz	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	
tmz - 1"	25.405	-	-	-	-	-	
tmz - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100	100
tmz - 1/2"	12.700	39.60	3.96	3.96	96.04	90 - 100	95
tmz - 3/8"	9.525	92.50	9.25	13.21	86.79		
tmz - N°4	4.750	233.70	23.37	36.58	63.42	44 - 74	59
tmz - N°8	2.550	171.40	17.14	53.72	46.28	28 - 58	43
tmz - N°10	2.000	41.50	4.15	57.87	42.13		
tmz - N°16	1.185	113.20	11.32	69.19	30.81		
tmz - N°30	0.600	99.20	9.92	79.11	20.89		
tmz - N°40	0.425	59.40	5.94	85.05	14.95		
tmz - N°50	0.295	39.40	3.94	88.99	11.01	5 - 21	13
tmz - N°80	0.175	27.60	2.76	91.75	8.25		
tmz - N°100	0.148	9.40	0.94	92.69	7.31		
tmz - N°200	0.072	21.40	2.14	94.83	5.17	2 - 10	6
< tmz - N°200		51.70	5.17	100.00	0.00		
TOTAL		1000.00					

Contenido de % de asfalto (ASTM D 2172)	
<b>Antes del ensayo:</b>	
Peso plato	0.00 gr
Peso plato + muestra	1000.00 gr
Peso de muestra	1000.00 gr
Peso de filtro	13.80 gr
<b>Después del ensayo:</b>	
Peso recuperado	938.35 gr
Diferencia de peso	61.65 gr
Peso del agregado recuperado	938.35 gr
Peso de filtro seco	15.35 gr
Peso de finos en filtro	1.55 gr
<b>Contenido de % de asfalto</b>	
Peso de agregados y finos	939.90 gr
Diferencia de peso corregido	60.10 gr
Asfalto en la mezcla	<b>6.01 %</b>

Ensayo de Marshall (MTC E 504)	
RAP	20 años
% C.A.	6.01
Estabilidad (kg)	867.1
Flujo (mm)	2.95

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS REICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	
<b>MUESTRA:</b>	RAP 25 años (Av. Mariategui - El Tambo - Huancayo)
<b>FECHA:</b>	30/01/2023

### Análisis granulométrico de RAP (25 años) - Reporte de lavado asfáltico

Malla		PESO	RET. PARCIAL	RET. ACUMULADO	PASANTE	HUSO	Curva ideal
Tamiz	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	
tmz - 1"	25.405	-	-	-	-	-	
tmz - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100	100
tmz - 1/2"	12.700	73.30	7.33	7.33	92.67	90 - 100	95
tmz - 3/8"	9.525	107.10	10.71	18.04	81.96		
tmz - N°4	4.750	245.30	24.53	42.57	57.43	44 - 74	59
tmz - N°8	2.550	177.00	17.70	60.27	39.73	28 - 58	43
tmz - N°10	2.000	42.10	4.21	64.48	35.52		
tmz - N°16	1.185	75.60	7.56	72.04	27.96		
tmz - N°30	0.600	92.10	9.21	81.25	18.75		
tmz - N°40	0.425	38.00	3.80	85.05	14.95		
tmz - N°50	0.295	42.00	4.20	89.25	10.75	5 - 21	13
tmz - N°80	0.175	29.60	2.96	92.21	7.79		
tmz - N°100	0.148	11.70	1.17	93.38	6.62		
tmz - N°200	0.072	17.90	1.79	95.17	4.83	2 - 10	6
< tmz - N°200		48.30	4.83	100.00	0.00		
TOTAL		1000.00					

Contenido de % de asfalto (ASTM D 2172)	
<b>Antes del ensayo:</b>	
Peso plato	0.00 gr
Peso plato + muestra	1000.00 gr
Peso de muestra	1000.00 gr
Peso de filtro	13.75 gr
<b>Después del ensayo:</b>	
Peso recuperado	942.50 gr
Diferencia de peso	57.50 gr
Peso del agregado recuperado	942.50 gr
Peso de filtro seco	15.46 gr
Peso de finos en filtro	1.71 gr
<b>Contenido de % de asfalto</b>	
Peso de agregados y finos	944.21 gr
Diferencia de peso corregido	55.79 gr
Asfalto en la mezcla	<b>5.58 %</b>

Ensayo de Marshall (MTC E 504)	
RAP	25 años
% C.A.	5.58
Estabilidad (kg)	771.9
Flujo (mm)	3.68

