

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Efecto del tiempo de acondicionamiento en las  
propiedades de la mezcla asfáltica en caliente  
modificada con caucho por vía seca con fines de  
utilización en la provincia de Huancayo**

Irwin Lazo Espinoza

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : MARKO ANTONIO LENGUA FERNANDEZ  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 23 de Enero de 2025

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

**Título:**

**EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, CON FINES DE UTILIZACIÓN EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO**

**Autor(es):**

**1. IRWIN LAZO ESPINOZA – EAP. Ingeniería Civil**

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado **17 %** de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 5 SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

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

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

Atentamente,

---

Marko Antonio Lengua Fernandez  
Asesor de trabajo de investigación

## **AGRADECIMIENTOS**

Al divino señor, por bendecirme con su sabiduría y permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida profesional.

A mis padres y a mis personas más queridas, por haberme brindado su apoyo, para lograr la presente investigación.

A cada uno de los ingenieros que me impartió sus conocimientos durante mi formación profesional, gracias a sus consejos logré superar los retos del día a día.

A mi asesor, por haberme apoyado en la elaboración del presente trabajo de investigación.

A la parte técnica del laboratorio y al ingeniero encargado, quienes nos dieron facilidad para la realización del presente estudio de ensayo.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, a mis hermanos y a todos mis amigos, por el apoyo que me brindaron en esta vida que está llena de retos y, en especial, a una persona que está en el cielo, a mi abuelito Víctor Lazo Camayo, por darme la fuerza y la determinación para la culminación de esta investigación.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	16
1.1.    Planteamiento y formulación del problema .....	16
1.2.    Formulación del problema.....	18
1.2.1.    Problema general .....	18
1.2.2.    Problemas específicos.....	18
1.3.    Objetivos.....	19
1.3.1.    Objetivo general .....	19
1.3.2.    Objetivos específicos .....	19
1.4.    Justificación e importancia .....	19
1.5.    Limitaciones de la presente investigación .....	20
1.6.    Hipótesis y variables.....	21
1.6.1.    Hipótesis general .....	21
1.6.2.    Hipótesis específicas.....	21
1.6.3.    Variables .....	22
Variable independiente: .....	22
Variable dependiente: .....	22
1.6.4.    Operacionalización .....	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	24
2.1.    Antecedentes del problema.....	24
2.1.1.    Antecedentes nacionales .....	24
2.1.2.    Antecedentes internacionales .....	26
2.2.    Bases teóricas .....	32
2.2.1.    Características del bitumen.....	32
2.2.1.1.    Composición y estructura del betún .....	33
2.2.2.    El caucho y los neumáticos .....	34
2.2.2.1.    Estructura molecular del caucho .....	34
2.2.2.2.    Producción y especificaciones del caucho triturado .....	35
2.2.3.    Métodos de modificación del caucho triturado .....	37
2.2.3.1.    Proceso húmedo .....	37
2.2.3.2.    Proceso en seco .....	39

2.2.3.3.	Mezcla terminal.....	40
2.2.4.	Diseño de la mezcla Marshall.....	41
2.2.5.	Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall.....	42
2.2.5.1.	objeto.....	42
2.3.	Definición de términos básicos.....	59
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....		60
3.1.	Método, tipo o alcance de la investigación.....	60
3.2.	Materiales y métodos.....	61
3.2.1.	Desarrollo metodológico de la investigación .....	61
3.2.2.	Población .....	62
3.2.3.	Muestra .....	62
3.2.4.	Técnica.....	62
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		63
4.1.	Presentación de resultados.....	63
4.1.1.	Selección y caracterización de materiales .....	63
4.1.1.1.	Agregados gruesos y finos .....	63
4.1.1.2.	Ligante asfáltico .....	71
4.1.1.3.	Filler .....	73
4.1.1.4.	Caucho reciclado .....	75
4.1.2.	Resultados del diseño de mezcla .....	77
4.1.2.1.	Propiedades del diseño patrón – OE1 .....	77
4.1.2.2.	Efecto del caucho en las propiedades de diseño – OE2 .....	85
4.1.2.3.	Resultados del tiempo de acondicionamiento – OE3 .....	112
4.1.3.	Análisis de resultados - OG .....	126
4.1.3.1.	Análisis estadístico .....	132
4.2.	Discusión de resultados .....	159
CONCLUSIONES .....		161
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		164
ANEXOS.....		166

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable .....	20
Tabla 2. Especificaciones del caucho triturado .....	29
Tabla 3. Agregados a emplear y fuente de origen .....	38
Tabla 4. Resultados del análisis granulométrico – piedra ½” .....	40
Tabla 5. Resultados del análisis granulométrico – arena zarandeada.....	42
Tabla 6. Resultados del análisis granulométrico – arena chancada.....	43
Tabla 7. Elección del tipo de ligante asfáltico.....	45
Tabla 8. Ficha Técnica del ligante asfáltico PEN 85/100.....	45
Tabla 9. Resultados del análisis granulométrico – filler .....	47
Tabla 10. Resultados del análisis granulométrico – caucho.....	49
Tabla 11. Porcentajes en mezcla de agregados MAC/02 – Mezcla Patrón.....	51
Tabla 12. Porcentajes en mezcla de agregados resultantes MAC/02 – Mezcla Patrón52	
Tabla 13. Pesos resultantes por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón .....	53
Tabla 14. Resumen de resultado para el OCA – Mezcla Patrón .....	58
Tabla 15. Porcentajes en mezcla de agregados MAC/02 – Mezcla 1% Caucho.....	59
Tabla 16. Pesos resultantes por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho .....	60
Tabla 17. Resumen de resultado para el OCA – Mezcla 1% Caucho .....	65
Tabla 18. Porcentajes en mezcla de agregados MAC/02 – Mezcla 2% Caucho.....	65
Tabla 19. Pesos resultantes por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho .....	67
Tabla 20. Resumen de resultado para el OCA – Mezcla 2% Caucho .....	72
Tabla 21. Porcentajes en mezcla de agregados MAC/02 – Mezcla 3% Caucho.....	72
Tabla 22. Pesos resultantes por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho .....	74
Tabla 23. Resumen de resultado para el OCA – Mezcla 3% Caucho .....	79
Tabla 24. Resumen de resultados 01 – Adición de Caucho (%) .....	79
Tabla 25. Resumen de resultados 02 – Adición de Caucho (%) .....	80
Tabla 26. Resultados de tiempo de acondicionamiento 01 – 1% de Caucho .....	83
Tabla 27. Resultados de tiempo de acondicionamiento 02 – 1% de Caucho .....	84
Tabla 28. Resultados de tiempo de acondicionamiento 01 – 2% de Caucho .....	87
Tabla 29. Resultados de tiempo de acondicionamiento 02 – 2% de Caucho .....	88
Tabla 30. Resultados de tiempo de acondicionamiento 01 – 3% de Caucho .....	91
Tabla 31. Resultados de tiempo de acondicionamiento 02 – 3% de Caucho .....	92

Tabla 32. Resultados resumen de tiempo de acondicionamiento - Propiedades.....	95
Tabla 33. Cuadro de descriptivos – Vacíos (%).....	100
Tabla 34. Prueba de normalidad Caucho – Vacíos (%).....	101
Tabla 35. Correlaciones Caucho - Vacíos (%).....	102
Tabla 36. Cuadro de descriptivos – Flujo (mm).....	103
Tabla 37. Prueba de normalidad Caucho – Flujo (mm).....	105
Tabla 38. Correlaciones - Flujo (mm).....	106
Tabla 39. Cuadro de descriptivos – Estabilidad (kg).....	107
Tabla 40. Prueba de normalidad – Estabilidad (kg).....	108
Tabla 41. Correlaciones - Estabilidad (kg).....	109
Tabla 42. Cuadro de descriptivos – Vacíos (%) -2% CG.....	110
Tabla 43. Prueba de normalidad – Vacíos (%) -2% CG.....	112
Tabla 44. Correlaciones - Vacíos (%) -2% CG.....	113
Tabla 45. Cuadro de descriptivos – Flujo (mm) -2% CG.....	114
Tabla 46. Prueba de normalidad – Flujo (mm) -2% CG.....	115
Tabla 47. Correlaciones - Flujo (mm) -2% CG.....	117
Tabla 48. Cuadro de descriptivos – Estabilidad (kg) -2% CG.....	118
Tabla 49. Prueba de normalidad – Estabilidad (kg) -2% CG.....	119
Tabla 50. Correlaciones - Estabilidad (kg) -2% CG.....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Depósitos clandestinos de llantas – San Martín de Porres 2018.....	15
Figura 2. Quema de llantas con peligrosas emisiones de CO <sub>2</sub> .....	16
Figura 3. Representación esquemática de una estructura típica del bitumen .....	26
Figura 4. Proceso de adición de polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) al asfalto por vía húmeda .....	30
Figura 5. Proceso de adición de polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) al asfalto por vía seca .....	32
Figura 6. Flujograma del proceso y desarrollo de los estudios .....	37
Figura 7. Ubicación de la cantera de Matahuasi – Planta Chancadora .....	39
Figura 8. Proceso de cuarteo de los agregados gruesos y finos.....	40
Figura 9. Curva de la gradación granulométrica de la piedra ½” .....	41
Figura 10. Curva de la gradación granulométrica de la arena zarandeada .....	43
Figura 11. Curva de la gradación granulométrica de la arena chancada .....	44
Figura 12. Curva de viscosidad del asfalto PEN 85/100 .....	46
Figura 13. Curva de la gradación granulométrica del filler.....	48
Figura 14. Fuente del caucho reciclado en Huancayo - El Tambo 2022.....	48
Figura 15. Curva de la gradación granulométrica del caucho .....	50
Figura 16. Curva resultante de mezcla de agregados – Mezcla Patrón.....	53
Figura 17. Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón .....	55
Figura 18. Flujo (mm) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón.....	55
Figura 19. Vacíos (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón.....	56
Figura 20. VMA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón.....	56
Figura 21. VFA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón.....	57
Figura 22. Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón.....	57
Figura 23. Curva resultante de mezcla de agregados – Mezcla 1% Caucho .....	60
Figura 24. Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho .....	62
Figura 25. Flujo (mm) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho.....	62
Figura 26. Vacíos (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho.....	63
Figura 27. VMA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho.....	63
Figura 28. VFA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho .....	64
Figura 29. Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho.....	64
Figura 30. Curva resultante de mezcla de agregados – Mezcla 2% Caucho .....	67

Figura 31. Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho .....	69
Figura 32. Flujo (mm) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho .....	69
Figura 33. Vacíos (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho .....	70
Figura 34. VMA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho .....	70
Figura 35. VFA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho.....	71
Figura 36. Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho ....	71
Figura 37. Curva resultante de mezcla de agregados – Mezcla 3% Caucho.....	74
Figura 38. Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho .....	76
Figura 39. Flujo (mm) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho .....	76
Figura 40. Vacíos (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho .....	77
Figura 41. VMA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho .....	77
Figura 42. VFA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho.....	78
Figura 43. Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> ) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho ....	78
Figura 44. Estabilidad (kg) resumen por porcentaje de caucho .....	81
Figura 45. Flujo (mm) resumen por porcentaje de caucho .....	81
Figura 46. Vacíos (%) resumen por porcentaje de caucho.....	82
Figura 47. VMA (%) resumen por porcentaje de caucho .....	82
Figura 48. VFA (%) resumen por porcentaje de caucho.....	83
Figura 49. Estabilidad (kg) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho .....	85
Figura 50. Flujo (mm) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho.....	85
Figura 51. Vacíos (%) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho.....	86
Figura 52. VMA (%) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho.....	86
Figura 53. VFA (%) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho .....	87
Figura 54. Estabilidad (kg) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho .....	89
Figura 55. Flujo (mm) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho.....	89
Figura 56. Vacíos (%) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho.....	90
Figura 57. VMA (%) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho.....	90
Figura 58. VFA (%) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho .....	91
Figura 59. Estabilidad (kg) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho .....	93
Figura 60. Flujo (mm) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho.....	93
Figura 61. Vacíos (%) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho.....	94
Figura 62. VMA (%) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho.....	94
Figura 63. VFA (%) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho .....	95
Figura 64. Estabilidad (kg) por tiempo de acondicionamiento – Resumen general....	97

Figura 65. Flujo (mm) por tiempo de acondicionamiento – Resumen general.....	98
Figura 66. Vacíos (%) por tiempo de acondicionamiento – Resumen general.....	98
Figura 67. VMA (%) por tiempo de acondicionamiento – Resumen general.....	99
Figura 68. VFA (%) por tiempo de acondicionamiento – Resumen general .....	99
Figura 69. Diagrama de caja Caucho - Vacíos (%) .....	102
Figura 70. Diagrama de dispersión - Vacíos (%).....	103
Figura 71. Diagrama de caja - Flujo (mm) .....	105
Figura 72. Diagrama de dispersión - Flujo (mm).....	106
Figura 73. Diagrama de caja - Estabilidad (kg) .....	109
Figura 74. Diagrama de dispersión Caucho - Estabilidad (kg).....	110
Figura 75. Diagrama de caja - Vacíos (%) -2% CG.....	112
Figura 76. Diagrama de dispersión - Vacíos (%) -2% CG.....	113
Figura 77. Diagrama de caja - Flujo (mm) -2% CG .....	116
Figura 78. Diagrama de dispersión – Flujo (mm) -2% CG.....	117
Figura 79. Diagrama de caja - Estabilidad (kg) -2% CG .....	120
Figura 80. Diagrama de dispersión - Estabilidad (kg) -2% CG .....	121

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Panel fotográfico.....	166
ANEXO 2. Certificados de ensayo.....	198
ANEXO 3. Matriz de consistencia .....	191

## RESUMEN

En la actualidad, se ha vuelto necesario emplear técnicas de producción de mezclas asfálticas que contribuyan con el medio ambiente, con la finalidad de generar un ahorro de recursos naturales, energía, economía y aprovechamiento de materiales reciclados. Por ello, en la presente investigación se plantea por objetivo principal el analizar el efecto del tiempo de acondicionamiento en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca, y determinar una propuesta de mejora en la provincia de Huancayo. De esta manera, se pretende implementar la aplicación de un material reciclado que reduzca en gran proporción la contaminación generada por los neumáticos en desuso, mejorando al mismo tiempo las propiedades del pavimento asfáltico mediante la implementación de un proceso de acondicionamiento durante la etapa de mezclado. Para el desarrollo de la investigación y el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantea realizar una serie de diseños de mezcla asfáltica que incorpore el caucho triturado por vía seca en distintos porcentajes de adición (1 %, 2 % y 3 %) con la finalidad de elaborar una serie de muestras que posteriormente serán sometidas a distintos periodos de acondicionamiento (45, 90, 120 y 150 minutos), para lograr encontrar la alteración en el comportamiento mecánico y volumétrico correspondiente a cada uno de los diseños realizados, determinando de esta manera un óptimo contenido de adición de caucho triturado y su tiempo de acondicionamiento correspondiente. Llegando de esta manera a la conclusión de que al 2.0 % de adición de caucho reciclado con 90 minutos de acondicionamiento por vía seca, se encuentra una mejora en las propiedades mecánicas y volumétricas sobre la mezcla patrón sin adición de caucho y sin tiempo de acondicionamiento.

**Palabras clave:** caucho reciclado, vía seca, tiempo de acondicionamiento, propiedades mecánicas, propiedades volumétricas.

## ABSTRACT

Nowadays it has become necessary to use asphalt mixture production techniques that contribute to the environment, in order to generate savings in natural resources, energy, economy and the use of recycled materials. That is why in the present investigation the main objective is to analyze the effect of conditioning time on the properties of the hot asphalt mix modified with rubber by dry route, and determine a proposal for improvement in the province of Huancayo. In this way, the application of a recycled material would be implemented that would greatly reduce the pollution generated by disused tires, while improving the properties of the asphalt pavement through the implementation of a conditioning process during the mixing stage. For the development of the research and the fulfillment of the proposed objectives, it is proposed to carry out a series of asphalt mixture designs that incorporate dry-crushed rubber in different percentages of addition (1%, 2% and 3%) with the purpose of the preparation of a series of samples that will later be subjected to different conditioning periods (45, 90, 120 and 150 minutes). In order to find the alteration in the mechanical and volumetric behavior corresponding to each of the designs made, thus determining an optimal content of crushed rubber addition and its corresponding conditioning time. Arriving in this way at the conclusion that at 2.0% addition of recycled rubber with 90 minutes of conditioning by dry route, an improvement is found in the mechanical and volumetric properties over the standard mixture without addition of rubber and without conditioning time.

**Keywords:** recycled rubber, dry process, conditioning time, mechanical properties, volumetric properties.

## INTRODUCCIÓN

El caucho proveniente de las llantas de los vehículos, las motos y los distintos medios de transporte terrestre que se encuentren fuera de uso, es decir, el caucho reciclado, es la causa de uno de los problemas medioambientales en el Perú y en otros países. El caucho presenta una corta duración y no es biodegradable, así que tiende a ser incinerada en la mayoría de países, por lo que termina siendo un peligro para la protección al medio ambiente al aumentar la contaminación en la atmósfera.

La problemática de la presente investigación se encuentra basada en que se deben emplear mezclas asfálticas modificadas como solución ante los problemas que se presentan en las infraestructuras, por ello, se realiza la investigación de la incorporación de caucho por vía seca como agregado fino en mezclas asfálticas y se determinará como afecta el tiempo de acondicionamiento en las propiedades de la mezcla.

Enfocando el objetivo general de la investigación en el análisis del efecto del tiempo de acondicionamiento en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca, no sólo se mitigará la contaminación que produce el empleo de caucho, también se obtendrán los tiempos de acondicionamiento que brinden a la mezcla modificada propiedades mecánicas y volumétricas óptimas para su empleo. Respecto a la hipótesis, se plantea un tiempo de acondicionamiento de 90 minutos para obtener una mejora en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca, aproximadamente en un 15 %.

La presente investigación estudia el efecto del tiempo de acondicionamiento en las propiedades de una mezcla asfáltica modificada con caucho, mediante ensayos de laboratorio y comparaciones con una mezcla asfáltica convencional. Consta de cinco capítulos. En el Capítulo I: Planteamiento del estudio, se realiza el planteamiento del estudio, se plantean los objetivos, la hipótesis, las variables y se realizan las justificaciones y delimitaciones de la investigación. Capítulo II: Marco teórico, se presentan los antecedentes nacionales e internacionales, además de presentar las bases teóricas y la definición de los términos básicos de la investigación. Capítulo III: Metodología, se plantean los métodos y diseños de la investigación, también se define la población y muestra necesarios para el estudio, y las técnicas e instrumentos para el análisis de datos. Capítulo IV: Resultados y discusión, se realiza la presentación y discusión de resultados. Finalmente, en las conclusiones y recomendaciones, se presentan los resultados finales del ensayo.

La investigación tiene como objetivo analizar el efecto del tiempo de acondicionamiento

en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca, y determinar una propuesta de mejora en la provincia de Huancayo. Teniendo la hipótesis de que el tiempo de acondicionamiento a 90 minutos mejora las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca en un 15 %. Teniendo en cuenta que la elaboración de mezclas asfálticas convencionales que cumplan con las disposiciones normativas nacionales actuales pueden llegar a presentar variaciones en sus propiedades con respecto a la adición de distintos componentes que afecten sus condiciones de mezcla o sus características granulométricas, por lo que la presente investigación se justifica de acuerdo al análisis de la variación de estas propiedades propias de las mezclas asfálticas en caliente convencionales, ante la adición de caucho granulado en distintos porcentajes. De esta manera, se asegura la correcta adición de caucho reciclado por vía seca, con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y volumétricas mediante un proceso de acondicionamiento durante la etapa de producción en la mezcla asfáltica en caliente.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

## 1.1. Planteamiento y formulación del problema

Una realidad problemática que se genera a partir del transporte urbano cotidiano, donde producto de uso de llantas provenientes de automóviles, motos, buses, entre otros medios de transporte terrestre se forma grandes acopios de neumáticos fuera de uso. Este material compuesto generalmente por caucho, nylon y acero es considerado como el elemento más desechado a nivel mundial, generando una gran contaminación al no ser biodegradable (incapaz de desintegrarse y descomponerse de forma natural). La gestión de los neumáticos fuera de uso presenta grandes dificultades al no poder disponer de un uso determinado como parte de un proceso de reciclado continuo del caucho, por lo que genera problemas al medio ambiente al contar con aproximadamente 300 millones de llantas desechadas anualmente en los Estados Unidos (Shen, 2007).

Además del gran consumo de recursos necesarios para fabricar llantas, estos también contaminan el medio ambiente al terminar su utilidad en los medios de transporte terrestres, englobando de esta forma una realidad problemática que a nivel internacional reporta impactos negativos tanto por dañar la armonía del paisaje de las ciudades como con la atmósfera, presentando el riesgo de ser quemada a cielo abierto al estar expuesto, proceso que produce peligrosas emisiones de CO<sub>2</sub>. Tratando de afrontar esta problemática en algunos países se impulsa el reciclado de neumáticos fuera de uso mediante plantas de tratamiento que trituran el caucho bajo distintos métodos especializados y permiten dar un nuevo uso al material obtenido, el problema de aplicar esta tentativa de solución es que la inversión a realizar suele ser muy elevada y la industria no suele estar preparada para emplear este nuevo material para sus productos. Siendo de esta forma la industria de infraestructuravial la que podría adecuarse para emplear el caucho reciclado como parte de sus componentes de mezcla, lo cual requiere una investigación continua sobre su efecto en las propiedades de mezcla (Universidad Militar Nueva Granada, 2018).

La acumulación de neumáticos fuera de uso en los botaderos a nivel nacional llega a niveles críticos, donde la contaminación producto de las grandes cantidades de acumulación de llantas genera riesgos de salud al atraer animales que acarrean enfermedades y aumenta el riesgo de formar incendios que emitan cantidades peligrosas

de CO2. Ante esta problemática creciente a nivel nacional son muy pocas las soluciones que se plantean al no tener una cultura de reciclado de este tipo de materiales, como se observa en la figura 1 almacenes de neumáticos fuera de uso que causan un gran riesgo a las viviendas colindantes.

La necesidad de dar una utilidad a los neumáticos fuera de uso se vuelve cada vez más preocupante a nivel local, debido a que los incendios ocasionados por depósitos clandestinos de llantas como se observa en la figura 2. De esta forma, es necesario evaluar su desempeño dentro de una mezcla asfáltica en caliente, para de esta manera fomentar su reciclado mediante su modificación por la vía seca, ya que de esta manera se puede llegar a emplear cantidades representativas de caucho granulado que no requiere de plantas pulverizadoras de caucho especializado, que es una gran limitante a la realidad problemática para el reciclado de los neumáticos fuera de uso.



**Figura 1.** Depósitos clandestinos de llantas – San Martín de Porres, 2018

Fuente: Obtenido del Grupo RPP, El Comercio 17/04/2018



**Figura 2.** Quema de llantas con peligrosas emisiones de CO<sub>2</sub>

Fuente: Obtenido de Redacción Perú 21 16/03/2021

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Cómo afecta el tiempo de acondicionamiento en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca como propuesta de mejora en la provincia de Huancayo?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- ¿Qué propiedades mecánicas y volumétricas presenta la mezcla asfáltica en caliente bajo condiciones naturales sin tiempo de acondicionamiento?
- ¿Cuál es el comportamiento que se presenta en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con distintos porcentajes de adición de caucho?
- ¿Cuál es el comportamiento que se presenta en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho a distintos periodos de acondicionamiento?

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. *Objetivo general.*

Analizar el efecto del tiempo de acondicionamiento en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca, y determinar una propuesta de mejora en la provincia de Huancayo.

#### 1.3.2. *Objetivos específicos.*

- Determinar las propiedades mecánicas y volumétricas que presenta la mezcla asfáltica en caliente bajo condiciones naturales sin tiempo de acondicionamiento.
- Establecer el comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con distintos porcentajes de adición de caucho.
- Establecer el comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho a distintos periodos de acondicionamiento.

### 1.4. Justificación e importancia

**Justificación práctica,** la elaboración de mezclas asfálticas convencionales que cumplan con las disposiciones normativas nacionales actuales pueden llegar a presentar variaciones en sus propiedades con respecto a la adición de distintos componentes que afecten sus condiciones de mezcla o sus características granulométricas, por ello, esta investigación se justifica de acuerdo al análisis de la variación de estas propiedades propias de las mezclas asfálticas en caliente convencionales, ante la adición de caucho granulado en distintos porcentajes. De esta manera asegurar la correcta adición de caucho reciclado por vía seca, con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y volumétricas mediante un proceso de acondicionamiento durante la etapa de producción en la mezcla asfáltica en caliente

**Justificación económica,** la aplicación de un material reciclado como el caucho obtenido a partir de neumáticos fuera de uso que permita mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica mediante un proceso de acondicionamiento que no genera sobre costos muy elevados puede generar un impacto positivo sobre los costos de producción de mezclas asfálticas en comparación el empleo de aditivos

industrializados que generen la misma mejora sobre sus propiedades. Además, el mejoramiento de las propiedades de la mezcla asfáltica permite asegurar un nivel de serviciabilidad apropiado, evitando costos de mantenimiento prematuro ante la aparición de fallas prematuras sobre la superficie de la carpeta de rodadura.

**Justificación metodológica**, el diseño de mezcla asfáltica en caliente según los requerimientos exigidos por las normativas correspondientes fundamenta su justificación metodológica sobre el manual de diseño Marshall que permite evaluar cada una de las propiedades y volumétricas correspondientes a la mezcla asfáltica en caliente mediante parámetros mínimos y máximos a cumplir. Además de que las variables en estudio cuentan con antecedentes relacionados a estudios realizados en otros países que permiten fundamentar la investigación en puntos de referencia para los ensayos de laboratorio propios.

**Justificación ambiental**, al conseguir aplicar el caucho granulado obtenido a partir de neumáticos en desuso en las mezclas asfálticas en caliente con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y volumétricas mediante un procedimiento de acondicionamiento, permite darle un uso adecuado a este material que es considerado como un agente contaminante.

La **importancia** de conseguir un tiempo de acondicionamiento adecuado para la conformación de la mezcla asfáltica en caliente permite asegurar una mejora en las propiedades mecánicas y volumétricas de su modificación por la vía seca. Y el análisis de la adición de caucho granulado en distintos porcentajes de adición sobre el peso final de la mezcla permite establecer una cantidad de material adecuado que optimice su comportamiento mecánico dándole un uso conveniente al caucho reciclado que tanta contaminación genera en todos los botaderos.

## 1.5. Limitaciones de la presente investigación

**Limitación espacial**, de acuerdo a la obtención de materiales para el diseño de mezcla y las condiciones geográficas de la localidad donde se procederá a realizar los ensayos de laboratorio correspondientes al cumplimiento de los objetivos planteados, se delimita espacialmente la presente investigación a la provincia de Huancayo, debido a tipo de asfalto indicado para la temperatura media característica de esta región y las fuentes de agregados correspondiente a la elaboración de mezclas asfálticas convencionales locales.

**Limitación temporal**, el tiempo establecido para alcanzar con los objetivos

proyectados permite proyectar un aproximado sobre la delimitación temporal de la presente investigación, alrededor de 4 meses, donde se contempla su inicio desde el planteamiento del estudio y culmina con la sustentación del proyecto de investigación, lo que permitiría comenzar a aplicar el proceso de adición del caucho por vía seca en las carpetas de rodadura locales, mejorando sus propiedades características mediante un proceso de acondicionamiento adicional durante el proceso de producción en planta.

**Limitación conceptual**, respecto a la delimitación conceptual es importante tener en consideración que los antecedentes y las fuentes bibliográficas directamente relacionadas a las técnicas de aplicación del proceso de modificación del caucho por vía seca en la mezcla asfáltica en caliente y el proceso de acondicionamiento en el proceso de producción se encuentran en su mayoría en fuentes internacionales, por lo que las fuentes bibliográficas nacionales y la normativa nacional vigente se ve muy limitada.

## **1.6. Hipótesis y variables**

### ***1.6.1. Hipótesis general.***

El tiempo de acondicionamiento a 90 minutos mejora las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca en un 15%, en la provincia de Huancayo.

### **1.6.2. Hipótesis específicas**

- Las propiedades mecánicas y volumétricas que presenta la mezcla asfáltica en caliente bajo condiciones naturales sin tiempo de acondicionamiento cumplen los requerimientos Marshall.
- El mejor comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada es al 2.00% de adición de caucho.
- El mejor comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho es a 90 minutos de acondicionamiento.

### **1.6.3. Variables.**

**Variable independiente:**

Tiempo de acondicionamiento

**Variable dependiente:**

Propiedades de las mezclas asfálticas en caliente

### 1.6.4. Operacionalización.

**Tabla 1.**

*Operacionalización de la variable*

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala		
<b>TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO</b>	Tiempo en el que serán expuestas las muestras para que mediante ensayos específicos, se puedan observar y analizar las propiedades resultantes para cada muestra.	Tiempo de acondicionamiento a 45 min	Ensayo de muestreo de mezclas MTC E 501 Ensayo de análisis mecánico MTC E 503 Ensayo de resistencia por Marshall MTC E 504	Ficha de recolección de datos	Razón		
		Tiempo de acondicionamiento a 90 min	Ensayo de muestreo de mezclas MTC E 501 Ensayo de análisis mecánico MTC E 503 Ensayo de resistencia por Marshall MTC E 504				
		Tiempo de acondicionamiento a 120 min	Ensayo de muestreo de mezclas MTC E 501 Ensayo de análisis mecánico MTC E 503 Ensayo de resistencia por Marshall MTC E 504				
		Estabilidad	Son las propiedades que presentan las mezclas asfálticas debido a varios factores a los que es expuesta, las propiedades importantes a obtener de una mezcla son la durabilidad, estabilidad, fluencia y presencia de vacíos.			Estabilidad	Análisis granulométrico MTC E 204
							Ensayo de muestra de materiales MTC E 301
							Ensayo de resistencia por Marshall MTC E 504
							Análisis granulométrico MTC E 204
							Ensayo de muestra de materiales MTC E 301
							Ensayo de resistencia por Marshall MTC E 504
		Flujo				Flujo	Ensayo de muestra de materiales MTC E 301
							Ensayo de resistencia por Marshall MTC E 504
							Ensayo de muestreo de mezclas MTC E 501
Volumétricos		Volumétricos	Porcentaje de vacíos de aire MTC E 505				
			Altura de especímenes MTC E 507				

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del problema

#### 2.1.1. Antecedentes nacionales.

Alvarez Benites y Gutierrez Gallegos (2020, p. 76) mencionan que la resistencia al corte aumenta cuando al suelo arcilloso se le adiciona caucho triturado, esto es para cada esfuerzo normal que se aplica, a un desplazamiento horizontal de 2.5 mm; a su vez, se constató que adicionando 0.5% de caucho al suelo, presentó mejorías.

La metodología empleada en la investigación fue trabajar con muestras de suelo arcilloso proveniente de Llama – Cajamarca y emplear caucho triturado reciclado de una empresa y realizar los ensayos granulométricos, los límites de consistencia, ensayos de proctor modificado y el ensayo de CBR. Siguiendo la metodología planteada obtuvieron como resultados que al emplear de 0.5% a 3.5% de caucho triturado sobre la muestra de suelo arcilloso, propiedades como la resistencia al corte mejoran con el caucho, llegando a obtener a un esfuerzo de 108.8 kPa, el 8.6% más que el obtenido sin aditivos. La cohesión también aumentó en un 64%, mientras que el ángulo de fricción disminuye en un 9.1%. Por último, el ensayo de CBR demostró que el suelo arcilloso con caucho triturado, al aumentar el porcentaje empleado el CBR llega a mejorar hasta en un 194%. En conclusión, el empleo del caucho triturado llena los espacios vacíos que presentan los suelos arcillosos, es por ello que brindan una mejor resistencia y por ende los resultados de CBR son más elevados, además su empleo mejora las propiedades de esfuerzo al corte y de CBR del suelo arcilloso, lo que demuestra que este suelo con cauchotriturado como aditivo puede ser empleado como material para subrasante.

Granados Noa (2017, p. 7) menciona que la adición de granos de caucho a la mezcla asfáltica (mediante vía seca) mejora el comportamiento de la carpeta de rodadura.

La metodología planteada en la investigación consiste en diseñar la mezcla asfáltica típica, realizar ensayos de inmersión-compresión, para así determinar la temperatura y tiempo de digestión, también se realizará el ensayo

de Marshall para determinar las propiedades mecánicas de la mezcla, con estos ensayos al obtener el óptimo contenido de asfalto y de caucho se procederá a elaborar nuevas mezclas para los ensayos de compresión, pérdida por Cántabro, tracción indirecta, módulo resiliente y ahuellamiento. Siguiendo la metodología planteada, en los resultados se obtuvieron que el óptimo contenido de asfalto es de 5.5% y el óptimo contenido de caucho es de 0.5%, con estos porcentajes de asfalto y de caucho se obtuvo que la estabilidad se incrementa de 1350 kg a 2175 kg, los porcentajes de vacíos se incrementan del 4% al 4.7%, la resistencia a la compresión se incrementa de 0.79 Mpa a 1.21 Mpa, el ensayo de tracción indirecta dio como resultado 0.522 Mpa para la muestra convencional y al adicionar 0.5% de caucho aumentó a 0.768 Mpa, la pérdida por desgaste primero fue de 3.5% y al usar el caucho fue de 3.6%, el módulo resiliente a 20°C fue de 4831 Mpa y aumentó a 6990 Mpa. En conclusión, el empleo de caucho resultó en una solución de desarrollo sostenible para la reutilización de materiales para disminuir la contaminación, y su empleo demostró mejorar las propiedades reológicas de una mezcla asfáltica convencional, cabe resaltar que es importante estudiar y determinar el tiempo y temperatura de digestión mediante el proceso por vía seca para que el caucho cumpla con características que permitan la interacción adecuada con el asfalto.

Maguiña Salazar (2019, p. 107) menciona que los granos de caucho reciclado mejoran la deformación plástica de una mezcla asfáltica, ya que el punto de ablandamiento aumenta, por lo que el asfalto operará mejor a altas temperaturas.

En la investigación se emplea como metodología la elaboración de ensayos granulométricos, límites de Atterberg, equivalente de arena, peso específico y absorción de agregados, abrasión los Ángeles, contenido de sales solubles y resistencia de mezclas por Marshall. Al emplear la metodología planteada se obtuvieron como resultados que al emplear 6.5% de ligante asfáltico y adicionar un 3% de caucho reciclado la fluencia fue 2.8 mm y la estabilidad de 561.9 kg, respecto al ensayo de sales solubles se obtuvo un 0.914%. El límite líquido obtenido es 33%, límite plástico 25% y un 8% de índice de plasticidad. La densidad máxima seca de 1.645 gr/cm<sup>3</sup> y 16.6% de óptima humedad. En conclusión, al incorporar grano de caucho reciclado la resistencia a la deformación mejora en un 37%, el punto de ablandamiento se incrementa y

garantiza que se tendrá un buen desempeño a elevadas temperaturas.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales.**

Vega Zurita (2016, p. 86) menciona que incorporar caucho a la mezcla asfáltica, cuando los áridos están calientes no requiere de maquinaria especial, ya que de por sí, la temperatura favorece la fusión.

La metodología empleada en la investigación consistió en emplear ensayos de laboratorio que determinen la resistencia a la compresión del asfalto, mediante el volumen, peso y la carga axial, además de emplear ensayos que caractericen la calidad del caucho a emplear. Los resultados obtenidos demostraron respecto a las propiedades mecánicas de la mezcla, que al adicionar 1% de caucho a la mezcla la estabilidad aumenta significativamente, mientras que al aumentar 2 y 3% de caucho la estabilidad decreció, la fluencia y el porcentaje de vacíos para el 1% de caucho cumplen con los requerimientos de la norma, pero al aumentar el porcentaje de caucho, no cumplen. En conclusión, el empleo de caucho relaciona beneficio- costo, ya que el empleo de llantas usadas reduce los riesgos de contaminación ambiental debido al largo plazo de degradación que presenta. Y respecto al diseño es recomendable su empleo en un 1% para mantener propiedades que cumplan con los requerimientos de las normativas.

Morante Gomez (2019, p. 12) menciona que las capas de pavimento triturado se pueden reutilizar para fabricar nuevas plataformas, de tal modo que disminuyan los residuos generados.

Los resultados obtenidos en la investigación para el pavimento fresado demostraron que los porcentajes de pérdida por desgaste son menores al 25% y cumplen con lo que especifica la norma, los desgastes a los sulfatos para agregado grueso fueron del 3.04% y cumplen con la norma, el agregado fino obtuvo 21.16% de desgaste a los sulfatos por lo que no cumple con la norma. Los ensayos para caracterizar el grano de caucho demostraron un contenido de humedad del 0.75%, y un contenido de fibra de 0.61% los cuales cumplen con la norma, la granulometría obtenida fue de 71.84% y no cumple con las especificaciones. Y, por último, las mezclas diseñadas en frío con caucho por Marshall obtuvieron una resistencia de 1.20 kg/cm<sup>2</sup> y por Superpave de 2.31 kg/cm<sup>2</sup>. En conclusión, el emplear el grano de caucho como parte de los

agregados para modificar la mezcla hace que sus propiedades no cumplan con lo mínimo establecido por la normativa. Y que se puede emplear como agregado el caucho si se diseña por Superpave, ya que este diseño hace que el porcentaje de vacíos en la mezcla sea bajo y presente mejores propiedades de diseño.

Olarte Riaño y Soler Sánchez (2018, p. 49) mencionan que los granos de caucho representan un fuerte potencial de reutilización. La metodología propuesta en la investigación consiste en la caracterización granulométrica, del grano de caucho y de asfaltos seleccionados, para después realizar el diseño de la mezcla asfáltica tipo MD12. Como resultados se obtuvo para un óptimo contenido de asfalto de 5.2%, una estabilidad de 1381 kg, una fluencia de 3.78 mm, un porcentaje de vacíos de 4.8%, una resistencia a la tracción de 82.7% y un índice de película de asfalto de 8.25  $\mu\text{m}$ . Y con el 0.5% de grano de caucho se obtuvieron propiedades aceptables, pero no mejores que con una mezcla sin modificadores, la estabilidad fue de 1204 kg, la fluencia de 2.93 mm, un porcentaje de vacíos de 4.55%, la resistencia a la tracción de 84.6% y el índice de película de asfalto de 8.40  $\mu\text{m}$ . En conclusión, al realizar el ensayo de ahuellamiento en la mezcla asfáltica con 0.5% de adición de grano de caucho, se redujo en 2 horas la deformación a 5.4 mm, 5.3% menos que en una mezcla asfáltica sin modificadores, y respecto a las propiedades mecánicas evaluadas el emplear 0.5% de asfalto brinda propiedades que cumplen con la normativa.

Según el artículo científico (Hoyos, 2021) titulado “*Uso de caucho granulado en mezclas asfálticas*”, cada año se producen millones de toneladas de neumáticos desechados, lo cual presenta un grave problema ambiental. Por ello, en estos días se usa el caucho granulado (CR) en el diseño de mezclas asfálticas, por las propiedades fundamentales que posee, como la durabilidad y la resistencia. En el presente trabajo, se analizaron diferentes artículos con el objetivo de descifrar los procesos y métodos que se emplearon con el uso del CR, identificar los porcentajes óptimos y la mejora que proporciona éste en las mezclas asfálticas. Se descubrió que los porcentajes óptimos de CR en las mezclas asfálticas fluctuaron en un rango de 1%-20% en peso de la mezcla total. Del mismo modo, el CR aporta diferentes beneficios a la mezcla tales como: resistencia a la tracción indirecta, a la susceptibilidad, a la humedad, a la formación de surcos, a la permeabilidad y al envejecimiento; aumenta la vida útil de las mezclas a la fatiga y disminuye el ruido. Existen 50 artículos

indexados en la base de datos Scopus entre los años 2006 y 2020 acerca del uso de CR en mezclas asfálticas, daño por humedad, resistencia a la formación de surcos, resistencia a la fatiga y resistencia a baja temperatura. Por ende, la revisión literaria realizada sugiere que, al adicionar CR al asfalto, al agregado ya la mezcla, hay una mejora en las propiedades de la mezcla en cuanto a la resistencia a la tracción indirecta, la estabilidad retenida, la resistencia a la susceptibilidad a la humedad, la resistencia a la formación de surcos, la resistencia a la fluencia y la resistencia a la permeabilidad y al envejecimiento, aumenta la vida útil de las mezclas a la fatiga y disminuye el ruido. En cuanto al porcentaje óptimo de CR en las mezclas asfálticas varía de acuerdo con la forma como se agrega el CR a las mezclas asfálticas, cuando es agregado al asfalto es mejorado reemplazando un 20% del peso del asfalto, cuando se agrega al agregado usar 1 % a 3% del peso total del agregado y cuando se agrega a la mezcla usar 1% del total de la mezcla, asegurando una resistencia y vida útil duradera. Según los estudios analizados, es posible afirmar que existen dos procesos para incluir el CR en las mezclas asfálticas, el proceso húmedo y el seco. El proceso húmedo, el CR se agrega al asfalto, donde el porcentaje más utilizado se encuentra entre un 14% y el 20% del peso total de la mezcla asfalto-caucho y tamaño mejorado es tamiz #60. En el proceso húmedo se debe tener en cuenta varios factores concluyentes en el resultado esperado de esta mezcla asfalto-caucho, dichos factores son: el tamaño, la textura y la proporción del RC, el tipo del cemento asfáltico, el tiempo y la temperatura de mezclado y el uso de otros aditivos. El proceso húmedo mejora la propiedad mecánica de resistencia a la formación de surcos. El proceso seco se genera cuando existe una mezcla directa entre el CR con el agregado antes de agregar el ligante al mezclador de tal manera que el CR es usado como agregado en la mezcla asfáltica, los cuales pueden sumarse como parte del agregado fino y este representa entre el 1% a 3% del peso de los agregados. Para esta aplicación no se necesita ningún equipo especial para poder realizar la mezcla ya que el CR se mezcla con los agregados de manera directa. El proceso seco mejora las propiedades mecánicas de resistencia al agrietamiento, deformación permanente y mejora la adherencia entre el aglutinante y los agregados.

Según el artículo científico (Quintana, 2020) titulado Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia.

Indica que, en el mundo, la tecnología de los asfaltos modificados ha sido una técnica ampliamente utilizada para mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando son sometidas a niveles elevados de tránsito y de gradientes de temperatura. En Colombia, los desarrollos investigativos en el área de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas son extensos en comparación con la cantidad de estructuras de pavimentos flexibles construidas con esta tecnología. El artículo presenta el estado del conocimiento de los estudios que han desarrollado diversos grupos e instituciones de investigación en el área de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas en Colombia. Se concluye que un notable desarrollo académico e investigativo en el área de la modificación de asfaltos y mezclas asfálticas en Colombia. Sin embargo, la práctica de estos desarrollos es casi nula y en la actualidad a escalas moderadas, sólo las plantas de SHELL venden comercialmente asfalto modificado. Pocos desarrollos investigativos del comportamiento dinámico de mezclas modificadas se han realizado en comparación con los de resistencia bajo carga monotónica o de comportamiento térmico (p.e. penetración, punto de ablandamiento y viscosidad). Lo anterior es debido a que no todas las instituciones cuentan con los equipos necesarios para medir propiedades dinámicas. El comportamiento químico y mecánico de mezclas modificadas se ha estudiado de manera separada, lo cual no es lo ideal. Por lo general los aditivos con los que se ha trabajado son materiales de desecho o del reciclaje. La utilización de este tipo de materiales para modificar o mejorar alguna de las propiedades del asfalto o las mezclas, contribuiría al ambiente reduciendo el impacto negativo que producen y podría llegar a generar cultura del desarrollo sostenible en el área de los pavimentos. De la bibliografía consultada, solo una investigación se realizó en una pista de prueba a escala [40]. Futuras investigaciones de este tipo se deben realizar con el fin de poder observar in situ los mecanismos de degradación de mezclas asfálticas convencionales y modificadas. Esfuerzos conjuntos deben desarrollarse en un futuro con el fin de crear un gran centro de investigación sobre asfaltos y mezclas asfálticas modificadas.

Según el artículo científico (Palma, 2015) titulado Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos, indico que la modificación de asfaltos consiste en la adición de polímeros a un asfalto convencional con la

intención de mejorar sus propiedades fisicoquímicas, su uso en pavimentos conlleva a mejorar el desempeño y a alargar el tiempo de vida de los mismos. Los procesos de modificación de asfaltos con polímeros naturales y sintéticos fueron patentados en 1943 sin embargo, en la década de los 30 ya existían proyectos prueba en Europa. De los diferentes materiales poliméricos, los elastómeros son los polímeros más compatibles con el asfalto, en la presente revisión bibliográfica se muestran los elastómeros más utilizados en la modificación de bitúmenes, así como una comparación de la mejora de propiedades obtenidas con el uso de éstos.

A pesar del alto costo en la elaboración y las dificultades en la aplicación de AMP, el uso de éstos en sistemas de pavimentación proporciona a las mezclas grandes beneficios en cuanto a resistencia a la fractura, ahuellamiento, susceptibilidad térmica y permeabilidad, lo que conlleva a prolongar el tiempo de vida del pavimento. Se ha comprobado que los elastómeros son los polímeros que presentan mayor compatibilidad con el asfalto debido a sus propiedades elásticas, siendo el SBS el polímero que proporciona mejores propiedades a la mezcla asfáltica. Aún hay mucho futuro en el estudio de la modificación de asfaltos ya que la compatibilidad entre los plásticos y el asfalto, no siempre es la deseada y tiende a existir una separación de material. También, actualmente se están llevando a cabo estudios con polímeros reciclados con la intención de disminuir el costo de producción y la cantidad de desechos plásticos.

Según el artículo científico (Flores, 2020) titulado “*Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente Modificadas con Elastómero (caucho) y Tereftalato de Polietileno reciclados con Ligante Asfáltico AC-20*”, el objetivo principal de la investigación fue analizar y comparar el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con relación a una mezcla asfáltica normal, los materiales modificadores utilizados provienen del plástico como el elastómero (caucho), proveniente de neumáticos fuera de uso y tereftalato de polietileno (PET) proveniente de botellas de plástico recicladas con el fin de crear una alternativa de aplicación de estos materiales que generan contaminación al ambiente puesto que su biodegradación se produce a los 500 años. La granulometría utilizada corresponde a la Mezcla Asfáltica Normal MAC-2 determinada por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 para un material pétreo de tamaño máximo nominal  $\frac{3}{4}$ ". El trabajo realizado en laboratorio consta de caracterización de los

materiales a utilizarse como el agregado, cemento asfáltico, elastómero y PET, posteriormente se realiza la elaboración y ensayo de estabilidad y flujo de briquetas mediante el Método Marshall, inicialmente para determinar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla patrón y luego la aplicación de materiales modificadores en porcentajes variables, con lo que se determina el porcentaje óptimo elastómero y el porcentaje óptimo de la combinación 50% de elastómero y 50% de PET, finalmente se analiza el comportamiento de las mezclas diseñadas al ser sometidas a cambios bruscos de temperatura en un ensayo de choque térmico. Se concluye que con los datos expuestos en los literales 5 y 6 se determina que la mezcla con mejores resultados obtenidos en este proyecto de grado es la mezcla asfáltica modificada con el 7,5 % de partículas de elastómero (pasante del tamiz No. 10 y retenido en el tamiz No. 40). - Los materiales: elastómero (caucho) y tereftalato de polietileno PET, pueden ser usados en la modificación de mezclas asfálticas, como modificadores en lugar de polímeros ya existentes en el mercado, de esta manera se genera una alternativa de aplicación de desechos no biodegradables que contribuya a la conservación del ambiente. - La baja densidad de los materiales modificadores es el principal factor que genera una variación considerable en las propiedades volumétricas de la mezcla, siendo el más importante el porcentaje de vacíos, que está relacionado directamente con el volumen y la densidad Bulk de la mezcla compactada.

Según el artículo científico (Bobadilla, 2022) titulado “*Use of polymers in asphalt*”, los avances en la tecnología del asfalto redirigen hacia la búsqueda de materiales alternativos, que en la actualidad aporten y mejoren sus propiedades, al mismo tiempo que contribuyan con reducir la contaminación del medio ambiente. Este documento realizado entre los años 2015 – 2021 en distintas bases de datos, con el objetivo de conocer los beneficios en las propiedades de las mezclas asfálticas, como el tamaño óptimo, porcentaje de las partículas y las mejoras al incorporar polímeros. Se revisaron 50 artículos indexados en la base ESBCO, Science Direct, ProQuest, Scielo, IOP Science, Scopus y WorldWideScience, sobre el uso de polímeros en mezclas asfálticas, con las palabras claves polímeros de caucho en asfaltos, recycled rubber in asphalt mixtures, influence of rubber size on asphalt, caucho para mezcla asfáltica, caucho reciclado; con las cuales se obtuvo más información con

respecto al tema, concluyendo en esta investigación que al incorporar el polímero presenta mejoras en las propiedades mecánicas del asfalto teniendo en cuenta el porcentaje de polímero a agregar. La revisión literaria permitió identificar investigaciones en las que se expone que, al adicionar partículas de caucho a las mezclas asfálticas, mejora las propiedades mecánicas, en lo que es la resistencia a la formación de surcos, resistencia a la tracción, mayor resistencia a la rigidez de fluencia, resistencia al agrietamiento, y una mayor vida útil de la mezcla. Del mismo modo, se encontró que los porcentajes óptimos ubicados entre los parámetros de 10% a 20%, brindan una mejora en la resistencia a la fatiga, resistencia a carga, resistencia al agrietamiento, teniendo en cuenta el porcentaje de caucho a agregar en las mezclas asfálticas. Luego, el tamaño óptimo fluctúa entre 0,3 y 2,36 mm, que se pueden utilizar al agregar caucho en las mezclas asfálticas. En resumen, existen diversos métodos que se pueden utilizar, como es la metodología de Marshall y el método de la resistencia a la deformación permanente, que permiten determinar el comportamiento y rendimiento de dichas mezclas asfálticas al agregar el caucho reciclado.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Características del bitumen.**

El bitumen se fabrica a partir del petróleo crudo que se origina en los restos de organismos marinos y materia vegetal depositados en el lecho oceánico. A lo largo de millones de años, la materia se acumula y, por el inmenso peso de las capas superiores, la materia de la capa inferior se comprime. Combinada con el calor de la corteza terrestre, la materia forma petróleo crudo que queda atrapado por la roca impermeable formando grandes depósitos subterráneos. En ocasiones, el crudo puede ascender a través de fallas en las capas superiores, llegando a la superficie del suelo. En la actualidad, la mayor parte del crudo se extrae del subsuelo mediante perforaciones. Hay muchas fuentes de petróleo crudo, pero sólo unas pocas producen una materia prima adecuada para el betún.

También se define el betún como un líquido viscoso, o un sólido compuesto esencialmente por hidrocarburos y sus derivados, que es soluble en tricloroetileno y que es prácticamente no volátil y se ablanda gradualmente al calentarse. Se obtiene mediante un proceso de refinamiento a partir del petróleo

crudo, así como se encuentra como depósito natural o como componente del asfalto natural combinado con materia mineral.

#### **2.2.1.1. Composición y estructura del betún.**

El betún es una mezcla compleja de moléculas orgánicas. Tanto la parte química (constituyente) como la física (estructural) del betún se componen principalmente de hidrocarburos con cantidades menores de grupos funcionales como el oxígeno, el nitrógeno y el azufre. Como el betún se extrae del petróleo crudo, que tiene una composición variable según su origen, es difícil determinar el desglose preciso de los grupos de hidrocarburos en el betún. Sin embargo, el análisis elemental del betún fabricado a partir de una variedad de fuentes de crudo muestra que la mayoría de los betunes contienen: Carbono: 82-88%, Hidrógeno: 8-11%, Azufre: 0-6%, Oxígeno: 0-1,5% y Nitrógeno: 0-1%.

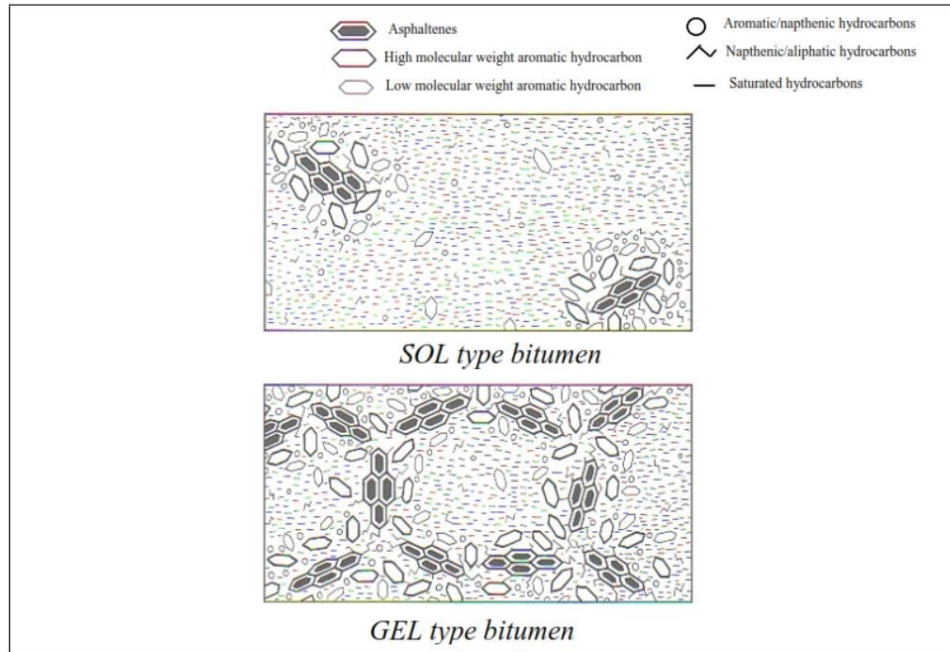
La composición exacta del betún varía según la fuente de crudo. Aunque la composición química es muy compleja, es posible separar el betún en cuatro composiciones químicas principales. Éstas son: asfaltenos, resinas, aromáticos y saturados.

Los cuatro grupos no están bien definidos y es inevitable que haya cierto solapamiento entre los grupos. Una representación esquemática de la estructura del betún se presenta en Figura 3.

Los asfaltenos son sólidos amorfos (sin forma) de color negro o marrón. Son materiales muy polares y complejos de alto peso molecular (entre 1.000 y 100.000). Dentro de un medio tienen tendencia a asociarse para formar micelas con un peso molecular entre 20.000 y 1.000.000. Los asfaltenos suelen constituir entre el 5% y el 25% del betún. El peso molecular está relacionado con el tamaño de cada molécula, de modo que cuanto mayor sea el peso molecular, más grandes serán las moléculas.

El contenido de asfaltenos tiene un efecto considerable en las características reológicas del betún. El aumento del contenido de asfaltenos produce un betún más duro, con menor penetración, mayor punto de reblandecimiento y mayor viscosidad. La asociación de asfaltenos no es fija; al calentarse, la estructura de gel, figura 3, de las micelas se rompe y se vuelve a formar al enfriarse. Durante un

calentamiento prolongado, las micelas de asfaltenos pueden romperse, por lo que es raro que el peso molecular del betún disminuya tras el calentamiento. En resumen, los asfaltenos definen la rigidez del componente bituminoso.



**Figura 3.** Representación esquemática de una estructura típica del bitumen

Fuente: Tomado del Manual de betún Shell (Whiteoak, 1991)

## 2.2.2. El caucho y los neumáticos.

### 2.2.2.1. Estructura molecular del caucho.

Existen dos tipos de caucho: el natural y el sintético. El látex de caucho natural se obtiene del árbol del caucho llamado *Hevea brasiliensis*. La composición primaria de la molécula de caucho en bruto es un hidrocarburo isopreno de cadena larga y recta. El aspecto físico de este hidrocarburo es de naturaleza esponjosa y floculante. A temperaturas inferiores a los 100 °C, este caucho esponjoso se vuelve rígido y duro, mientras que cuando se calienta por encima de los 100 °C, se vuelve flexible, blando y transparente. (Blow, 1971).

Los cauchos sintéticos se fabrican a partir de productos petrolíferos y otros minerales y se producen en dos etapas principales:

primero la producción de monómeros (moléculas largas formadas por muchas unidades pequeñas) y luego la polimerización para formar un caucho. Existen varios tipos de caucho sintético para diferentes aplicaciones. Algunos de ellos son Caucho de estireno-butadieno (SBR, utilizado en el betún, los neumáticos, etc.); cauchos de silicona (utilizados en juntas, sellos, etc.); caucho de fluorocarbono (resistente al calor y a los ataques químicos); y caucho de epiclorhidrina (chaquetas, mangueras, cables, embalajes, etc. (Blow, 1971).

La funcionalidad del caucho depende de la disposición de las moléculas. Existen tres tipos de disposiciones moleculares: lineal, ramificado lateral y reticulado.

#### **2.2.2.2. Producción y especificaciones del caucho triturado.**

Para producir caucho triturado, suele ser necesario reducir aún más el tamaño de los fragmentos o las virutas de los neumáticos. Los procesos ambiental y criogénico son los dos métodos principales que se utilizan normalmente para producir caucho triturado.

##### **a) Proceso a temperatura ambiente**

El triturado en ambiente puede clasificarse de dos maneras: granulación y craqueo. Normalmente, el material entra en el crackermill o en el granulador a temperatura "ambiente" o ambiente. Las temperaturas aumentan significativamente durante el proceso de molienda debido a la fricción generada a medida que el material se va "desgarrando".

El granulador reduce el tamaño de la goma mediante una acción de corte y cizallamiento. Una criba dentro de la máquina controla el tamaño del producto. Las cribas pueden cambiarse en función del tamaño del producto final. Las partículas de caucho producidas con estos métodos suelen tener una forma de superficie cortada y una textura rugosa, con dimensiones similares en los bordes cortados. Los molinos de craqueo son máquinas de baja velocidad y el caucho suele pasar por dos o tres molinos para lograr diversas reducciones de tamaño de las partículas y liberar aún más los componentes de acero y fibra. El caucho triturado producido en el proceso de craqueo suele tener una forma larga

y estrechay una gran superficie.

b) Proceso criogénico

En este proceso se utiliza nitrógeno líquido o un material/método similar para congelar las virutas de neumático antes de la reducción de tamaño. La mayor parte del caucho se vuelve frágil o "vidrioso" a temperaturas inferiores a - 80 °C. El uso de temperaturas criogénicas puede aplicarse en cualquier fase de la reducción de tamaño del neumático de desecho. Normalmente, el tamaño del material de alimentación es una viruta nominal de 50 mm o menor. El material se enfría en una cámara tipo túnel o se sumerge en un "baño" de nitrógeno líquido para reducir la temperatura del caucho o de la viruta de neumático. El caucho enfriado se tritura en una unidad de reducción de tipo impacto, normalmente un molino de martillos. Este proceso reduce el caucho a partículas de entre 6 mm y menos de 0,85 mm. El acero del neumático de desecho se separa normalmente del producto utilizando imanes. La fibra se elimina por aspiración y cribado. El material resultante tiene un aspecto brillante, limpio, con superficies fracturadas y un bajo contenido en acero y fibra debido a las limpias rupturas entre la fibra, el acero y el caucho..

c) Especificaciones

El caucho triturado se clasifica en número uno, dos y así sucesivamente, dependiendo de la calidad y el tamaño. La tabla 2 presenta un resumen de las calidades de caucho triturado. Sin embargo, los cauchos triturados producidos en la industria deben mantener ciertos requisitos de calidad con respecto a sus grados y especificaciones. En el Reino Unido no existe ninguna norma nacional, pero se está elaborando una norma europea. La mayoría de las industrias del Reino Unido utilizan sus propias especificaciones, aunque las normas ASTM se utilizan ampliamente en muchas partes del mundo. Las normas ASTM D5603-96 y ASTM D5644-96 son las dos normas de clasificación más utilizadas.

**Tabla 2.***Especificaciones del caucho triturado*

Calificación	Tamaño	Descripción
Neumático n° 1 y 2 en gránulos (menos 40 grados)	6,35 mm a menos de 0,635 mm	<i>Se garantiza que no contiene metales. No se aceptan materiales separados magnéticamente. Se ha eliminado la pelusa del cordón de los neumáticos. Menos de 0,635 mm se refiere al material que ha sido clasificado al pasar por un tamiz con 40 agujeros por centímetro (denominado grados de malla 40).</i>
Neumático n° 3 en gránulos (menos 4 grados)	Menos que 6.35 mm	<i>Materiales separados magnéticamente (estos materiales no pueden certificarse como libres de metal debido al contenido residual de metal/óxido. El metal se separa magnéticamente. La pelusa del cordón del neumático eliminada. Menos de 6,35 mm se refiere a material que ha sido clasificado pasando a través de un tamiz con 4 agujeros por centímetro.</i>
Neumático n° 4 en gránulos (menos 80 grados)	6,35 mm a menos de 0,3175 mm	<i>Separación magnética. Se ha eliminado la pelusa del cordón de los neumáticos. Menos de 0,3175 mm se refiere al material que ha sido clasificado pasando por una criba con 80 agujeros por centímetro.</i>

Fuente: Tomado de la tesis de (Rahman, 2004)

### 2.2.3. *Métodos de modificación del caucho triturado.*

Los tres métodos principales utilizados en la modificación del asfalto son el proceso húmedo, el proceso seco y la mezcla terminal. Hay varias ventajas y desventajas de estos métodos, tal y como se explica a continuación.

#### 2.2.3.1. **Proceso húmedo.**

De acuerdo con la norma ASTM D8, el método MacDonald denominado caucho asfáltico o modificación del caucho triturado por vía húmeda se define como una mezcla de ligante asfáltico con aditivos y caucho triturado, en la que la cantidad de este no debe exceder el 15% en peso del ligante, es decir, aproximadamente el 1-1.5% del peso total de la mezcla. Es el método más antiguo de modificación del caucho triturado, que comenzó en la década de 1960. En este método, las partículas de caucho triturado en el ligante asfáltico caliente deben mezclarse adecuadamente e hincharse manteniendo alrededor de 190 – 225 °C durante al menos 45 minutos para permitir una interacción dentro

de las partículas y el ligante. Como se observa en la figura 4. Sin embargo, este procedimiento de mezcla provoca el aumento de la viscosidad del ligante. Cabe señalar que el tiempo y la temperatura de la mezcla, el tipo y la cantidad de mezcla mecánica, las propiedades del caucho triturado (es decir, el tamaño, el tipo y el área específica) y también el tipo de aglutinante son los parámetros efectivos en la interacción entre el caucho reciclado y el aglutinante. Normalmente, la gradación del caucho triturado se selecciona en el rango de 0.075 a 1.2 mm. En este método, se prefiere que la gradación de los áridos sea abierta. Además, las capas de sellado, las capas intermedias y los sellados de grietas son usos alternativos de caucho asfáltico.

Las mezclas preparadas con el método de proceso húmedo tienen mejores o iguales propiedades de rendimiento en comparación con las mezclas modificadas con polímeros. Por otro lado, puede observarse la segregación de las partículas de caucho reciclado si la mezcla de caucho reciclado y aglutinante no se realiza correctamente. (Ozturk, Tascioglu, Kutay, & Littrup, 2012).



**Figura 4.** Proceso adición polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) al asfalto por vía húmeda

Fuente: Llantas usadas en pavimentos ([www.liganteasfalto](http://www.liganteasfalto))

### 2.2.3.2. Proceso en seco.

El proceso en seco se basa en la sustitución del 1-3% de los áridos finos por el caucho triturado. En este método, los áridos, el ligante y el caucho triturado se mezclan al mismo tiempo. Por lo tanto, el caucho triturado en la mezcla aparece como agregados de goma.

En los años 60, se aplicó por primera vez en Suecia la mezcla modificada por el proceso seco y se patentó con el nombre de "Rubite". Más tarde, en 1978, esta tecnología se trasladó a Estados Unidos con el nombre de "PlusRide". Aunque puede haber una cantidad limitada de interacciones entre el caucho triturado y el ligante asfáltico a lo largo del tiempo de mezcla en la planta, el almacenamiento, el acarreo y la compactación de la mezcla, se considera que el ligante asfáltico no se modifica en la aplicación en seco. Como ventajas de la modificación del cauchotriturado en el proceso seco, se podrían enumerar la mejora de la resistencia al deslizamiento y de las propiedades de deshielo, el bajo coste de la aplicación y la mayor eliminación del caucho triturado. Por otro lado, los antioxidantes no se mezclan completamente con el ligante debido al corto período de interacción ligante - caucho triturado. Por lo tanto, si las mezclas modificadas con caucho triturado por el proceso seco no se diseñan correctamente, puede dar lugar a varios problemas de rendimiento en el pavimento. Como se observa en la figura 5.

Para la compactación de las mezclas de caucho triturado por vía seca, se requieren altas temperaturas de mezclado y compactación para evitar la segregación y el malrendimiento. Se recomienda aumentar las temperaturas de mezclado y compactación convencionales en 10 °C para que se produzca la interacción ligante - caucho triturado. Normalmente, estas temperaturas son de unos 149 – 177 °C. Los áridos deben calentarse y mezclarse con el caucho triturado antes de añadir el betún para proporcionar una distribución homogénea del caucho triturado dentro del lote de áridos. Además, las temperaturas de colocación y de parada deben ser de al menos 121 °C y 60 °C, respectivamente. La temperatura de parada se especifica para evitar la posibilidad de que las gomas se hinchen.

### Proceso Adición Polvo NFU al Asfalto por Via Seca



**Figura 5.** Proceso adición polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) al asfalto por vía seca

Fuente: Llantas usadas en pavimentos ([www.liganteasfalto](http://www.liganteasfalto))

#### 2.2.3.3. Mezcla terminal.

El método de mezcla terminal es similar al proceso húmedo, pero también se utilizan polímeros para evitar que las partículas de caucho triturado se suspendan en el ligante modificado. En este método, las partículas de caucho triturado se mezclan con el ligante y los polímeros en la refinería o la terminal. El caucho triturado se añade normalmente al ligante a 190 -204 °C en una proporción del 0.6% del peso total de la mezcla.

En este método, se pueden utilizar gradaciones de áridos densos además de los abiertos y de brecha. Como ventajas de este método, se puede mencionar que podría proporcionar un rendimiento superior en comparación con muchos pavimentos asfálticos modificados con polímeros (Santucci, 2009). No hay segregación de las partículas de caucho triturado y las distancias de transporte de la mezcla son más largas. Por otro lado, su producción es costosa, y también la cantidad de caucho triturado utilizado en este método es menor, en comparación con otros métodos de modificación.

#### **2.2.4. *Diseño de la mezcla Marshall.***

El diseño de mezcla Marshall fue desarrollado por el Departamento de Carreteras de Mississippi en 1939. En los años siguientes, el ejército de EE.UU. hizo avanzar este método durante la Segunda Guerra Mundial para superar la carga y las presiones de los neumáticos creadas por los enormes aviones militares. El procedimiento tiene como objetivo determinar el contenido óptimo de ligante a la densidad deseada, cumpliendo al mismo tiempo el valor mínimo de estabilidad y flujo. (White, 1985)

A continuación, se definen tres procedimientos principales para el diseño de la mezcla Marshall:

- a) Selección de los áridos y determinación de la gradación de los mismos: Las propiedades físicas de los áridos, como la dureza y la abrasión, la durabilidad y la solidez, la limpieza y los materiales nocivos, la forma de las partículas y la textura de la superficie, se determinan de acuerdo con las normas deseadas para certificar su uso en la producción de pavimentos asfálticos. A continuación, se identifica la gradación de los áridos dentro de los límites de la especificación deseada, a lo que siguen los cálculos de mezcla de áridos. Por último, se determina la gravedad específica y la absorción de la mezcla de áridos para realizar otros cálculos.
- b) Evaluación del ligante asfáltico: Se determinan las propiedades del ligante, como la penetración, el punto de reblandecimiento, el punto de inflamación, la ductilidad, etc., para determinar la idoneidad para el lugar de diseño según el clima. Además de estas propiedades, se realiza una prueba de viscosidad para determinar las temperaturas de mezcla y compactación.
- c) Procedimiento de preparación de la muestra: De acuerdo con el contenido estimado de ligante para la mezcla de agregados especificada en el paso inicial, se preparan normalmente conjuntos de muestras con tres réplicas como tres conjuntos por encima y tres conjuntos por debajo del ligante óptimo con los incrementos de  $\pm 0,5\%$ . Se analizan las propiedades físicas (es decir, los vacíos de aire, ( $V_a$ ), la densidad, los vacíos en los áridos minerales (VMA) y los vacíos rellenos de asfalto (VFA)) y el rendimiento (es decir, la estabilidad y el flujo) de estas muestras para determinar el contenido óptimo de ligante.

### **2.2.5. Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall.**

### **2.2.6. Objeto.**

Determinar a partir de la preparación y compactación de especímenes de mezcla bituminosa para pavimentación, de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro, el diseño de una mezcla asfáltica y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento, por medio del método manual Marshall.

### **2.2.7. Finalidad y alcance.**

Este modo operativo está destinado para su empleo con mezclas densas bituminosas de laboratorio y aquellas producidas en planta, con agregados hasta de 25 mm de tamaño máximo y para recompactación de muestras de pavimentos asfálticos.

Los especímenes de mezclas bituminosas compactadas, moldeadas por este procedimiento son empleados para varios ensayos físicos tales como estabilidad, flujo, resistencia a tracción indirecta y módulos. El análisis de densidad y vacíos también es conducido sobre especímenes para diseño de mezcla y evaluación de la compactación en campo.

Nota 1. Las mezclas no compactadas son empleadas para la determinación del peso específico teórico máximo..

Los valores de estabilidad Marshall y flujo junto con la densidad, vacíos de aire de la mezcla total, vacíos en el agregado mineral ó simplemente vacíos ó ambos, llenados con asfalto; son empleados para el diseño de mezclas en laboratorio, así como para la evaluación de mezclas asfálticas. Así también la estabilidad y flujo Marshall pueden ser empleados para monitorear los procesos de producción de mezclas bituminosas en planta. También pueden ser empleados como referencia para evaluar diferentes mezclas y los efectos de acondicionamientos tales como con agua.

La estabilidad y flujo Marshall son características de las mezclas bituminosas determinadas a partir de especímenes compactados de una geometría específica y en una manera prescrita. La estabilidad Marshall es la máxima resistencia a la deformación a una razón constante de carga. La magnitud de la estabilidad Marshall varía con el tipo y gradación del agregado y grado del bitumen empleado, así como su cantidad. Varias agencias establecen

criterios para los valores de la estabilidad Marshall. El flujo Marshall es una medida de la deformación de las mezclas bituminosas determinado durante el ensayo de estabilidad. No existe un valor ideal, pero hay límites aceptables. Si el flujo en el contenido óptimo de asfalto sobrepasa el límite superior, la mezcla se considera demasiado plástica ó inestable, y si está bajo el límite inferior esta se considera demasiado rígida.

Para propósitos de diseño de mezcla los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo deberán consistir del promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0,5% sobre un rango de contenido de ligante. El rango de contenido de ligante generalmente es seleccionado en base a la experiencia y datos históricos de los materiales componentes, pero puede incluir también juicio y error para incluir el rango deseable de las propiedades de la mezcla. Las mezclas densas generalmente mostrarán un pico en la estabilidad a un determinado contenido de ligante. Este pico en el contenido de ligante puede ser promediado con otros contenidos de ligante tal como el contenido de ligante en el contenido de la máxima densidad de la curva ligante-densidad y el contenido de ligante en los vacíos de aire deseados y vacíos llenados.

La estabilidad y flujo Marshall efectuados en laboratorio de campo, obtenida de especímenes hechos de mezclas producidas en planta pueden variar significativamente de los valores de diseño obtenido en el laboratorio debido a las diferencias del mezclado que hay entre una planta y la efectuada en laboratorio. Esto también incluye la eficiencia en el mezclado y el envejecimiento producido.

Las diferencias significativas en la estabilidad y flujo Marshall de un grupo de ensayos a otro ó de un valor promedio de un grupo numerosos de datos ó especímenes preparados de una mezcla producida en planta puede indicar pobre mezclado, técnicas incorrectas de ensayo, cambio de gradación, cambio del contenido de ligante, ó mal funcionamiento del proceso de planta. La fuente de la variación deberá ser averiguada y el problema resuelto.

Los especímenes a menudo serán preparados empleando el método indicado aquí, pero pueden ser preparados empleando otros tipos de procedimientos de compactación. Otros tipos de compactación pueden hacer variar las características de resistencia en comparación con los preparados por

el método Marshall.

Los valores de estabilidad y flujo Marshall pueden ser determinados también empleando núcleos provenientes de un pavimento para información y evaluación. Sin embargo, estos resultados no pueden ser comparados con resultados de especímenes preparados en laboratorio y no deberán ser empleados para propósitos de especificación ó aceptación.

#### **2.2.8. Referencias normativas..**

ASTM-D6926: “Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus”.

ATM D 6927: “Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Bituminous Mixtures”.

#### **2.2.9. Equipos, materiales e insumos.**

##### **2.2.9.1. Equipos para la preparación de los especímenes**

Molde ensamblado para Especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines de extensión cumplirán con los detalles mostrados en la Figura 1.

Extractor de Especímenes, Tendrá un disco de acero que encajará en el molde sin doblarse y no será menor de 100 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor. El disco de acero es empleado para extraer los especímenes compactados de los moldes con el uso del collar del molde. Cualquier dispositivo adecuado de extracción tal como una gata hidráulica puede ser empleado, de tal manera que el espécimen no se deforme durante el proceso de extracción.

##### **2.2.9.2. Martillos de compactación.**

Martillos de Compactación con manubrio sostenido manualmente (tipo 1) ó manubrio fijo (Tipo 2), ya sea operado mecánicamente ó a mano como se muestra en la Figura 2, tendrá un pie de compactación plano con un tornillo y una masa deslizante de  $4,54 \pm 0,01$  kg con caída libre de  $457,2 \pm 1,5$  mm (ver la Figura 2 para tolerancias en los martillos). Un martillo mecánico se muestra en la

Figura 2.

Nota 2. Los martillos manuales de compactación deberán ser equipados con una protección de seguridad para los dedos.

Martillo de Compactación con Manubrio Fijo, con sobrecarga en la parte superior del manubrio, base de rotación constante y operado mecánicamente (Tipo 3), deberá tener la cara circular de apisonado y un peso deslizante de  $4,54 \pm 0,01$  kg con una caída libre de  $457,2 \pm 1,5$  mm. Posee un mecanismo de rotación en la base. La velocidad de rotación de la base y la razón de golpes será de 18 a 30 rpm y  $64 \pm 4$  golpes por minuto respectivamente.

Nota 3. El aparato para martillo Marshall tipo 3 está disponible en versiones con más de un martillo. La operación múltiple de varios martillos afectará la densidad de un espécimen. Mejores resultados comparativos se obtendrán compactando todos los especímenes con el mismo martillo y sin la operación de ningún otro.

Pedestal de Compactación, Consistirá de un poste de madera de 203,2 por 203,2 mm, aproximadamente de 457 mm de largo cubierto con una placa de acero aproximadamente de 304,8 mm por 304,8 mm y 25,4 mm de grosor. Este podrá ser de roble, pino amarillo u otra madera que tenga un promedio de densidad de 670 a 770 kg/m<sup>3</sup>. El poste de madera estará asegurado por pernos a través de 4 ángulos a un bloque de concreto. La placa de acero deberá estar firmemente fijada al poste. El pedestal ensamblado será instalado de tal manera que el poste esté a plomo y la placa nivelada.

Sostén de Molde para Espécimen, En compactadores de martillo simple, el sostén estará montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado con el pedestal de compactación. Los sostenedores de moldes de compactadores multimartillos necesariamente no estarán centrados. Los sostenedores mantendrán el molde de compactación, el collar y la placa de base asegurados y en posición durante la compactación del espécimen.

Hornos, cacerolas para calentado ó placas calentadoras, Los hornos serán de aire circulante ó termostáticamente controlados, las

cacerolas de calentamiento y las placas calentadoras serán proveídos para calentar los agregados, el material bituminoso, los moldes de especímenes, martillos de compactación y otros equipos a 3°C de las temperaturas requeridas para el mezclado y la compactación. Protecciones adecuadas ó baños de arena se emplearán sobre la superficie de las placas calentadoras para minimizar el sobrecalentamiento local.

### **2.2.9.3. Equipo misceláneo.**

Aparatos de Mezclado, Se recomienda el mezclado mecánico. Cualquier tipo de mezclador mecánico puede ser empleado siempre y cuando la mezcla se mantenga a la temperatura de mezclado requerida y se produzca una mezcla homogénea y bien cubierta en la cantidad requerida y en un tiempo pertinente, así también que permita que toda la mezcla sea recuperada. Una bandeja de metal ó bolo de suficiente capacidad para el mezclado a mano puede ser empleado.

Contenedores para Calentamiento de Agregados, Bandejas de metal de fondo plano, ú otros adecuados.

Contenedores cubiertos para calentar material bituminoso, ya sean latas tipo gill, vasos, potes de vaciado ú otras bandejas podrán ser empleadas.

Herramientas de mezclado, consistirán de cucharones de acero (cucharón de punta Mason con la punta redondeada), cucharas ó espátulas para batido y mezclado a mano.

Termómetros calibrados, Para determinar temperaturas de agregados, bitumen y mezclas bituminosas. Termómetros del tipo de vidrio ó de dial con armazones de metal se recomiendan. Se requieren en un rango de 10 a 200 °C con sensibilidad de 3°C.

Balanza, con aproximación al menos de 0,1 g para las bachadas de mezcla.

Guantes, para maniobrar el equipo caliente.

Crayones de marcado, para identificar los especímenes.

Cucharón de base plana para bchar los agregados.

Cuchara larga para colocar la mezcla en el molde de

especímenes.

#### **2.2.10. Equipos para el ensayo de estabilidad y flujo.**

- a) **Cabezal de Ruptura (ver Figura 3).**
- b) **Máquina de Carga a Compresión (ver Figura 4).**
- c) **Dispositivo de Medida de Carga (anillo dinamómetro de 22 240 N (5000 lbf)).**
- d) **Baño de Agua (precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ).**
- e) **Horno, capaz de mantener la temperatura especificado  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .**
- f) **Baño de Aire.**

Para el caso de mezclas con asfaltos líquidos deberá ser automáticamente controlado y mantendrá la temperatura del aire a  $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- g) **Termómetros, con precisión de  $0,2^{\circ}\text{C}$ .**
- h) **Medidor de flujo.**

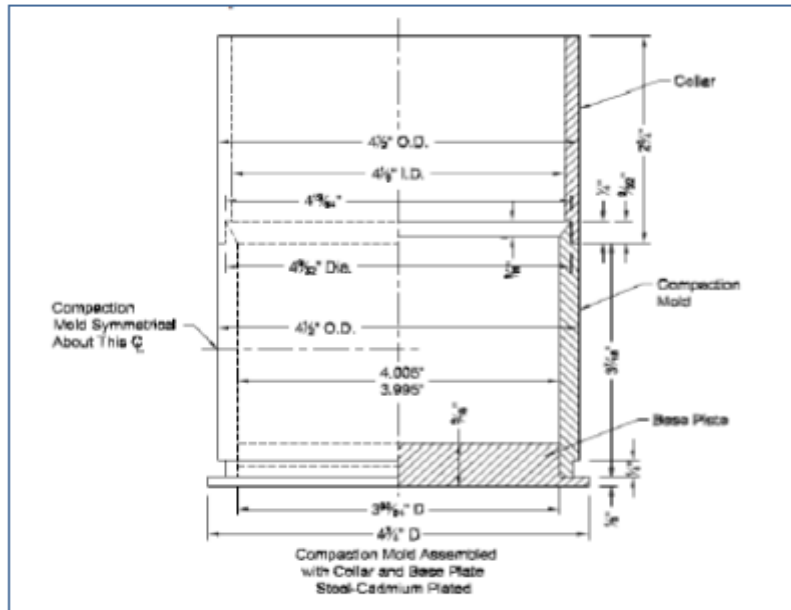


Ilustración 1. Molde de compactación

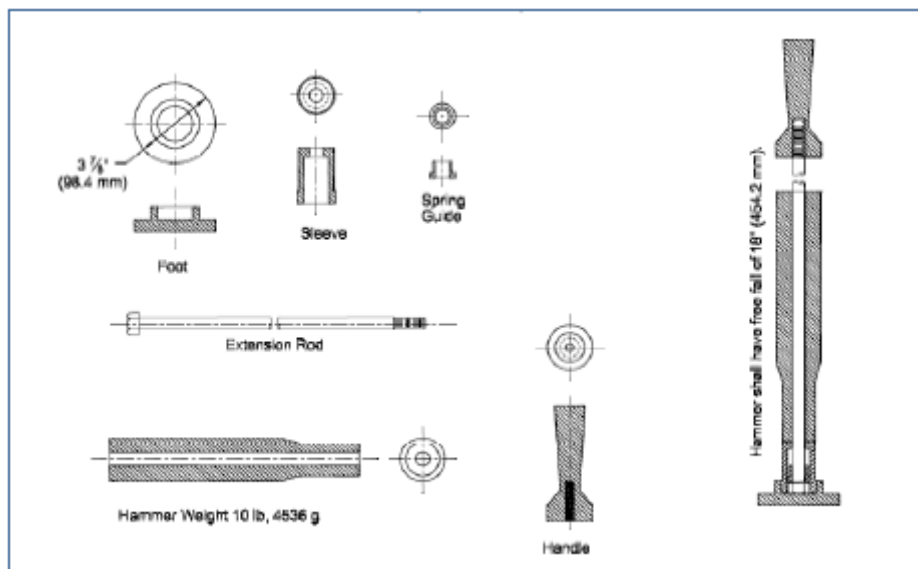


Ilustración 2. Martillo de compactación

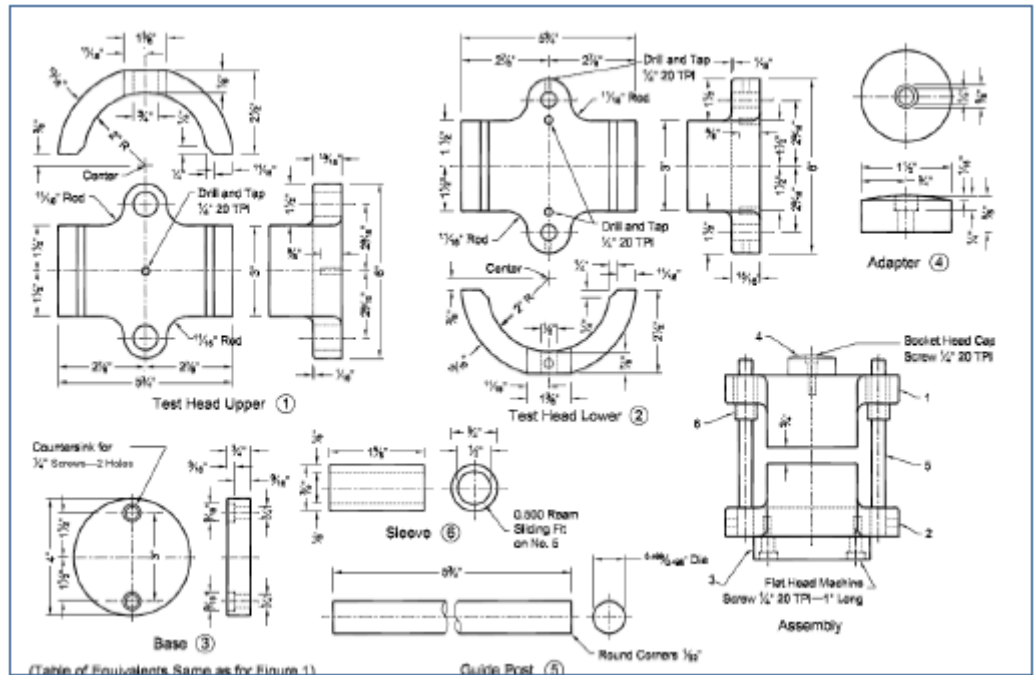


Ilustración 3. Cabezal de rotura

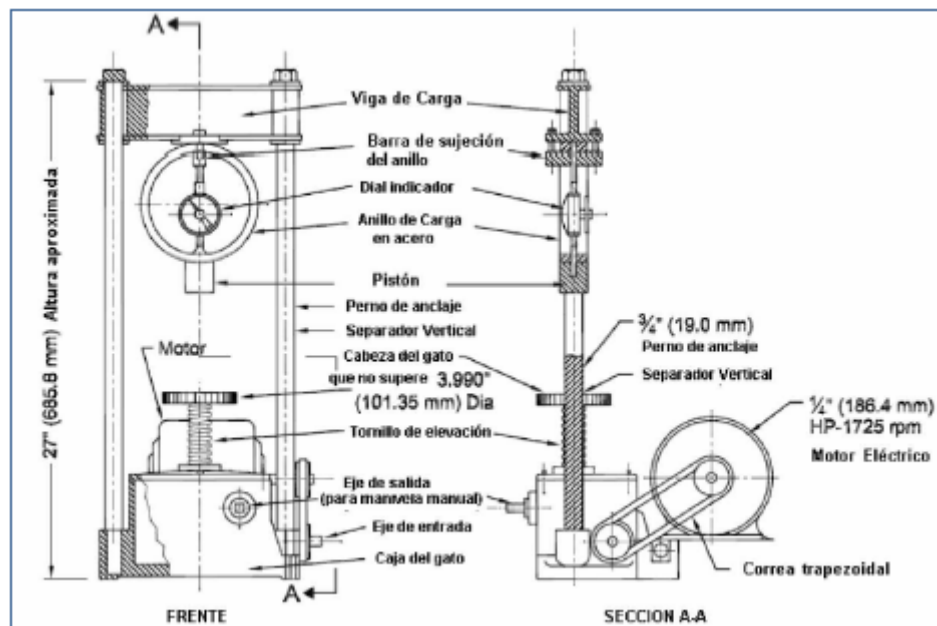


Ilustración 4. Máquina de carga a compresión

### 2.2.11. Muestra.

No existe información al respecto para este método.

## **2.2.12. Procedimiento.**

### **2.2.12.1. Especímenes de ensayo.**

Preparación de Agregados, Secar los agregados a peso constante. El secado en horno será hecho de 105 °C a 110 °C. Después del secado, separa los agregados por tamizado en seco en las fracciones deseadas. Las fracciones mínimas siguientes son las recomendadas:

25 a 19 mm (1 a ¾ pulg)

19 a 12,5 mm (¾ a ½ pulg)

12,5 a 9,5 mm (½ a 3/8 pulg)

9,5 a 4,75 mm (3/8 a N°4)

4,75 a 2,36 mm (N°4 a N°8)

2,36 mm (pasante la N°8)

### **2.2.12.2. Determinación de temperaturas de mezcla y compactación.**

El cemento asfáltico empleado en preparar las muestras será calentado para producir viscosidades de  $0,17 \pm 0,02$  Pa.s y  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s para mezclado y compactado respectivamente. Un ejemplo de una carta viscosidad temperatura se da en la Figura 2 de D 2493.

Nota 4. La selección de las temperaturas de compactación y mezclado a viscosidades de  $0,17 \pm 0,02$  Pa.s y  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s, respectivamente no aplican a asfaltos modificados. El usuario contactará con el productor para establecer los rangos apropiados de temperaturas de compactación y mezclado.

Mezclas con Asfaltos Cut back, La temperatura a la cual un asfalto cut back será calentado para producir una viscosidad de  $0,17$  a  $0,02$  Pa.s será la temperatura de mezcla. La temperatura de compactación para mezcla de asfalto cut back se selecciona empleando una carta viscosidad versus porcentaje de solvente para asfaltos cut back. De la carta compuesta determine el porcentaje de solvente del asfalto cut back por peso a partir de su viscosidad a 60°C después que este haya perdido el 50% de su solvente (para asfaltos de curado medio y rápido) ó 20% de su solvente (para asfaltos de curado lento). La temperatura de compactación se determina de la carta viscosidad temperatura como

aquella a la cual el asfalto cut back debe ser calentado para producir una viscosidad de  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s después de la pérdida de la cantidad especificada de solvente original.

Mezclas de Pavimentación Recompactadas, Los materiales obtenidos de un pavimento existente serán calentados en recipientes cubiertos en horno a  $3^{\circ}\text{C}$  de la temperatura de compactación deseada. El calentamiento durará lo suficiente como para obtener la temperatura deseada. Si la temperatura de compactación para una mezcla específica no se conoce, la experiencia ha mostrado que estas mezclas serán compactadas una temperatura entre  $120^{\circ}\text{C}$  a  $135^{\circ}\text{C}$ . Durante la preparación para el calentamiento a temperatura de compactación el material será calentado y trabajado hasta una condición de mezcla suelta. Cualquier agregado roto podrá ser removido. La estabilidad de mezclas recalentadas y recompactadas de pavimentos existentes es común que sea más alta que la original debido al endurecimiento del asfalto en servicio. El proceso de recalentamiento solo tendrá una menor influencia en el endurecimiento del asfalto.

### **2.2.12.3.Preparación de la mezcla.**

Los especímenes podrán ser preparados de bachadas solas ó de bachadas múltiples que contengan suficiente material para tres ó cuatro especímenes.

Pesar en contenedores separados la cantidad de cada fracción de agregado requerida para producir una bachada que resultará en una, dos, tres o cuatro especímenes compactados de  $63,5 \pm 2,5$  mm de altura (cerca de 1200, 2400, 3600 ó 4800 g respectivamente). Colocar los agregados de las bachadas en contenedores sobre una placa de calentamiento ó en horno y calentar a temperatura por encima de, pero sin exceder la temperatura de mezcla establecida en 2.2.12.2. por más de  $28^{\circ}\text{C}$  para mezclas con cemento asfáltico y brea y  $14^{\circ}\text{C}$  para mezclas con asfaltos cut back. Cargar el contenedor de la mezcla con el agregado caliente y mezclar en seco con cuchara (por 5 s, aprox.) con cuchara ó pala. Formar un cráter en el agregado mezclado seco y pese la cantidad requerida de material bituminoso a la temperatura de mezcla dentro de la mezcla. Para

mezclas preparadas con asfaltos cut back introducir la espátula en el bowl de mezclado y determinar el peso total de los componentes de la mezcla más el bowl y la espátula antes de proceder con el mezclado. Se debe ejercer cuidado para prevenir la pérdida de la mezcla durante el mezclado y el subsecuente manipuleo. En este punto la temperatura de la mezcla deberá estar entre los límites de aquella determinada en 2.2.12.2. Mezclar los agregados y el material bituminoso rápidamente hasta que estén cubiertos totalmente por 60 s para bachadas simples y por 120 s para bachadas para especímenes múltiples.

Acondicionar las bachadas simples en contenedores de metal cubiertos en horno a 8 °C a 11 °C por encima de la temperatura de compactación establecida en 2.2.12.2. para un mínimo de 1 h y máximo de 2 h.

Para muestras de múltiples bachadas, colocar la bachada total en una superficie limpia no absorbente. Mezcle a mano para asegurar uniformidad y cuartear a un tamaño de muestra para conformar el espécimen de altura requerida. Para cementos asfálticos y alquitrán poner las muestras en contenedores de metal cubiertos y en un horno ventilado a la temperatura establecida en 2.2.12.3. para acondicionarlos por espacio mínimo de 1 h y máximo de 2 h. Curar la mezcla de asfalto cut back en el bowl de mezclado en un horno ventilado mantenido aproximadamente a 11 °C por encima de la temperatura de compactación. El curado debe ser continuado en el bowl de mezclado hasta una pérdida precalculada de 50% en peso del solvente. La mezcla puede ser batida en el bowl de mezclado durante el curado para acelerar la pérdida de solvente. Sin embargo, se debe tener cuidado para prevenir la pérdida de mezcla. Pesar la mezcla durante el curado a intervalos consecutivos de 15 min inicialmente y menos de 10 min conforme se aproxima al peso de la mezcla con el 50% de pérdida de solvente.

Otros materiales bituminosos ó producidos en planta pueden requerir técnicas especiales de curado.

Nota 5. Calentar las mezclas por un período de tiempo antes de la compactación puede resultar en especímenes que tengan propiedades

diferentes de aquellos que son compactados inmediatamente después de su mezclado (el criterio Marshall Original está basado en un procedimiento sin curado)..

#### **2.2.12.4. Compactación de los especímenes.**

Limpiar completamente el molde ensamblado y la cara del martillo de compactación y calentarlos ambos en agua hirviendo en horno ó en una placa calentadora a temperatura entre 90 y 150 °C. Colocar un pedazo de papel no absorbente cortado del tamaño de la base del molde antes de introducir la mezcla. Colocar la mezcla en el molde, chusear vigorosamente la mezcla con una espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Colocar otra pieza de papel no absorbente para que encaje en la parte superior de la mezcla. La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar entre los límites de las temperaturas de compactación establecida en 2.2.12.2.

Colocar el molde ensamblado en el pedestal de compactación con el sujetador y aplicar el número requerido de golpes con el martillo especificado de compactación. Remover la placa de base y el collar y voltee y reensamble el molde. Aplicar el mismo número de golpes de compactación en la cara reversa del espécimen. Después de la compactación, remover el collar y la placa de base. Permitir que el espécimen se enfríe lo suficiente para prevenir algún daño y extraer el espécimen de su molde. El enfriar los especímenes en el molde puede ser facilitado por su inmersión en agua fría. Para facilitar la extracción, el molde y el espécimen pueden ser brevemente sumergido en agua en un baño de agua caliente para calentar el molde de metal y reducir la distorsión del espécimen. Cuidadosamente transfiera el espécimen a una superficie suave y plana y permita que se enfríen a temperatura de sala (puede ser toda la noche). Se puede emplear también un ventilador para facilitar el enfriado.

Cuando se lleva a cabo la compactación con el martillo operado manualmente, coger el eje del martillo con la mano tan cerca de la

perpendicular de la base del molde ensamblado como sea posible. En este procedimiento original Marshall ningún aparato mecánico de cualquier tipo debe ser empleado para restringir el manubrio del martillo en posición vertical durante la compactación.

Nota 6. El vástago del martillo debe ser limpiado y aceitado ligeramente.

#### **2.2.12.5. Ensayo de estabilidad y flujo.**

Se ensayarán un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. Además, tendrán la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.

Los especímenes deberán enfriarse a temperatura ambiente después de la compactación. Durante el enfriamiento serán colocados sobre una superficie suave y plana. Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen por el método D2726. Los pesos específicos bulk de los especímenes para cada contenido de ligante estarán dentro de  $\pm 0,020$  del promedio tal como se indica en D 6926.

Medir el espesor de los especímenes de acuerdo a MTC E 507.

Los especímenes podrán acondicionarse para su ensayo tan pronto alcancen la temperatura ambiente. Los ensayos se completarán dentro de las 24 h de haberse compactado los especímenes. Llevar los especímenes a la temperatura especificada por inmersión en agua de 30 a 40 min. Ó colocarlos en horno de 120 a 130 min.

Mantener el baño u horno a  $60 \pm 1$  °C para cemento asfáltico,  $49 \pm 1$  °C para alquitrán con caucho y  $38 \pm 1$  °C para alquitrán.