  
**Juan Ernesto Tejeda Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	
<b>MUESTRA:</b>	RAP 30 años (Av. Leoncio Prado -Chilca - Huancayo)
<b>FECHA:</b>	31/01/2023

### Análisis granulométrico de RAP (30 años) - Reporte de lavado asfáltico

Malla		PESO	RET. PARCIAL	RET. ACUMULADO	PASANTE	HUSO	Curva ideal
Tamiz	(mm)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	
tmz - 1"	25.405	-	-	-	-	-	
tmz - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00	100 - 100	100
tmz - 1/2"	12.700	83.50	8.35	8.35	91.65	90 - 100	95
tmz - 3/8"	9.525	118.30	11.83	20.18	79.82		
tmz - N°4	4.750	271.80	27.18	47.36	52.64	44 - 74	59
tmz - N°8	2.550	164.80	16.48	63.84	36.16	28 - 58	43
tmz - N°10	2.000	50.30	5.03	68.87	31.13		
tmz - N°16	1.185	69.80	6.98	75.85	24.15		
tmz - N°30	0.600	75.70	7.57	83.42	16.58		
tmz - N°40	0.425	47.40	4.74	88.16	11.84		
tmz - N°50	0.295	31.60	3.16	91.32	8.68	5 - 21	13
tmz - N°80	0.175	15.90	1.59	92.91	7.09		
tmz - N°100	0.148	9.60	0.96	93.87	6.13		
tmz - N°200	0.072	20.90	2.09	95.96	4.04	2 - 10	6
< tmz - N°200		40.40	4.04	100.00	0.00		
TOTAL		1000.00					

Contenido de % de asfalto (ASTM D 2172)	
<b>Antes del ensayo:</b>	
Peso plato	0.00 gr
Peso plato + muestra	1000.00 gr
Peso de muestra	1000.00 gr
Peso de filtro	13.80 gr
<b>Después del ensayo:</b>	
Peso recuperado	937.25 gr
Diferencia de peso	62.75 gr
Peso del agregado recuperado	937.25 gr
Peso de filtro seco	15.51 gr
Peso de finos en filtro	1.71 gr
<b>Contenido de % de asfalto</b>	
Peso de agregados y finos	938.96 gr
Diferencia de peso corregido	61.04 gr
Asfalto en la mezcla	<b>6.10 %</b>

Ensayo de Marshall (MTC E 504)	
RAP	30 años
% C.A.	6.1
Estabilidad (kg)	693.8
Flujo (mm)	4.05

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



**PROYECTO:** INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS REICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN

**CONSULTOR:** Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola

**UBICACIÓN:** HUANCAYO

**CANTERA:**

**MUESTRA:** BQ-RAP-01 / BQ-RAP-12

**FECHA:** 1/02/2023 - 3/02/2023

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS POR MARSHALL / ENSAYO DE RESISTENCIA AL DAÑO POR HUMEDAD TSR - RAP (15 años)

(MTC E 504)

Muestra	RAP (15 años)	Peso (seco)	Peso (saturado)	Peso (sumergido)	Volumen	Peso específico	Vacíos
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)
BQ-RAP-01	0	1247.4	1256.1	722.5	533.6	2.338	3.76
BQ-RAP-02	0	1249.7	1257.3	721.1	536.2	2.331	4.05
BQ-RAP-03	0	1247.4	1257.0	721.0	536.0	2.327	4.19
BQ-RAP-04	10	1250.1	1255.9	721.6	534.3	2.340	3.68
BQ-RAP-05	10	1250.4	1258.3	723.0	535.3	2.336	3.83
BQ-RAP-06	10	1249.1	1259.5	723.2	536.3	2.329	4.11
BQ-RAP-07	20	1247.5	1256.9	722.6	534.3	2.335	3.88
BQ-RAP-08	20	1248.4	1255.8	722.4	533.4	2.340	3.65
BQ-RAP-09	20	1247.5	1254.7	722.7	532.0	2.345	3.46
BQ-RAP-10	30	1249.3	1256.6	723.6	533.0	2.344	3.50
BQ-RAP-11	30	1247.3	1256.5	723.2	533.3	2.339	3.71
BQ-RAP-12	30	1250.3	1255.0	722.5	532.5	2.348	3.34