Llevar los especímenes preparados con asfalto líquido a temperatura colocándolos en el baño de aire por 120 a 130 min. Mantener el baño de aire a  $25 \pm 1$ °C.

Limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. Lubricar las líneas guías de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente sobre ellas. El cabezal deberá estar a temperatura de 20 a 40 °C. Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior

de los segmentos del cabezal.

Remover un espécimen del agua, horno ó baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.

El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga. Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga ó convertirla de la lectura máxima del dial micrómetro como estabilidad Marshall. Liberar el flujómetro ó anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25 mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.

### ***2.2.13. Cálculos e informe.***

#### **2.2.13.1. Cálculos.**

Los especímenes moldeados en laboratorio deberán satisfacer los requerimientos de espesor de  $63,5 \pm 2,5$  mm. Los especímenes dentro de la tolerancia de espesor pueden ser corregidos basados en el volumen del espécimen. Las estabilidades determinadas en núcleos extraídos de campo con amplios rangos de variación de espesor también serán corregidas. Sin embargo, los resultados con correcciones mayores deberán ser empleados con precaución. Ver la tabla 1 para los factores de corrección. La razón de correlación es empleada de la siguiente manera (Ministerio de Transportes, 2016).

$$A = B \times C$$

Donde:

A = Estabilidad corregida.

B = Medida de la estabilidad (carga).

C = Razón de correlación de la tabla 1.

#### **2.2.13.2. Informe.**

Identificación de la muestra (número, si es mezcla de laboratorio ó de planta ó núcleo del pavimento).

Tipo de material bituminoso, fuente y grado.

Tipos de agregado, fuente y gradación.

Tipo y tiempo de curado antes de la compactación.

Tipo de martillo (sostenido manualmente, ó fijo, mecánicamente ó manualmente operado, pie de martillo plano ó sesgado).

Número de golpes por lado.

Temperatura de mezclado.

Temperatura de Compactación.

Tipo y tiempo de curado.

Peso específico bulk individual y promedio.

Altura de cada espécimen de prueba en milímetros aproximación de 0,25mm.

Valores individuales y promedio de la estabilidad Marshall (corregidos y sin corregir, si se requiere) aproximación de 50 N.

Valores individuales y promedio del flujo Marshall en unidades de 0,25mm.

Temperatura del Ensayo de estabilidad y flujo. A Mide la estabilidad del espécimen multiplicado por la relación para el espesor de la muestra es igual a la estabilidad corregida para 2.“ (63,5 mm) del espécimen. B La relación Volumen-espesor se basa en un diámetro de la probeta de 4” (101,6 mm)

## **2.2.14. Precision y dispersion.**

### **2.2.14.1. Precisión.**

No se aplica una regla de precisión para esta práctica. Los especímenes deberán ser aceptados ó rechazados por otros ensayos basados en requerimientos del criterio que está siendo aplicado. Para la determinación de la estabilidad y flujo Marshall de acuerdo a la Práctica D 6926, emplee solo aquellos especímenes replicados que tienen peso específico bulk dentro de  $\pm 0,02$  de su promedio.

Nota 7. Para dos especímenes preparados por laboratorios participantes en un programa de ensayo AMRL, un solo operador 1s y la deferencia aceptable de dos resultados, d2s, para el peso específico bulk fue de 0,007 y 0,020 respectivamente. Los resultados de estos ensayos se encuentran disponibles como un reporte de investigación. (Ministerio de Transportes, 2016).

**Cuadro 1.***Factores de Estabilidad de correlación*

Volumen del espécimen, cm <sup>3</sup>	Espesor del espécimen <sup>B</sup>		Razón de la Correlación
	mm	Pulg	
200 - 213	25,4	1,00 (1)	5,56
214 - 225	27	1,06 (1 1/16)	5
226 - 237	28,6	1,12 (1 1/8)	4,55
238 - 250	30,2	1,19 (1 3/16)	4,17
251 - 264	31,8	1,25 (1 1/4)	3,85
265 - 276	33,3	1,31 (1 5/16)	3,57
277 - 289	34,9	1,38 (1 3/8)	3,33
290 - 301	36,5	1,44 (1 7/16)	3,03
302 - 316	38,1	1,50 (1 1/2)	2,78
317 - 328	39,7	1,56 (1 9/16)	2,5
329 - 340	41,3	1,62 (1 5/8)	2,27
341 - 353	42,9	1,69 (1 11/16)	2,08
354 - 367	44,4	1,75 (1 3/4)	1,92
368 - 379	46	1,81 (1 13/16)	1,79
380 - 392	47,6	1,88 (1 7/8)	1,67
393 - 405	49,2	1,94 (1 15/16)	1,56
406 - 420	50,8	2,00 (2)	1,47
421 - 431	52,4	2,06 (2 1/16)	1,39
432 - 443	54	2,12 (2 1/8)	1,32
444 - 456	55,6	2,19 (2 3/16)	1,25
457 - 470	57,2	2,25 (2 1/4)	1,19
471 - 482	58,7	2,31 (2 5/16)	1,14
483 - 495	60,3	2,38 (2 3/8)	1,09
496 - 508	61,9	2,44 (2 7/16)	1,04
509 - 522	63,5	2,50 (2 1/2)	1
523 - 535	65,1	2,56 (2 9/16)	0,96
536 - 546	66,7	2,62 (2 5/8)	0,93
547 - 559	68,3	2,69 (2 11/16)	0,89
560 - 573	69,8	2,75 (2 3/4)	0,86
574 - 585	71,4	2,81 (2 13/16)	0,83
586 - 598	73	2,88 (2 7/8)	0,81
599 - 610	74,6	2,94 (2 15/16)	0,78
611 - 626	76,2	3,00 (3)	0,76

### 2.3. Definición de términos básicos

- Bitúmenes

Es como un líquido viscoso, o un sólido compuesto esencialmente por hidrocarburos y sus derivados, que es soluble en tricloroetileno y que es prácticamente no volátil y se ablanda gradualmente al calentarse.

- Caucho

Se produce a partir de plantas y se clasifica como polímero, un compuesto químico con moléculas grandes formadas por muchas moléculas más pequeñas del mismo tipo. Algunos polímeros existen de forma natural y otros se producen en laboratorios y fábricas.

- Neumático

Los neumáticos contienen muchos compuestos de caucho y otros materiales porque se le exige un rendimiento seguro ante una amplia gama de condiciones exigentes.

- Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad del pavimento asfáltico de ofrecer resistencia al resbalamiento o deslizamiento, especialmente cuando está húmedo.

- Estabilidad

Se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Esta propiedad depende de la cohesión de la mezcla y de la fricción interna.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

El **método de investigación** para esta investigación se dará mediante una metodología científica, ya que se pretende analizar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho triturado ante el efecto de determinados tiempos de acondicionamiento.

Según Mejía (2005) al realizar una investigación, los científicos utilizan el método científico para recopilar pruebas empíricas medibles en un experimento relacionado con una hipótesis (a menudo en forma de declaración si/entonces), cuyos resultados pretenden apoyar o contradecir una investigación.

El **nivel de investigación** es correlacional, ya que se pretende correlacionar el efecto del tiempo de acondicionamiento de mezclas asfálticas en caliente modificadas con caucho triturado y sus propiedades mecánicas que presente.

Según Gomez (2012) la investigación correlacional es un tipo de método de investigación no experimental en el que un investigador mide dos variables, entiende y evalúa la relación estadística entre ellas sin influencia de ninguna variable extraña.

El **tipo de investigación** es aplicado, debido a que se pretende desarrollar la investigación aplicada del tiempo de acondicionamiento de una mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho triturado, y analizar el problema planteado por medio de teorías específicas. Los resultados obtenidos brindaran un desarrollo aplicativo a la investigación, aunque los resultados puede que no sean los esperados.

Según Monje (2011) la investigación aplicada es un tipo de diseño de investigación que busca resolver un problema específico o aportar soluciones innovadoras a cuestiones que afectan a un individuo o sociedad. Suele denominarse método científico de investigación contractual porque implica la aplicación práctica de métodos científicos a problemas cotidianos.

El **diseño de investigación** es cuasi-experimental ya que en esta investigación se pretende demostrar a través de ensayos de laboratorio, en los que se comprobarán las hipótesis propuestas en la investigación, que la variable independiente, tiempo de acondicionamiento, afecta la variable dependiente, propiedades de las mezclas asfálticas en caliente, de manera predecible.

Según Hernández (2014) la investigación cuasi-experimental es una

investigación que se asemeja a la investigación experimental, pero no es una verdadera investigación experimental. Aunque se manipula la variable independiente, los participantes no son asignados aleatoriamente a las condiciones u órdenes de condiciones. Como la variable independiente se manipula antes de medir la variable dependiente, la investigación cuasi experimental elimina el problema de la direccionalidad.

### **3.2. Materiales y métodos**

La investigación se pretende demostrar a través de ensayos de laboratorio en los que se comprobarán las hipótesis propuestas en la investigación, que la variable independiente, tiempo de acondicionamiento, afecta la variable dependiente, propiedades de las mezclas asfálticas en caliente, de manera predecible.

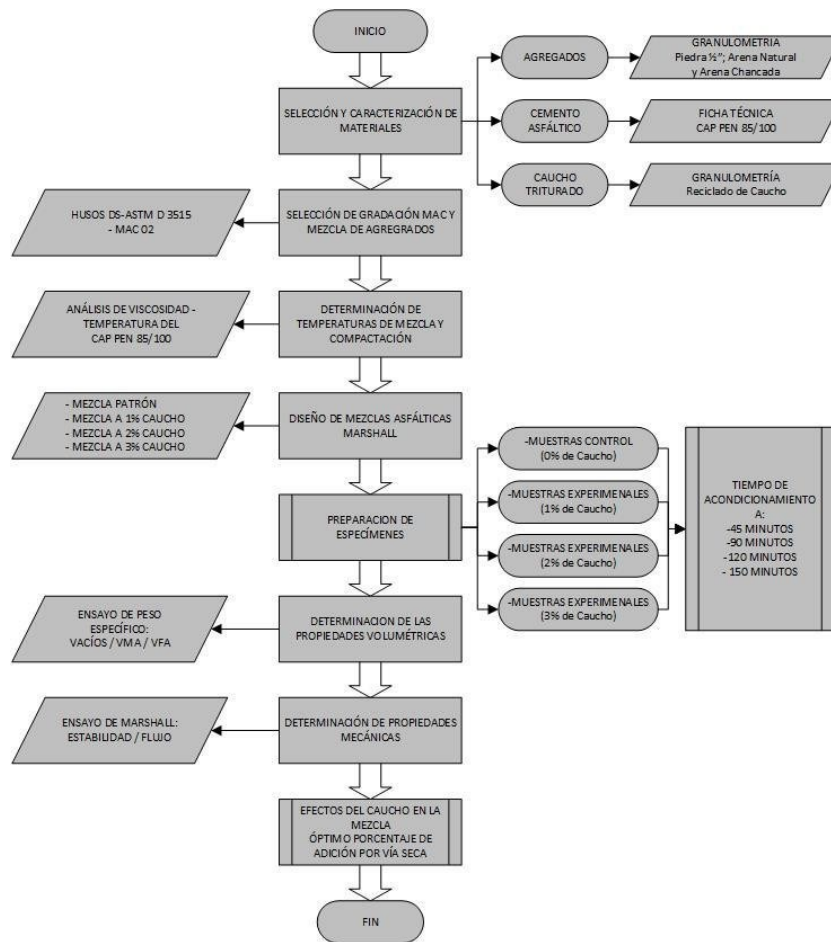
Se empleará la técnica por observación directa ya que el propósito es el de analizar datos y tomarlos como información precisa acerca de mezclas asfálticas modificadas con caucho triturado, y los instrumentos para el análisis de datos serán las fichas de recolección de datos, debido a que es necesario registrar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, ya que hay resultados de ensayos necesarios para realizar nuevos ensayos con distintas muestras. Es importante resaltar que estas fichas de recolección de datos deberán ser certificadas por personal capacitado y especializado en diseño de mezclas asfálticas en caliente.

Para lograr con los objetivos de esta investigación “efecto del tiempo de acondicionamiento en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca”, se utilizará equipos de laboratorio.

En este método por vía seca, el caucho será mezclado directamente con los agregados, antes de adicionar el cemento asfáltico. Este proceso se usan los granos de caucho como un agregado en la mezcla asfáltica después de esto se agrega el asfalto, una vez que se mezcle todo este componente tiene que pasar un tiempo de digestión, el objetivo de esta tesis es determinar a distintos tiempos, que la mezcla logre tener una buena estabilidad (resistencia), un buen flujo (deformación) y que relación de vacíos sea mínima, todo esto se hará en prueba de laboratorio.

#### ***3.2.1. Desarrollo metodológico de la investigación.***

De acuerdo a los estudios de laboratorio realizados se presenta en figura 6 el flujograma correspondiente a secuencia de trabajo perpetrada.



**Figura 6.** Flujograma del proceso y desarrollo de los estudios

### 3.2.2. Población.

La población es todas las mezclas asfálticas modificadas con caucho.

### 3.2.3. Muestra.

La muestra es no probabilística de corte intensional bajo criterio técnico. Considerando 72 briquetas.

### 3.2.4. Técnica.

Observación directa.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Presentación de resultados

#### 4.1.1. *Selección y caracterización de materiales.*

Siguiendo la secuencia adecuada para el desarrollo de la investigación, se presentan las caracterizaciones de cada uno de los materiales adecuados para la elaboración de un diseño de mezcla que permita evaluar las variables en estudio. Teniendo de esta manera los criterios de selección de los agregados, cemento asfáltico, filler y caucho triturados respectivamente.

##### 4.1.1.1. Agregados gruesos y finos.

El material que conforma la estructura principal de una mezcla asfáltica son los agregados gruesos y finos utilizados en porcentajes determinados, para lo cual es necesario que cumplan con ciertos requerimientos granulares.

En la tabla 3, se presentan los materiales proyectados a emplear para una mezcla asfáltica en caliente, así mismo, también se presenta la fuente de origen elegida de acuerdo al cumplimiento de los tamaños máximos nominales exigidos y el cumplimiento de las disposiciones normativas para su uso en pavimentos asfálticos. Teniendo de esta manera la planta chancadora de agregados de Matahuasi como adecuada para la extracción de agregados finos y gruesos.

**Tabla 3.**

*Agregados a emplear y fuente de origen*

CLASIFICACIÓN	AGREGADO	FUENTE
Agregado Grueso	Piedra Chancada ½”	Planta Chancadora - Matahuasi
Agregado Fino	Arena chancada	Planta Chancadora - Matahuasi
Agregado Fino	Arena zarandeada	Rio Seco - Matahuasi

Los agregados escogidos para la elaboración de las muestras patrón fueron extraídas de la cantera ubicada en Matahuasi a 3262 m.s.n.m. donde se cuenta una planta chancadora de agregados que extrae material proveniente del río seco. Las muestras de agregado se tomaron de acopios de material granular de acuerdo a las especificaciones del MTC E 201 muestreo de materiales para construcción.



**Figura 7.** Ubicación de la cantera de Matahuasi – Planta Chancadora

Fuente: Google Earth Pro (2022)

El muestreo de los agregados corresponde a lo exigido en la normativa MTC E 201, donde se indica la cantidad de mínima aproximada por tamaño máximo nominal del agregado, además en cumplimiento de las recomendaciones expresadas por la norma se busca que las muestras que son extraídas sean lo más homogéneas y aleatoriamente representativas sobre los

acopios de material de la cantera de Matahuasi. La cantidad de muestra optada para el análisis granulométrico es de 1.5 kilogramos para los agregados finos con tamaño máximo nominal N°4 y 3 kilogramos para los agregados gruesos con tamaño máximo nominal de ½”.

Los agregados seleccionados para el análisis granulométrico pasaron por un cuarteo de acuerdo a las consideraciones de la normativa MTC E 105, donde para reducir el tamaño total de la muestra extraída de la cantera de Matahuasi en porciones más pequeñas, con la finalidad de contar con muestras representativas del total extraído como se puede observar en la figura 8.



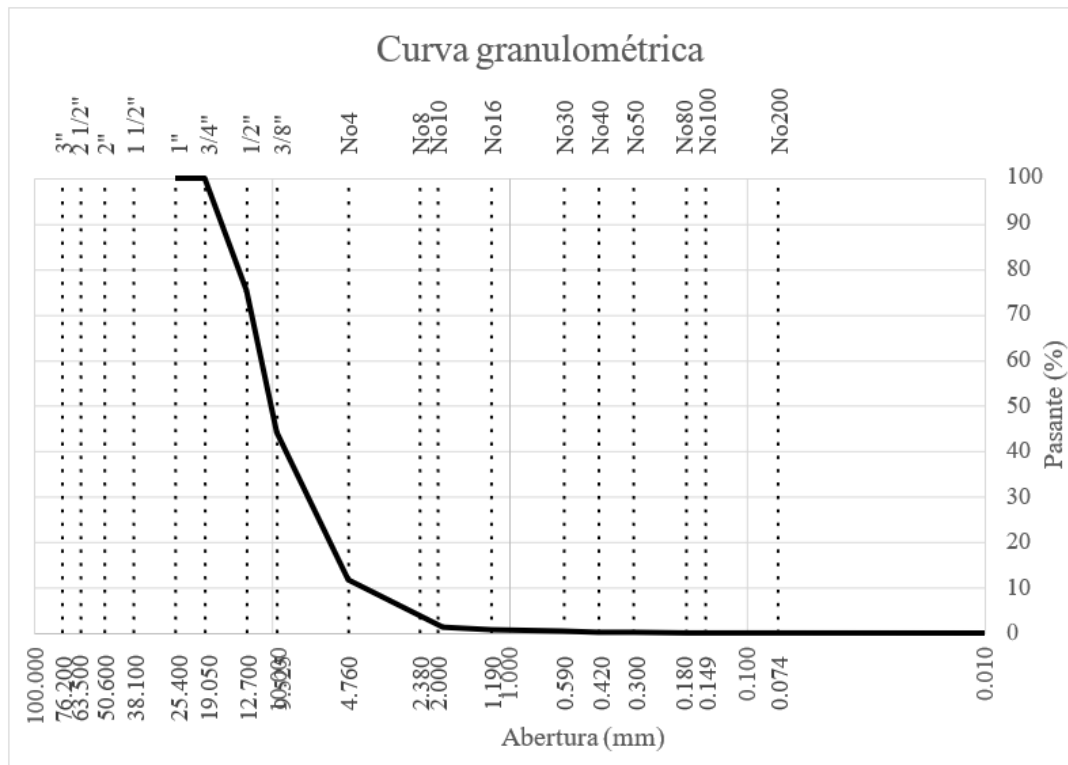
**Figura 8.** Proceso de cuarteo de los agregados gruesos y finos

De las muestras extraídas del agregado grueso de ½”, se realiza el análisis granulométrico a 3000 gramos de material granular, del cual se pesa el retenido en cada tamiz presentado en la siguiente tabla 4, donde se cumple con las especificaciones normativas para el agregado grueso de la EG – 2013 con la finalidad de obtener el porcentaje de pasantes necesario para la realización de la mezcla de agregados por MAC 02.

**Tabla 4.***Resultados del análisis granulométrico – piedra ½”*

<b>ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS (MTC E 204)</b>					
<b>DISEÑO:</b> MAC2 - UC					
<b>MATERIAL:</b> Piedra chancada 1/2"					
<b>CANTERA:</b> MATAHUASI					
<b>DATOS DE ENSAYO:</b>					
<b>PESO DE MUESTRA</b>		<b>3000</b>	<b>gr</b>		
<b>MALLA</b>		<b>PESO</b>	<b>RET.</b>	<b>RET.</b>	<b>PASANTE</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>mm</b>	<b>(gr)</b>	<b>PARCIAL</b>	<b>ACUMULADO</b>	<b>(%)</b>
			<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
1 1/2"	38.100				
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
1/2"	12.700	739.50	24.65	24.65	<b>75.35</b>
3/8"	9.525	937.50	31.25	55.90	<b>44.10</b>
No4	4.763	972.40	32.41	88.31	<b>11.69</b>
No8	2.381	236.40	7.88	96.19	<b>3.81</b>
No10	1.905	73.50	2.45	98.64	<b>1.36</b>
No16	1.191	17.80	0.59	99.24	<b>0.76</b>
No30	0.595	9.50	0.32	99.55	<b>0.45</b>
No40	0.423	6.10	0.20	99.76	<b>0.24</b>
No50	0.298	2.90	0.10	99.85	<b>0.15</b>
No80	0.179	2.20	0.07	99.93	<b>0.07</b>
No100	0.149	1.20	0.04	99.97	<b>0.03</b>
No200	0.074	0.80	0.03	99.99	<b>0.01</b>
<No200		0.20	0.01	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA</b>		<b>3000.00</b>			
<b>TOTAL</b>					

De los porcentajes de pasantes obtenidos para el análisis granulométrico de la piedra de ½” para cada tamiz empleado, se presenta en la siguiente figura 9 la curva granulométrica correspondiente al agregado grueso proveniente de la planta chancadora de Matahuasi, el cual será indefectible para la mezcla de agregados a diseñar por MAC 02.



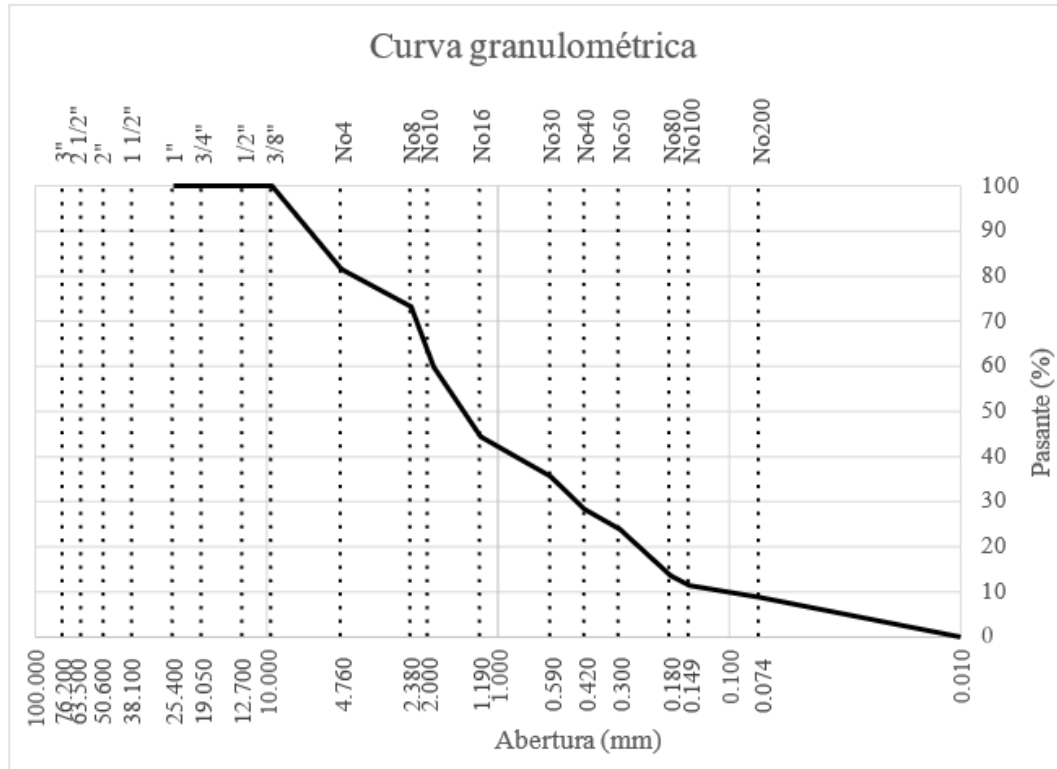
**Figura 9.** Curva de la gradación granulométrica de la piedra 1/2"

Continuando con el análisis de las muestras extraídas de agregado fino (arena zarandeada) se realiza el análisis granulométrico a 1500 gramos de material granular fino, del cual se pesa el retenido en cada tamiz, presentado en la siguiente tabla 5 los resultados del análisis granulométrico donde se cumple con las especificaciones normativas para el agregado fino de la EG – 2013 con la finalidad de obtener el porcentaje de pasantes necesario para la realización de la mezcla de agregados por MAC 02.

**Tabla 5.***Resultados del análisis granulométrico – arena zarandeada*

<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS (MTC E 204)</b>					
<b>DISEÑO:</b>		MAC2 - UC			
<b>MATERIAL:</b>		Arena zarandeada			
<b>CANTERA:</b>		MATAHUASI			
<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>RET. ACUMULADO</b>	<b>PASANTE</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>mm</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.100				
tm - 1"	25.400	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - 3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°4	4.763	277.05	18.47	18.47	<b>81.53</b>
tm - N°8	2.381	124.80	8.32	26.79	<b>73.21</b>
tm - N°10	1.905	200.55	13.37	40.16	<b>59.84</b>
tm - N°16	1.191	232.35	15.49	55.65	<b>44.35</b>
tm - N°30	0.595	131.10	8.74	64.39	<b>35.61</b>
tm - N°40	0.423	108.30	7.22	71.61	<b>28.39</b>
tm - N°50	0.298	67.20	4.48	76.09	<b>23.91</b>
tm - N°80	0.179	155.85	10.39	86.48	<b>13.52</b>
tm - N°100	0.149	30.75	2.05	88.53	<b>11.47</b>
tm - N°200	0.074	40.20	2.68	91.21	<b>8.79</b>
tm - <N°200		131.85	8.79	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>1500.00</b>			

De los porcentajes de pasantes obtenidos para el análisis granulométrico de la arena zarandeada para cada tamiz especificado, se presenta en la siguiente figura 10 la curva granulométrica correspondiente al agregado fino natural proveniente del rio seco ubicado en la localidad de Matahuasi, el cual será indefectible para la mezcla de agregados a diseñar por MAC 02.



**Figura 10.** Curva de la gradación granulométrica de la arena zarandeada

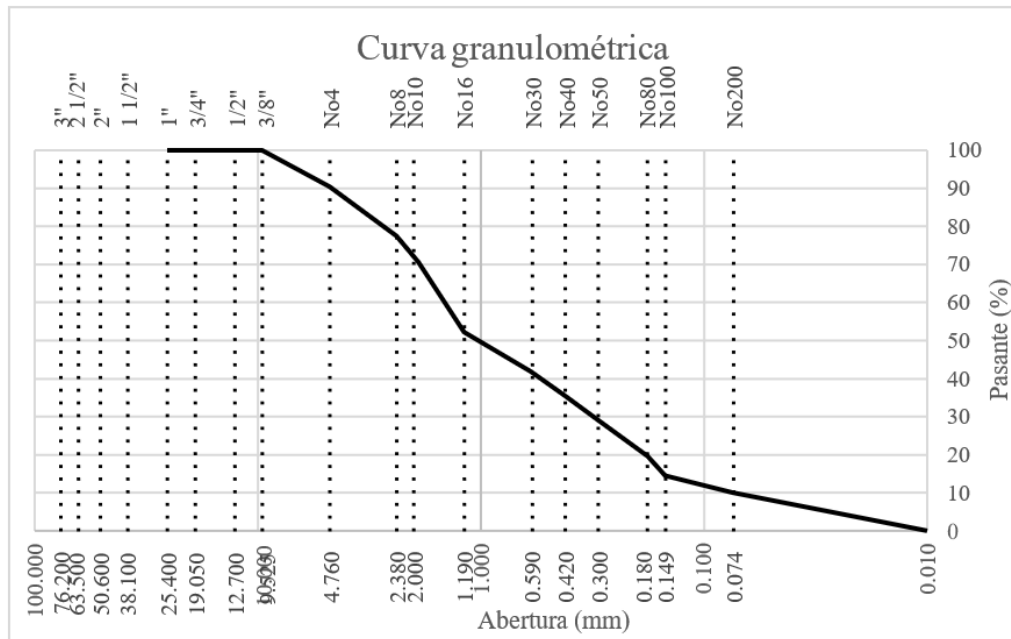
Finalizando con el análisis de las muestras extraídas de agregado fino (arena chancada) se realiza el análisis granulométrico a 1500 gramos de material granular fino, del cual se pesa el retenido en cada tamiz, presentado en la siguiente tabla 6 los resultados del análisis granulométrico donde se cumple con las especificaciones normativas para el agregado fino de la EG – 2013 con la finalidad de obtener el porcentaje de pasantes necesario para la realización de la mezcla de agregados por MAC 02.

**Tabla 6.**

Resultados del análisis granulométrico – arena chancada

<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS (MTC E 204)</b>					
<b>DISEÑO:</b>	MAC2 - UC				
<b>MATERIA L:</b>	Arena procesada				
<b>CANTERA :</b>	MATAHUASI				
<b>DATOS DE ENSAYO:</b>					
<b>PESO DE MUESTRA</b>	<b>1500 gr</b>				
<b>MAL LA</b>	<b>TAMIZ mm</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>RET. PARCIAL (%)</b>	<b>RET. ACUMULADO (%)</b>	<b>PASANTE (%)</b>
	2"	50.800			
	1 1/2"	38.100			
	1"	25.400	0.00	0.00	<b>100.00</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	143.10	9.54	<b>90.46</b>
	No8	2.381	195.00	13.00	<b>77.46</b>
	No10	1.905	102.00	6.80	<b>70.66</b>
	No16	1.191	276.15	18.41	<b>52.25</b>
	No30	0.595	157.05	10.47	<b>41.78</b>
	No40	0.423	92.10	6.14	<b>35.64</b>
	No50	0.298	99.75	6.65	<b>28.99</b>
	No80	0.179	141.15	9.41	<b>19.58</b>
	No100	0.149	77.10	5.14	<b>14.44</b>
	No200	0.074	67.35	4.49	<b>9.95</b>
	<N°200		149.25	9.95	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>	<b>1500.00</b>				

De los porcentajes de pasantes obtenidos para el análisis granulométrico de la arena chancada para cada tamiz especificado, se presenta en la siguiente figura 11 la curva granulométrica correspondiente al agregado fino natural proveniente de la planta chancadora de Matahuasi, el cual será indefectible para la mezcla de agregados a diseñar por MAC 02.



**Figura 11.** Curva de la gradación granulométrica de la arena chancada

#### 4.1.1.2. Ligante asfáltico.

El material asfáltico utilizado para la elaboración de la mezcla patrón MAC/02 proyectada, es un ligante asfáltico seleccionado de acuerdo la temperatura media anual de la región de Huancayo como se puede observar en la siguiente tabla 7, obteniendo una clasificación adecuada a aplicar de un CAP PEN 85/100 proveniente de la planta refinadora de Conchánque está ubicada en Lurín, Lima Perú y viene siendo comercializado por la empresa PetroPerú S.A. planteando de esta manera cumplir con las especificaciones técnicas generales de la MTC (2013).

**Tabla 7.***Elección del tipo de ligante asfáltico*

Temperatura Media Anual – Tipo de cemento Asfáltico			
24 °C a más	24 °C – 15 °C	15 °C – 5°C	Menos de 5 °C
40/50 - 60/70 - modificado	60/70	85/100 120/150	Asfalto modificado

Las diversas propiedades reportadas sobre el ligante asfáltico de clasificación PEN 85/100 señala el fabricante en su certificado de calidad los datos presentados en la siguiente tabla 8 de acuerdo a distintos ensayos realizados en planta.

**Tabla 8.**

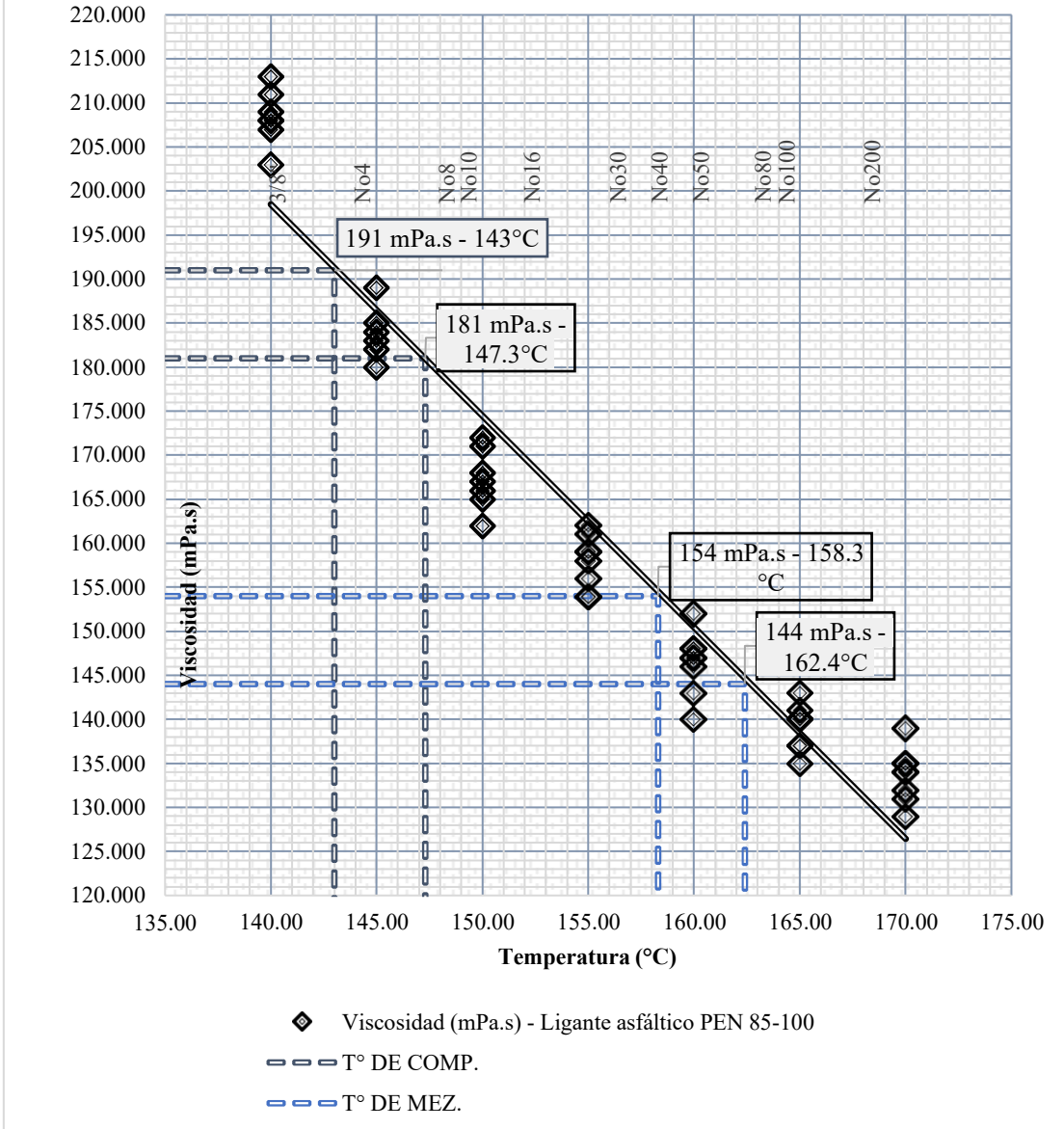
## Ficha Técnica del ligante asfáltico PEN 85/100

ENSAYO DE MUESTRA	ESPECIFICACIONES	
	ASTM	RESULTADO
Ensayo de penetración a 25 °C, 100 g, 5 s	D-5	85/100 (89)
Ensayo punto de Inflamación, °C	D-92	232
Ensayo ductilidad a 25 °C, 5cm/min, cm	D-2042	100
Ensayo solubilidad por porcentaje de masa	D-113	99
Perdida por calentamiento, porcentaje masa	-	1.0
Ensayo de punto de ablandamiento °C	D-36	60
Viscosidad cinemática a 135 °C, cSt	D-2170	170

Fuente: Ficha Técnica Petro Perú S.A.

Con la finalidad de determinar la temperatura de mezcla y la temperatura de compactación con el ligante asfáltico PEN 85/100 se reporta en la siguiente figura 12 la curva de viscosidad que especifica rango de temperatura de mezcla entre 158.3 °C y 162.4 °C para la elaboración de las muestras de mezcla asfáltica en caliente. De la misma forma se reporta también un rango de temperatura de compactación entre los 143 °C y 147.3 °C para la elaboración de las muestras aplicando el PEN 85/100.

## Viscosidad (mPa.s) - Ligante asfáltico 85-100



**Figura 12.** Curva de viscosidad del asfalto PEN 85/100

### 4.1.1.1. Filler.

El filler proyectado a emplear será obtenido a partir de la arena chancada mediante un proceso de tamizado con la finalidad de aislar las variables en estudio, de tal manera no generar alteraciones químicas producto de otros tipos de filler industrializados con el caucho reciclado. De esta forma se presenta en la siguiente tabla 9 el análisis granulométrico para el filler proveniente del material propio 500gramos de material fino.

**Tabla 9.**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS (MTC E 204)**

**DISEÑO:** MAC2 - UC

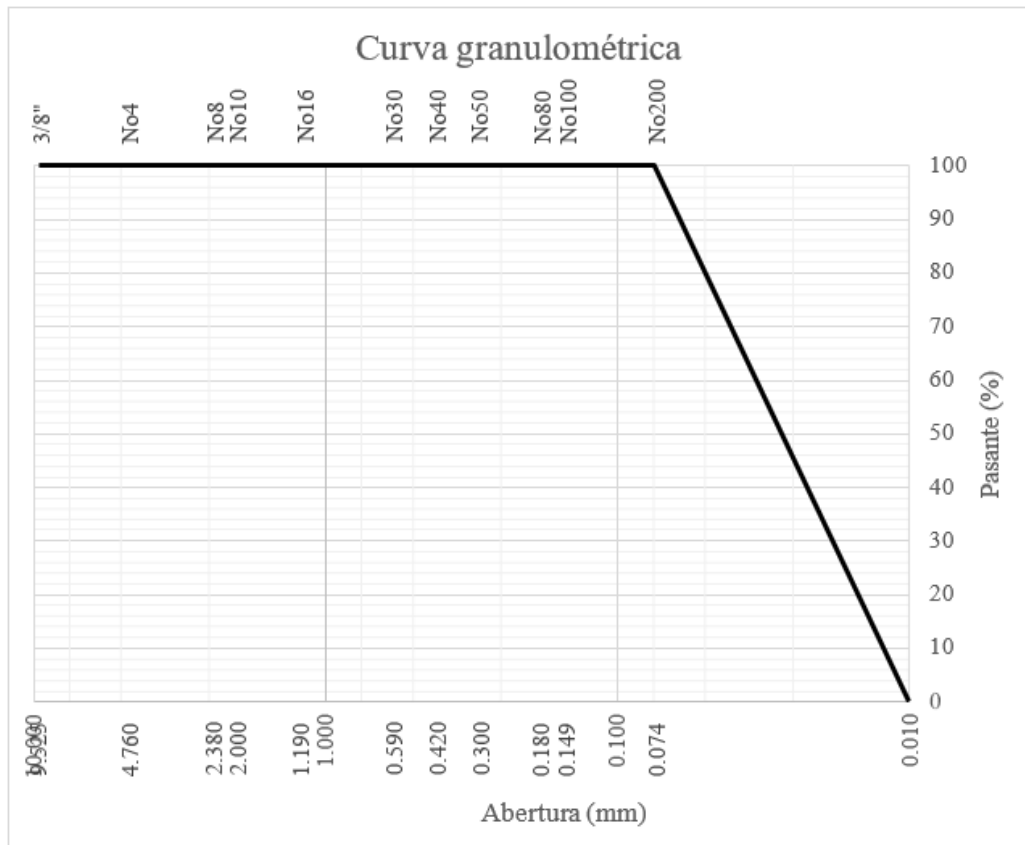
**MATERIAL:** Filler

**CANTERA:** MATAHU  
ASI

**DATOS DE ENSAYO:**

PESO DE MUESTRA		500 gr			
MALLA		PESO	RET. PARCIAL	RET. ACUMULADO	PASANTE
TAMIZ	mm	(gr)	(%)	(%)	(%)
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.763	0.00	0.00	0.00	100.00
No8	2.381	0.00	0.00	0.00	100.00
No10	1.905	0.00	0.00	0.00	100.00
No16	1.191	0.00	0.00	0.00	100.00
No30	0.595	0.00	0.00	0.00	100.00
No40	0.423	0.00	0.00	0.00	100.00
No50	0.298	0.00	0.00	0.00	100.00
No80	0.179	0.00	0.00	0.00	100.00
No100	0.149	0.00	0.00	0.00	100.00
No200	0.074	0.00	0.00	0.00	100.00
<N°200		500.00	100.00	100.00	0.00
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>500.00</b>			

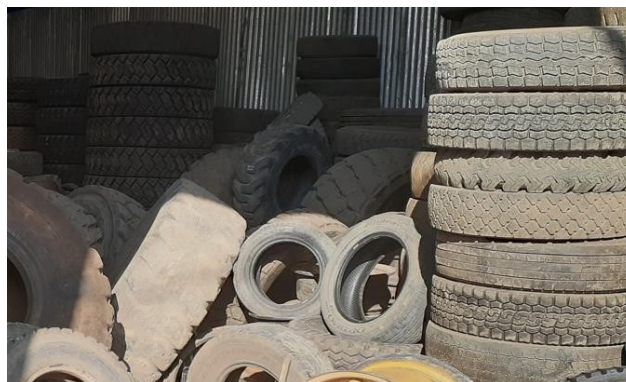
Producto de los porcentajes de pasantes obtenidos para el filler, se presenta en la siguiente figura 13 la curva granulométrica resultante del filler estudiado, presentando de esta forma un comportamiento granular particular que aportara a la mezcla una compensación de agregado fino que permita cumplir con las especificaciones del MAC/02.



**Figura 13.** Curva de la gradación granulométrica del filler

#### 4.1.1.2. Caucho reciclado.

La obtención de caucho es de forma reciclada a partir de neumáticos fuera de uso proveniente de la región de Huancayo, como se puede apreciar en figura 14, donde se pasó por una fase de triturado que permitió obtener un material de característica granular que puede admitir su adición sobre una mezcla asfáltica en caliente.



**Figura 14.** Fuente del caucho reciclado en Huancayo - El Tambo 2022

Al aplicar una técnica de adición del caucho por vía seca en la mezcla asfáltica en caliente se vuelve importante conseguir realizar un análisis granulométrico sobre el caucho triturado, por lo que en la siguiente tabla 10 se presentan los resultados obtenidos sobre la configuración granular del caucho reciclado proveniente de neumático fuera de uso de la región de Huancayo.

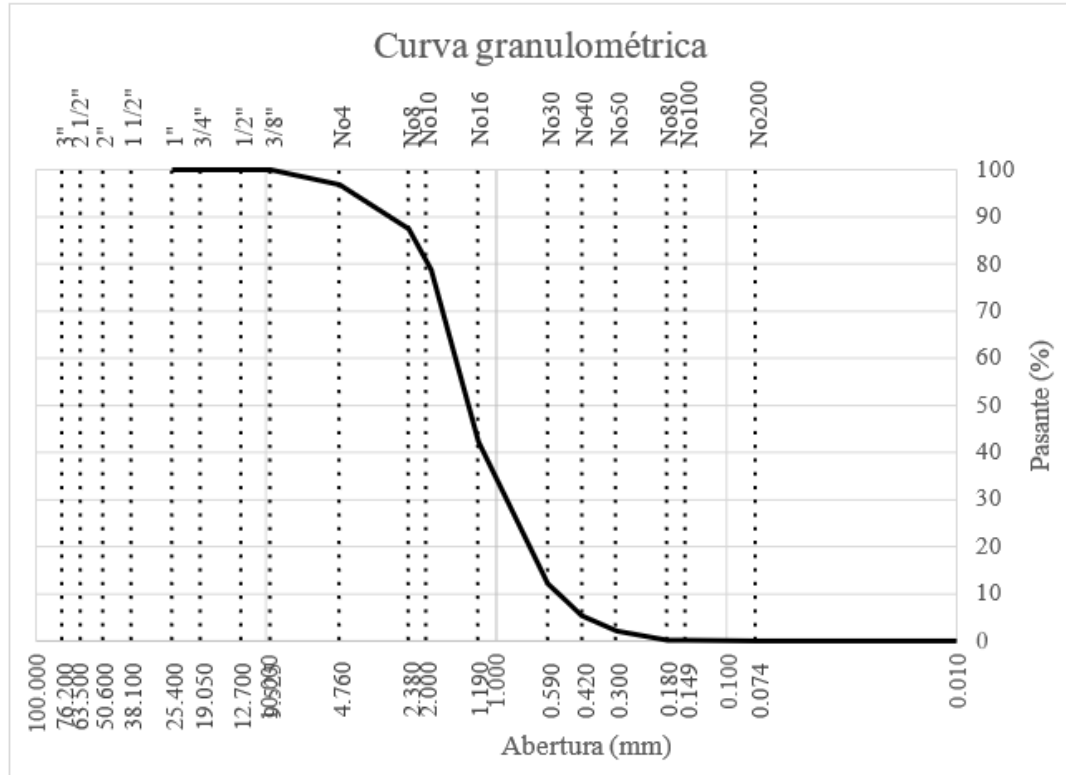
**Tabla 10.**

*Resultados del análisis granulométrico – caucho*

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS (MTC E 204)</b>					
<b>DISEÑO:</b>		MAC2 - UC			
<b>MATERIAL:</b>		Caucho granulado			
<b>CANTERA:</b>		MATAHUASI			
<b>DATOS DE ENSAYO:</b>					
<b>PESO DE MUESTRA</b>		<b>500</b>	<b>gr</b>		
<b>MALLA</b>		<b>PESO</b>	<b>RET. PARCIAL</b>	<b>RET. ACUMULADO</b>	<b>PASANTE</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>mm</b>	<b>(gr)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
tm - 1"	25.400	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - 3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	<b>100.00</b>
tm - N°4	4.763	15.90	3.18	3.18	<b>96.82</b>
tm - N°8	2.381	47.20	9.44	12.62	<b>87.38</b>
tm - N°10	1.905	42.80	8.56	21.18	<b>78.82</b>
tm - N°16	1.191	183.00	36.60	57.78	<b>42.22</b>
tm - N°30	0.595	150.10	30.02	87.80	<b>12.20</b>
tm - N°40	0.423	34.30	6.86	94.66	<b>5.34</b>
tm - N°50	0.298	15.90	3.18	97.84	<b>2.16</b>
tm - N°80	0.179	9.80	1.96	99.80	<b>0.20</b>
tm - N°100	0.149	0.60	0.12	99.92	<b>0.08</b>
tm - N°200	0.074	0.40	0.08	100.00	<b>0.00</b>
tm - <N°200		0.00	0.00	100.00	<b>0.00</b>
<b>SUMATORIA TOTAL</b>		<b>500.00</b>			

Producto de los porcentajes de pasantes obtenidos para el análisis granular realizado a 500gramos de caucho, se presenta en la siguiente figura 15 la curva granulométrica resultantedel caucho reciclado, presentando de

esta forma un comportamiento granular específico que se ajustará a la mezcla para su adición por la vía seca, de tal forma que permita cumplir con las especificaciones granulométricas del MAC/02.



**Figura 15.** Curva de la gradación granulométrica del caucho

#### 4.1.2. Resultados del diseño de mezcla.

A continuación, se presentan y analizan los resultados correspondientes a los objetivos planteados en la presente investigación. El producto de los datos presentados en el siguiente apartado son producto del ensayo de tres especímenes de mezcla asfáltica en caliente sometido a prueba con adición de caucho por la vía seca en contraste con muestras control sin adición de caucho, lo cual puede permitir realizar el análisis correspondiente a las variaciones en la propiedades mecánicas y volumétricas de diseño.

##### 4.1.2.1. Propiedades del diseño patrón – OE1.

Con el propósito de encontrar un punto de comparación mediante el diseño de una mezcla control sin adición de caucho, se realiza el diseño patrón bajo los requerimientos de la normativa Marshall. Reportando de esta manera las propiedades mecánicas y volumétricas a distintos

porcentajes de adición de ligante asfáltico CAP PEN 85/100, para lo cual es necesario definir la mezcla de agregados por MAC 02 que especifica por porcentajes de agregados específicos de acuerdo al análisis granulométrico de cada material.

En cumplimiento con las especificaciones normativas para el diseño de mezcla por MAC/02, se presenta en la siguiente tabla 11 los porcentajes determinados para el cumplimiento de los límites exigidos por la normativa donde se reporta una adición de 34% de piedra de agregado grueso, 65% de agregados fino y 1% de filler que conforma la mezcla de agregados final para la mezcla.

**Tabla 11.**

*Porcentajes en mezcla de agregados MAC/02 – Mezcla Patrón*

<b>Malla</b>		<b>% Pasantes</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>mm</b>	<b>PIEDRAS</b>		<b>ARENAS</b>		
<b>Agregados</b>	<b>Caucho granulado</b>	<b>Piedra 1/2"</b>	<b>Arena natural</b>	<b>Arena procesada</b>	<b>Material propio</b>	
<b>Proporciones</b>	<b>C.G.</b>	<b>1/2"</b>	<b>NATURAL</b>	<b>PROCESADA</b>	<b>FINO</b>	
	<b>0%</b>	<b>34%</b>	<b>32%</b>	<b>33%</b>	<b>1%</b>	
tm - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	
tm - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	
tm - 1/2"	12.700	100.00	75.35	100.00	100.00	
tm - 3/8"	9.525	100.00	44.10	100.00	100.00	
tm - N°4	4.750	96.82	11.69	81.53	90.46	
tm - N°8	2.550	87.38	3.81	73.21	77.46	
tm - N°10	2.000	78.82	1.36	59.84	70.66	
tm - N°16	1.185	42.22	0.76	44.35	52.25	
tm - N°30	0.600	12.20	0.45	35.61	41.78	
tm - N°40	0.425	5.34	0.24	28.39	35.64	
tm - N°50	0.295	2.16	0.15	23.91	28.99	
tm - N°80	0.175	0.20	0.07	13.52	19.58	
tm - N°100	0.148	0.08	0.03	11.47	14.44	

tm - N°200	0.072	0.00	0.01	8.79	9.95	100.00
< tm - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Teniendo las especificaciones mínimas y máximas de la gradación del MAC/02, se reportan en la siguiente tabla 12, el resultante del porcentaje de mezcla en función de la mezcla con tamaño máximo nominal 1/2". Cumpliendo con cada uno de los rangos establecidos en los tamices especificados se puede observar valores muy cercanos a la curva ideal promedio que permite comprobar una buena distribución granulométrica de los agregados empleados para conseguir una gradación densa.

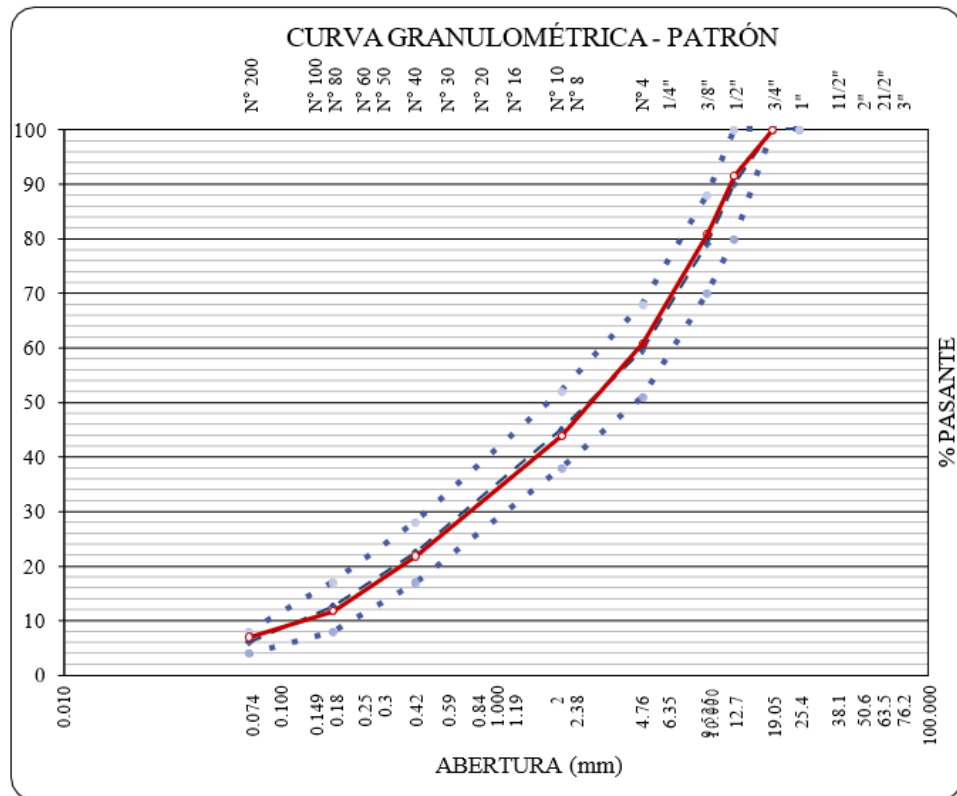
**Tabla 12.**

*Porcentajes en mezcla de agregados resultantes MAC/02 – Mezcla Patrón*

Malla		% Pasantes	Especificaciones		Tamaño máximo 1/2" Curva Ideal
Tamiz	mm		MAC - 2	MTC	
<b>Agregados</b>		<b>MEZCLA</b>			
<b>Proporciones</b>		<b>100%</b>			
tm - 1"	25.405	<b>100.0</b>	100	- 100	100
tm - 3/4"	19.055	<b>100.0</b>	100	- 100	100
tm - 1/2"	12.700	<b>91.6</b>	80	- 100	90
tm - 3/8"	9.525	<b>81.0</b>	70	- 88	79
tm - N°4	4.750	<b>60.9</b>	51	- 68	60
tm - N°8	2.550	<b>51.3</b>			
tm - N°10	2.000	<b>43.9</b>	38	- 52	45
tm - N°16	1.185	<b>32.7</b>			
tm - N°30	0.600	<b>26.3</b>			
tm - N°40	0.425	<b>21.9</b>	17	- 28	23
tm - N°50	0.295	<b>18.3</b>			
tm - N°80	0.175	<b>11.8</b>	8	- 17	13

tm - N°100	0.148	9.4				
tm - N°200	0.072	7.1	4	-	8	6
< tm - N°200		0.0				

De la mezcla de agregados resultantes para la mezcla patrón de diseño, se presenta en la siguiente figura 16 la curva granulométrica resultante de la mezcla de agregados para la mezcla patrón sin adición de caucho, donde se puede observar que la curva resultante se encuentra dentro de los límites establecidos y al mismo tiempo muy cercana a la curva ideal promedio que demuestra una buena distribución de las partículas de los agregados empleados.



**Figura 16.** Curva resultante de mezcla de agregados – Mezcla Patrón

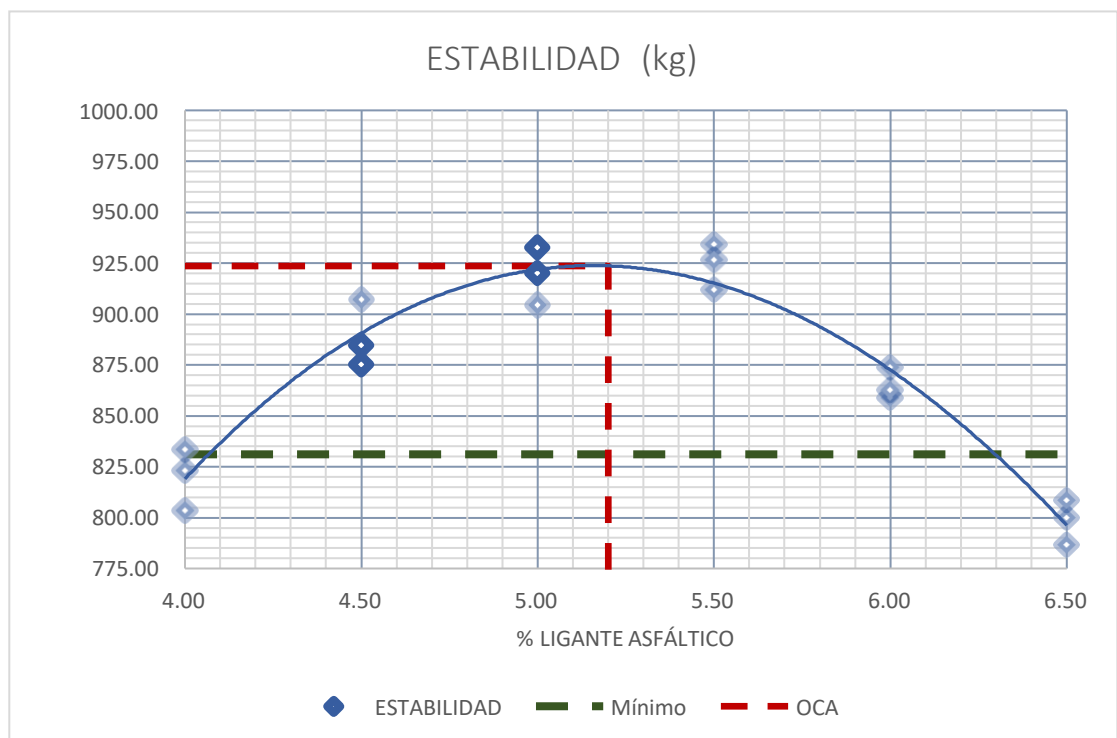
Los pesos requeridos para la determinación del óptimo contenido de asfalto para la mezcla patrón se presentan en la siguiente tabla 13, donde se pueden observar los porcentajes de asfalto seleccionados para la comprobación de las propiedades mecánicas y volumétricas del diseño de mezcla.

**Tabla 13.***Pesos resultantes por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón*

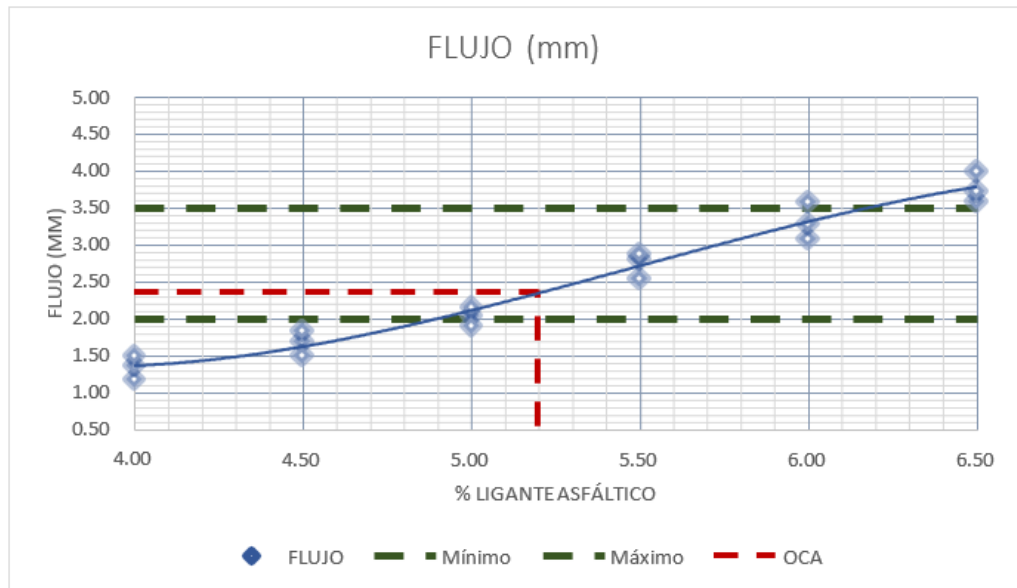
<b>% Asfalto</b>	<b>4.0%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5.0%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6.0%</b>	<b>6.5%</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>FILLER – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
<b>SUB-TOTAL</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>
<b>TAMIZ</b>	<b>ARENA PROCESADA – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	37.8	37.6	37.4	37.2	37.0	36.8
tm - N°10	78.4	78.0	77.6	77.2	76.8	76.4
< N°10	279.8	278.4	276.9	275.4	274.0	272.5
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>396.0</b>	<b>393.9</b>	<b>391.9</b>	<b>389.8</b>	<b>387.8</b>	<b>385.7</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>ARENA NATURAL – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	70.9	70.6	70.2	69.8	69.4	69.1
tm - N°10	83.3	82.9	82.4	82.0	81.6	81.1
< N°10	229.8	228.6	227.4	226.2	225.0	223.8
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>384.0</b>	<b>382.0</b>	<b>380.0</b>	<b>378.0</b>	<b>376.0</b>	<b>374.0</b>
<b>TAMIZ</b>	<b>PIEDRA 1/2" – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	100.6	100.0	99.5	99.0	98.5	98.0
tm - 3/8"	127.5	126.8	126.2	125.5	124.8	124.2
tm - N°4	132.2	131.6	130.9	130.2	129.5	128.8
tm - N°10	42.1	41.9	41.7	41.5	41.3	41.0
< N°10	5.5	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>408.0</b>	<b>405.9</b>	<b>403.8</b>	<b>401.6</b>	<b>399.5</b>	<b>397.4</b>
<b>TOTAL (kg)</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 (kg)</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>

Los resultados correspondientes a cada una de las briquetas elaboradas con los porcentajes de asfalto determinados para encontrar el óptimo contenido de asfalto se reportan en el apartado de anexos 2, certificado de datos Marshall sin adición de caucho en la mezcla patrón, de los cuales se realizaron una serie de gráficos reportados a continuación.

Donde en las figuras 17 y 18 se presentan las propiedades mecánicas que buscan cumplir con las especificaciones Marshall, que para un óptimo contenido de asfalto definido de 5.2% de ligante PEN 85/100 determinado de acuerdo a un cumplimiento de la estabilidad, así también el cumplimiento de los límites mínimos y máximos del flujo.

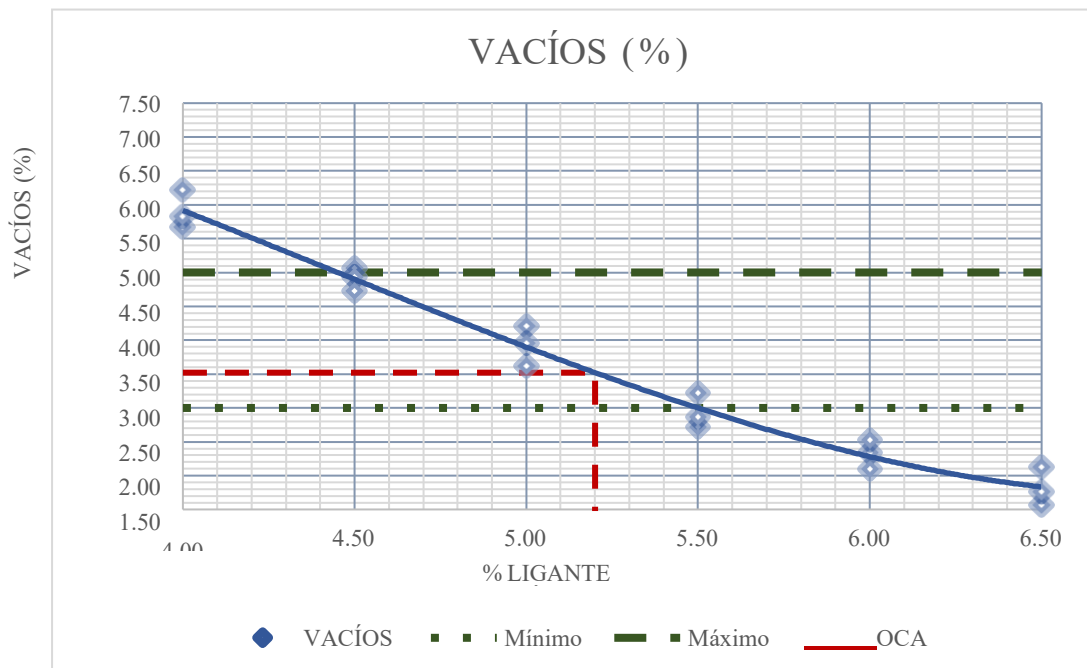


**Figura 17.** Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón

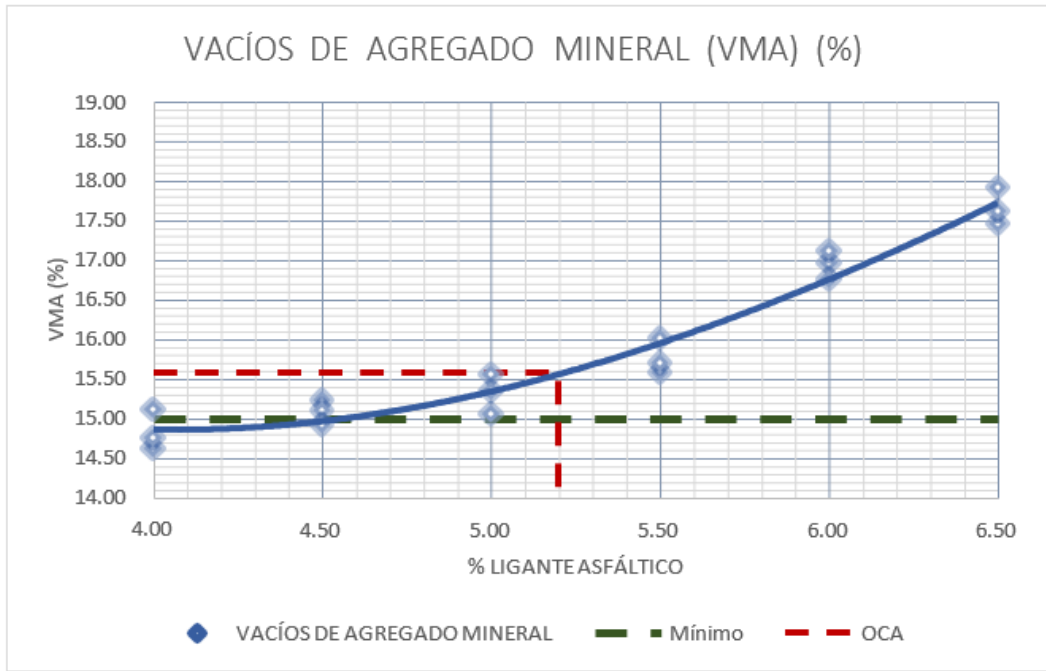


**Figura 18.** Flujo (mm) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón

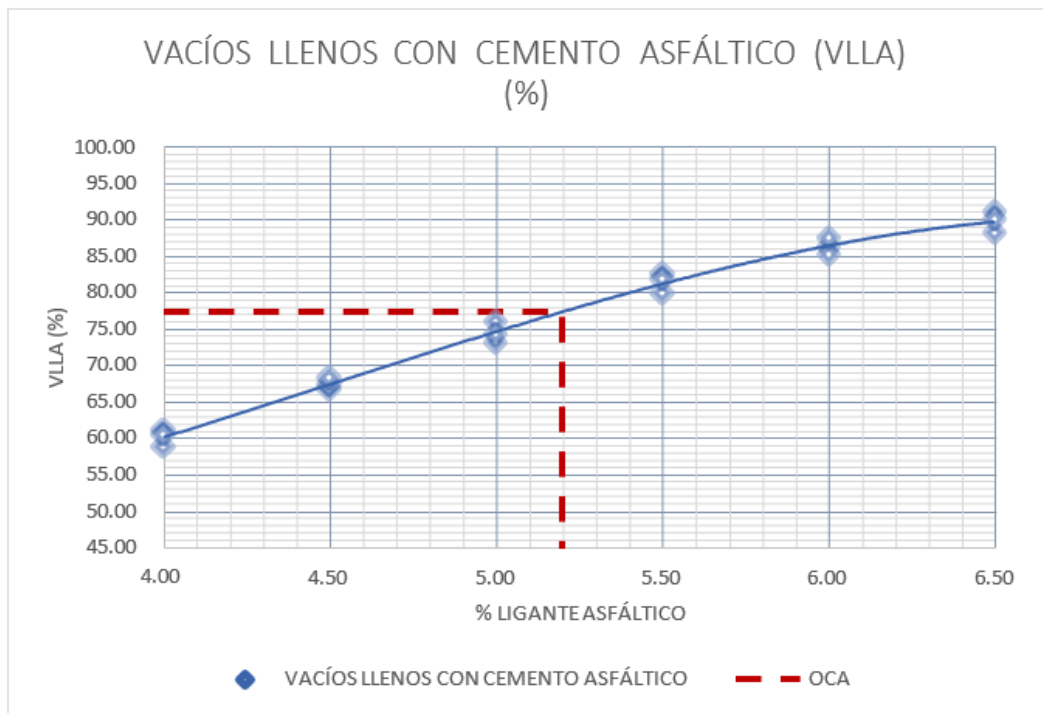
Los resultados de las propiedades volumétricas encontradas mediante el ensayo de peso específico a cada una de las briquetas elaboradas con distintos porcentajes de ligante asfáltico se presentan en las siguientes figuras 19, 20, 21 y 22 donde para los vacíos de aire en la mezcla se cumple con las especificaciones normativas, al igual que con el mínimo requerido de los vacíos de agregado mineral para el diseño de mezcla patrón sin adición de caucho.



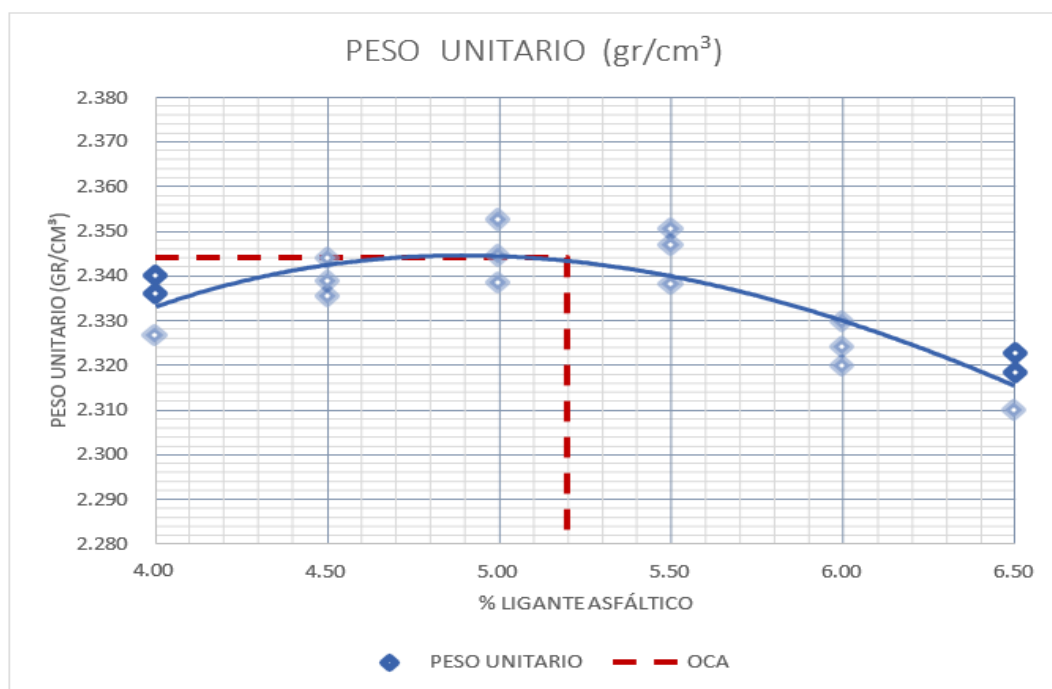
**Figura 19.** Vacíos (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón



**Figura 20.** VMA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón



**Figura 21.** VFA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón



**Figura 22.** Peso unitario (gr/cm<sup>3</sup>) por porcentaje de asfalto – Mezcla Patrón

Reportando finalmente en la siguiente tabla 14 los resultados correspondientes al óptimo contenido de asfalto de 5.2% de ligante asfáltico para el diseño patrón realizado sin adición de caucho, teniendo de esta manera los valores en cada una de las propiedades volumétricas y mecánicas correspondientes a la proyección de datos obtenida de forma gráfica.

**Tabla 14.**

*Resumen de resultado para el OCA – Mezcla Patrón*

	<b>ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO</b>	
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>	5.2	%
<b>PESO UNITARIO</b>	2.344	gr/cm <sup>3</sup>
<b>VACÍOS</b>	3.520	%
<b>VACÍOS DE AGREGADO MINERAL</b>	15.580	%
<b>VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO</b>	77.200	%
<b>FLUJO</b>	2.350	mm
<b>ESTABILIDAD</b>	923.6	kg

**4.1.2.2. Efecto del caucho en las propiedades de diseño – OE2**

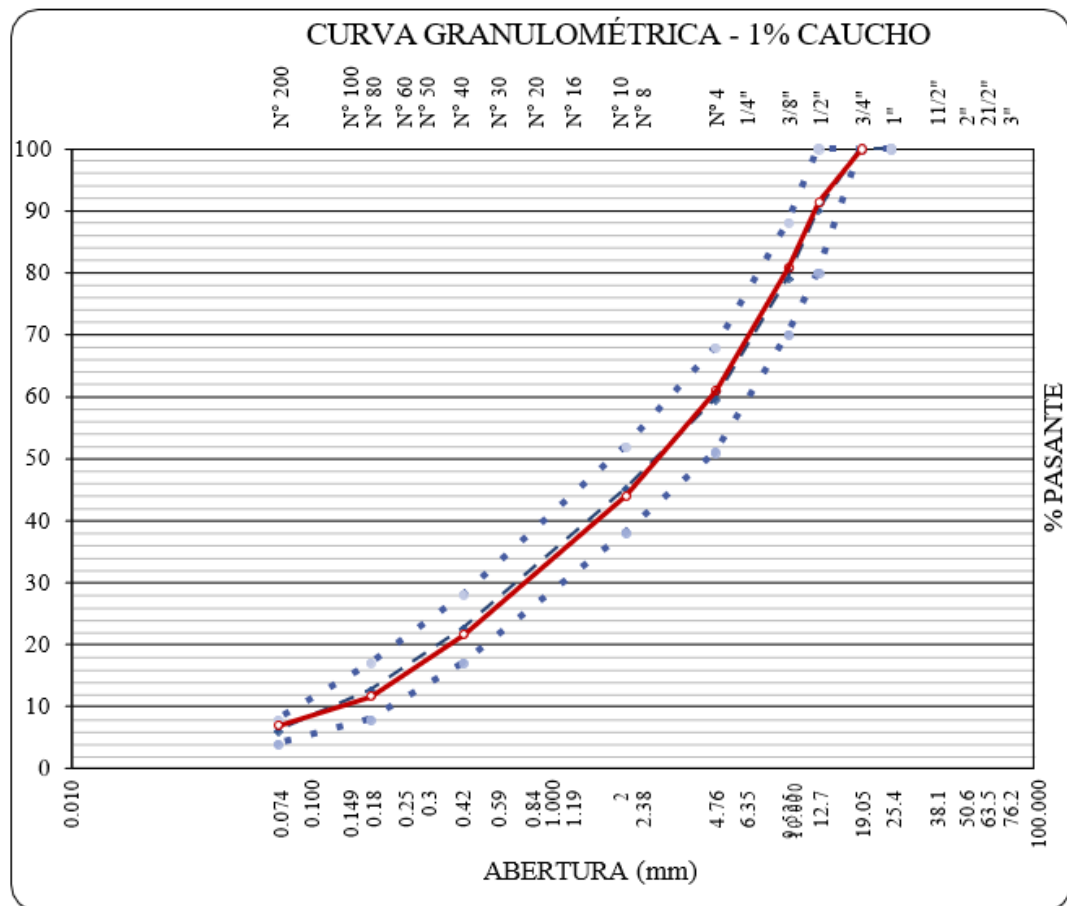
Los resultados obtenidos en función de la adición de caucho reciclado mediante la vía seca se reportan en el siguiente apartado en función a la sustitución por agregado que altera las propiedades de mezcla, es por ello que para las adiciones de 1.0%, 2.0% y 3.0% de adición de caucho se presentan independientemente la variación de sus propiedades de mezcla.

Buscando cumplir con especificaciones normativas para el diseño de mezcla por MAC/02, se presenta en la siguiente tabla 15 los porcentajes determinados para el cumplimiento de los límites exigidos por la normativa donde se reporta una adición de 34% de piedra de agregado grueso, 64% de agregados fino, 1% de filler y 1% de caucho granulado adicionado por vía seca que conforma la mezcla de agregados final para la mezcla asfáltica.

**Tabla 15.***Porcentajes en mezcla de agregados MAC/02 – Mezcla 1% Caucho*

Malla		% Pasantes				
Tamiz	mm	PIEDRAS		ARENAS		
Agregados	Caucho granulado	Piedra 1/2"	Arena natural	Arena procesada	Material propio	
Proporciones	C.G. 1%	1/2" 34%	NATURAL 31%	PROCESADA 33%	FINO 1%	
tm - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	
tm - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	
tm - 1/2"	12.700	100.00	75.35	100.00	100.00	
tm - 3/8"	9.525	100.00	44.10	100.00	100.00	
tm - N°4	4.750	96.82	11.69	81.53	90.46	
tm - N°8	2.550	87.38	3.81	73.21	77.46	
tm - N°10	2.000	78.82	1.36	59.84	70.66	
tm - N°16	1.185	42.22	0.76	44.35	52.25	
tm - N°30	0.600	12.20	0.45	35.61	41.78	
tm - N°40	0.425	5.34	0.24	28.39	35.64	
tm - N°50	0.295	2.16	0.15	23.91	28.99	
tm - N°80	0.175	0.20	0.07	13.52	19.58	
tm - N°100	0.148	0.08	0.03	11.47	14.44	
tm - N°200	0.072	0.00	0.01	8.79	9.95	
< tm - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	

De la mezcla de agregados resultantes para la mezcla experimental al 1% de adición de caucho por vía seca, se presenta en la siguiente figura 23 la curva granulométrica resultante de la mezcla de agregados para la mezcla alterada al 1% de adición de caucho, donde se puede observar que la curva resultante se encuentra dentro de los límites establecidos y almismo tiempo muy cercana a la curva ideal promedio que demuestra una buena distribución de las partículas de los agregados y caucho empleados.



**Figura 23.** Curva resultante de mezcla de agregados – Mezcla 1% Caucho

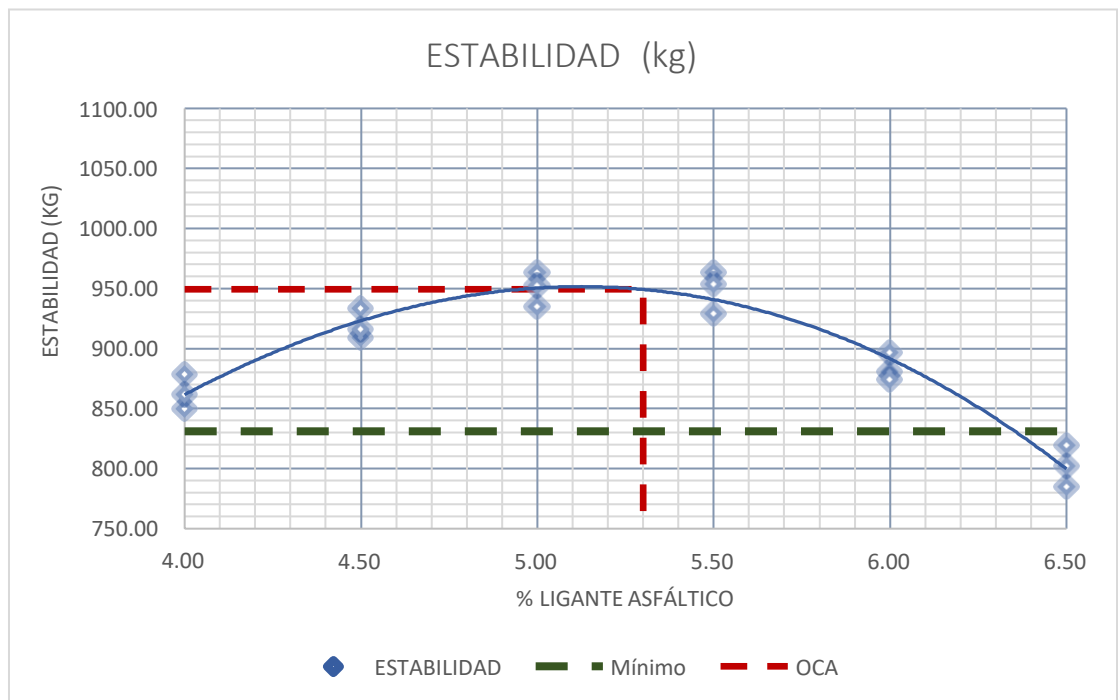
Los pesos requeridos para la determinación del óptimo contenido de asfalto para la mezcla al 1.0% de caucho adicionado por vía seca se presentan en la siguiente tabla 16, donde se pueden observar los porcentajes de asfalto seleccionados para la comprobación de las propiedades mecánicas y volumétricas del diseño de mezcla.

**Tabla 16.***Pesos resultantes por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho*

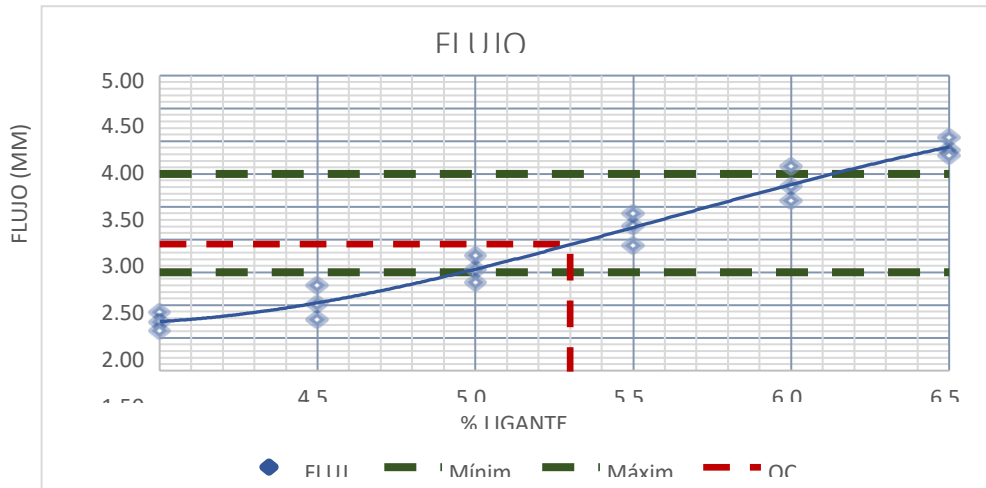
<b>% Asfalto</b>	<b>4.0%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5.0%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6.0%</b>	<b>6.5%</b>
TAMIZ	<b>FILLER – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
SUB-TOTAL	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
TAMIZ	<b>ARENA PROCESADA – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	37.8	37.6	37.4	37.2	37.0	36.8
tm - N°10	78.4	78.0	77.6	77.2	76.8	76.4
< N°10	279.8	278.4	276.9	275.4	274.0	272.5
SUB-TOTAL	396.0	393.9	391.9	389.8	387.8	385.7
TAMIZ	<b>ARENA NATURAL – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	68.7	68.4	68.0	67.6	67.3	66.9
tm - N°10	80.7	80.3	79.8	79.4	79.0	78.6
< N°10	222.6	221.4	220.3	219.1	218.0	216.8
SUB-TOTAL	372.0	370.1	368.1	366.2	364.3	362.3
TAMIZ	<b>PIEDRA 1/2" – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	100.6	100.0	99.5	99.0	98.5	98.0
tm - 3/8"	127.5	126.8	126.2	125.5	124.8	124.2
tm - N°4	132.2	131.6	130.9	130.2	129.5	128.8
tm - N°10	42.1	41.9	41.7	41.5	41.3	41.0
< N°10	5.5	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4
SUB-TOTAL	408.0	405.9	403.8	401.6	399.5	397.4
TAMIZ	<b>CAUCHO GRANULADO</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
tm - N°10	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
< N°10	9.5	9.4	9.4	9.3	9.3	9.2
SUB-TOTAL	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
<b>TOTAL (kg)</b>	1200.00	1193.75	1187.50	1181.25	1175.00	1168.75
<b>PEN 85-100</b>	50.00	56.25	62.50	68.75	75.00	81.25
<b>TOTAL (kg)</b>	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00

Los resultados correspondientes a cada una de las briquetas elaboradas con los porcentajes de asfalto determinados para encontrar el óptimo contenido de asfalto se reportan en el apartado de anexos 2, certificado de datos Marshall con adición de caucho al 1% en la mezcla, de los cuales se realizaron una serie de gráficos reportados a continuación.

Donde en las figuras 24 y 25 se presentan las propiedades mecánicas que buscan cumplir con las especificaciones Marshall, que para un óptimo contenido de asfalto definido de 5.3% de ligante PEN 85/100 determinado de acuerdo a un cumplimiento de la estabilidad, así también el cumplimiento de los límites mínimos y máximos del flujo..

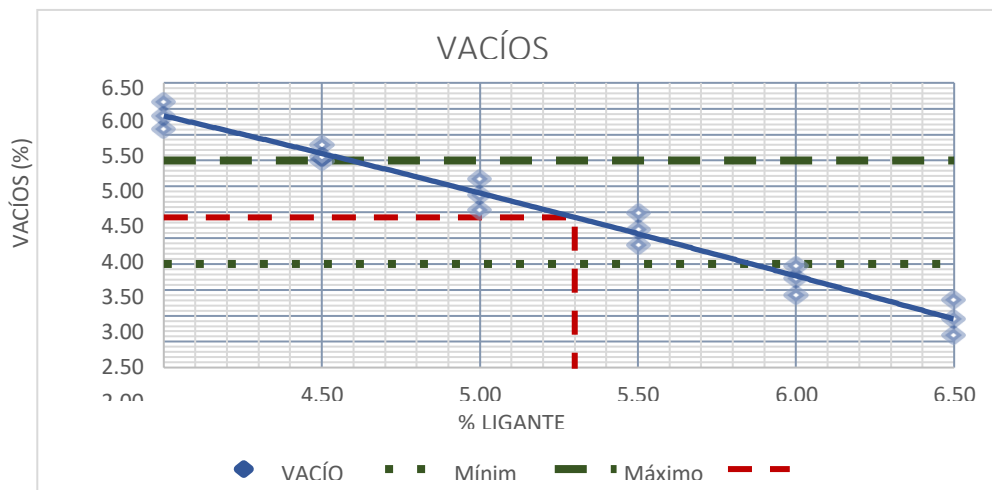


**Figura 24.** Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho

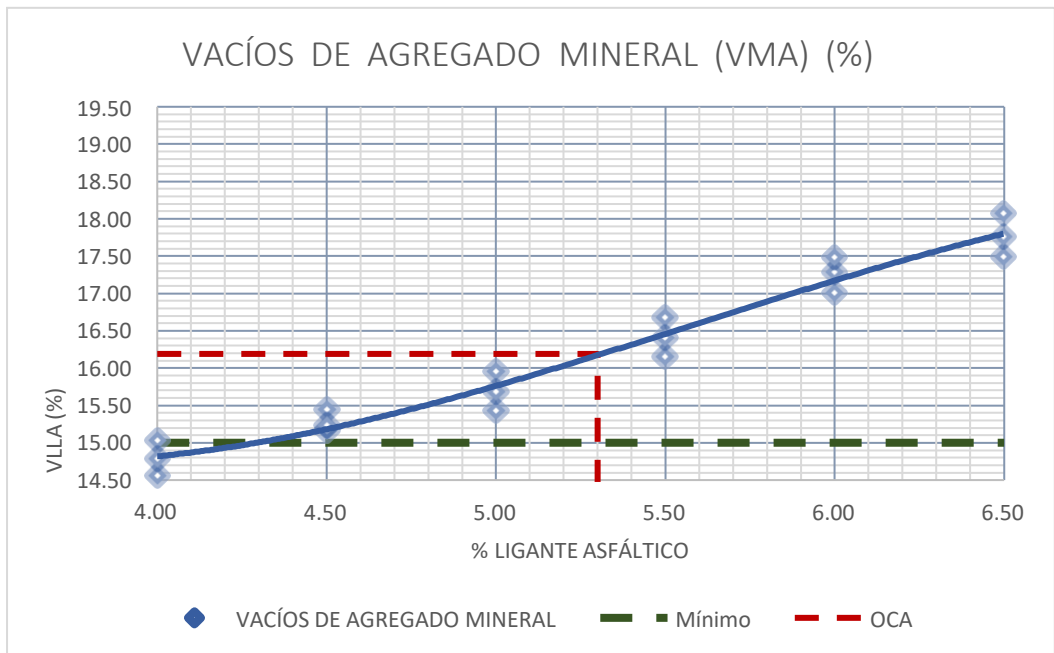


**Figura 25.** Flujo (mm) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho

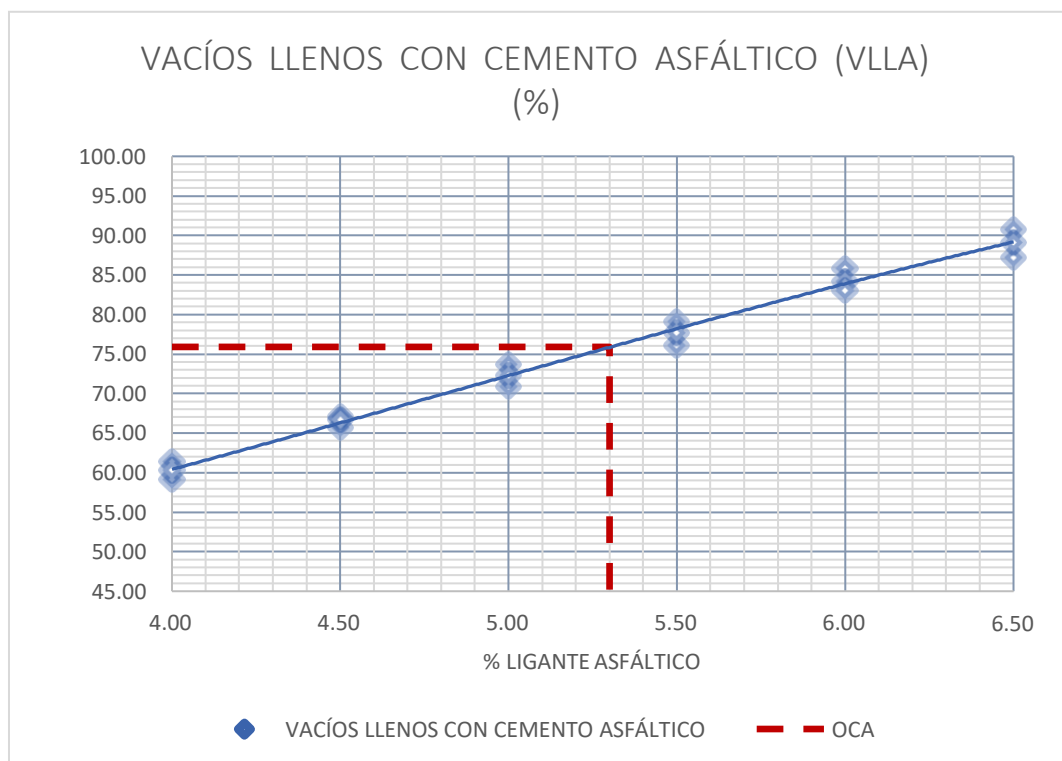
Los resultados de las propiedades volumétricas encontradas mediante el ensayo de pesospecífico a cada una de las briquetas elaboradas con distintos porcentajes de ligante asfáltico se presentan en las siguientes figuras 26, 27, 28 y 29 donde para los vacíos de aire en la mezcla se cumple con las especificaciones normativas, al igual que con el mínimo requerido de los vacíos de agregado mineral para el diseño de mezcla experimental con adición de caucho al 1.0% por vía seca.



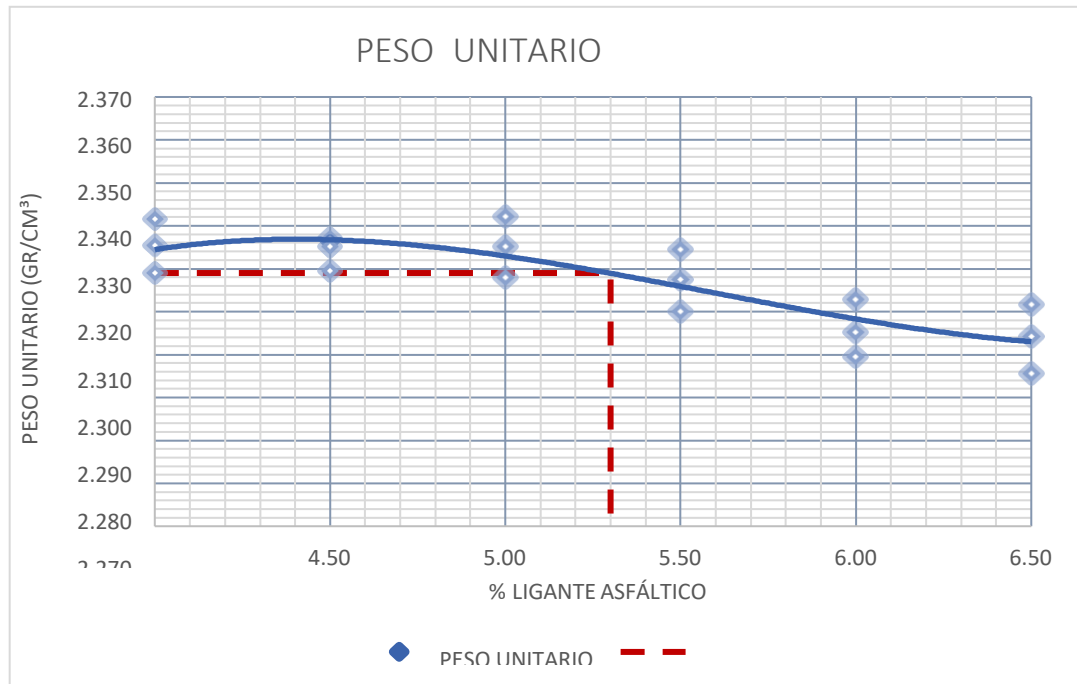
**Figura 26.** Vacíos (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho



**Figura 27.** VMA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho



**Figura 28.** VFA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho



**Figura 29.** Peso unitario (gr/cm<sup>3</sup>) por porcentaje de asfalto – Mezcla 1% Caucho

Reportando finalmente en la siguiente tabla 17 los resultados correspondientes al óptimo contenido de asfalto de 5.3% de ligante asfáltico para el diseño patrón realizado con adición de caucho al 1.0% por vía seca, teniendo de esta manera los valores en cada una de las propiedades volumétricas y mecánicas correspondientes a la proyección de datos obtenida de forma gráfica.