Muestra	RAP (15 años)	Estabilidad	Flujo	TSR
	(%)	(kg)	(mm)	(%)
BQ-RAP-01	0	992.6	2.36	73.36
BQ-RAP-02	0	1009.2	2.66	69.69
BQ-RAP-03	0	1024.5	2.81	68.29
BQ-RAP-04	10	902.3	2.77	68.72
BQ-RAP-05	10	946.6	2.96	64.12
BQ-RAP-06	10	919.0	2.58	66.73
BQ-RAP-07	20	896.8	2.81	57.26
BQ-RAP-08	20	887.8	2.98	54.38
BQ-RAP-09	20	849.5	3.19	58.70
BQ-RAP-10	30	723.6	3.31	50.52
BQ-RAP-11	30	698.4	2.91	48.21
BQ-RAP-12	30	705.6	3.07	54.40

  
**Juan Ernesto Tejeda Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.



## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	
<b>MUESTRA:</b>	BQ-RAP-13 / BQ-RAP-24
<b>FECHA:</b>	4/02/2023 - 6/02/2023

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS POR MARSHALL / ENSAYO DE RESISTENCIA AL DAÑO POR HUMEDAD TSR - RAP (20 años)

(MTC E 504)

Muestra	RAP (20 años)	Peso (seco)	Peso (saturado)	Peso (sumergido)	Volumen	Peso específico	Vacios
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)
BQ-RAP-13	0	1249.3	1256.5	721.6	534.9	2.336	3.85
BQ-RAP-14	0	1247.1	1256.6	721.0	535.6	2.328	4.14
BQ-RAP-15	0	1247.0	1256.8	721.9	534.9	2.331	4.02
BQ-RAP-16	10	1250.1	1258.4	722.3	536.1	2.332	4.00
BQ-RAP-17	10	1249.7	1257.0	723.1	533.9	2.341	3.64
BQ-RAP-18	10	1247.1	1256.4	722.7	533.7	2.337	3.80
BQ-RAP-19	20	1248.1	1256.2	722.9	533.3	2.340	3.65
BQ-RAP-20	20	1247.0	1254.2	722.8	531.4	2.347	3.39
BQ-RAP-21	20	1248.8	1254.7	723.3	531.4	2.350	3.25
BQ-RAP-22	30	1247.6	1255.7	723.9	531.8	2.346	3.42
BQ-RAP-23	30	1248.9	1254.9	723.5	531.4	2.350	3.24
BQ-RAP-24	30	1249.6	1255.8	722.6	533.2	2.344	3.52

Muestra	RAP (20 años)	Estabilidad	Flujo	TSR
	(%)	(kg)	(mm)	(%)
BQ-RAP-13	0	1012.5	2.81	69.60
BQ-RAP-14	0	1028.0	2.61	73.73
BQ-RAP-15	0	983.7	2.50	68.07
BQ-RAP-16	10	920.9	2.86	63.37
BQ-RAP-17	10	913.0	3.02	65.75
BQ-RAP-18	10	874.7	3.22	67.95
BQ-RAP-19	20	865.3	3.26	56.41
BQ-RAP-20	20	817.5	3.44	54.82
BQ-RAP-21	20	851.0	3.04	51.36
BQ-RAP-22	30	700.2	3.55	44.03
BQ-RAP-23	30	716.6	3.75	45.09
BQ-RAP-24	30	739.0	3.39	49.29

  
**Juan Ernesto Tejada Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Poma**  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 GOLDFIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



**PROYECTO:** INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN

**CONSULTOR:** Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola

**UBICACIÓN:** HUANCAYO

**CANTERA:**

**MUESTRA:** BQ-RAP-25 / BQ-RAP-36

**FECHA:** 7/02/2023 - 9/02/2023

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS POR MARSHALL / ENSAYO DE RESISTENCIA AL DAÑO

#### POR HUMEDAD TSR - RAP (25 años)

(MTC E 504)

Muestra	RAP (25 años)	Peso (seco)	Peso (saturado)	Peso (sumergido)	Volumen	Peso específico	Vacíos
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)
BQ-RAP-25	0	1249.8	1257.1	722.7	534.4	2.339	3.72
BQ-RAP-26	0	1250.4	1258.3	722.0	536.3	2.332	4.01
BQ-RAP-27	0	1248.6	1258.1	721.1	537.0	2.325	4.28
BQ-RAP-28	10	1249.0	1256.6	722.9	533.7	2.340	3.65
BQ-RAP-29	10	1249.2	1258.5	723.2	535.3	2.334	3.93
BQ-RAP-30	10	1250.4	1256.3	722.6	533.7	2.343	3.55
BQ-RAP-31	20	1250.2	1255.5	722.3	533.2	2.345	3.47
BQ-RAP-32	20	1249.4	1257.4	723.7	533.7	2.341	3.62
BQ-RAP-33	20	1248.3	1255.9	724.5	531.4	2.349	3.29
BQ-RAP-34	30	1250.0	1254.0	723.9	530.1	2.358	2.92
BQ-RAP-35	30	1249.9	1255.3	724.2	531.1	2.353	3.11
BQ-RAP-36	30	1250.3	1257.2	724.6	532.6	2.348	3.35