**Tabla 17.**

*Resumen de resultado para el OCA – Mezcla 1% Caucho*

	<b>ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO</b>	
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>	5.3%	%
<b>PESO UNITARIO</b>	2.329	gr/cm <sup>3</sup>
<b>VACÍOS</b>	3.900	%
<b>VACÍOS DE AGREGADO MINERAL</b>	16.190	%
<b>VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO</b>	75.900	%
<b>FLUJO</b>	2.430	mm
<b>ESTABILIDAD</b>	949.3	kg

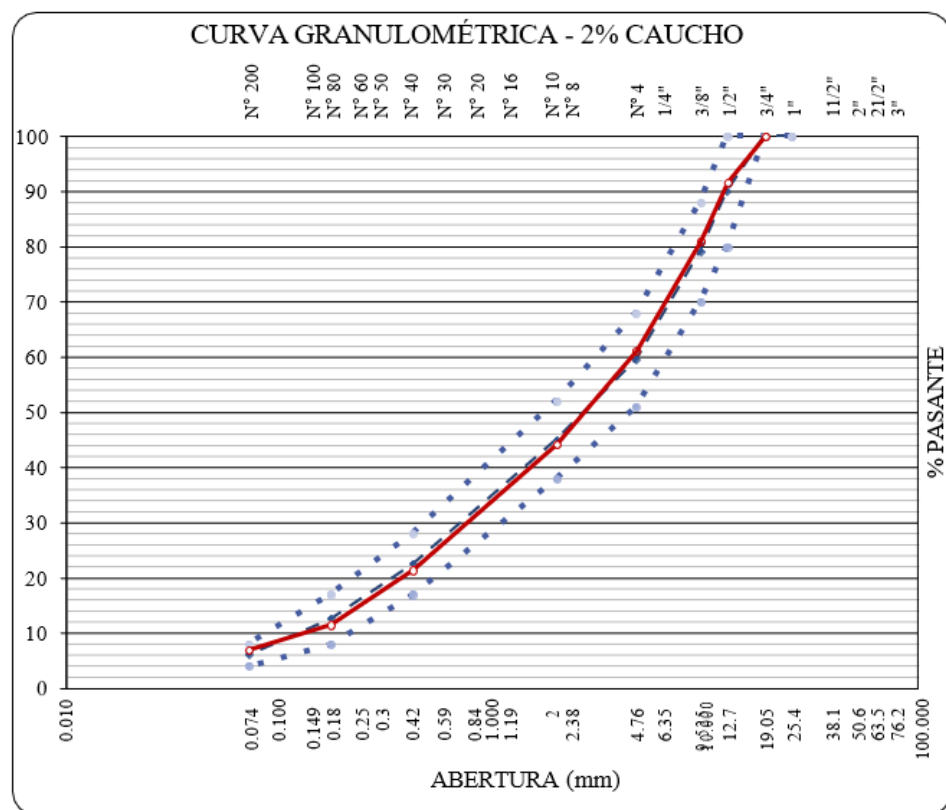
Continuando con los diseños con adición de caucho y en cumplimiento con las especificaciones normativas para el diseño de mezcla por MAC/02, se presenta en la siguiente tabla 18 los porcentajes determinados para el cumplimiento de los límites exigidos por la normativa donde se reporta una adición de 34% de piedra de agregado grueso, 63% de agregados fino, 1% de filler y 2% de caucho granulado adicionado por vía seca que conforma la mezcla de agregados final para la mezcla asfáltica.

**Tabla 18.**

*Porcentajes en mezcla de agregados MAC/02 – Mezcla 2% Caucho*

<b>Malla</b>		<b>% Pasantes</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>mm</b>	<b>Caucho granulado</b>	<b>PIEDRAS</b>	<b>Arena natural</b>	<b>ARENAS</b>	<b>Material propio</b>
<b>Agregados</b>		<b>C.G.</b>	<b>Piedra 1/2"</b>	<b>Arena NATURAL</b>	<b>Arena procesada PROCESADA</b>	<b>Material FINO</b>
<b>Proporciones</b>		<b>2%</b>	<b>34%</b>	<b>31%</b>	<b>32%</b>	<b>1%</b>
tm - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	100.00	75.35	100.00	100.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	100.00	44.10	100.00	100.00	100.00
tm - N°4	4.750	96.82	11.69	81.53	90.46	100.00
tm - N°8	2.550	87.38	3.81	73.21	77.46	100.00
tm - N°10	2.000	78.82	1.36	59.84	70.66	100.00
tm - N°16	1.185	42.22	0.76	44.35	52.25	100.00
tm - N°30	0.600	12.20	0.45	35.61	41.78	100.00
tm - N°40	0.425	5.34	0.24	28.39	35.64	100.00
tm - N°50	0.295	2.16	0.15	23.91	28.99	100.00
tm - N°80	0.175	0.20	0.07	13.52	19.58	100.00
tm - N°100	0.148	0.08	0.03	11.47	14.44	100.00
tm - N°200	0.072	0.00	0.01	8.79	9.95	100.00
< tm - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

De la mezcla de agregados resultantes para la mezcla experimental al 2% de adición de caucho por vía seca, se presenta en la siguiente figura 30 la curva granulométrica resultante de la mezcla de agregados para la mezcla alterada al 2% de adición de caucho, donde se puede observar que la curva resultante se encuentra dentro de los límites establecidos por el MAC 02 y al mismo tiempo muy cercana a la curva ideal promedio que demuestra una buena distribución de las partículas de los agregados y caucho empleados para la mezcla de gradación densa..



**Figura 30.** Curva resultante de mezcla de agregados – Mezcla 2% Caucho

Los pesos requeridos para la determinación del óptimo contenido de asfalto para la mezcla al 2.0% de caucho adicionado por vía seca se presentan en la siguiente tabla 19, donde se pueden observar los porcentajes de asfalto seleccionados para la comprobación de las propiedades mecánicas y volumétricas del diseño de mezcla propuesto.

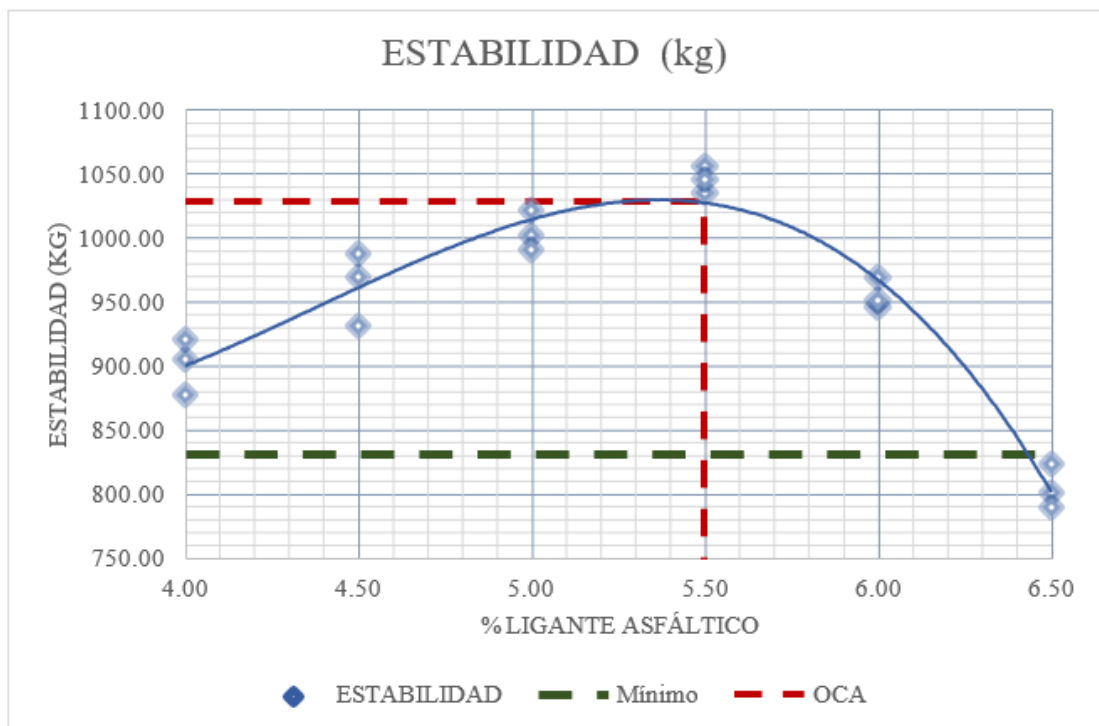
**Tabla 19.**

*Pesos resultantes por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho*

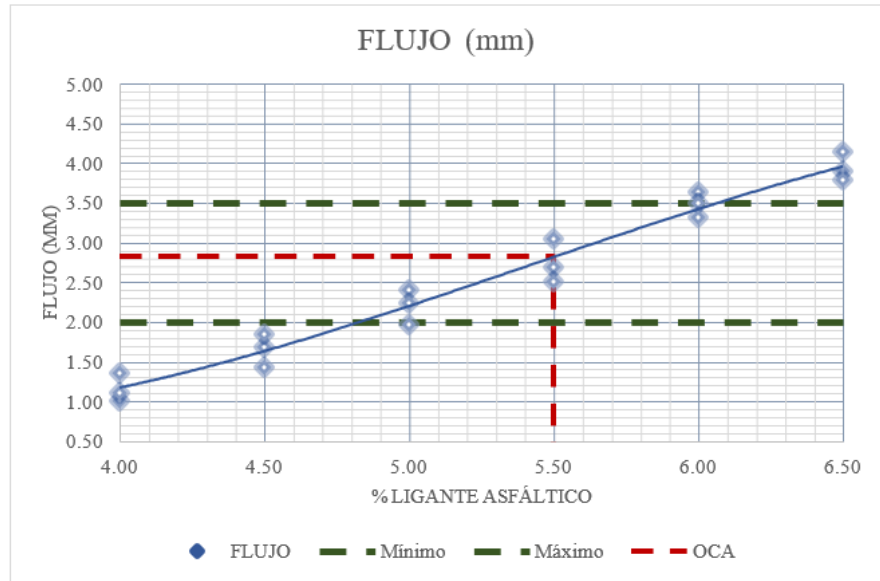
<b>% Asfalto</b>	<b>4.0%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5.0%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6.0%</b>	<b>6.5%</b>
TAMIZ	<b>FILLER – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
SUB-TOTAL	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
TAMIZ	<b>ARENA PROCESADA – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	36.6	36.4	36.3	36.1	35.9	35.7
tm - N°10	76.0	75.6	75.2	74.8	74.4	74.1
< N°10	271.3	269.9	268.5	267.1	265.7	264.3
SUB-TOTAL	384.0	382.0	380.0	378.0	376.0	374.0
TAMIZ	<b>ARENA NATURAL – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	68.7	68.4	68.0	67.6	67.3	66.9
tm - N°10	80.7	80.3	79.8	79.4	79.0	78.6
< N°10	222.6	221.4	220.3	219.1	218.0	216.8
SUB-TOTAL	372.0	370.1	368.1	366.2	364.3	362.3
TAMIZ	<b>PIEDRA 1/2" – PESO (gr)</b>					
tm - 1/2"	100.6	100.0	99.5	99.0	98.5	98.0
tm - 3/8"	127.5	126.8	126.2	125.5	124.8	124.2
tm - N°4	132.2	131.6	130.9	130.2	129.5	128.8
tm - N°10	42.1	41.9	41.7	41.5	41.3	41.0
< N°10	5.5	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4
SUB-TOTAL	408.0	405.9	403.8	401.6	399.5	397.4
TAMIZ	<b>CAUCHO GRANULADO</b>					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
tm - N°10	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2
< N°10	18.9	18.8	18.7	18.6	18.5	18.4
SUB-TOTAL	24.0	23.9	23.8	23.6	23.5	23.4
<b>TOTAL (kg)</b>	1200.00	1193.75	1187.50	1181.25	1175.00	1168.75
<b>PEN 85-100</b>	50.00	56.25	62.50	68.75	75.00	81.25
<b>TOTAL (kg)</b>	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00

Los resultados correspondientes a cada una de las briquetas elaboradas con los porcentajes de asfalto determinados para encontrar el óptimo contenido de asfalto se reportan en el apartado de anexos 2, certificado de datos Marshall con adición de caucho al 2% en la mezcla, de los cuales se realizaron una serie de gráficos reportados a continuación.

Donde en las figuras 31 y 32 se presentan las propiedades mecánicas que buscan cumplir con las especificaciones Marshall, que para un óptimo contenido de asfalto definido de 5.5% de ligante PEN 85/100 determinado de acuerdo a un cumplimiento de la máxima estabilidad, así también el cumplimiento de los límites mínimos y máximos del flujo.

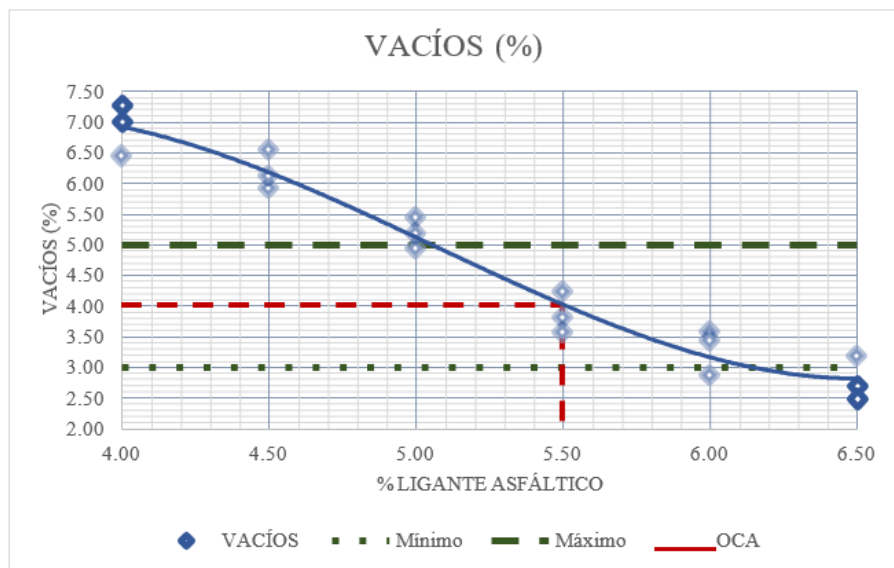


**Figura 31.** Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho

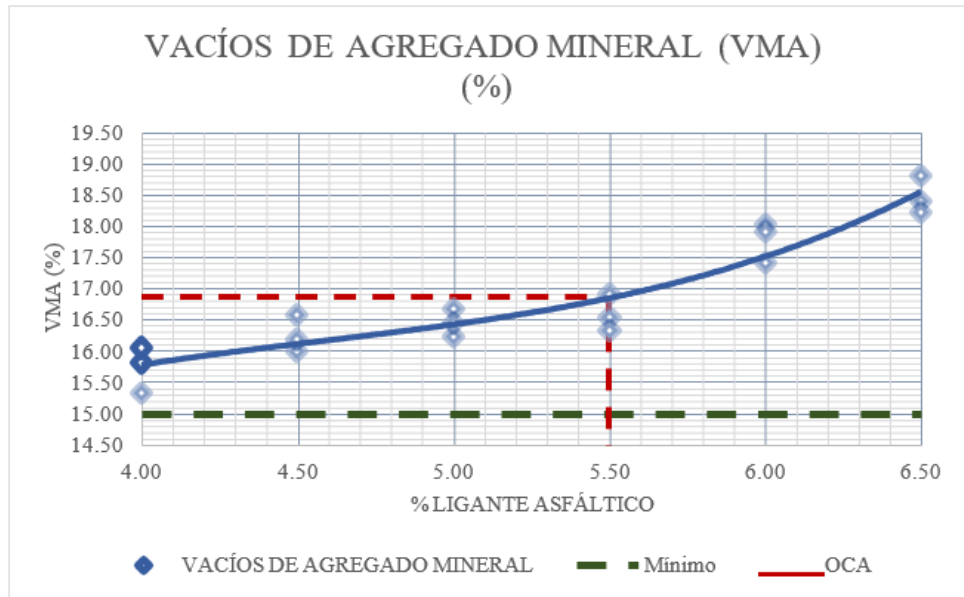


**Figura 32.** Flujo (mm) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho

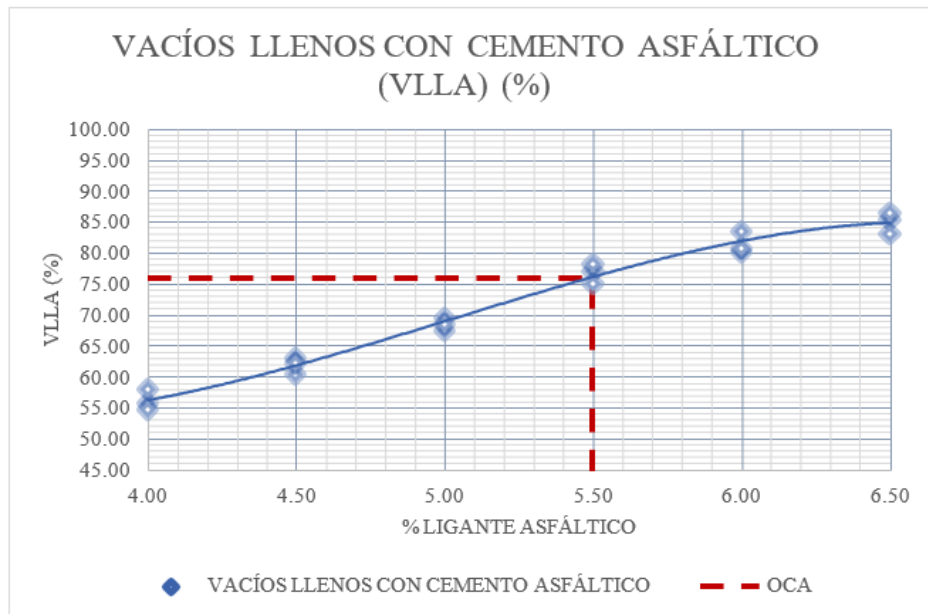
Los resultados de las propiedades volumétricas encontradas mediante el ensayo de peso específico a cada una de las briquetas elaboradas con distintos porcentajes de ligante asfáltico se presentan en las siguientes figuras 33, 34, 35 y 36 donde para los vacíos de aire en la mezcla se cumple con las especificaciones normativas, al igual que con el mínimo requerido de los vacíos de agregado mineral para el diseño de mezcla experimental con adición de caucho al 2.0% por vía seca.



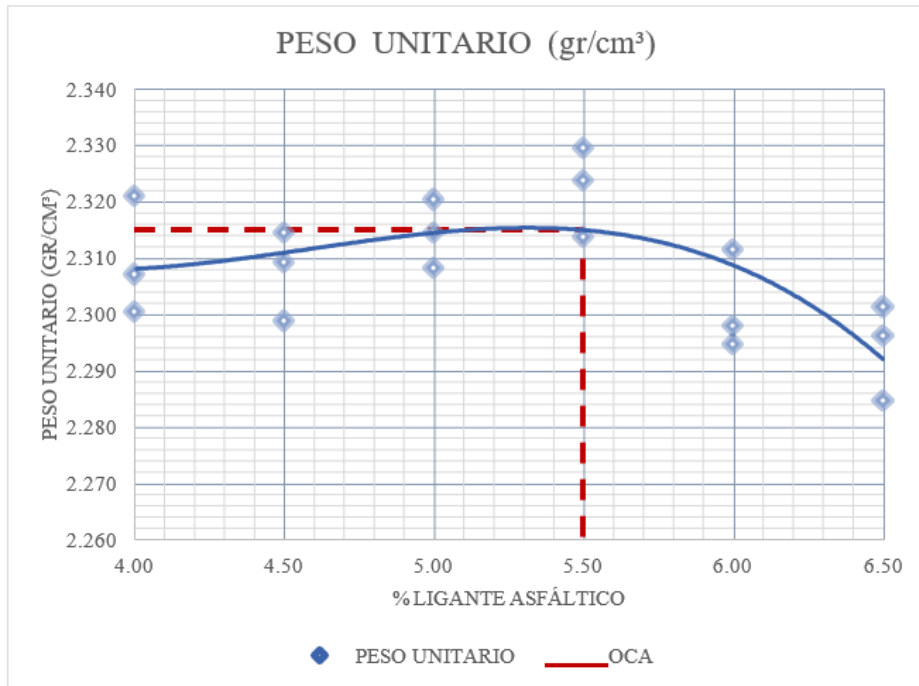
**Figura 33.** Vacíos (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho



**Figura 34.** VMA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho



**Figura 35.** VFA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho



**Figura 36.** Peso unitario ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) por porcentaje de asfalto – Mezcla 2% Caucho

Reportando finalmente en la siguiente tabla 20 los resultados correspondientes al óptimo contenido de asfalto de 5.5% de ligante asfáltico para el diseño patrón realizado con adición de caucho al 2.0% por vía seca, teniendo de esta manera los valores en cada una de las propiedades volumétricas y mecánicas correspondientes a la proyección de datos obtenida de forma gráfica..

**Tabla 20.**

*Resumen de resultado para el OCA – Mezcla 2% Caucho*

	<b>ÓPTIMO</b>	
	<b>CONTENIDO</b>	
	<b>DE ASFALTO</b>	
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>	5.5%	%
<b>PESO UNITARIO</b>	2.315	$\text{gr}/\text{cm}^3$
<b>VACÍOS</b>	4.000	%
<b>VACÍOS DE AGREGADO MINERAL</b>	16.850	%
<b>VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO</b>	75.900	%
<b>FLUJO</b>	2.820	mm
<b>ESTABILIDAD</b>	1028.5	kg

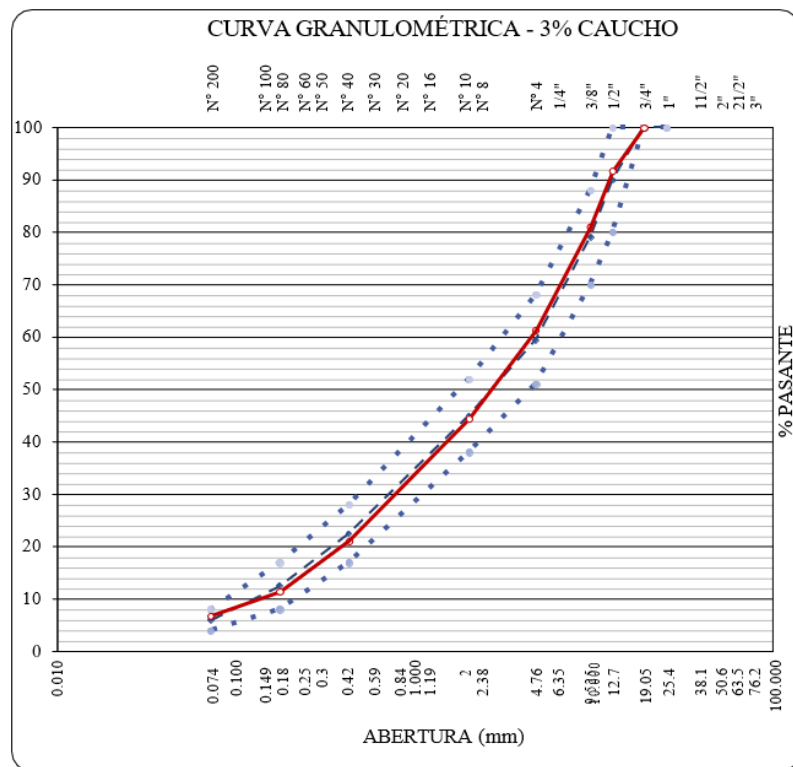
Finalizando con los diseños con adición de caucho y en cumplimiento con las especificaciones normativas para el diseño de mezcla por MAC/02, se presenta en la siguiente tabla 21 los porcentajes determinados para el cumplimiento de los límites exigidos por la normativa donde se reporta una adición de 34% de piedra de agregado grueso, 62% de agregados fino, 1% de filler y 3% de caucho granulado adicionado por víaseca que conforma la mezcla de agregados final para la mezcla asfáltica. Encontrando en este punto la máxima adición de caucho en la mezcla asfáltica en caliente, ya que tiende a alterar negativamente las propiedades de mezcla.

**Tabla 21.**

*Porcentajes en mezcla de agregados MAC/02 – Mezcla 3% Caucho*

<b>Malla</b>		<b>% Pasantes</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>mm</b>	<b>PIEDRAS</b>		<b>ARENAS</b>		
<b>Agregados</b>		<b>Caucho granulado</b>	<b>Piedra 1/2"</b>	<b>Arena natural</b>	<b>Arena procesada</b>	<b>Material propio</b>
<b>Proporciones</b>		<b>C.G.</b>	<b>1/2"</b>	<b>NATURAL</b>	<b>PROCESADA</b>	<b>FINO</b>
		<b>3%</b>	<b>34%</b>	<b>30%</b>	<b>32%</b>	<b>1%</b>
tm - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	100.00	75.35	100.00	100.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	100.00	44.10	100.00	100.00	100.00
tm - N°4	4.750	96.82	11.69	81.53	90.46	100.00
tm - N°8	2.550	87.38	3.81	73.21	77.46	100.00
tm - N°10	2.000	78.82	1.36	59.84	70.66	100.00
tm - N°16	1.185	42.22	0.76	44.35	52.25	100.00
tm - N°30	0.600	12.20	0.45	35.61	41.78	100.00
tm - N°40	0.425	5.34	0.24	28.39	35.64	100.00
tm - N°50	0.295	2.16	0.15	23.91	28.99	100.00
tm - N°80	0.175	0.20	0.07	13.52	19.58	100.00
tm - N°100	0.148	0.08	0.03	11.47	14.44	100.00
tm - N°200	0.072	0.00	0.01	8.79	9.95	100.00
< tm - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

De la mezcla de agregados resultantes para la mezcla experimental al 3% de adición de caucho por vía seca, se presenta en la siguiente figura 37 la curva granulométrica resultante de la mezcla de agregados para la mezcla alterada al 3% de adición de caucho, donde se puede observar que la curva resultante se encuentra dentro de los límites establecidos por el MAC 02 y al mismo tiempo muy cercana a la curva ideal promedio que demuestra una buena distribución de las partículas de los agregados y caucho empleados para la mezcla de gradación densa.



**Figura 37.** Curva resultante de mezcla de agregados – Mezcla 3% Caucho

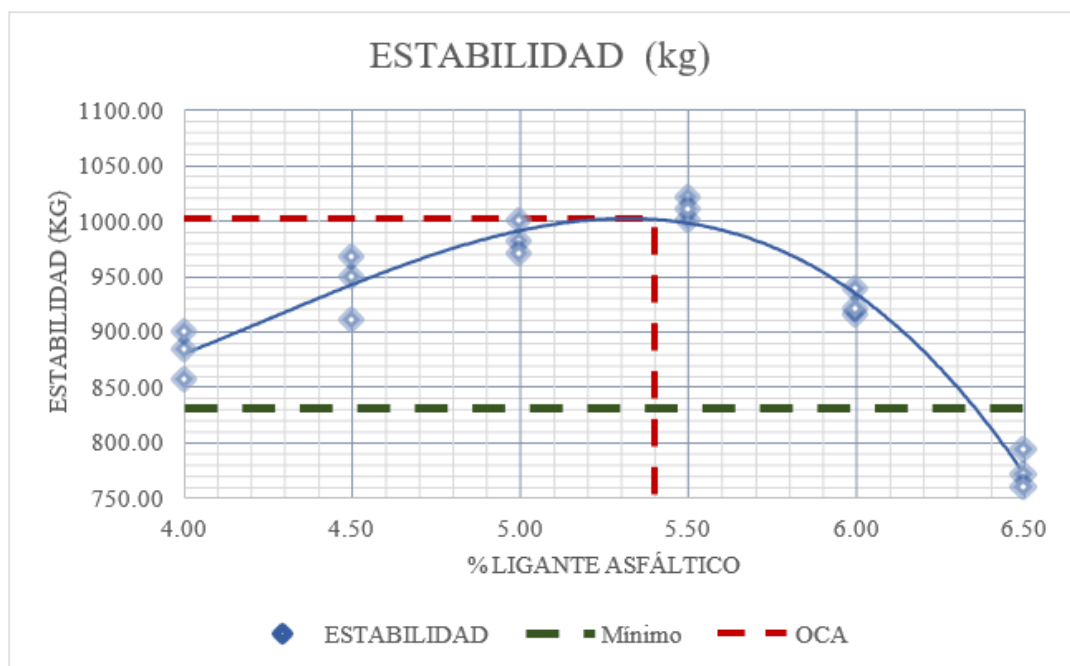
Los pesos requeridos para la determinación del óptimo contenido de asfalto para la mezcla al 3.0% de caucho adicionado por vía seca se presentan en la siguiente tabla 22, donde se pueden observar los porcentajes de asfalto seleccionados para la comprobación de las propiedades mecánicas y volumétricas del diseño de mezcla propuesto.

**Tabla 22.***Pesos resultantes por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho*

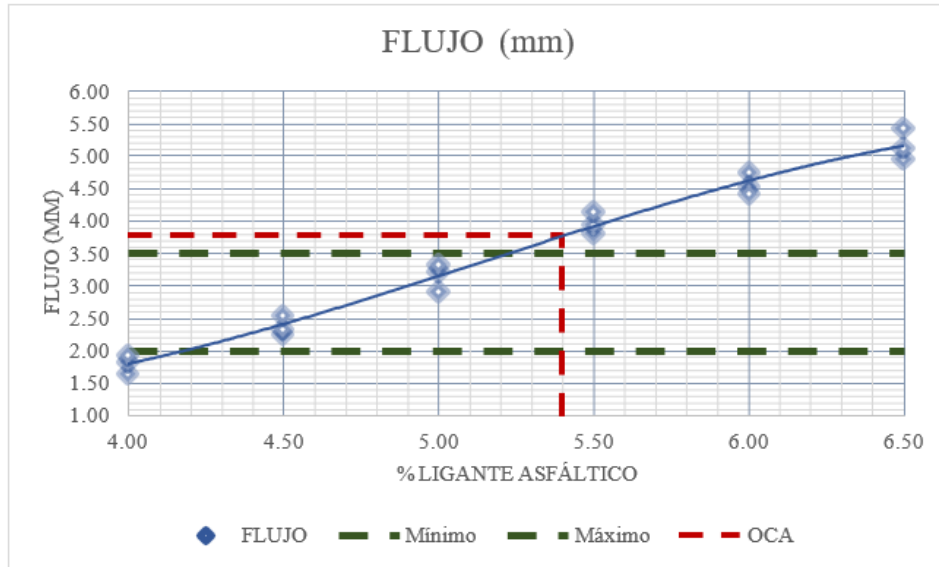
<b>% Asfalto</b>	<b>4.0%</b>	<b>4.5%</b>	<b>5.0%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6.0%</b>	<b>6.5%</b>
<b>TAMIZ</b>		<b>FILLER – PESO (gr)</b>				
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
<b>SUB-TOTAL</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>
<b>TAMIZ</b>		<b>ARENA PROCESADA – PESO (gr)</b>				
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	36.6	36.4	36.3	36.1	35.9	35.7
tm - N°10	76.0	75.6	75.2	74.8	74.4	74.1
< N°10	271.3	269.9	268.5	267.1	265.7	264.3
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>384.0</b>	<b>382.0</b>	<b>380.0</b>	<b>378.0</b>	<b>376.0</b>	<b>374.0</b>
<b>TAMIZ</b>		<b>ARENA NATURAL – PESO (gr)</b>				
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	66.5	66.1	65.8	65.5	65.1	64.8
tm - N°10	78.1	77.7	77.3	76.9	76.5	76.1
< N°10	215.4	214.3	213.2	212.1	210.9	209.8
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>360.0</b>	<b>358.1</b>	<b>356.3</b>	<b>354.4</b>	<b>352.5</b>	<b>350.6</b>
<b>TAMIZ</b>		<b>PIEDRA 1/2" – PESO (gr)</b>				
tm - 1/2"	100.6	100.0	99.5	99.0	98.5	98.0
tm - 3/8"	127.5	126.8	126.2	125.5	124.8	124.2
tm - N°4	132.2	131.6	130.9	130.2	129.5	128.8
tm - N°10	42.1	41.9	41.7	41.5	41.3	41.0
< N°10	5.5	5.5	5.5	5.4	5.4	5.4
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>408.0</b>	<b>405.9</b>	<b>403.8</b>	<b>401.6</b>	<b>399.5</b>	<b>397.4</b>
<b>TAMIZ</b>		<b>CAUCHO GRANULADO</b>				
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
tm - N°10	6.5	6.4	6.4	6.4	6.3	6.3
< N°10	28.4	28.2	28.1	27.9	27.8	27.6
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>36.0</b>	<b>35.8</b>	<b>35.6</b>	<b>35.4</b>	<b>35.3</b>	<b>35.1</b>
<b>TOTAL (kg)</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 (kg)</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>

Los resultados correspondientes a cada una de las briquetas elaboradas con los porcentajes de asfalto determinados para encontrar el óptimo contenido de asfalto se reportan en el apartado de anexos 2, certificado de datos Marshall con adición de caucho al 3% en la mezcla, de los cuales se realizaron una serie de gráficos reportados a continuación.

Donde en las figuras 38 y 39 se presentan las propiedades mecánicas que buscan cumplir con las especificaciones Marshall, que para un óptimo contenido de asfalto definido de 5.4% de ligante PEN 85/100 determinado de acuerdo a un cumplimiento de la máxima estabilidad, así también el cumplimiento de los límites mínimos y máximos del flujo.

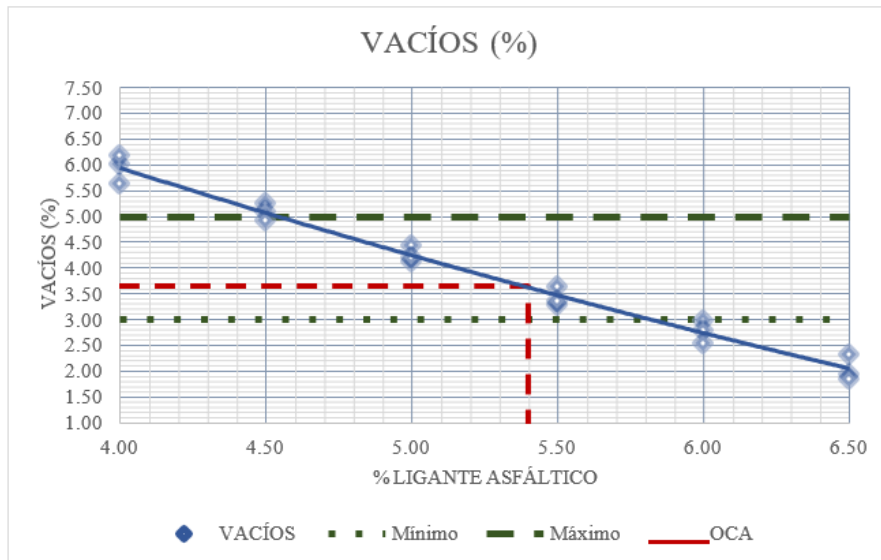


**Figura 38.** Estabilidad (kg) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho

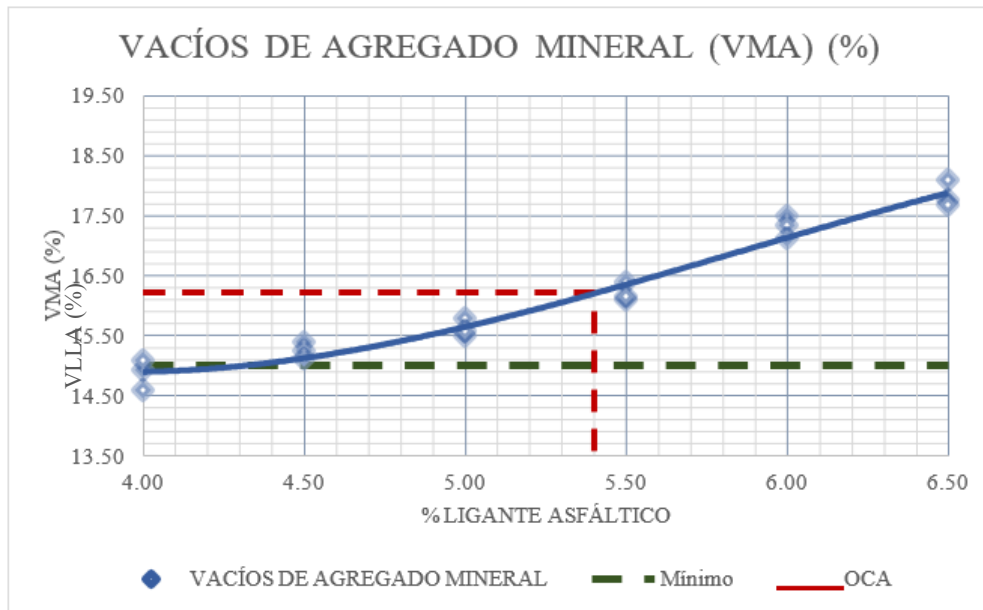


**Figura 39.** Flujo (mm) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho

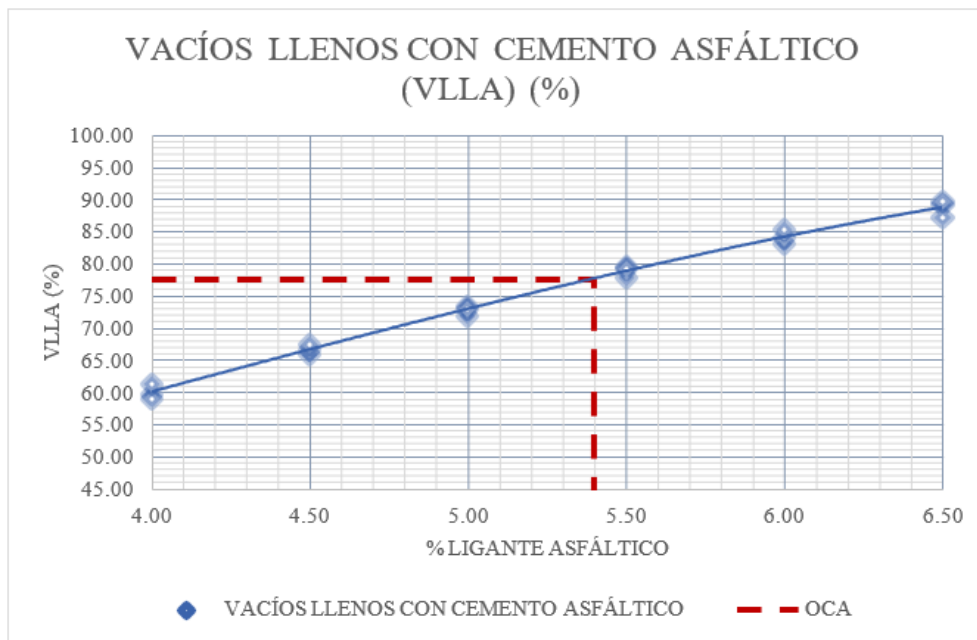
Los resultados de las propiedades volumétricas encontradas mediante el ensayo de pesospecífico a cada una de las briquetas elaboradas con distintos porcentajes de ligante asfáltico se presentan en las siguientes figuras 40, 41, 42 y 43 donde para los vacíos de aire en la mezcla se cumple con las especificaciones normativas, al igual que con el mínimo requerido de los vacíos de agregado mineral para el diseño de mezcla experimental con adición de caucho al 3.0% por vía seca.



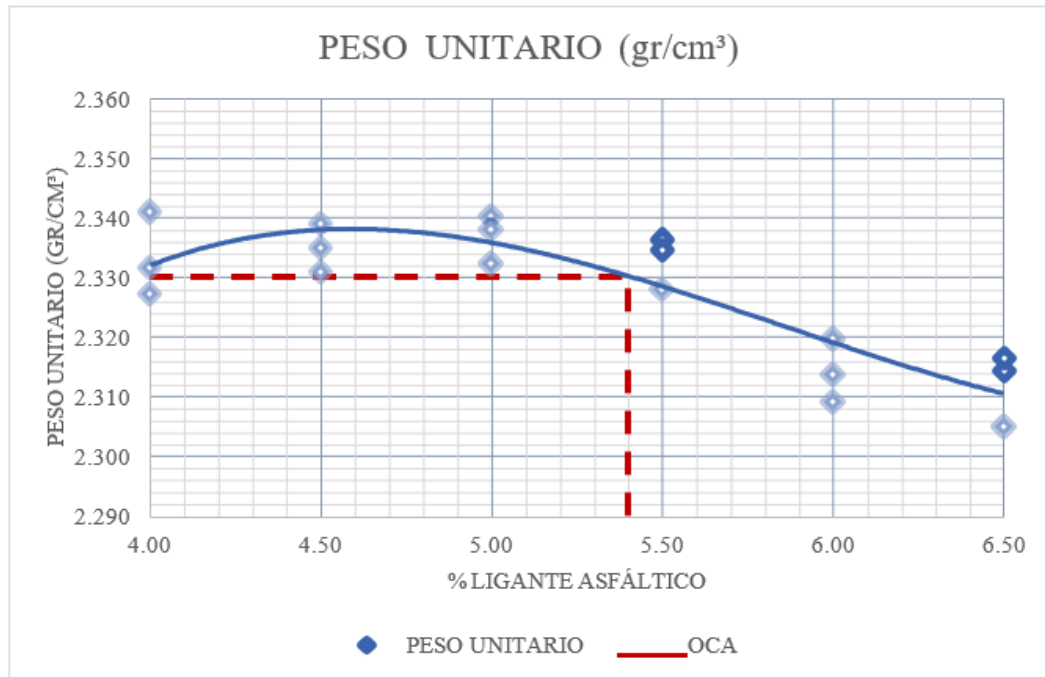
**Figura 40.** Vacíos (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho



**Figura 41.** VMA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho



**Figura 42.** VFA (%) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho



**Figura 43.** Peso unitario ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) por porcentaje de asfalto – Mezcla 3% Caucho

Reportando finalmente en la siguiente tabla 23 los resultados correspondientes al óptimo contenido de asfalto de 5.4% de ligante asfáltico para el diseño patrón realizado con adición de caucho al 3.0% por vía seca, teniendo de esta manera los valores en cada una de las propiedades volumétricas y mecánicas correspondientes a la proyección de datos obtenida de forma gráfica. En comparación con los resultados de menores adición de caucho, se tiene que al 3.0% no se cumple con la mayoría de propiedades de mezcla asfáltica.

**Tabla 23.**

*Resumen de resultado para el OCA – Mezcla 3% Caucho*

	<b>ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO</b>	
<b>CEMENTO ASFÁLTICO</b>	5.4%	%
<b>PESO UNITARIO</b>	2.330	$\text{gr}/\text{cm}^3$
<b>VACÍOS</b>	3.650	%
<b>VACÍOS DE AGREGADO MINERAL</b>	16.220	%

<b>VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO</b>	77.500	%
<b>FLUJO</b>	3.770	mm
<b>ESTABILIDAD</b>	1001.3	kg

---

**RESUMEN**

La recopilación de los resultados anteriores se presenta de forma resumida en las siguientes tablas 24 y 25, donde se puede apreciar los resultados de la comprobación de los óptimos contenidos de asfalto respecto de los distintos porcentajes de adición de caucho por vía seca en la mezcla en cada una de sus propiedades como estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos, VMA, VFA y peso unitario.

**Tabla 24.**

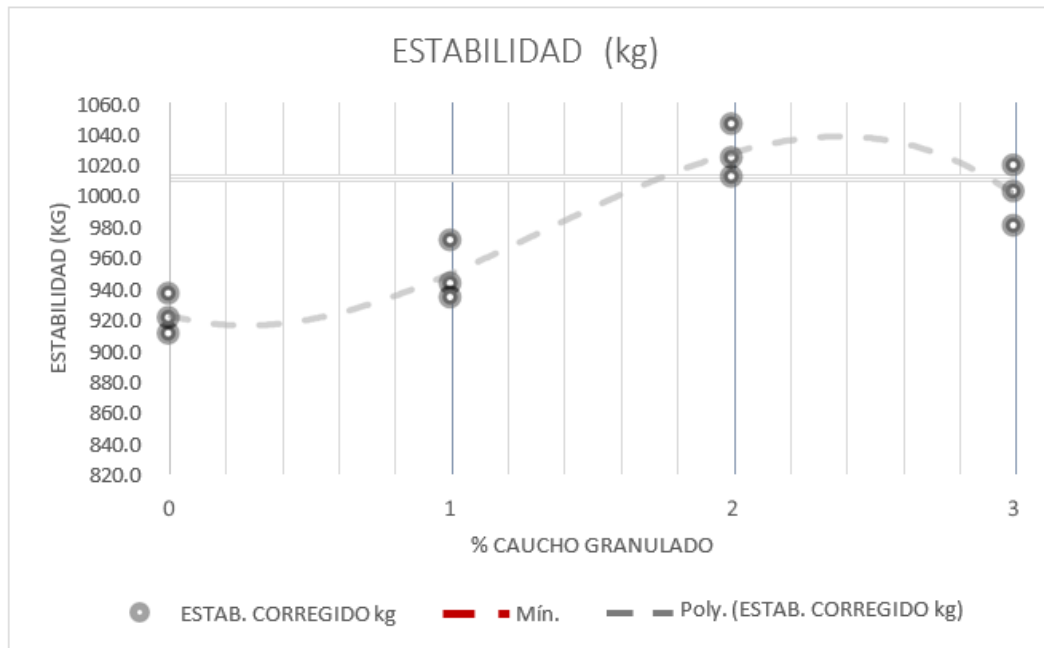
*Resumen de resultados 01 – Adición de Caucho (%)*

CEMENTO ASFÁLTICO	Adición de caucho	PESO SECO	PESO SSS	PESO SUM.	VOLUMEN	PESO ESPECIF. BULK	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO	VACÍOS
%	%	gr	gr	gr	cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	%
	0	1248.6	1252.2	720.5	531.8	2.348	2.431	3.42
5.20	0	1249.3	1254.3	721	533.3	2.343	2.431	3.64
	0	1251.1	1255.7	722.2	533.5	2.345	2.431	3.53
	1	1251.2	1256.6	721.4	535.2	2.338	2.426	3.63
5.30	1	1248.6	1254.6	718.1	536.5	2.327	2.426	4.07
	1	1247.8	1255.4	720.4	535.0	2.332	2.426	3.86
	2	1248.2	1255.7	719.6	536.1	2.328	2.416	3.63
5.50	2	1247.8	1255.1	716.4	538.7	2.316	2.416	4.13
	2	1247.5	1256.8	717.3	539.5	2.312	2.416	4.29
	3	1251.2	1256.2	719.7	536.5	2.332	2.421	3.67
5.40	3	1248.6	1254.8	718.6	536.2	2.329	2.421	3.82
	3	1250.9	1255.3	720.0	535.3	2.337	2.421	3.48

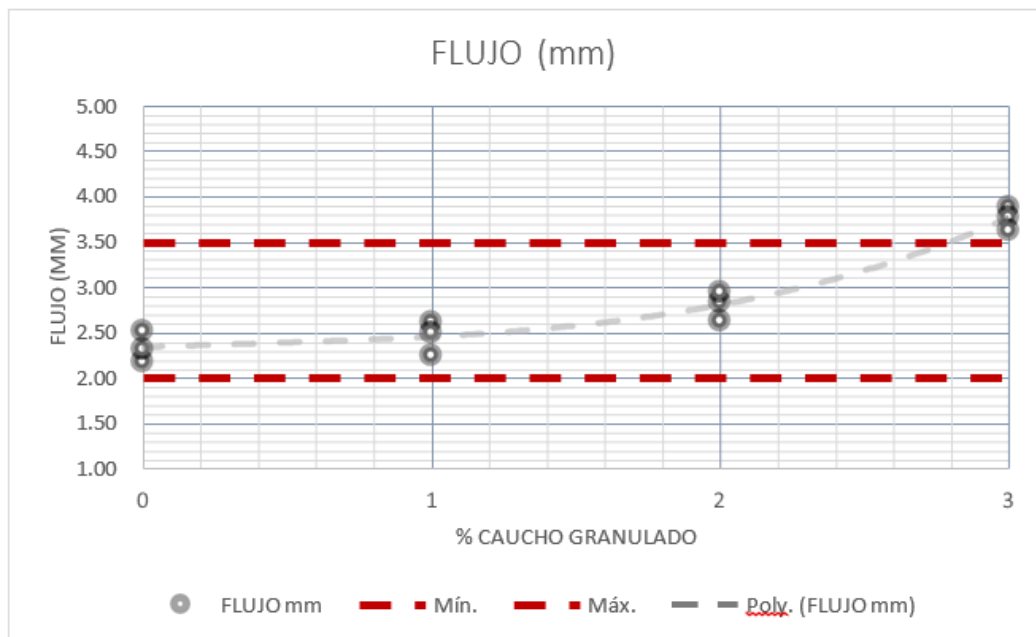
**Tabla 25.***Resumen de resultados 02 – Adición de Caucho (%)*

CEMENTO ASFÁLTICO	Adición de caucho	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	VACÍOS LLENOS CON C.A.	PESO ESPECÍFICO BULK DE AGREG.	FLUJO	ESTABILIDAD	ESTAB. CORREGIDA
%	%	%	%	gr/cm <sup>3</sup>	mm	kg	kg
	0	15.49	77.93	2.63	2.18	911.8	911.8
5.20	0	15.68	76.81	2.63	2.32	922.0	922.0
	0	15.59	77.33	2.63	2.52	937.3	937.3
	1	15.85	77.07	2.63	2.62	944.1	944.1
5.30	1	16.23	74.94	2.63	2.50	935.0	935.0
	1	16.05	75.95	2.63	2.25	971.9	971.9
	2	16.37	77.83	2.63	2.84	1012.5	1012.5
5.50	2	16.80	75.44	2.63	2.95	1046.7	1046.7
	2	16.95	74.68	2.63	2.63	1025.0	1025.0
	3	16.15	77.27	2.63	3.89	1019.9	1019.9
5.40	3	16.27	76.55	2.63	3.78	981.1	981.1
	3	15.98	78.24	2.63	3.63	1003.2	1003.2

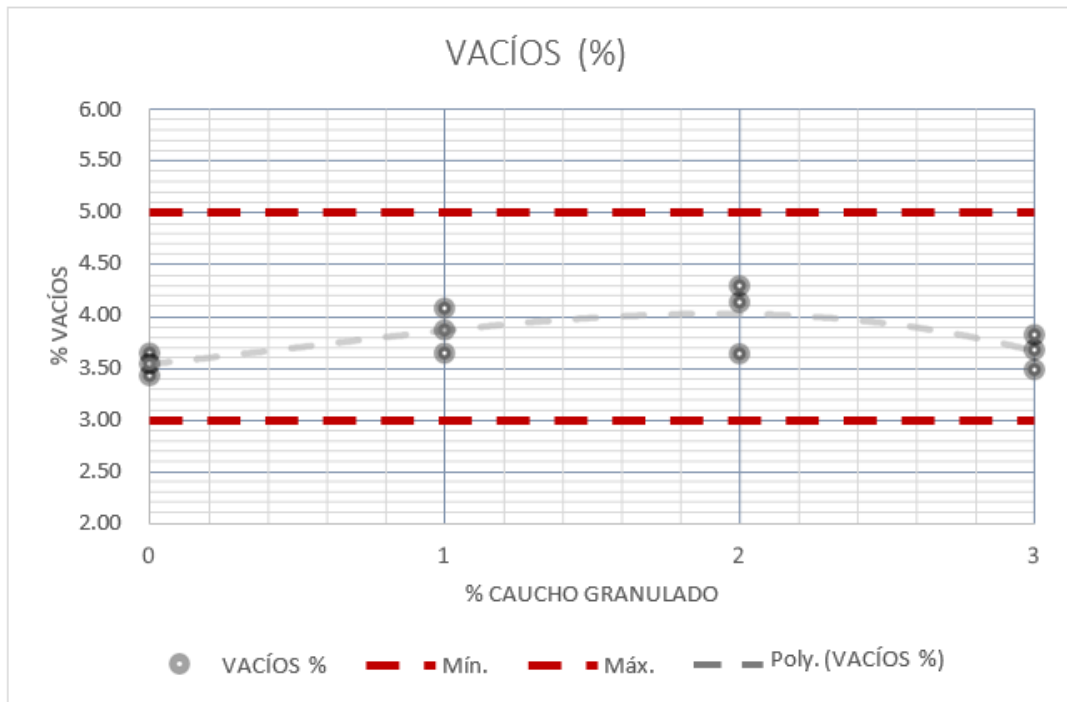
Finalmente se presenta la recopilación de los resultados de estabilidad, flujo y propiedades volumétricas en función a los distintos porcentajes de adición de caucho por la vía seca en las figuras 44, 45, 46, 47 y 48; donde se puede apreciar un mejor comportamiento mecánico sobre la mezcla adicionada con 2.0% de caucho reciclado. Se presenta también que al 3% de adición de caucho no se cumple con el flujo máximo exigido por la normativa Marshall.



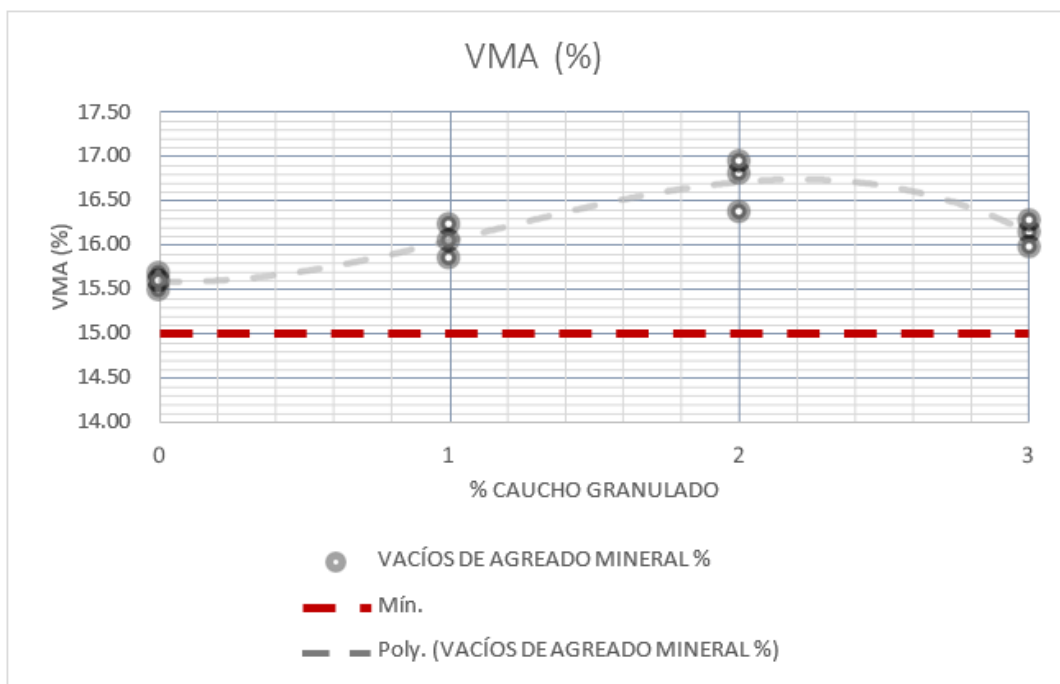
**Figura 44.** Estabilidad (kg) resumen por porcentaje de caucho



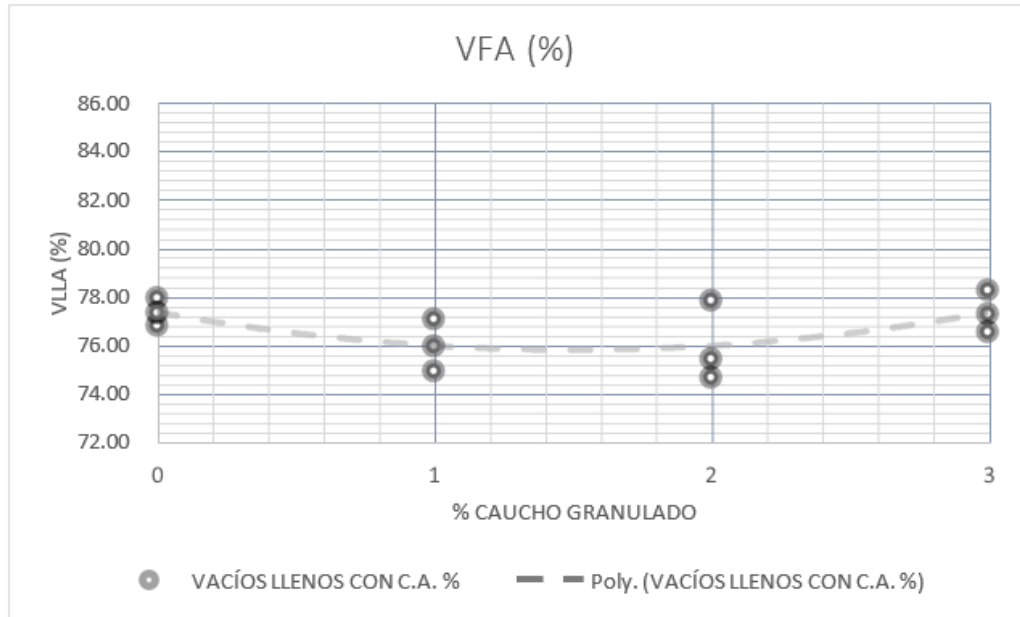
**Figura 45.** Flujo (mm) resumen por porcentaje de caucho



**Figura 46.** Vacíos (%) resumen por porcentaje de caucho



**Figura 47.** VMA (%) resumen por porcentaje de caucho



**Figura 48.** VFA (%) resumen por porcentaje de caucho

#### 4.1.2.3. Resultados del tiempo de acondicionamiento – OE3.

Obtenidos los diseños aplicando la adición de caucho por la vía seca, se presenta en siguiente apartado la aplicación del tiempo de acondicionamiento por cada porcentaje de adición de caucho evaluado, teniendo de esta manera un análisis sin tiempo de acondicionamiento, con 45, 90, 120 y 150 minutos de tipo de acondicionamiento para cadauna de las mezclas asfálticas realizadas.

En las siguientes tablas 26 y 27, se presentan los resultados obtenidos para la mezcla asfáltica adicionada con caucho al 1.0% por vía seca aun total de 3 briquetas por cada punto de análisis. Las muestras sometidas al proceso de acondicionamiento adicional sobre la etapa de mezcla cuidando el mantener la temperatura constante a medida de acuerdo a la carta de viscosidad del PEN 85/100 empleado para la mezcla.

**Tabla 26.***Resultados de tiempo de acondicionamiento 01 – 1% de Caucho*

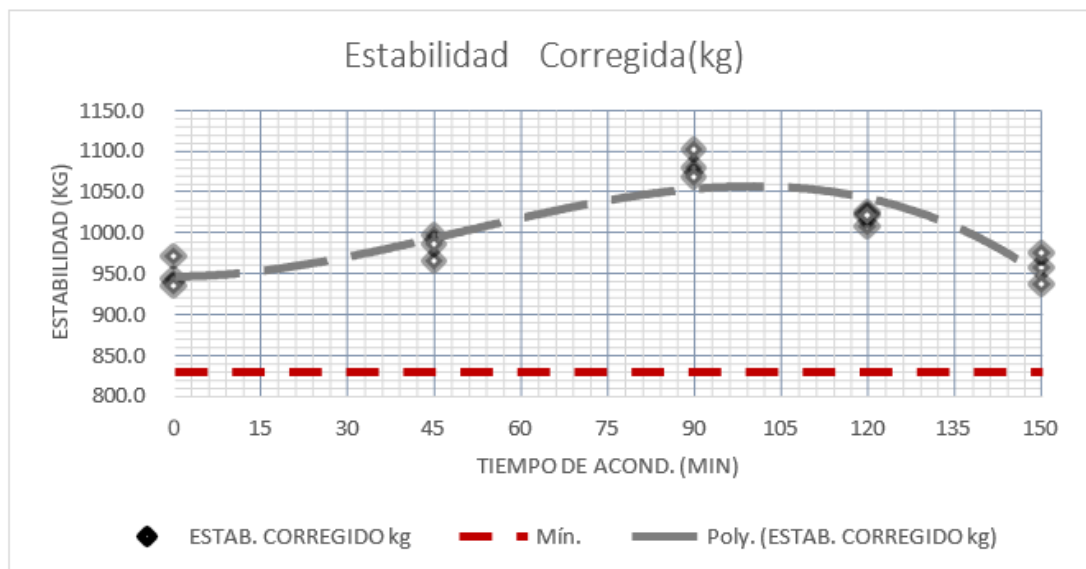
ITEM	MUESTRA	TIEMPO	PESO	PESO	PESO	VOLUMEN	PESO	VACÍOS
			SECO	SSS	SUM.		ESPECIF. BULK	
		min	gr	gr	gr	cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	%
1	M-IL-001	0	1251.2	1256.6	721.4	535.2	2.338	3.63
2	M-IL-002	0	1248.6	1254.6	718.1	536.5	2.327	4.07
3	M-IL-003	0	1247.8	1255.4	720.4	535.0	2.332	3.86
4	M-IL-004	45	1249.3	1254.8	717.5	537.3	2.325	4.16
5	M-IL-005	45	1249.9	1255.7	720.0	535.7	2.333	3.82
6	M-IL-006	45	1251.0	1256.7	721.1	535.6	2.336	3.72
7	M-IL-007	90	1248.2	1258.2	715.7	542.5	2.301	5.16
8	M-IL-008	90	1247.3	1258.1	714.4	543.7	2.294	5.44
9	M-IL-009	90	1248.8	1259.2	714.3	544.9	2.292	5.53
10	M-IL-010	120	1247.9	1259.5	713.1	546.4	2.284	5.86
11	M-IL-011	120	1249.8	1259.7	711.3	548.4	2.279	6.06
12	M-IL-012	120	1248.5	1259.1	710.5	548.6	2.276	6.19
13	M-IL-013	150	1248.2	1259.3	710.5	548.8	2.274	6.25
14	M-IL-014	150	1247.1	1259.0	709.9	549.1	2.271	6.38
15	M-IL-015	150	1248.6	1258.4	710.7	547.7	2.280	6.03

**Tabla 27.***Resultados de tiempo de acondicionamiento 02 – 1% de Caucho*

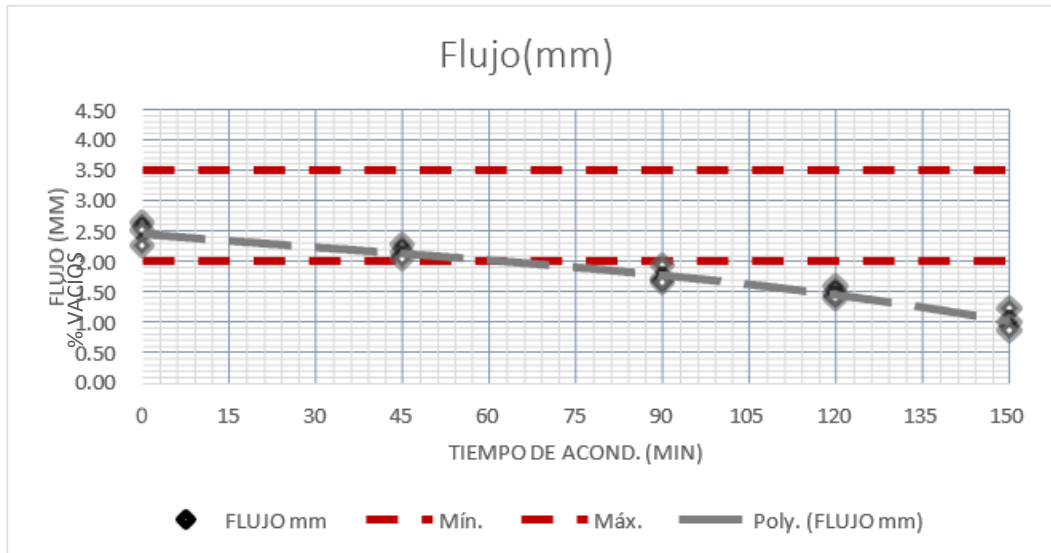
ITEM	MUESTRA	TIEMPO	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	VACÍOS	FLUJO	ESTABILIDAD	ESTAB. CORREGIDA
				LLENOS CON C.A.			
		min	%	%	mm	kg	kg
1	M-IL-001	0	15.85	77.07	2.62	944.1	944.1
2	M-IL-002	0	16.23	74.94	2.50	935.0	935.0
3	M-IL-003	0	16.05	75.95	2.25	971.9	971.9
4	M-IL-004	45	16.31	74.51	2.27	964.8	964.8
5	M-IL-005	45	16.02	76.12	2.13	996.3	996.3
6	M-IL-006	45	15.93	76.63	2.03	985.2	985.2
7	M-IL-007	90	17.18	69.97	1.93	1078.6	1078.6
8	M-IL-008	90	17.43	68.80	1.72	1100.8	1100.8

9	M-IL-009	90	17.51	68.41	1.65	1067.8	1067.8
10	M-IL-010	120	17.80	67.07	1.58	1007.9	1007.9
11	M-IL-011	120	17.97	66.28	1.46	1025.6	1025.6
12	M-IL-012	120	18.09	65.76	1.38	1021.2	1021.2
13	M-IL-013	150	18.13	65.55	1.22	957.7	957.7
14	M-IL-014	150	18.25	65.03	0.99	975.4	975.4
15	M-IL-015	150	17.94	66.40	0.85	936.7	936.7

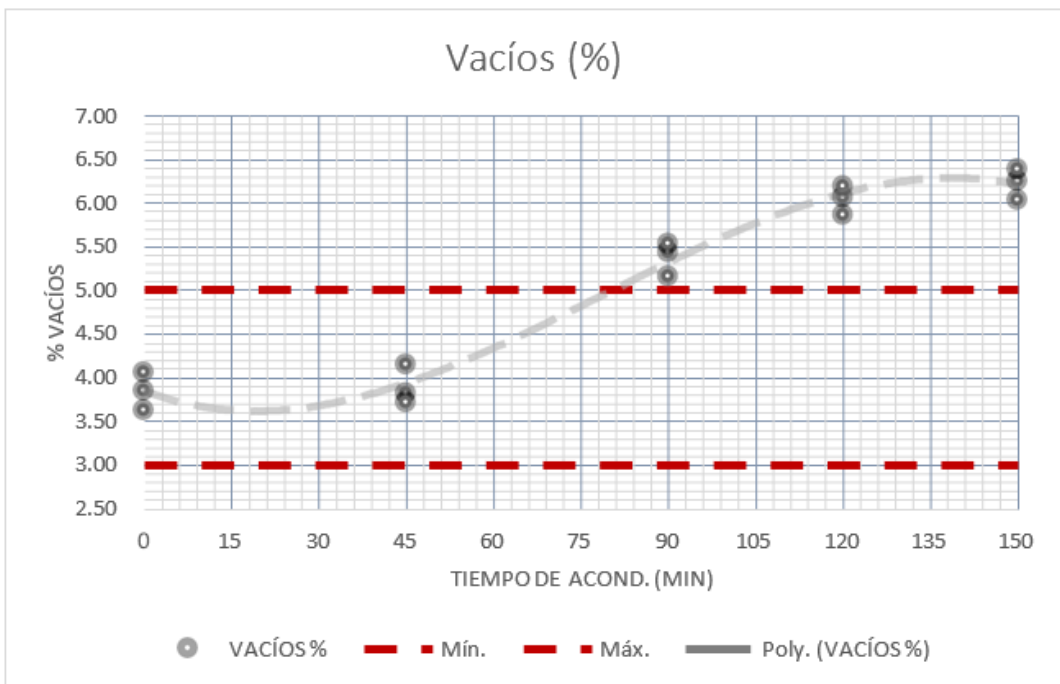
De los datos obtenidos por cada punto de análisis se presenta en las siguientes figuras 49, 50, 51, 52 y 53 la alteración gráfica de las distintas propiedades de la mezcla asfáltica adicionada con caucho al 1.0% por vía seca a distintos periodos de acondicionamiento. En las distintas propiedades de mezcla se puede evidenciar un mejoramiento de las propiedades de mezcla, aunque en el flujo se encuentra un descenso representativo que llega a superar el mínimo requerido de deformación a los 90 minutos de acondicionamiento de mezcla, al igual que en los vacíos de mezcla que aumenta por sobre el máximo establecido en los requerimientos normativos Marshall.



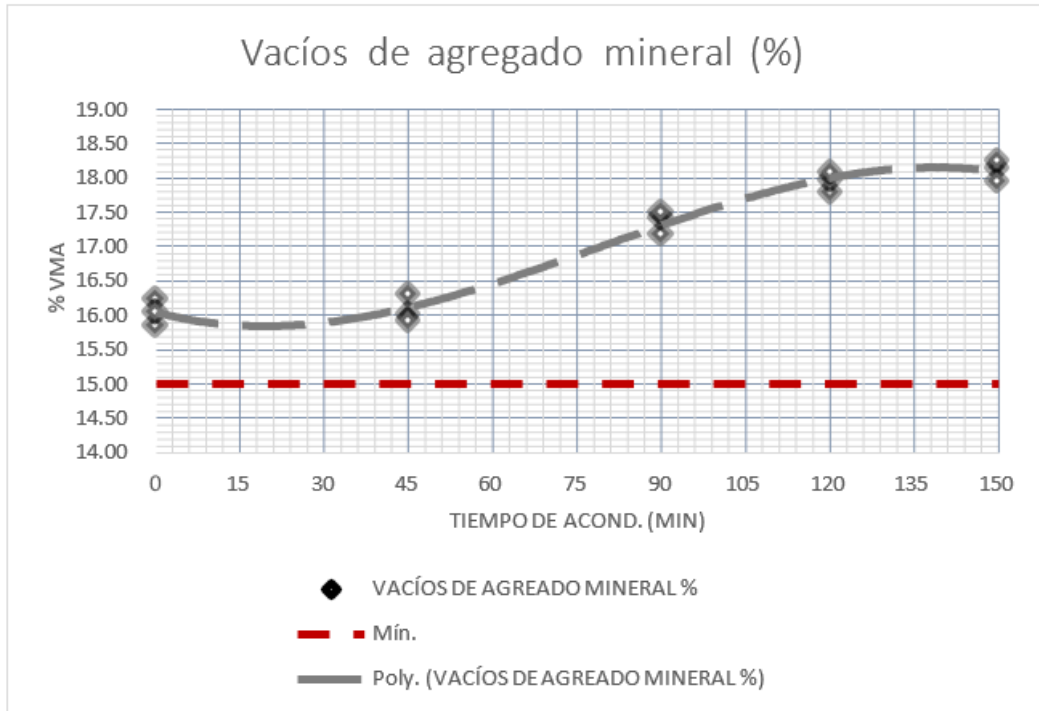
**Figura 49.** Estabilidad (kg) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho



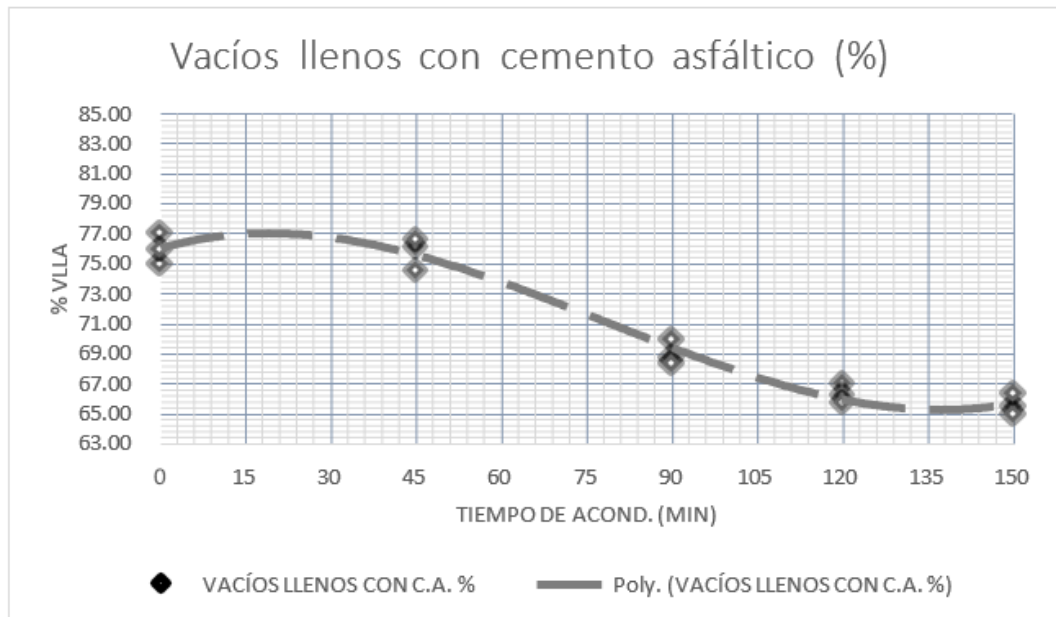
**Figura 50.** Flujo (mm) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho



**Figura 51.** Vacíos (%) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho



**Figura 52.** VMA (%) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho



**Figura 53.** VFA (%) por tiempo de acondicionamiento – 1% caucho

En las siguientes tablas 28 y 29 se presentan los resultados obtenidos para la mezcla asfáltica adicionada con caucho al 2.0% por vía seca aun total de 3 briquetas por cada punto de análisis. Las muestras sometidas al proceso de acondicionamiento adicional sobre la etapa de mezcla cuidó el mantener la temperatura constante a medida de acuerdo a la carta de viscosidad del PEN 85/100 empleado para la mezcla.

**Tabla 28.**

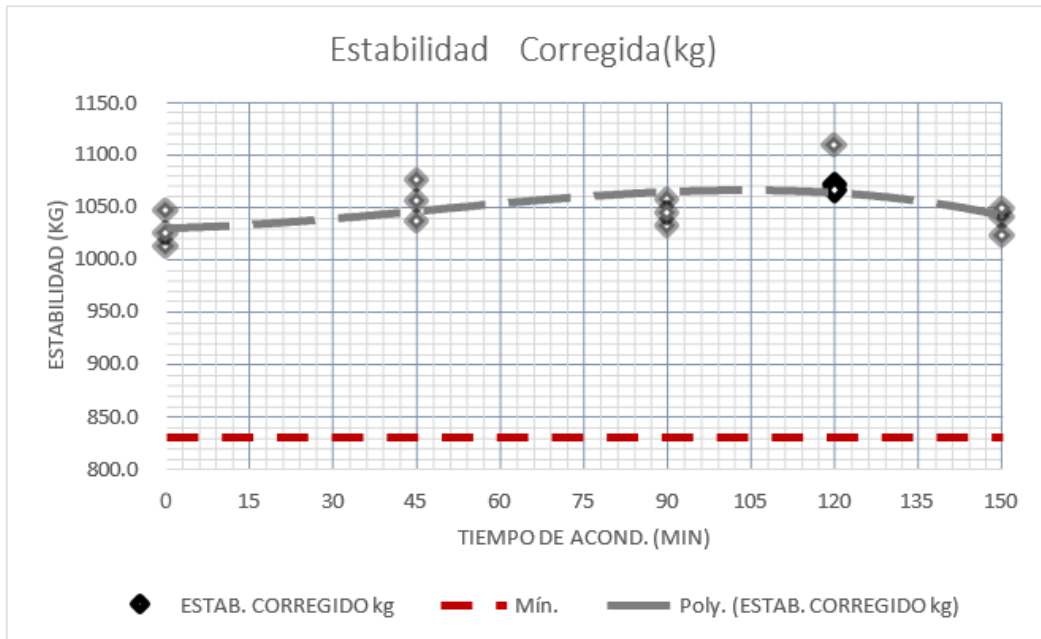
*Resultados de tiempo de acondicionamiento 01 – 2% de Caucho*

ITEM	MUESTRA	TIEMPO	PESO	PESO	PESO	VOLUMEN	PESO	VACÍOS
			SECO	SSS	SUM.		ESPECIF. BULK	
		min	gr	gr	gr	cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	%
16	M-IL-016	0	1248.2	1255.7	719.6	536.1	2.328	3.63
17	M-IL-017	0	1247.8	1255.1	716.4	538.7	2.316	4.13
18	M-IL-018	0	1247.5	1256.8	717.3	539.5	2.312	4.29
19	M-IL-019	45	1249.0	1255.0	714.9	540.1	2.313	4.28
20	M-IL-020	45	1250.5	1256.7	715.3	541.4	2.310	4.40
21	M-IL-021	45	1247.1	1254.3	716.2	538.1	2.318	4.07
22	M-IL-022	90	1249.8	1256.6	713.6	543.0	2.302	4.73
23	M-IL-023	90	1251.1	1257.0	715.8	541.2	2.312	4.32
24	M-IL-024	90	1250.0	1258.0	716.4	541.6	2.308	4.47
25	M-IL-025	120	1251.3	1257.7	714.3	543.4	2.303	4.69
26	M-IL-026	120	1250.8	1256.9	712.5	544.4	2.298	4.90
27	M-IL-027	120	1250.2	1255.4	710.6	544.8	2.295	5.02
28	M-IL-028	150	1249.7	1258.2	710.4	547.8	2.281	5.58
29	M-IL-029	150	1247.9	1256.6	711.9	544.7	2.291	5.17
30	M-IL-030	150	1251.9	1258.4	710.8	547.6	2.286	5.37

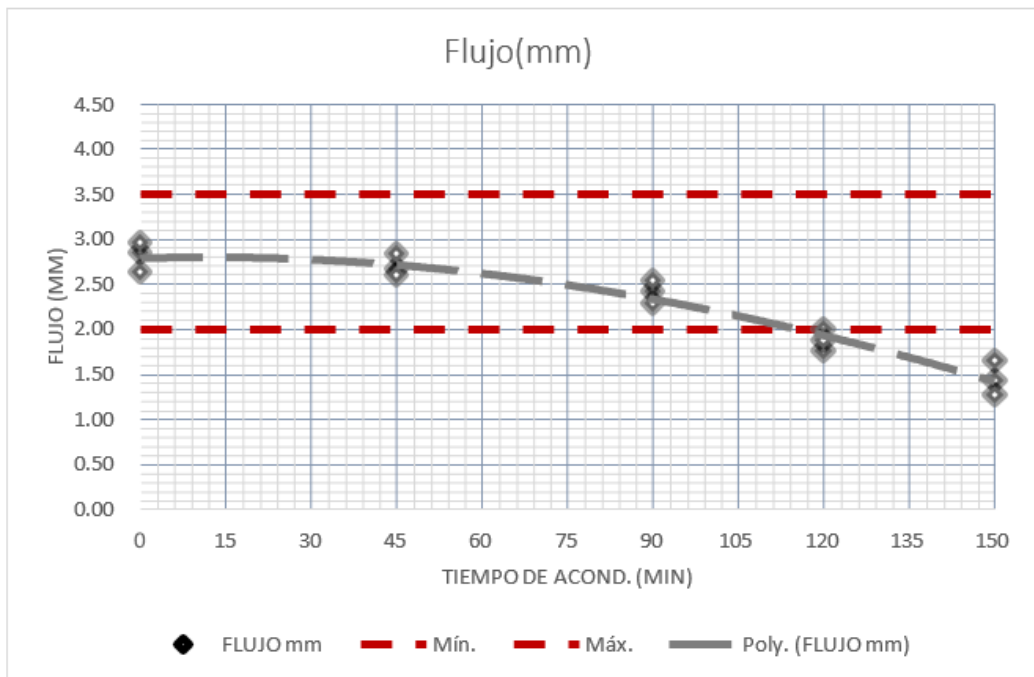
**Tabla 29.***Resultados de tiempo de acondicionamiento 02 – 2% de Caucho*

ITEM	MUESTRA	TIEMPO min	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL %	VACÍOS	FLUJO mm	ESTABILIDAD kg	ESTAB. CORREGIDA kg
				LLENOS CON C.A. %			
16	M-IL-016	0	16.37	77.83	2.84	1012.5	1012.5
17	M-IL-017	0	16.80	75.44	2.95	1046.7	1046.7
18	M-IL-018	0	16.95	74.68	2.63	1025.0	1025.0
19	M-IL-019	45	16.94	74.72	2.66	1076.2	1076.2
20	M-IL-020	45	17.04	74.19	2.59	1055.6	1055.6
21	M-IL-021	45	16.76	75.69	2.83	1036.0	1036.0
22	M-IL-022	90	17.33	72.69	2.42	1032.7	1032.7
23	M-IL-023	90	16.97	74.56	2.29	1057.1	1057.1
24	M-IL-024	90	17.10	73.86	2.54	1044.3	1044.3
25	M-IL-025	120	17.29	72.88	2.00	1072.9	1072.9
26	M-IL-026	120	17.48	71.95	1.76	1108.7	1108.7
27	M-IL-027	120	17.58	71.45	1.88	1066.9	1066.9
28	M-IL-028	150	18.06	69.13	1.43	1040.3	1040.3
29	M-IL-029	150	17.71	70.79	1.65	1022.5	1022.5
30	M-IL-030	150	17.89	69.95	1.27	1048.6	1048.6

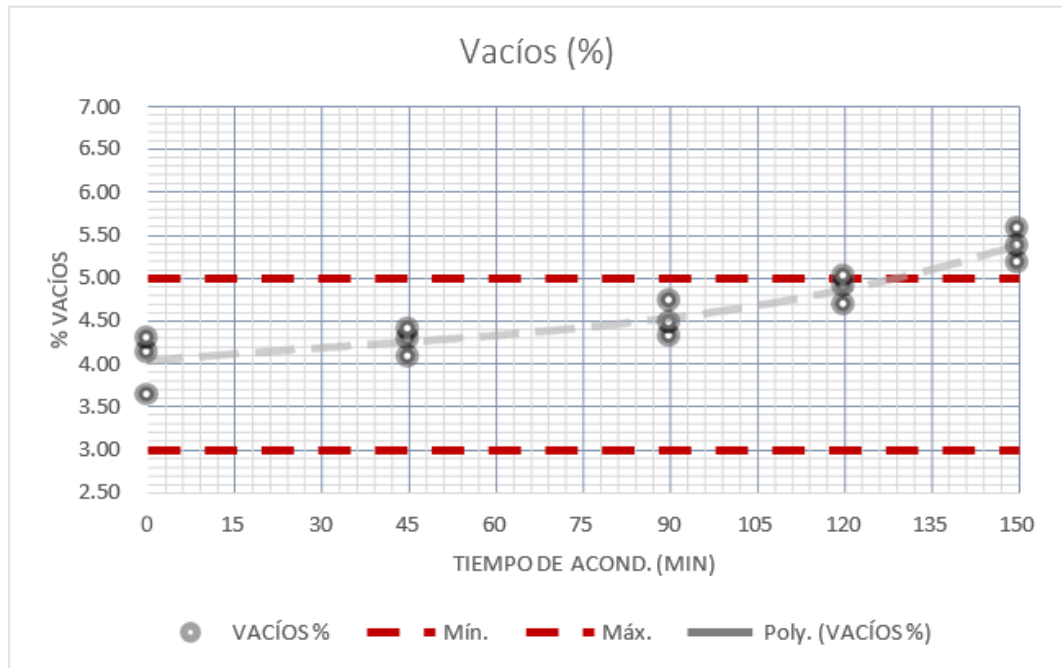
De los datos obtenidos por cada punto de análisis se presenta en las siguientes figuras 54, 55, 56, 57 y 58 la alteración gráfica de las distintas propiedades de la mezcla asfáltica adicionada con caucho al 2.0% por vía seca a distintos periodos de acondicionamiento. En las distintas propiedades de mezcla se puede evidenciar un mejoramiento de las propiedades de mezcla, aunque en el flujo se encuentra un descenso representativo que llega a superar el mínimo requerido de deformación a los 120 minutos de acondicionamiento de mezcla, al igual que en los vacíos de mezcla que aumenta por sobre el máximo establecido en los requerimientos normativos Marshall.



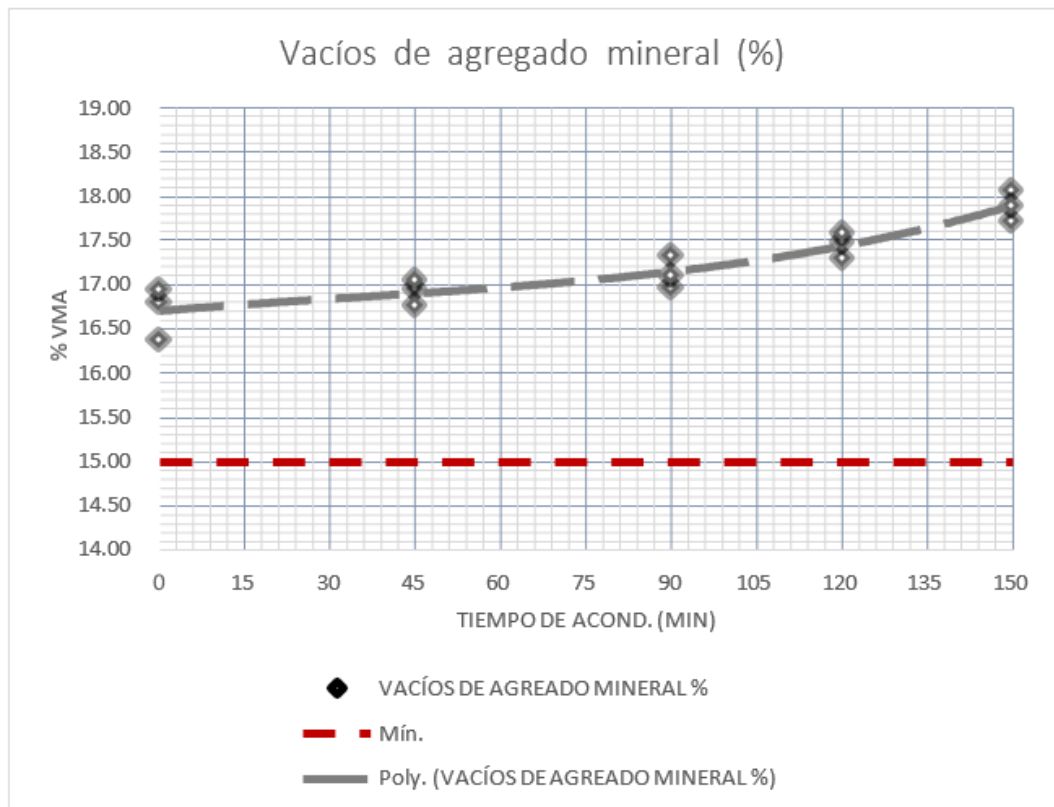
**Figura 54.** Estabilidad (kg) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho



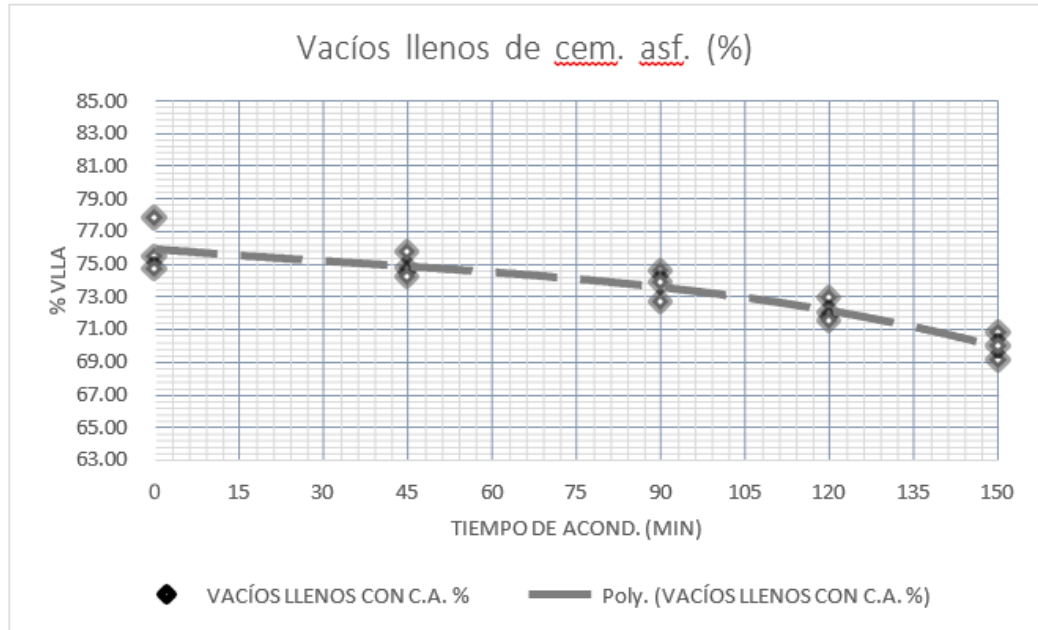
**Figura 55.** Flujo (mm) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho



**Figura 56.** Vacíos (%) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho



**Figura 57.** VMA (%) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho



**Figura 58.** VFA (%) por tiempo de acondicionamiento – 2% caucho

En las siguientes tablas 30 y 31, se presentan los resultados obtenidos para la mezcla asfáltica adicionada con caucho al 3.0% por vía seca aun total de 3 briquetas por cada punto de análisis. Las muestras sometidas al proceso de acondicionamiento adicional sobre la etapa de mezcla cuidó el mantener la temperatura constante a medida de acuerdo a la carta de viscosidad del PEN 85/100 empleado para la mezcla.

**Tabla 30.***Resultados de tiempo de acondicionamiento 01 – 3% de Caucho*

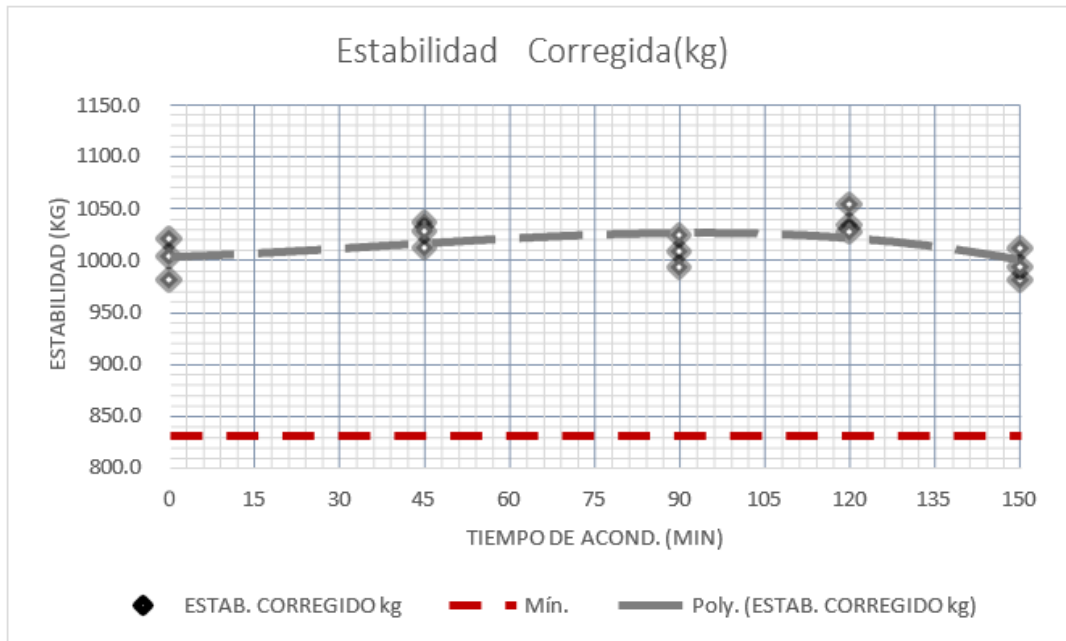
ITEM	MUESTRA	TIEMPO	PESO	PESO	PESO	VOLUMEN	PESO	VACÍOS
			SECO	SSS	SUM.		ESPECIF. BULK	
		min	gr	gr	gr	cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	%
31	M-IL-031	0	1251.2	1256.2	719.7	536.5	2.332	3.67
32	M-IL-032	0	1248.6	1254.8	718.6	536.2	2.329	3.82
33	M-IL-033	0	1250.9	1255.3	720.0	535.3	2.337	3.48
34	M-IL-034	45	1249.4	1259.2	718.3	540.9	2.310	4.59
35	M-IL-035	45	1246.4	1258.6	717.8	540.8	2.305	4.80
36	M-IL-036	45	1250.0	1259.5	716.2	543.3	2.301	4.97
37	M-IL-037	90	1249.6	1258.9	715.5	543.4	2.300	5.01
38	M-IL-038	90	1248.1	1258.5	714.9	543.6	2.296	5.16
39	M-IL-039	90	1249.5	1259.5	715.1	544.4	2.295	5.20
40	M-IL-040	120	1246.1	1256.4	712.7	543.7	2.292	5.33
41	M-IL-041	120	1248.6	1258.6	712.0	546.6	2.284	5.65
42	M-IL-042	120	1248.3	1258.1	713.8	544.3	2.293	5.27
43	M-IL-043	150	1251.0	1259.2	710.9	548.3	2.282	5.76
44	M-IL-044	150	1248.8	1258.3	712.2	546.1	2.287	5.54
45	M-IL-045	150	1249.6	1258.8	710.6	548.2	2.279	5.85

**Tabla 31.**

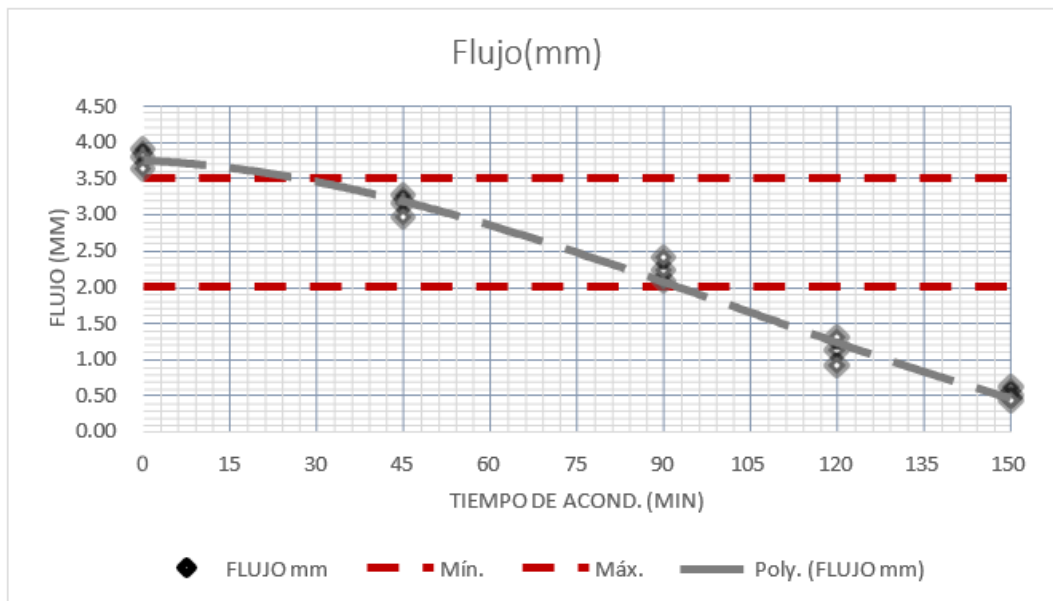
*Resultados de tiempo de acondicionamiento 02 – 3% de Caucho*

ITEM	MUESTRA	TIEMPO	VACÍOS DE		FLUJO	ESTABILIDAD	ESTAB. CORREGIDA
			AGREGADO MINERAL	VACÍOS LLENOS CON C.A.			
		min	%	%	mm	kg	kg
31	M-IL-031	0	16.15	77.27	3.89	1019.9	1019.9
32	M-IL-032	0	16.27	76.55	3.78	981.1	981.1
33	M-IL-033	0	15.98	78.24	3.63	1003.2	1003.2
34	M-IL-034	45	16.95	72.91	3.26	1011.2	1011.2
35	M-IL-035	45	17.13	71.97	3.15	1036.3	1036.3
36	M-IL-036	45	17.27	71.25	2.95	1027.1	1027.1
37	M-IL-037	90	17.32	71.04	2.07	1008.5	1008.5
38	M-IL-038	90	17.45	70.40	2.22	993.0	993.0
39	M-IL-039	90	17.47	70.26	2.39	1024.3	1024.3
40	M-IL-040	120	17.59	69.69	1.12	1033.5	1033.5
41	M-IL-041	120	17.87	68.40	1.29	1053.7	1053.7
42	M-IL-042	120	17.54	69.95	0.91	1027.0	1027.0
43	M-IL-043	150	17.96	67.95	0.61	981.2	981.2
44	M-IL-044	150	17.78	68.81	0.50	1011.4	1011.4
45	M-IL-045	150	18.04	67.59	0.43	993.7	993.7

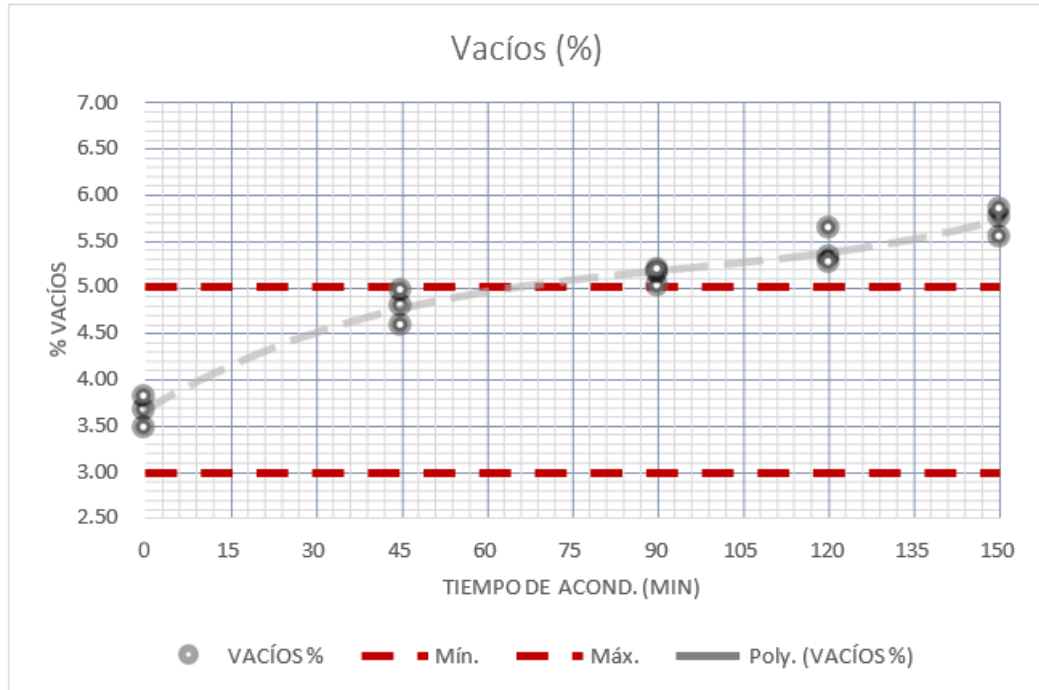
De los datos obtenidos por cada punto de análisis se presenta en las siguientes figuras 59,60, 61, 62 y 63 la alteración grafica de las distintas propiedades de la mezcla asfáltica adicionada con caucho al 3.0% por vía seca a distintos periodos de acondicionamiento. En las distintas propiedades de mezcla se puede evidenciar un mejoramiento de las propiedades de mezcla, aunque en el flujo se encuentra un descenso representativo que llega a superar el mínimo requerido de deformación a los 120 minutos de acondicionamiento de mezcla, al igual que en los vacíos de mezcla que aumenta por sobreel máximo establecido en los requerimientos normativos Marshall.