Muestra	RAP (25 años)	Estabilidad	Flujo	TSR
	(%)	(kg)	(mm)	(%)
BQ-RAP-25	0	1010.4	2.38	66.71
BQ-RAP-26	0	1026.0	2.76	73.75
BQ-RAP-27	0	990.0	2.65	71.04
BQ-RAP-28	10	899.1	3.17	61.60
BQ-RAP-29	10	880.3	2.74	64.65
BQ-RAP-30	10	848.8	2.84	66.98
BQ-RAP-31	20	782.1	3.35	49.24
BQ-RAP-32	20	789.9	3.50	53.15
BQ-RAP-33	20	752.0	3.09	52.02
BQ-RAP-34	30	683.4	3.82	46.05
BQ-RAP-35	30	660.6	4.08	42.26
BQ-RAP-36	30	709.0	3.88	47.65

  
**Juan Ernesto Tejeda Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	INFLUENCIA DEL PERIODO DE ENVEJECIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS SOBRE LA DEGRADACIÓN ESCALONADA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS-HUANCAYO-JUNIN
<b>CONSULTOR:</b>	Bach. Larrauri De La Cruz, Javier Sergio / Bach. Navarro Perez, Angel Nikola
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	
<b>MUESTRA:</b>	BQ-RAP-37 / BQ-RAP-48
<b>FECHA:</b>	10/02/2023 - 12/02/2023

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS POR MARSHALL / ENSAYO DE RESISTENCIA AL DAÑO

#### POR HUMEDAD TSR - RAP (30 años)

(MTC E 504)

Muestra	RAP (30 años)	Peso (seco)	Peso (saturado)	Peso (sumergido)	Volumen	Peso específico	Vacíos
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm <sup>3</sup> )	(gr/cm <sup>3</sup> )	(%)
BQ-RAP-37	0	1247.6	1256.1	722.2	533.9	2.337	3.80
BQ-RAP-38	0	1249.7	1257.3	721.4	535.9	2.332	3.99
BQ-RAP-39	0	1247.1	1256.8	720.9	535.9	2.327	4.19
BQ-RAP-40	10	1249.7	1257.8	722.8	535.0	2.336	3.83
BQ-RAP-41	10	1247.3	1255.4	723.5	531.9	2.345	3.46
BQ-RAP-42	10	1248.0	1256.1	722.7	533.4	2.340	3.68
BQ-RAP-43	20	1249.1	1255.0	724.2	530.8	2.353	3.12
BQ-RAP-44	20	1247.0	1255.6	724.5	531.1	2.348	3.34
BQ-RAP-45	20	1248.8	1257.9	724.8	533.1	2.343	3.56
BQ-RAP-46	30	1248.7	1253.8	725.6	528.2	2.364	2.67
BQ-RAP-47	30	1248.8	1255.5	724.9	530.6	2.354	3.11
BQ-RAP-48	30	1247.1	1253.4	725.2	528.2	2.361	2.80

Muestra	RAP (30 años)	Estabilidad	Flujo	TSR
	(%)	(kg)	(mm)	(%)
BQ-RAP-37	0	1010.5	2.71	74.17
BQ-RAP-38	0	1032.4	2.48	67.74
BQ-RAP-39	0	981.2	2.60	69.48
BQ-RAP-40	10	805.4	3.29	68.35
BQ-RAP-41	10	854.7	3.09	63.66
BQ-RAP-42	10	824.7	2.90	66.09
BQ-RAP-43	20	767.8	3.56	49.17
BQ-RAP-44	20	747.9	3.71	47.54
BQ-RAP-45	20	720.2	3.94	44.29
BQ-RAP-46	30	713.3	4.16	46.84
BQ-RAP-47	30	688.9	4.07	41.82
BQ-RAP-48	30	677.0	4.49	43.35