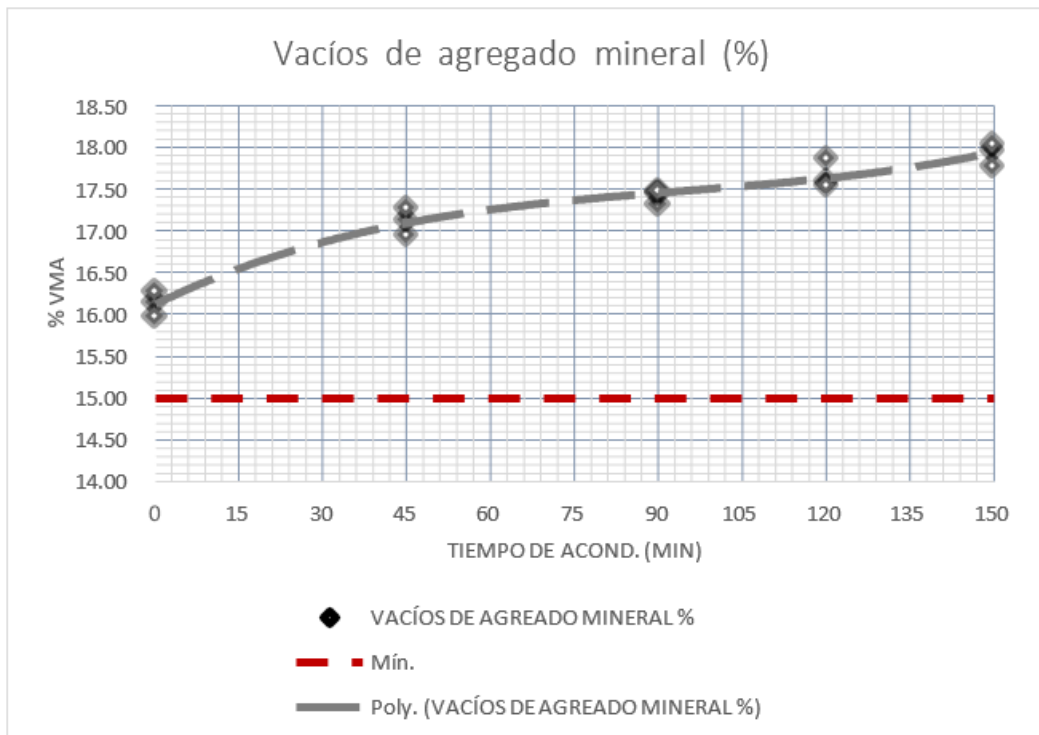
**Figura 59.** Estabilidad (kg) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho



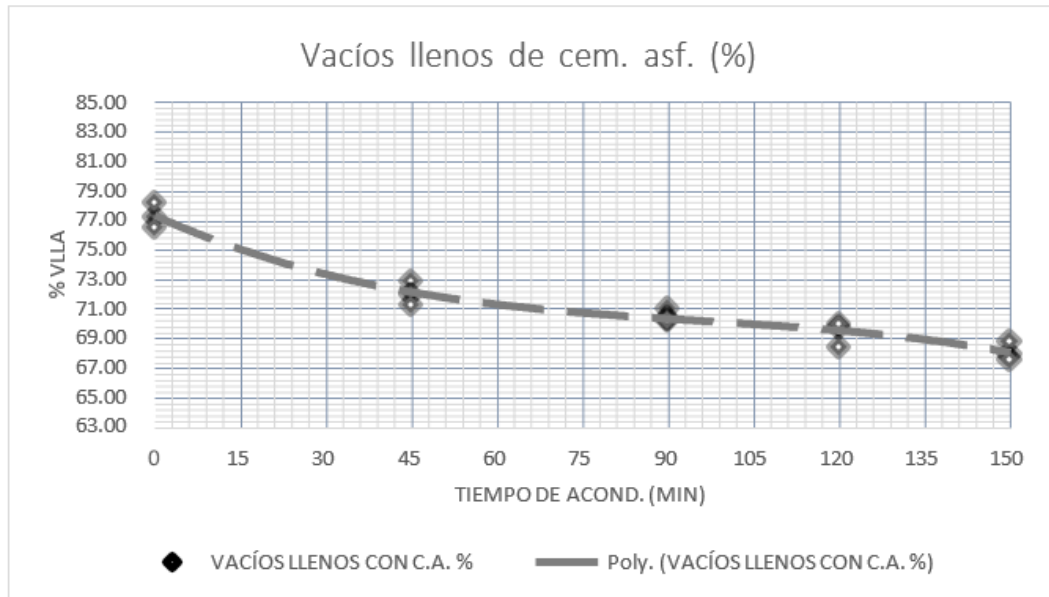
**Figura 60.** Flujo (mm) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho



**Figura 61.** Vacíos (%) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho



**Figura 62.** VMA (%) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho



**Figura 63.** VFA (%) por tiempo de acondicionamiento – 3% caucho

#### 4.1.3. *Análisis de resultados - OG.*

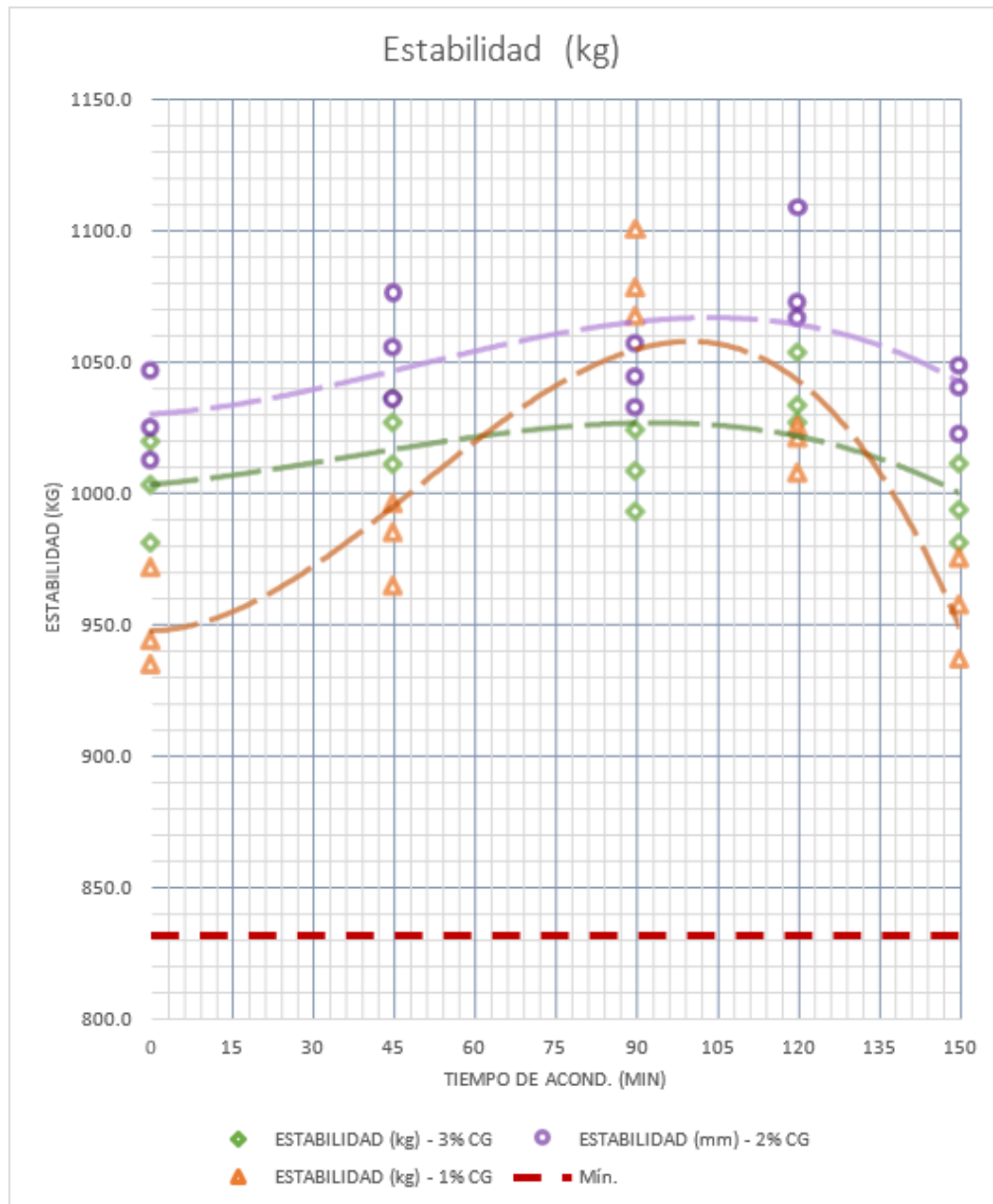
Finalmente se presentan en la siguiente tabla 32 se presenta la recopilación de datos obtenidos de las distintas propiedades mecánicas y volumétricas en función de los distintos tiempos de acondicionamiento donde se puede llegar a obtener una optimización de las propiedades de mezcla a los 90 minutos de acondicionamiento para los distintos porcentajes de adición de caucho por vía seca.

**Tabla 32.***Resultados resumen de tiempo de acondicionamiento - Propiedades*

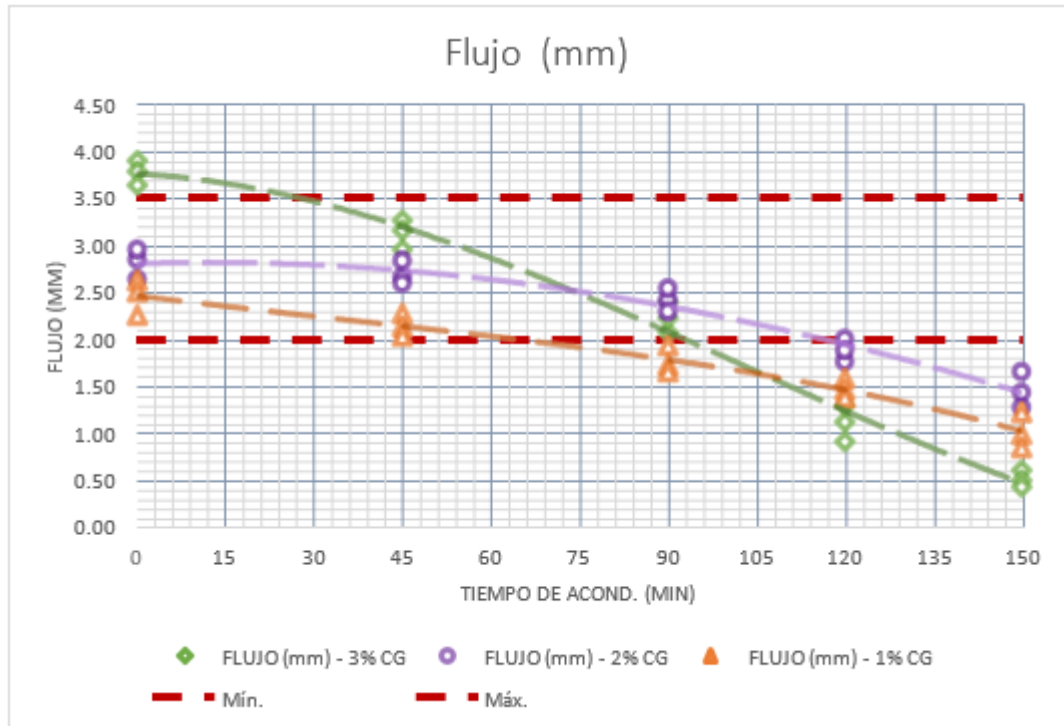
ITEM	MUESTRA	ADICIÓN		VACÍOS	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	VACÍOS LLENOS CON C.A.	FLUJO	ESTABILIDAD
		DE CAUCHO	TIEMPO					
1	M-IL-001	1	0	3.63	15.85	77.07	2.62	944.1
2	M-IL-002	1	0	4.07	16.23	74.94	2.50	935.0
3	M-IL-003	1	0	3.86	16.05	75.95	2.25	971.9
4	M-IL-004	1	45	4.16	16.31	74.51	2.27	964.8
5	M-IL-005	1	45	3.82	16.02	76.12	2.13	996.3
6	M-IL-006	1	45	3.72	15.93	76.63	2.03	985.2
7	M-IL-007	1	90	5.16	17.18	69.97	1.93	1078.6
8	M-IL-008	1	90	5.44	17.43	68.80	1.72	1100.8
9	M-IL-009	1	90	5.53	17.51	68.41	1.65	1067.8
10	M-IL-010	1	120	5.86	17.80	67.07	1.58	1007.9
11	M-IL-011	1	120	6.06	17.97	66.28	1.46	1025.6
12	M-IL-012	1	120	6.19	18.09	65.76	1.38	1021.2
13	M-IL-013	1	150	6.25	18.13	65.55	1.22	957.7
14	M-IL-014	1	150	6.38	18.25	65.03	0.99	975.4
15	M-IL-015	1	150	6.03	17.94	66.40	0.85	936.7
16	M-IL-016	2	0	3.63	16.37	77.83	2.84	1012.5
17	M-IL-017	2	0	4.13	16.80	75.44	2.95	1046.7
18	M-IL-018	2	0	4.29	16.95	74.68	2.63	1025.0
19	M-IL-019	2	45	4.28	16.94	74.72	2.66	1076.2
20	M-IL-020	2	45	4.40	17.04	74.19	2.59	1055.6
21	M-IL-021	2	45	4.07	16.76	75.69	2.83	1036.0
22	M-IL-022	2	90	4.73	17.33	72.69	2.42	1032.7
23	M-IL-023	2	90	4.32	16.97	74.56	2.29	1057.1
24	M-IL-024	2	90	4.47	17.10	73.86	2.54	1044.3
25	M-IL-025	2	120	4.69	17.29	72.88	2.00	1072.9
26	M-IL-026	2	120	4.90	17.48	71.95	1.76	1108.7
27	M-IL-027	2	120	5.02	17.58	71.45	1.88	1066.9
28	M-IL-028	2	150	5.58	18.06	69.13	1.43	1040.3
29	M-IL-029	2	150	5.17	17.71	70.79	1.65	1022.5
30	M-IL-030	2	150	5.37	17.89	69.95	1.27	1048.6
31	M-IL-031	3	0	3.67	16.15	77.27	3.89	1019.9
32	M-IL-032	3	0	3.82	16.27	76.55	3.78	981.1

33	M-IL-033	3	0	3.48	15.98	78.24	3.63	1003.2
34	M-IL-034	3	45	4.59	16.95	72.91	3.26	1011.2
35	M-IL-035	3	45	4.80	17.13	71.97	3.15	1036.3
36	M-IL-036	3	45	4.97	17.27	71.25	2.95	1027.1
37	M-IL-037	3	90	5.01	17.32	71.04	2.07	1008.5
38	M-IL-038	3	90	5.16	17.45	70.40	2.22	993.0
39	M-IL-039	3	90	5.20	17.47	70.26	2.39	1024.3
40	M-IL-040	3	120	5.33	17.59	69.69	1.12	1033.5
41	M-IL-041	3	120	5.65	17.87	68.40	1.29	1053.7
42	M-IL-042	3	120	5.27	17.54	69.95	0.91	1027.0
43	M-IL-043	3	150	5.76	17.96	67.95	0.61	981.2
44	M-IL-044	3	150	5.54	17.78	68.81	0.50	1011.4
45	M-IL-045	3	150	5.85	18.04	67.59	0.43	993.7

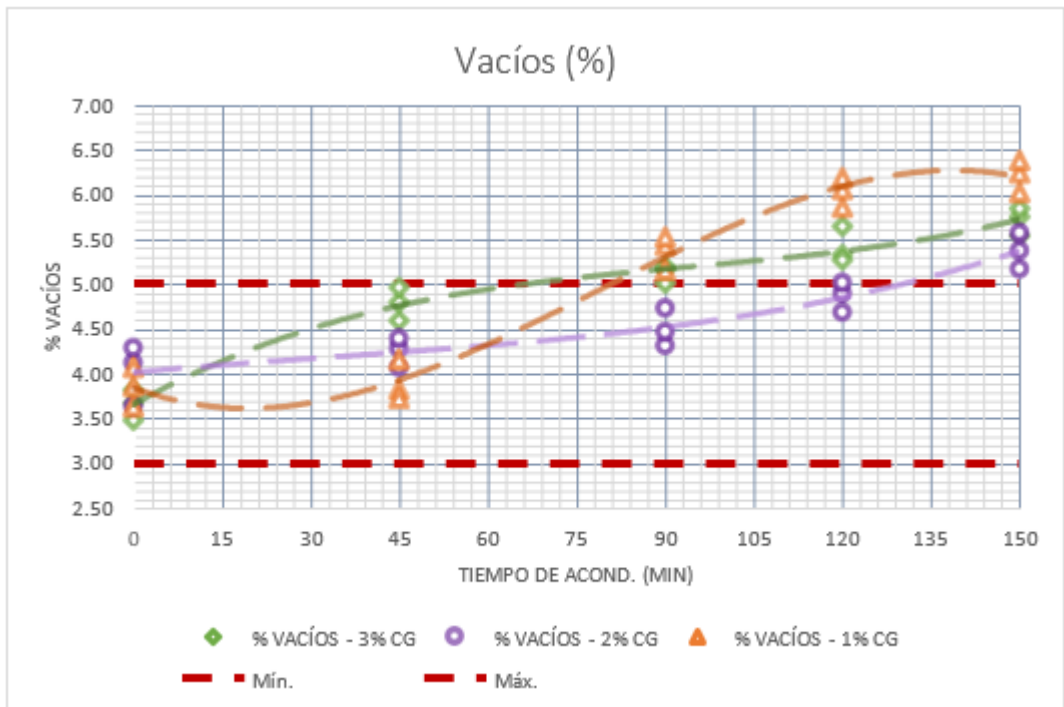
Finalmente, por cada propiedad de análisis se presenta en las siguientes figuras 64, 65, 66,67 y 68 las gráficas resumen que evidencian un óptimo comportamiento a los 90 minutos de acondicionamiento para las distintas propiedades físicas y mecánicas. Además, también se puede comparar los resultados por porcentaje de adición de caucho donde se encuentra mejor comportamiento mecánico y volumétrico con una adición de 2.0% de adición de caucho por la vía seca.



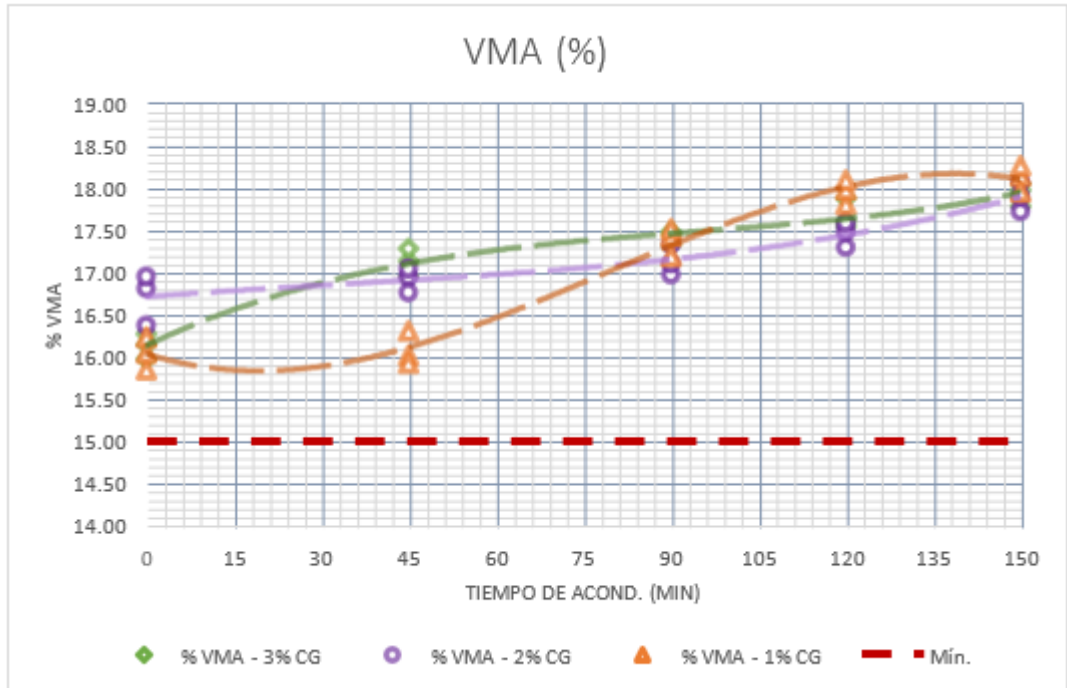
**Figura 64.** Estabilidad (kg) por tiempo de acondicionamiento – Resumen General



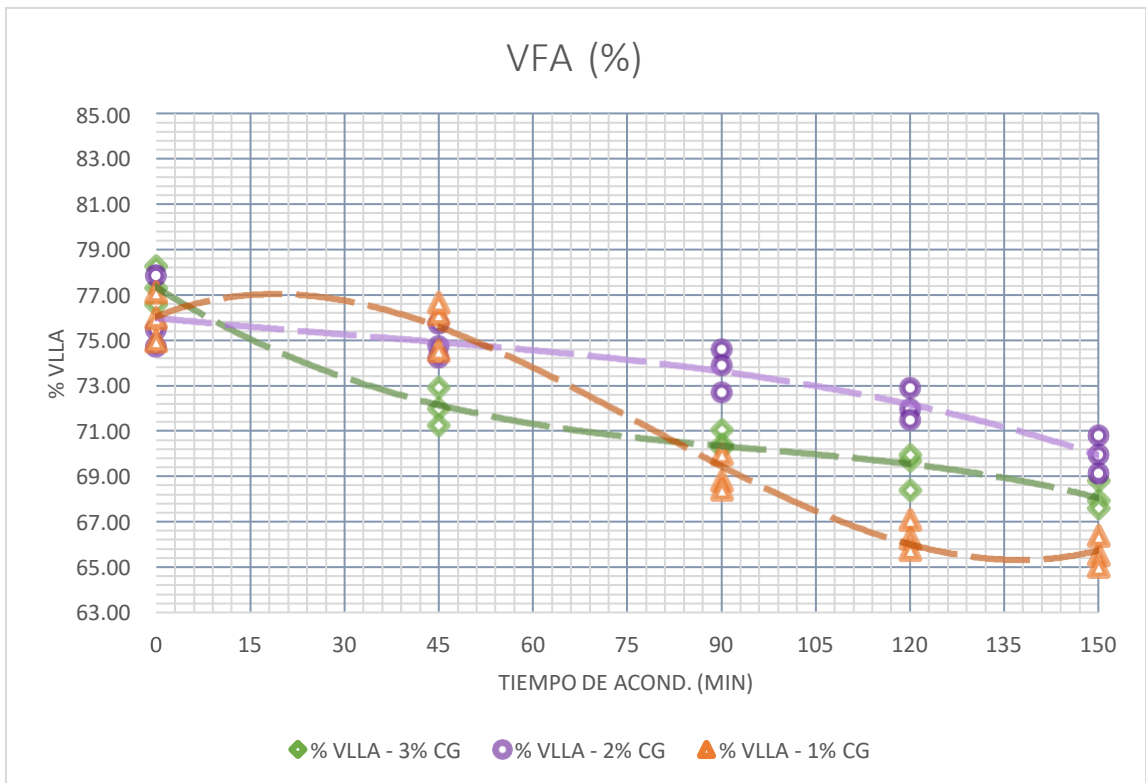
**Figura 65.** Flujo (mm) por tiempo de acondicionamiento – Resumen General



**Figura 66.** Vacíos (%) por tiempo de acondicionamiento – Resumen General



**Figura 67.** VMA (%) por tiempo de acondicionamiento – Resumen General



**Figura 68.** VFA (%) por tiempo de acondicionamiento – Resumen General

#### **4.1.3.1. Análisis estadístico.**

Vacíos (%) ante adición de C.G.

Para el análisis de vacíos ante la variación de adición de caucho granulado, se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del porcentaje de caucho granulado adicionado en el ensayo de Marshall realizado.

#### **Tabla 33.**

*Cuadro de descriptivos – Vacíos (%)*

### Descriptivos

Adición de caucho granulado (%)			Estadístico	Desv. Error	
Vacíos (%)	0	Media	3,5300	,06351	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,2567	
			Límite superior	3,8033	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	3,5300		
		Varianza	,012		
		Desv. Desviación	,11000		
		Mínimo	3,42		
		Máximo	3,64		
		Rango	,22		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,000	1,225	
		Curtosis	.		
			1	Media	3,8533
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			3,3066	
	Límite superior			4,4000	
Media recortada al 5%	.				
Mediana	3,8600				
Varianza	,048				
Desv. Desviación	,22008				
Mínimo	3,63				
Máximo	4,07				
Rango	,44				
Rango intercuartil	.				
Asimetría	-,136			1,225	
Curtosis	.				
	2			Media	4,0167
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,1614	
			Límite superior	4,8719	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	4,1300		
		Varianza	,119		
		Desv. Desviación	,34429		
		Mínimo	3,63		
		Máximo	4,29		
		Rango	,66		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	-1,321	1,225	
		Curtosis	.		

3	Media		3,6567	,09838
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,2334	
		Límite superior	4,0799	
	Media recortada al 5%			
	Mediana		3,6700	
	Varianza		,029	
	Desv. Desviación		,17039	
	Mínimo		3,48	
	Máximo		3,82	
	Rango		,34	
	Rango intercuartil			
	Asimetría		-,350	1,225
	Curtosis			

En la siguiente tabla se presenta la prueba de normalidad para el valor de vacíos ante la variación de adición de caucho donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de vacíos provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de vacíos no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

**Tabla 34.**

Prueba de normalidad Caucho – Vacíos (%)

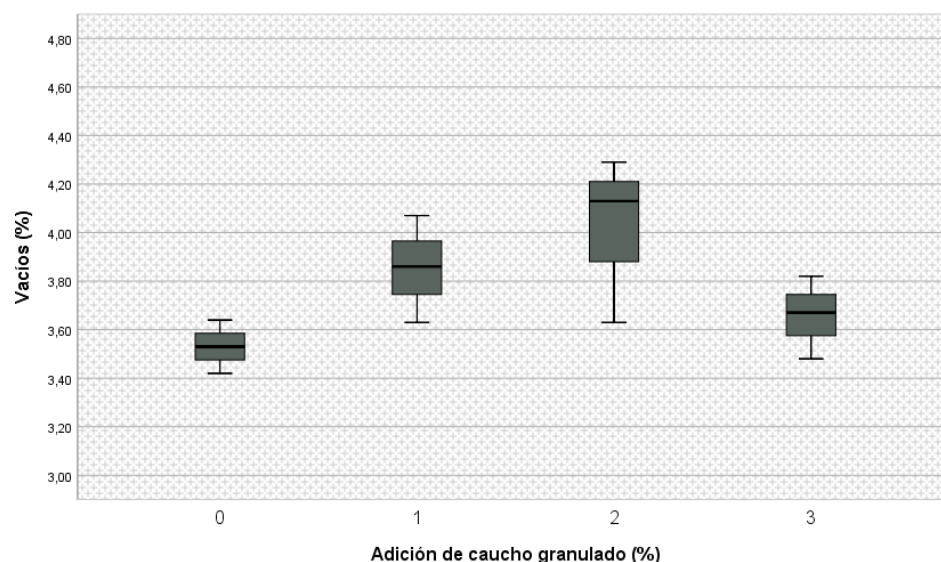
		Pruebas de normalidad					
Adición de caucho granulado (%)		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Vacíos (%)	0	,175	3	.	1,000	3	1,000
	1	,179	3	.	,999	3	,950
	2	,296	3	.	,919	3	,448
	3	,198	3	.	,995	3	,870

a. Corrección de significación de Lilliefors

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de vacíos al variar el porcentaje de caucho granulado provienen de una distribución normal.

### Diagrama de caja

En este diagrama, se presentarán los rangos de dispersión en la varianza de los datos recolectados para los vacíos ante la variación de adición de caucho granulado, por consiguiente, se constataron estos diagramas para verificar si los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.



**Figura 69.** Diagrama de caja Caucho - Vacíos (%)

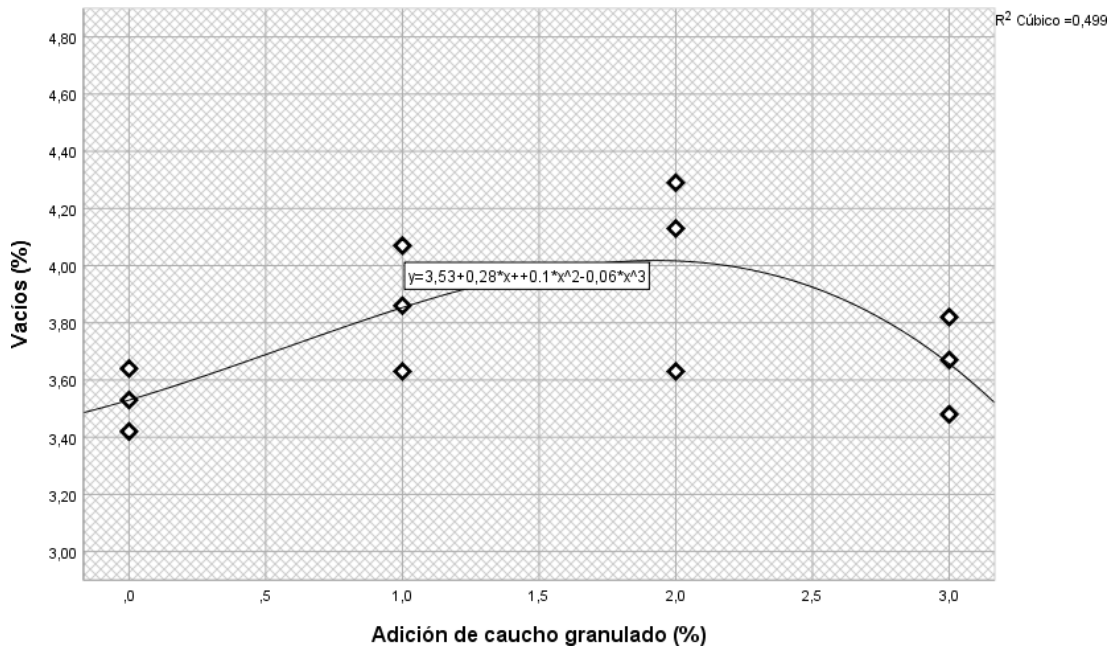
A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de vacíos se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de 0.623 que representa una correlación positiva considerable para un análisis de vacíos (%) ante la variación de adición de caucho granulado.

**Tabla 35.**

Correlaciones Caucho - Vacíos (%)

		Correlaciones	
		Adición de caucho granulado (%)	Vacíos (%)
Adición de caucho granulado (%)	Correlación de Pearson	1	,623
	Sig. (bilateral)		,147
	N	12	12
Vacíos (%)	Correlación de Pearson	,623	1
	Sig. (bilateral)	,147	
	N	12	12

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de vacíos ante la variación de adición de caucho granulado donde se encuentra una tendencia de campanainvertida con un  $R^2=0.499$  en el que se considera un valor con una confiabilidad considerable para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.



**Figura 70.** Diagrama de dispersión - Vacíos (%)

#### Flujo (mm) ante adición de C.G.

Para el análisis de flujo ante la variación de adición de caucho granulado, se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del porcentaje de caucho granulado adicionado en el ensayo de Marshall realizado.

**Tabla 36.***Cuadro de descriptivos – Flujo (mm)*

			Descriptivos		
Adición de caucho granulado (%)			Estadístico	Desv. Error	
Flujo (mm)	0	Media	2,3400	,09866	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,9155	
			Límite superior	2,7645	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	2,3200		
		Varianza	,029		
		Desv. Desviación	,17088		
		Mínimo	2,18		
		Máximo	2,52		
		Rango	,34		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,519	1,225	
		Curtois	.	.	
		1	Media	2,4567	,10899
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior		1,9877		
	Límite superior		2,9256		
Media recortada al 5%	.				
Mediana	2,5000				
Varianza	,036				
Desv. Desviación	,18877				

	Mínimo		2,25
	Máximo		2,62
	Rango		,37
	Rango intercuartil		.
	Asimetría		-,979 1,225
	Curtosis		.
2	Media		2,8067 ,09387
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,4028
		Límite superior	3,2105
	Media recortada al 5%		.
	Mediana		2,8400
	Varianza		,026
	Desv. Desviación		,16258
	Mínimo		2,63
	Máximo		2,95
	Rango		,32
	Rango intercuartil		.
	Asimetría		-,884 1,225
	Curtosis		.
3	Media		3,7667 ,07535
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,4425
		Límite superior	4,0909
	Media recortada al 5%		.
	Mediana		3,7800
	Varianza		,017
	Desv. Desviación		,13051
	Mínimo		3,63
	Máximo		3,89
	Rango		,26
	Rango intercuartil		.
	Asimetría		-,455 1,225
	Curtosis		.

### Prueba de normalidad

En la siguiente tabla se presenta la prueba de normalidad para el valor de flujo ante la variación de adición de caucho granulado donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de flujo provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de flujo no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

**Tabla 37.**

*Prueba de normalidad Caucho – Flujo (mm)*

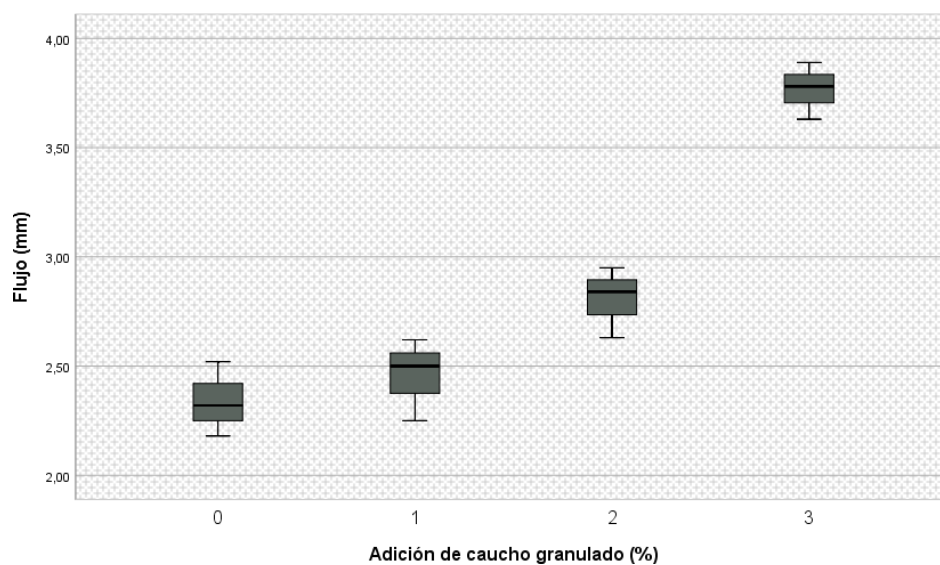
		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Adición de caucho granulado (%)	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo (mm)	0	,213	3	.	,990	3	,806
	1	,257	3	.	,960	3	,618
	2	,248	3	.	,968	3	,659
	3	,207	3	.	,992	3	,831

a. Corrección de significación de Lilliefors

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de flujo al variar el porcentaje de caucho granulado provienen de una distribución normal.

Diagrama de caja

En este diagrama, se presentarán los rangos de dispersión en la varianza de los datos recolectados para el flujo ante la variación de adición de caucho granulado, por consiguiente, se constataron estos diagramas para verificar si los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.



**Figura 71.** Diagrama de caja - Flujo (mm)

A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de flujo se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de 0.898 que representa una correlación positiva perfecta para un análisis de flujo (mm) ante la variación de adición de caucho granulado.

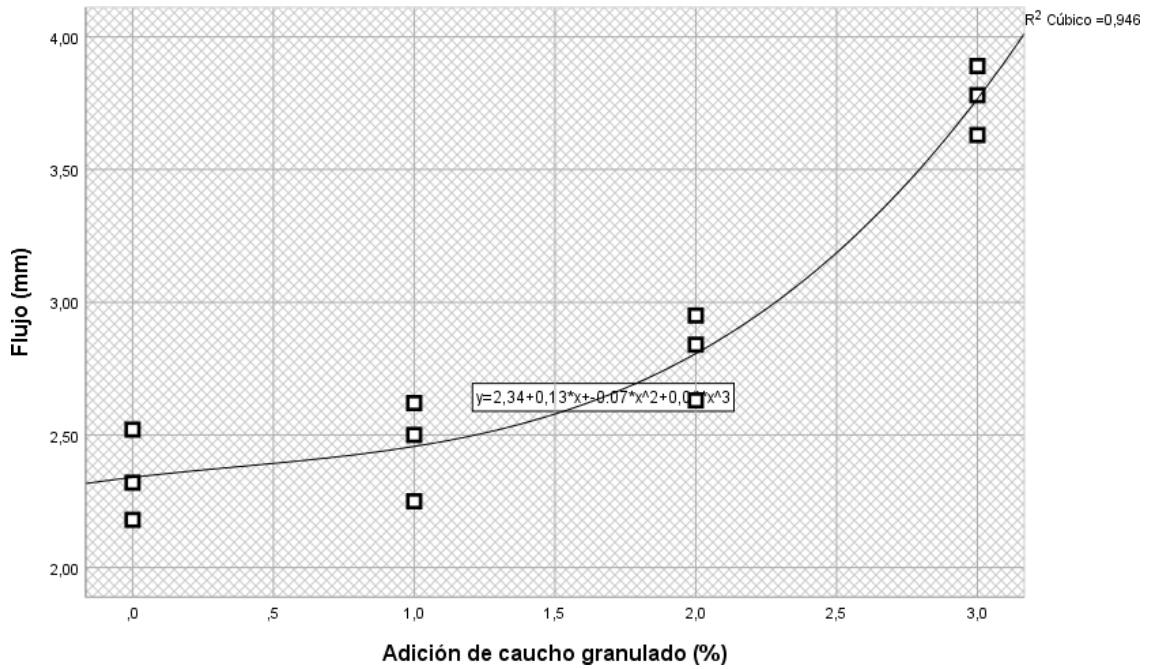
**Tabla 38.**

*Correlaciones - Flujo (mm)*

		Correlaciones	
		Adición de caucho granulado (%)	Flujo (mm)
Adición de caucho granulado (%)	Correlación de Pearson	1	,898**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
Flujo (mm)	Correlación de Pearson	,898**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

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

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de flujo ante la variación de adición de caucho granulado donde se encuentra una tendencia positiva con un  $R^2=0.946$  en el que se considera un valor con una confiabilidad muy alta para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.



**Figura 72.** Diagrama de dispersión - Flujo (mm)

#### Estabilidad (kg) ante adición de C.G.Descriptivos

Para el análisis de estabilidad ante la variación de adición de caucho granulado, se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del porcentaje de caucho granulado adicionado en el ensayo de Marshall realizado.

**Tabla 39.***Cuadro de descriptivos – Estabilidad (kg)*

			Descriptivos		
Adición de caucho granulado (%)			Estadístico	Desv. Error	
Estabilidad (kg)	0	Media	923,700	7,4101	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	891,817	
			Límite superior	955,583	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	922,000		
		Varianza	164,730		
		Desv. Desviación	12,8347		
		Mínimo	911,8		
		Máximo	937,3		
		Rango	25,5		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,586	1,225	
		Curtois	.		
			1	Media	950,333
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			902,579	
	Límite superior			998,087	
Media recortada al 5%	.				
Mediana	944,100				
Varianza	369,543				
Desv. Desviación	19,2235				
Mínimo	935,0				
Máximo	971,9				
Rango	36,9				
Rango intercuartil	.				
Asimetría	1,306			1,225	
Curtois	.				
	2			Media	1028,067
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	985,079	
			Límite superior	1071,055	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	1025,000		
		Varianza	299,463		
		Desv. Desviación	17,3050		
		Mínimo	1012,5		
		Máximo	1046,7		
		Rango	34,2		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,772	1,225	
		Curtois	.		
			3	Media	1001,400

95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	953,052	
	Límite superior	1049,748	
Media recortada al 5%			
Mediana		1003,200	
Varianza		378,790	
Desv. Desviación		19,4625	
Mínimo		981,1	
Máximo		1019,9	
Rango		38,8	
Rango intercuartil			
Asimetría		-,413	1,225
Curtosis			

### Prueba de normalidad

En la siguiente tabla se presenta la prueba de normalidad para el valor de estabilidad antela variación de adición de caucho donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de estabilidad provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de estabilidad no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

**Tabla 40.**

Prueba de normalidad – Estabilidad (kg)

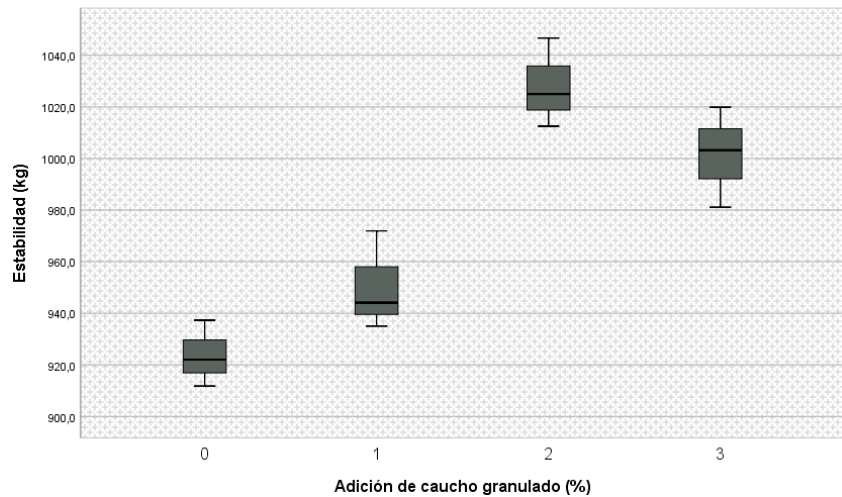
		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
Adición de caucho granulado (%)	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Estabilidad (kg) 0	,219	3	.	,987	3	,780	
1	,294	3	.	,921	3	,456	
2	,237	3	.	,976	3	,706	
3	,204	3	.	,994	3	,847	

a. Corrección de significación de Lilliefors

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de estabilidad al variar el porcentaje de caucho granulado provienen de una distribución normal.

### Diagrama de caja

En este diagrama, se presentarán los rangos de dispersión en la varianza de los datos recolectados para la estabilidad ante la variación de adición de caucho granulado, por consiguiente, se constataron estos diagramas para verificar si los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.



**Figura 73.** Diagrama de caja - Estabilidad (kg)

A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de estabilidad se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de 0.899 que representa una correlación positiva perfecta para un análisis de estabilidad (kg) ante la variación de adición de caucho granulado.

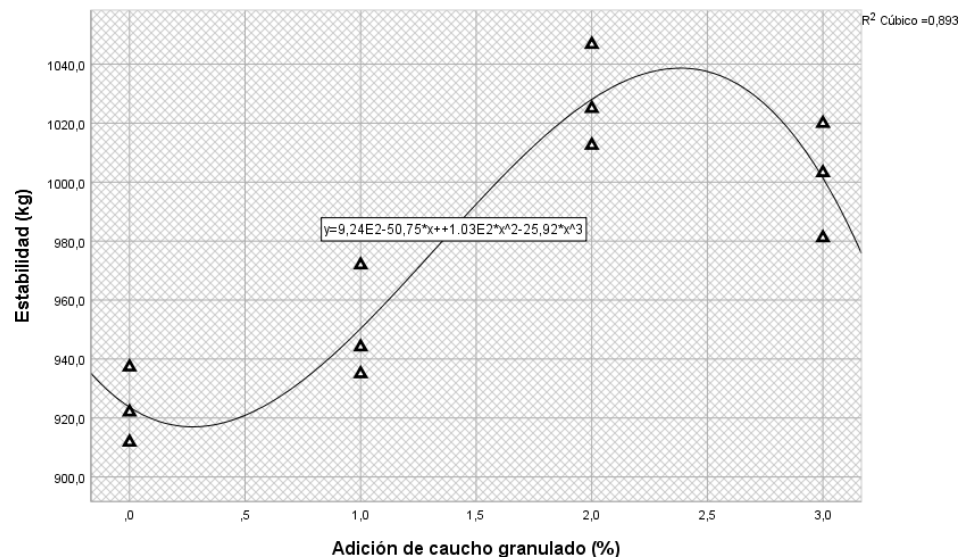
**Tabla 41.**

*Correlaciones - Estabilidad (kg)*

		Correlaciones	
		Adición de caucho granulado (%)	Estabilidad (kg)
Adición de caucho granulado (%)	Correlación de Pearson	1	,899**
	Sig. (bilateral)		,002
	N	12	12
Estabilidad (kg)	Correlación de Pearson	,899**	1
	Sig. (bilateral)	,002	
	N	12	12

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

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de estabilidad ante la variación de adición de caucho granulado donde se encuentra una tendencia positiva con un  $R^2=0.893$  en el que se considera un valor con una confiabilidad muy alta para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.