  
**Juan Ernesto Tejeda Diaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

  
**Julio Adrian Rojas Palma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

### ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “Influencia del periodo de envejecimiento en la degradación escalonada de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas recicladas”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general:</b> ¿En qué medida Influencia Periodo de envejecimiento del RAP, en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas recuperadas Huancayo 2022?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar la influencia Periodo de envejecimiento del RAP, en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas recuperadas Huancayo 2022.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> La influencia Periodo de envejecimiento a 15 años de la mezcla asfáltica recuperada, genera mejoras representativas en las propiedades mecánicas del RAP, Huancayo 2022.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b> Periodo de envejecimiento</p>	20 años en periodo de envejecimiento	Acopio de material por reciclar INVÍAS 462-13	<p><b>Método de investigación Científica:</b> Método científico con la aplicación del ensayo Marshall y Cántabro.</p> <p><b>Nivel Correlacional:</b> Análisis de la relación entre el periodo de envejecimiento y la mezcla asfáltica reciclada.</p> <p><b>Tipo Aplicada:</b> Investigación aplicada para hallar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica reciclada.</p> <p><b>Diseño de investigación Experimental:</b> Se determinará si las propiedades mecánicas se ven afectadas por el periodo de envejecimiento del pavimento asfáltico.</p> <p><b>Población y muestra Población:</b> Se tiene 500 kilogramos de mezcla asfáltica reciclada.</p> <p><b>Muestra:</b> 75 kilogramos de mezcla asfáltica reciclada proveniente de los pavimentos asfálticos envejecidos a distintos periodos.</p> <p><b>Recolección de muestras:</b> Observación directa y registro de resultados de ensayos.</p> <p><b>Instrumentos:</b> Fichas de registro de datos con certificados de ensayos.</p>
					Fresado de pavimento asfáltico INVÍAS 460-13	
					Reciclado de pavimento asfáltico en caliente INVÍAS 462-13	
				25 años en periodo de envejecimiento	Acopio de material por reciclar INVÍAS 462-13	
					Fresado de pavimento asfáltico INVÍAS 460-13	
					Reciclado de pavimento asfáltico en caliente INVÍAS 462-13	
				30 años en periodo de envejecimiento	Acopio de material por reciclar INVÍAS 462-13	
					Fresado de pavimento asfáltico INVÍAS 460-13	
					Reciclado de pavimento asfáltico en caliente INVÍAS 462-13	
<p><b>Problemas específicos:</b> ¿En qué medida influye el Periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> Establecer la medida en que influye el periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas:</b> La medida en que influye el periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica genera un aumento del 3.00% adicional sobre el ligante asfáltico requerido.</p>	<p><b>Variable Dependiente:</b> Propiedades Mecánicas</p>	Estabilidad	Toma de muestras de mezclas asfálticas MTC E 501	
					Resistencia mezcla por Marshall MTC E 504	
					Registro de resultados de muestras MTC E 504	
				Flujo	Toma de muestras de mezclas asfálticas MTC E 501	
					Resistencia mezcla por Marshall MTC E 504	
					Registro de resultados de muestras MTC E 504	
Desgaste por Cántabro	Toma de muestras de mezclas asfálticas MTC E 501					
	Gravedad Especifica y peso unitario MTC E 506					
	Ensayo de Cántabro por desgaste MTC E 515					
<p>¿En qué medida influye el Periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas del RAP recuperado?</p>	<p>Establecer la medida en que influye el periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas del RAP recuperado.</p>	<p>La medida en que influye el periodo de envejecimiento en las propiedades físicas y mecánicas del RAP recuperado permite una adición de hasta 40 % de mezcla reciclada.</p>	<p><b>Variable Dependiente:</b> Propiedades Mecánicas</p>	Estabilidad	Toma de muestras de mezclas asfálticas MTC E 501	
					Resistencia mezcla por Marshall MTC E 504	
					Registro de resultados de muestras MTC E 504	
<p>¿Cómo el Periodo de envejecimiento de la mezcla asfáltica altera el porcentaje de asfalto óptimo para el RAP en cumplimiento con las especificaciones técnicas?</p>	<p>Analizar el periodo de envejecimiento de la mezcla asfáltica en la alteración del porcentaje de asfalto óptimo para el RAP en cumplimiento con las especificaciones técnicas.</p>	<p>El periodo de periodo de envejecimiento de la mezcla asfáltica aumenta en 3.0% el porcentaje de asfalto óptimo para el RAP en cumplimiento con las especificaciones técnicas.</p>	<p><b>Variable Dependiente:</b> Propiedades Mecánicas</p>	Desgaste por Cántabro	Toma de muestras de mezclas asfálticas MTC E 501	
					Gravedad Especifica y peso unitario MTC E 506	
					Ensayo de Cántabro por desgaste MTC E 515	