**Figura 74.** Diagrama de dispersión Caucho - Estabilidad (kg)

Vacíos (%) – 2% CG ante tiempo de acondicionamiento

Para el análisis de vacíos al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento, se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del tiempo de acondicionamiento en el ensayo de Marshall realizado.

**Tabla 42.***Cuadro de descriptivos – Vacíos (%) - 2% CG*

			Descriptivos		
Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG			Estadístico	Desv. Error	
Vacíos (%) - 2% CG	0	Media	4,0167	,19877	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,1614	
			Límite superior	4,8719	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	4,1300		
		Varianza	,119		
		Desv. Desviación	,34429		
		Mínimo	3,63		
		Máximo	4,29		
		Rango	,66		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	-1,321	1,225	
		Curtosis	.		
		45		Media	4,2500
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			3,8351	
	Límite superior			4,6649	
Media recortada al 5%	.				

	Mediana		4,2800	
	Varianza		,028	
	Desv. Desviación		,16703	
	Mínimo		4,07	
	Máximo		4,40	
	Rango		,33	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,782	1,225
	Curtosis		.	
90	Media		4,5067	,11977
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,9913	
		Límite superior	5,0220	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,4700	
	Varianza		,043	
	Desv. Desviación		,20744	
	Mínimo		4,32	
	Máximo		4,73	
	Rango		,41	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,771	1,225
	Curtosis		.	
120	Media		4,8700	,09644
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,4551	
		Límite superior	5,2849	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		4,9000	
	Varianza		,028	
	Desv. Desviación		,16703	
	Mínimo		4,69	
	Máximo		5,02	
	Rango		,33	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,782	1,225
	Curtosis		.	
150	Media		5,3733	,11837
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,8640	
		Límite superior	5,8826	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		5,3700	
	Varianza		,042	
	Desv. Desviación		,20502	
	Mínimo		5,17	
	Máximo		5,58	
	Rango		,41	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,073	1,225
	Curtosis		.	

En la siguiente tabla, se presenta la prueba de normalidad para el valor de vacíos al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de vacíos provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de vacíos no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

**Tabla 43.**

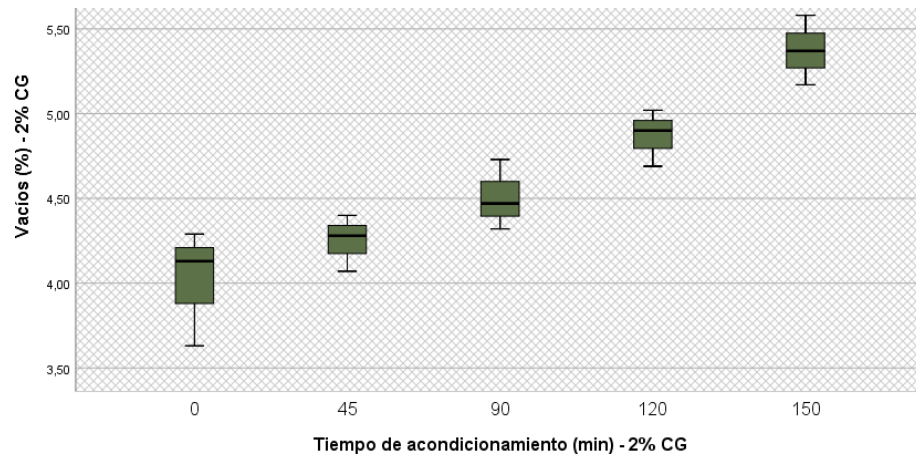
*Prueba de normalidad – Vacíos (%) - 2% CG*

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Vacios (%) - 2% CG	0	,296	3	.	,919	3	,448
	45	,238	3	.	,976	3	,702
	90	,237	3	.	,977	3	,706
	120	,238	3	.	,976	3	,702
	150	,177	3	.	1,000	3	,973

a. Corrección de significación de Lilliefors

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de vacíos al variar el tiempo de acondicionamiento provienen de una distribución normal.

En este diagrama, se presentarán los rangos de dispersión en la varianza de los datos recolectados para los vacíos al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento, por consiguiente, se constataron estos diagramas para verificar si los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.



**Figura 75.** Diagrama de caja - Vacíos (%) - 2% CG

A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de vacíos se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de 0.899 que representa una correlación positiva perfecta para un análisis de vacíos (%) al 2% de adición de cauchogranulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento.

**Tabla 44.**

*Correlaciones - Vacíos (%) - 2% CG*

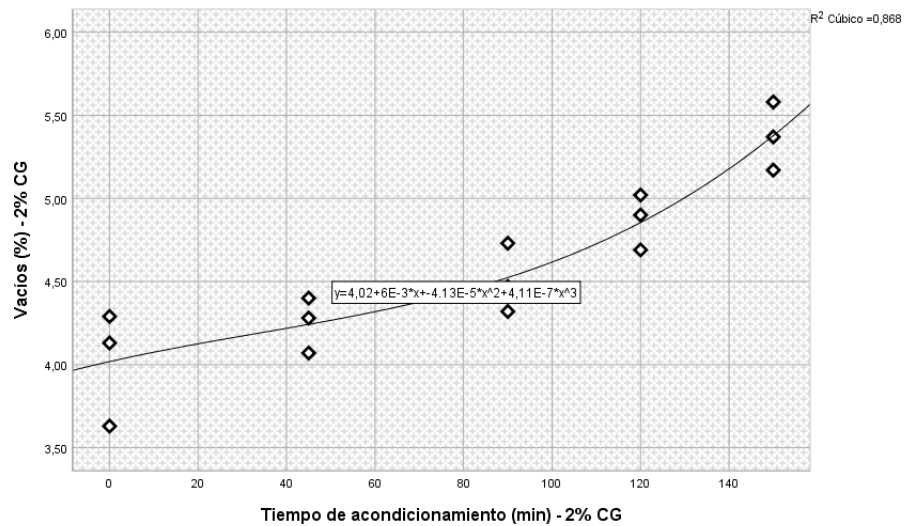
		Correlaciones	
		Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG	Vacíos (%) - 2% CG
Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG	Correlación de Pearson	1	,899**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	15	15
Vacíos (%) - 2% CG	Correlación de Pearson	,899**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	15	15

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

#### Diagrama de dispersión

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de vacíos al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento donde se encuentra una tendencia positiva con un  $R^2=0.868$  en el que se considera un valor con una confiabilidad

considerable para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.



**Figura 76.** Diagrama de dispersión - Vacíos (%) - 2% CG

#### Flujo (mm) – 2% CG ante tiempo de acondicionamiento

Para el análisis de flujo al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento, se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del tiempo de acondicionamiento en el ensayo de Marshall realizado.

**Tabla 45.***Cuadro de descriptivos – Flujo (mm) -2% CG*  
Descriptivos

Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG		Estadístico	Desv. Error	
Flujo (mm) - 2% CG	0	Media	2,8067	,09387
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,4028	
		Límite superior	3,2105	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		2,8400	
	Varianza		,026	
	Desv. Desviación		,16258	
	Mínimo		2,63	
	Máximo		2,95	
	Rango		,32	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,884	1,225
	Curtosis		.	
	45		Media	2,6933
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	2,3867	
		Límite superior	2,9999	
Media recortada al 5%		.		
Mediana		2,6600		
Varianza		,015		
Desv. Desviación		,12342		
Mínimo		2,59		
Máximo		2,83		
Rango		,24		
Rango intercuartil		.		
Asimetría		1,127	1,225	
Curtosis		.		
90			Media	2,4167
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,1061	
		Límite superior	2,7273	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		2,4200	
	Varianza		,016	
	Desv. Desviación		,12503	
	Mínimo		2,29	
	Máximo		2,54	
	Rango		,25	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,120	1,225
	Curtosis		.	
	120		Media	1,8800
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	1,5819	
		Límite superior	2,1781	

	Media recortada al 5%		
	Mediana	1,8800	
	Varianza	,014	
	Desv. Desviación	,12000	
	Mínimo	1,76	
	Máximo	2,00	
	Rango	,24	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	,000	1,225
	Curtosis		
150	Media	1,4500	,11015
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior Límite superior	,9761 1,9239
	Media recortada al 5%		
	Mediana	1,4300	
	Varianza	,036	
	Desv. Desviación	,19079	
	Mínimo	1,27	
	Máximo	1,65	
	Rango	,38	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	,467	1,225
	Curtosis		

### Prueba de normalidad

En la siguiente tabla se presenta la prueba de normalidad para el valor de flujo al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de flujo provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de flujo no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

**Tabla 46.**

*Prueba de normalidad – Flujo (mm) -2% CG*

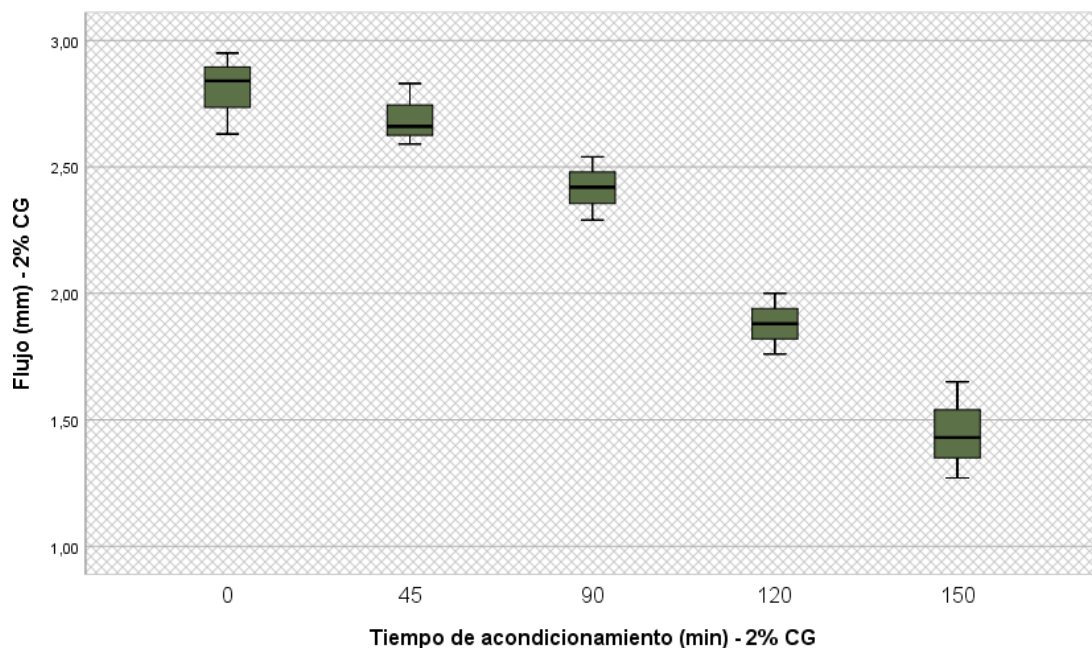
		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
Flujo (mm) - 2% CG	Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
		0	,248	3	.	,968	3
45	,273	3	.	,945	3	,549	
90	,178	3	.	,999	3	,956	
120	,175	3	.	1,000	3	1,000	
150	,208	3	.	,992	3	,826	

a. Corrección de significación de Lilliefors

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de flujo al variar el tiempo de acondicionamiento provienen de una distribución normal.

#### Diagrama de caja

En este diagrama, se presentarán los rangos de dispersión en la varianza de los datos recolectados para el flujo al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento, por consiguiente, se constataron estos diagramas para verificar si los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.



**Figura 77.** Diagrama de caja - Flujo (mm) -2% CG

## Correlación

A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de flujo se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de -0.921 que representa una correlación negativa perfecta para un análisis de flujo (mm) -al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento.

**Tabla 47.**

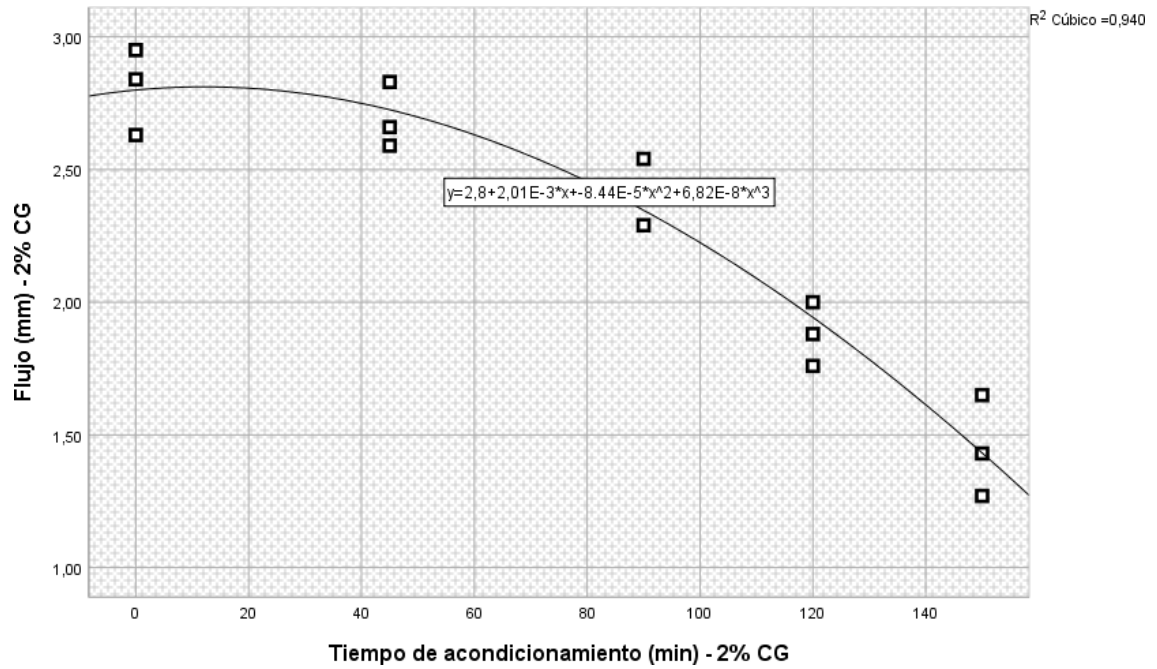
*Correlaciones - Flujo (mm) -2% CG*

		Correlaciones	
		Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG	Flujo (mm) - 2% CG
Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG	Correlación de Pearson	1	-,921**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	15	15
Flujo (mm) - 2% CG	Correlación de Pearson	-,921**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	15	15

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

## Diagrama de dispersión

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de flujo al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento donde se encuentra una tendencia negativa con un  $R^2=0.940$  en el que se considera un valor con una confiabilidad muy alta para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.



**Figura 78.** Diagrama de dispersión – Flujo (mm) -2% CG

Estabilidad (kg) – 2% CG ante tiempo de acondicionamiento

Para el análisis de estabilidad al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del tiempo de acondicionamiento en el ensayo de Marshall realizado.

**Tabla 48.***Cuadro de descriptivos – Estabilidad (kg) -2% CG*

		Descriptivos		Estadístico	Desv. Error
		Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG			
Estabilidad (kg) - 2% CG	0	Media		1028,067	9,9911
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	985,079	
			Límite superior	1071,055	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		1025,000	
		Varianza		299,463	
		Desv. Desviación		17,3050	
		Mínimo		1012,5	
		Máximo		1046,7	
		Rango		34,2	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		,772	1,225
		Curtosis			
			45	Media	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			1005,997	
	Límite superior			1105,870	
Media recortada al 5%					
Mediana				1055,600	
Varianza				404,093	
Desv. Desviación				20,1021	
Mínimo				1036,0	
Máximo				1076,2	
Rango				40,2	
Rango intercuartil					
Asimetría				,075	1,225
Curtosis					
	90			Media	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1014,381	
			Límite superior	1075,019	
		Media recortada al 5%			
		Mediana		1044,300	
		Varianza		148,960	
		Desv. Desviación		12,2049	
		Mínimo		1032,7	
		Máximo		1057,1	
		Rango		24,4	
		Rango intercuartil			
		Asimetría		,147	1,225
		Curtosis			
			120	Media	
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			1026,689	
	Límite superior			1138,978	
Media recortada al 5%					
Mediana		1072,900			

	Varianza		510,813
	Desv. Desviación		22,6012
	Mínimo		1066,9
	Máximo		1108,7
	Rango		41,8
	Rango intercuartil		.
	Asimetría		1,596 1,225
	Curtosis		.
150	Media		1037,133 7,6990
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1004,007
		Límite superior	1070,259
	Media recortada al 5%		.
	Mediana		1040,300
	Varianza		177,823
	Desv. Desviación		13,3350
	Mínimo		1022,5
	Máximo		1048,6
	Rango		26,1
	Rango intercuartil		.
	Asimetría		-1,008 1,225
	Curtosis		.

### Prueba de normalidad

En la siguiente tabla se presenta la prueba de normalidad para el valor de estabilidad al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de estabilidad provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de estabilidad no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

**Tabla 49.**

*Prueba de normalidad – Estabilidad (kg) -2% CG*

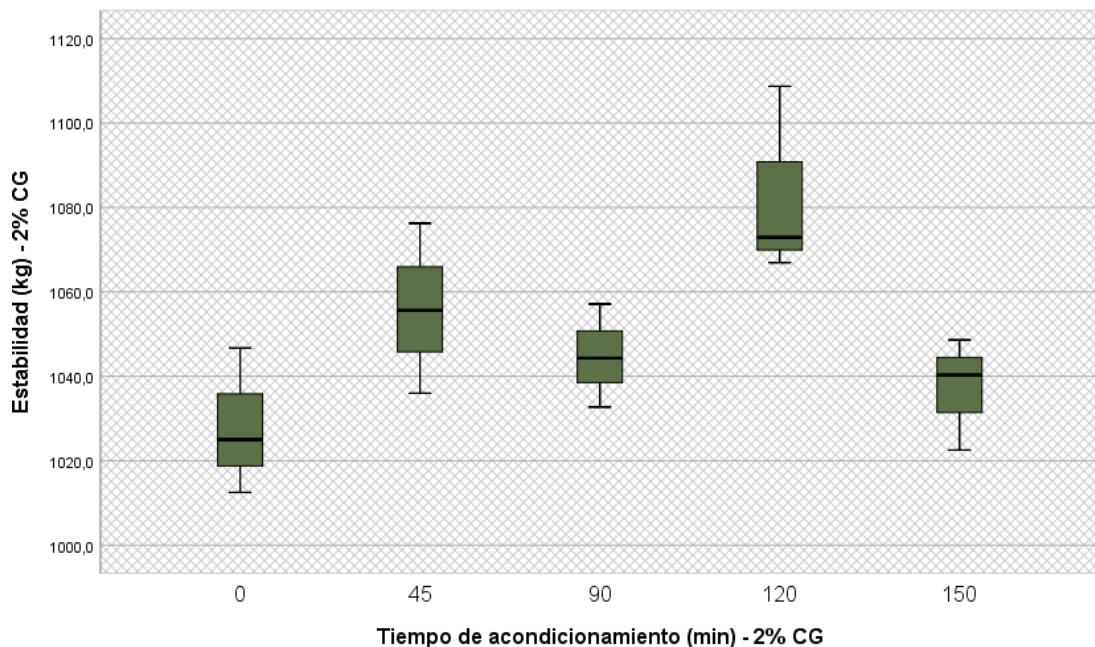
		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad (kg) - 2% CG	0	,237	3	.	,976	3	,706
	45	,177	3	.	1,000	3	,973
	90	,180	3	.	,999	3	,946
	120	,337	3	.	,855	3	,254
	150	,261	3	.	,958	3	,604

a. Corrección de significación de Lilliefors

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de estabilidad al variar el tiempo de acondicionamiento provienen de una distribución normal.

#### Diagrama de caja

En este diagrama, se presentarán los rangos de dispersión en la varianza de los datos recolectados para la estabilidad al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento, por consiguiente, se constataron estos diagramas para verificar si los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.



**Figura 79.** Diagrama de caja - Estabilidad (kg) -2% CG

#### Correlación

A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de estabilidad se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de 0.530 que representa una correlación positiva considerable para un análisis de estabilidad (kg) al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento.

#### **Tabla 50.**

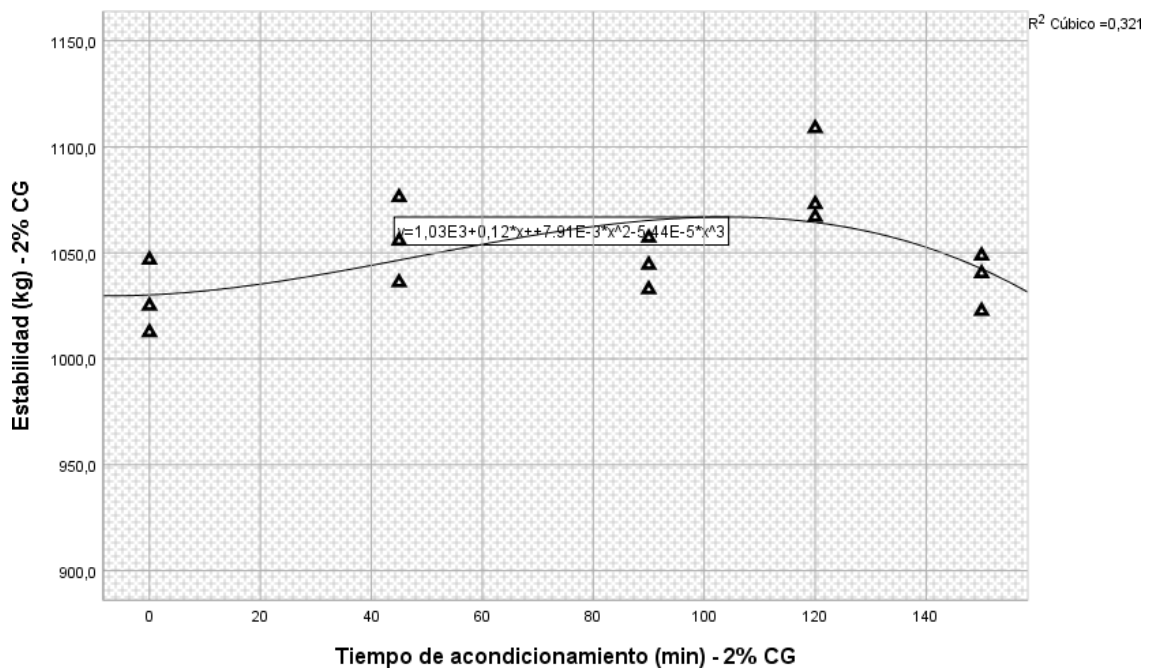
*Correlaciones - Estabilidad (kg) -2% CG*

### Correlaciones

		Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG	Estabilidad (kg) - 2% CG
Tiempo de acondicionamiento (min) - 2% CG	Correlación de Pearson	1	,530
	Sig. (bilateral)		,127
	N	15	15
Estabilidad (kg) - 2% CG	Correlación de Pearson	,530	1
	Sig. (bilateral)	,127	
	N	15	15

### Diagrama de dispersión

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de estabilidad al 2% de adición de caucho granulado ante la variación del tiempo de acondicionamiento donde se encuentra una tendencia curva con un  $R^2=0.321$  en el que se considera un valor con una confiabilidad muy alta para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.



**Figura 80.** Diagrama de dispersión - Estabilidad (kg) -2% CG

## 4.2. Discusión de resultados

Respecto de los resultados obtenidos al analizar el efecto del tiempo de

acondicionamiento en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca y determinar una propuesta de mejora a partir del diseño obtenido, se puede realizar un contraste con otros autores como Olarte Riaño y Soler Sánchez (2018) donde no se realiza un proceso de acondicionamiento a la mezcla adicionada con caucho granulado, por lo que presenta una deficiencia en su variación de estabilidad llegando a disminuir considerablemente la resistencia de la mezcla para un porcentaje de adición de 2.5 %. En relación a las demás propiedades de la mezcla, se encuentra un similar comportamiento en comparación, aunque al aplicar un tiempo de acondicionamiento en la presente investigación, se consiguen superar las alteraciones sobre la mezcla asfáltica en caliente patrón diseñada. Encontrando, de esta manera, una superioridad en la aplicación del proceso de acondicionamiento sobre mezclas asfálticas modificadas con caucho por la vía seca.

Correspondiente al proceso de modificación de la mezcla asfáltica convencional con la adición de caucho por la vía seca y en contraste con los resultados reportados por el autor, Vega Zurita (2016) encuentra que la sustitución del caucho en la mezcla por vía seca genera alteraciones sobre los valores de diseño originales de la mezcla patrón, lo cual también genera que se altere el óptimo contenido de asfalto de diseño sobre las mezclas modificadas con caucho. Teniendo, de esta manera, un aumento en el porcentaje de asfalto requerido para el óptimo contenido de asfalto con adición de caucho granulado. Este fenómeno fue similar en ambas investigaciones, aunque las alteraciones fueron menores en la presente investigación.

Finalmente, es importante contrastar también la óptima dosificación de caucho granulado sobre el diseño de mezcla asfáltica, donde, en comparación con Olarte Riaño y Soler Sánchez (2018), se encontró una similitud de un óptimo contenido de adición de caucho alrededor del 2.0 % de adición. Debido a que, en adiciones superiores al 3.0 % de adición de caucho por vía seca sobre la mezcla, existe una decadencia sobre las propiedades mecánicas y volumétricas de la mezcla asfáltica control. Coincidiendo, de esta manera, en que la adición de caucho en la mezcla asfáltica puede representar una solución ante la constante contaminación de neumáticos fuera de uso en los porcentajes adecuados.

## CONCLUSIONES

1. Este estudio asocia varios parámetros de diseño correspondientes a las propiedades mecánicas y volumétricas sobre una mezcla asfáltica mezcla con caucho reciclado por la vía seca, sometiéndolo a un periodo de acondicionamiento durante su etapa de mezcla que llevó a concluir que con 90 minutos de tiempo de acondicionamiento se consigue mejorar las propiedades de estabilidad sobre una mezcla asfáltica en caliente convencional, del mismo modo, se consiguió aumentar ligeramente el flujo de la mezcla al adicionar caucho reciclado por la vía seca manteniéndose dentro del rango establecido por las disposiciones normativas Marshall y, también, se consiguió mantener los vacíos de aire de la mezcla con caucho dentro de los límites establecidos, permitiendo, de esta manera, conseguir una adecuada conformación de la mezcla asfáltica en caliente con el caucho reciclado proveniente de neumáticos en desuso. Así, se determinó una propuesta de mejora sobre un diseño de mezcla asfáltica en caliente con 2.0 % de adición de caucho adicionado por la vía seca que con tiempo de acondicionamiento de 90 minutos consigue optimizar las propiedades mecánicas y volumétricas para su desempeño en las carpetas de rodadura de la red vial local.
2. Según los estudios realizados sobre el diseño de mezcla asfáltica en caliente con un patrón elaborado sin la adición de caucho reciclado bajo las condiciones normativas convencionales Marshall, se llega a la conclusión de que es posible sustituir con un gran grado de precisión el agregado de mezcla con el caucho reciclado, esto debido a que este material reciclado presenta una gradación granulométrica continua después del proceso de triturado realizado. De esta manera, se logra cumplir con las disposiciones normativas en la determinación de un óptimo contenido de ligante asfáltico sobre una mezcla correctamente conformada. Del mismo modo, también se encontró un contraste sobre la mezcla elaborada sin tiempo de acondicionamiento, donde, en comparación, es posible mejorar el proceso de mezclado de los materiales mediante el proceso de acondicionamiento lo que permite obtener una buena trabajabilidad de mezcla para el proceso de compactación correspondiente.
3. Obtenidos los resultados en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con distintos porcentajes de adición de caucho, se puede concluir que existe una alteración

en la estabilidad de la mezcla donde, a medida que aumenta el porcentaje de adición de caucho, se obtiene una tendencia positiva que refleja un valor de mayor estabilidad al 2.0 % de añadidura por vía seca. Del mismo modo, se obtuvo que, ante el aumento de adición de caucho reciclado, existe un aumento en el flujo de la mezcla llegando a valores que superan el límite máximo establecido en el porcentaje de 3.0 % de añadidura de caucho por vía seca. Respecto de las propiedades volumétricas, se encontraron leves alteraciones a medida que se aumenta el porcentaje de adición de caucho, manteniendo el cumplimiento de las disposiciones normativas en el porcentaje de vacíos y en los vacíos de agregado mineral. Se encontró, de esta manera, un adecuado porcentaje de adición de caucho por vía seca de 2.0 % de añadidura en la mezcla asfáltica en caliente.

4. La correcta conformación de la mezcla y la trabajabilidad de las mezclas asfálticas con adición del caucho reciclado por vía seca se consiguen mejorar mediante la aplicación del proceso de acondicionamiento, permitiendo concluir que el tiempo de acondicionamiento adecuado para el diseño de mezcla propuesto es de 90 minutos de acuerdo al mejoramiento y cumplimiento de sus distintas propiedades de mezcla. Se presentó un aumento progresivo en la estabilidad de la mezcla hasta los 120 minutos de acondicionamiento, un descenso del flujo que llega a incumplir con el mínimo establecido a 150 minutos de acondicionamiento y, del mismo modo, llega a incumplir con los vacíos máximos establecido a los 150 minutos de acondicionamiento, luego presenta una tendencia positiva sobre su comportamiento ante los distintos tiempos de acondicionamiento evaluados en el estudio. Finalmente, como propuesta se pretende aplicar el estudio realizado como una técnica para reciclar el caucho y mejorar la calidad del asfalto.

## RECOMENDACIONES

1. De los considerables hallazgos del presente estudio, se recomienda, como proyecto de investigación futuro, el conseguir evaluar cómo puede llegar a afectar el tiempo de acondicionamiento en el envejecimiento a corto y largo plazo mediante la evaluación bajo la metodología Superpave, donde, mediante la aplicación de los hornos rotatorios, es posible cuantificar el efecto del proceso de acondicionamiento en estas propiedades correspondientes a la mezcla asfáltica en caliente. Este factor tan relevante puede llegar a ser muy dificultoso de evaluar debido a la disponibilidad tecnológica en los laboratorios de pavimentos a nivel nacional que no cuentan con este tipo de equipos de vanguardia.
2. Del adecuado comportamiento encontrado al evaluar el caucho reciclado adicionado por vía seca en las mezclas asfálticas en calientes, se recomienda evaluar la incorporación de este material por la vía húmeda y por la vía mixta en las mezclas asfálticas como un aditivo modificante del ligante asfáltico. De esta manera, se podrían optimizar mucho más las propiedades de físicas y mecánicas del pavimento asfáltico. El principal obstáculo para concretar este futuro trabajo de investigación nuevamente es la disponibilidad tecnológica, al no contar con plantas de pulverizado de neumáticos fuera de uso a nivel nacional, debido a que vuelve necesario emplear el pulverizado del caucho para su adición en la mezcla asfáltica por vía húmeda y por vía mixta.
3. De los estudios correspondientes a la mezcla granulométrica de agregados en sustitución a distintos porcentajes de adición de caucho reciclado, se recomienda aplicar otros tipos de mezclas asfálticas como las de gradación abierta o las de gradación discontinua para evaluar su comportamiento físico y mecánico como parte de una investigación complementaria que podría brindar diseños de mezcla de un alto desempeño para las redes viales locales y nacionales. El principal inconveniente para conseguir evaluar y diseñar este tipo de mezclas asfálticas es la poca disponibilidad bibliográfica o información normativa, ya que la mayoría de investigación realizada en esta área se encuentra en otros idiomas al ser empleado solamente a nivel internacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ BENITES, N. C., & GUTIERREZ GALLEGOS, J. A. (2020). *Estudio experimental del efecto en el comportamiento mecánico al adicionar caucho triturado en un suelo arcilloso de baja plasticidad proveniente del caserío de Callampampa – Llama – Cajamarca*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

BLOW, C. M. (1971). *Tecnología y fabricación del caucho*. UK: Institution of the Rubber Industry.

GOMEZ BASTAR, S. (2012). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Ma. Eugenia Buendía López.

GRANADOS NOA, J. L. (2017). *Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho mediante proceso por vía seca respecto a lamezcla asfáltica convencional*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.

MAGUIÑA SALAZAR, W. T. (2019). *Caucho reciclado de llantas en la mezcla de asfalto a compresión para mejorar las propiedades mecánicas*. Lima: Universidad Ricardo Palma.

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

MONJE ÁLVAREZ, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Neiva: Universidad Surcolombiana.

MORANTE GOMEZ, M. B. (2019). *Utilización de gránulos de caucho triturado de neumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas en frío con emulsión y material fresado*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

OLARTE RIAÑO, B. N., & SOLER SÁNCHEZ, R. D. (2018). *Efecto del grano de caucho en el ahuellamiento de una mezcla asfáltica tipo MD-12*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

OZTURK, H., TASCIOGLU, B., KUTAY, M., & LITTRUP, G. (2012). *Impacto del proceso de preparación del ligante modificado con caucho triturado en el rendimiento de la mezcla asfáltica en caliente*. Estambul: 5.<sup>to</sup> Eurasphalt & Eurobitume Congress.

RAHMAN, M. (2004). *Caracterización de mezclas asfálticas modificadas con caucho triturado por vía seca*. Nottingham: University of Nottingham.

SANTUCCI, L. (2009). *Carreteras de caucho: los neumáticos usados encuentran un hogar*. Pavimento Actualización tecnológica.

VEGA ZURITA, D. S. (2016). *Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

WHITE, T. D. (1985). *Procedimientos Marshall para el diseño y control de calidad de las mezclas asfálticas*. Association of asphalt paving technologistsproc.

WHITEOAK, D. (1991). *Manual de betún de Shell*. UK Surrey: Shell Bitumen.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Panel fotográfico

#### 1. Ensayo de granulometría



Fotografía 1. Muestras de arena natural, arena chancada y piedra granulada, las cuales se consiguieron de la cantera de Matahuasi en la ciudad de Huancayo.



Fotografía 2. Cuarteo de las muestras de agregados, para obtener el material necesario para un correcto ensayo de granulometría.



Fotografía 3. Serie de tamices requeridos para el ensayo de granulometría, el cual deberá tener la serie de tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8", N.º 4, N.º 8, N.º 10, N.º 16, N.º 30, N.º 40, N.º 50, N.º 80, N.º 100, N.º 200, tapa y fondo según los requerimientos de la norma MTC E 204.



Fotografía 4. Toma de muestra de piedra chancada de 1/2", según las especificaciones de la norma MTC E 204 se pesaron 3000 gr de muestra.



Fotografía 5. Proceso de tamizado de la piedra de 1/2", para la obtención de retenidos en cada tamiz a emplear.



Fotografía 6. Toma de peso retenido en cada tamiz tras el tamizado de la piedra chancada de 1/2".



Fotografía 7. Toma de muestra de arena natural y arena chancada, según las especificaciones de la norma MTC E 204 se pesaron 1500 gr de muestra.



Fotografía 8. Obtención de caucho granulado, se consiguieron neumáticos fuera de uso para la obtención del caucho granulado.



Fotografía 9. Proceso de tamizado de la arena natural y chancada, para la obtención de retenidos en cada tamiz a emplear.



Fotografía 10. Toma de peso retenido en cada tamiz tras el tamizado de la arena natural y arena chancada.



Fotografía 11. Caucho granulado obtenido de una empresa que recolecta neumáticos fuera de uso.



Fotografía 12. Serie de tamices, taras y balanza necesarias para realizar la granulometría del caucho granulado.



Fotografía 13. Se pesó 500 gr de caucho granulado después de realizar un cuarteo de lamuestra total obtenida.



Fotografía 14. Proceso de tamizado del caucho granulado, para la obtención de retenidos encada tamiz a emplear.

## 2. Elaboración de briquetas de Marshall (0% a 3% de empleo de caucho granulado)



Fotografía 15. Tras el análisis granulométrico se realizó el cálculo de la combinación teórica de agregados para las mezclas asfálticas en caliente MAC 2 empleando del 0% al 3% de caucho granulado para la elaboración de las briquetas.



Fotografía 16. Material de agregados, según tamaño nominal, requeridos para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente por MAC 2 con el 0% de caucho granulado.



Fotografía 17. Elaboración de la mezcla con los retenidos de piedra chancada, arena natural y arena chancada según la combinación teórica MAC 2.



Fotografía 18. Material de agregados, según tamaño nominal, requeridos para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente por MAC 2 con el 1%, 2% y 3% de caucho granulado.



Fotografía 19. Se empleará para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente el ligante asfáltico de PEN 85-100 calentado a una temperatura de 150 °C a 160 °C.



Fotografía 20. Para que se dé una buena adherencia entre el ligante asfáltico y los agregados, estos se calentarán a 160 °C en el horno por unos 30 a 45 minutos.



Fotografía 21. Molde, collarín y base requeridos para la elaboración de las briquetas, cabe mencionar que estos equipos deben cumplir con las dimensiones especificadas en la norma MTC E 504.



Fotografía 22. Se precalentará el molde, collarín y base en el horno por un tiempo de 30 a 45 min, esto es para que al colocar las mezclas en el molde ambos se encuentren a la mismatemperatura.



Fotografía 23. Para la elaboración de la mezcla asfáltica caliente se retiran del horno la mezcla de agregados y el ligante asfáltico de PEN 85-100.



Fotografía 24. Se añadirá a la mezcla de agregados los porcentajes de 4% de ligante asfáltico del peso total de la briqueta.



Fotografía 25. La mezcla se realiza empleando una hornilla para mantener la temperatura elevada de los materiales y para que así se dé una correcta adherencia entre estos.



Fotografía 26. Se tomó la temperatura de la mezcla para asegurarse que no haya descendido de los 150 °C.



Fotografía 27. Se colocará papel no absorbente antes de colocar la mezcla, según lo especifica la norma MTC E 504.



Fotografía 28. Se colocará la mezcla obtenida en los moldes precalentados, se deberá tener cuidado al colocar la mezcla para no perder material.



Fotografía 29. Se chuseará la mezcla colocada con una varilla de 3/8", en los bordes y en el centro de la mezcla para eliminar los vacíos de aire acumulados.



Fotografía 30. Se colocará de nuevo un papel no absorbente encima de la mezcla, previo arealizar la compactación de la mezcla.



Fotografía 31. Empleando un pisón que cumple con las especificaciones de la norma MTC E504 se compactara la mezcla con 75 golpes a cada cara de la mezcla.



Fotografía 32. Briqueta resultante tras el proceso de compactación al emplear el 4% de ligante asfáltico, la cual se dejará a temperatura ambiente antes de retirarla del molde.



Fotografía 33. Briquetas obtenidas tras realizar la elaboración de las briquetas, pero empleando el 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% de ligante asfáltico, además de las obtenidas con el 4% de ligante.



Fotografía 34. Tras dejar las briquetas obtenidas a temperatura ambiente se procede a realizar el desmolde de las briquetas con cuidado de no perder material en el proceso.



Fotografía 35. Briqueta obtenida tras el desmolde, se deberá repetir el mismo proceso paracada briqueta obtenida al variar los porcentajes de ligante asfaltico.



Fotografía 36. Briquetas resultantes del ensayo de Marshall para el 0% de caucho granulado yal variar el ligante asfaltico del 4% al 6.5%.

### 3. Ensayo de peso específico de briquetas (0% a 3% de empleo de caucho granulado)



Fotografía 37. Se tomará el peso en seco de las briquetas diseñadas al variar el liganteasfáltico del 4% al 6.5% y se tomaran notas de los resultados para el registro.



Fotografía 38. Después de tomar los pesos en seco de todas las briquetas obtenidas, estas sedejarán en estado de inmersión para que se saturen por 30 min.



Fotografía 39. Se programará el cronometro por 30 minutos para proceder con los ensayos de peso específico.



Fotografía 40. Se colocará cada briqueta saturada en una cesta con una tina con agua para la obtención del peso sumergido de cada briqueta.



Fotografía 41. Se tomará el peso sumergido de cada briqueta y se tomaran notas de los resultados para el registro.



Fotografía 42. Se procederá a retirar cada briqueta del recipiente con agua para eliminar el exceso de agua con un paño.



Fotografía 43. Después de retirar el exceso de agua se procede a tomar el peso de la briquetasaturada superficialmente seca.



Fotografía 44. Este ensayo de peso específico se repetirá para cada briqueta diseñada al variarel porcentaje de ligante del 4% al 6.5%.

#### 4. Ensayo de Marshall (0% a 3% de empleo de caucho granulado)



Fotografía 45. Tras realizar los ensayos de peso específico de las briquetas se procede a colocar cada briqueta en baño María a 60 °C para el acondicionamiento por 30 minutos, el cual es requerido según las especificaciones de la norma MTC E 504 previo al ensayo de Marshall.



Fotografía 46. Pasados los 30 minutos de acondicionamiento se procede a secar y preparar cada briqueta para el ensayo de Marshall.



Fotografía 47. Colocación de briqueta en mordaza para el ensayo de Marshall, la cual también se colocó previamente en baño María para que se encuentre 20 °C de temperatura.



Fotografía 48. Preparación del equipo de Marshall, se coloca el dial para su lectura en 0 antes de proceder con el ensayo.



Fotografía 49. Empleando el aparato de Marshall se procedido con el ensayo de estabilidad y flujo, se grabaron las lecturas para que el proceso de gabinete sea con datos precisos.



Fotografía 50. Briquetas resultantes del ensayo de Marshall para el 1% de caucho granulado yal variar el ligante asfaltico del 4% al 6.5%.



Fotografía 51. Briquetas resultantes del ensayo de Marshall para el 2% de caucho granulado y al variar el ligante asfáltico del 4% al 6.5%.



Fotografía 52. Briquetas resultantes del ensayo de Marshall para el 3% de caucho granulado y al variar el ligante asfáltico del 4% a 6.5%.



Fotografía 53. Se realizaron los ensayos de estabilidad y flujo a las briquetas elaboradas con los diseños del 1%, 2% y 3% de empleo de caucho granulado.

#### 5. Elaboración de briquetas (variando el tiempo de acondicionamiento)



Fotografía 54. Tras repetir los ensayos de combinación de agregados se elaboraron nuevas mezclas asfálticas con los diseños del 1%, 2% y 3% de caucho granulado con sus óptimos contenidos de asfalto resultantes para los ensayos de tiempo de acondicionamiento.



Fotografía 55. Se procede a colocar la mezcla obtenida en el horno por un tiempo de acondicionamiento de 45 minutos.



Fotografía 56. Briquetas resultantes tras el tiempo de acondicionamiento de la mezcla por 45 minutos, cabe mencionar que se elaboraron 3 muestras por cada porcentaje de caucho granulado empleado en el diseño.



Fotografía 57. Se procede a colocar la mezcla obtenida al variar los diseños del 1% al 3% de caucho granulado y empleando el óptimo contenido de asfalto, en el horno por un tiempo de acondicionamiento de 90 minutos.



Fotografía 58. Briquetas resultantes tras el tiempo de acondicionamiento de la mezcla por 90 minutos, cabe mencionar que se elaboraron 3 muestras por cada porcentaje de caucho granulado empleado en el diseño.



Fotografía 59. Se procede a colocar la mezcla obtenida al variar los diseños del 1% al 3% de caucho granulado y empleando el óptimo contenido de asfalto, en el horno por un tiempo de acondicionamiento de 120 minutos.



Fotografía 60. Briquetas resultantes tras el tiempo de acondicionamiento de la mezcla por 120 minutos, cabe mencionar que se elaboraron 3 muestras por cada porcentaje de caucho granulado empleado en el diseño.



Fotografía 61. Se procede a colocar la mezcla obtenida al variar los diseños del 1% al 3% de caucho granulado y empleando el óptimo contenido de asfalto, en el horno por un tiempo de acondicionamiento de 150 minutos.



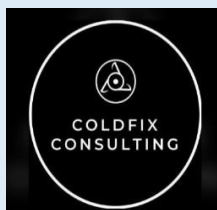
Fotografía 62. Briquetas resultantes tras el tiempo de acondicionamiento de la mezcla por 150 minutos, cabe mencionar que se elaboraron 3 muestras por cada porcentaje de caucho granulado empleado en el diseño.

**6. Ensayo de Marshall (variando el tiempo de acondicionamiento)**



Fotografía 63. Se realizaron los ensayos de estabilidad y flujo mediante la empresa de Marshall a las briquetas resultantes al variar los tiempos de acondicionamientos de 45min, 90 min, 120 min y 150 min.

## ANEXO 2. Certificados de ensayo

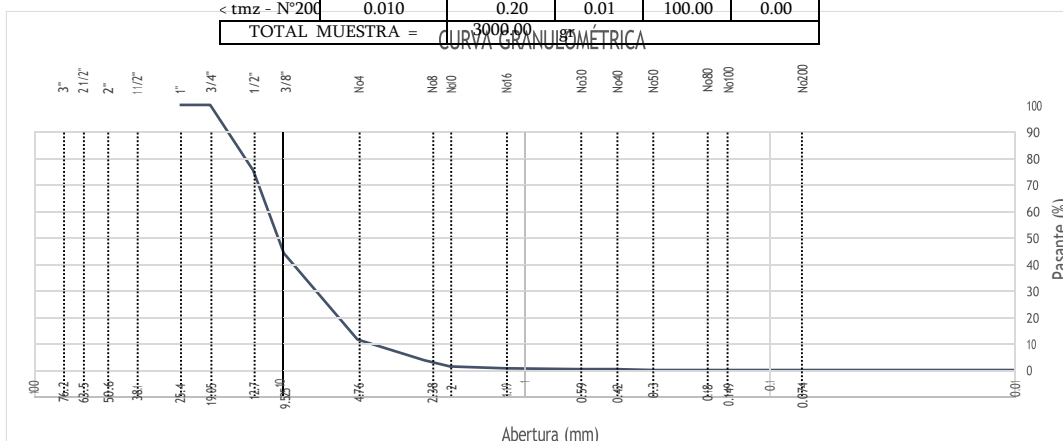


### LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	M.A-001
<b>FECHA:</b>	17/01/2022

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

PIEDRA CHANCADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acum. ul.	% Pasante
Tam. iz	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	739.50	24.65	24.65	75.35
tmz - 3/8"	9.525	937.50	31.25	55.90	44.10
tmz - N°4	4.750	972.40	32.41	88.31	11.69
tmz - N°8	2.550	236.40	7.88	96.19	3.81
tmz - N°10	2.000	73.50	2.45	98.64	1.36
tmz - N°16	1.185	17.80	0.59	99.24	0.76
tmz - N°30	0.600	9.50	0.32	99.55	0.45
tmz - N°40	0.425	6.10	0.20	99.76	0.24
tmz - N°50	0.295	2.90	0.10	99.85	0.15
tmz - N°80	0.175	2.20	0.07	99.93	0.07
tmz - N°100	0.148	1.20	0.04	99.97	0.03
tmz - N°200	0.072	0.80	0.03	99.99	0.01
< tmz - N°200	0.010	0.20	0.01	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		3000.00			



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

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



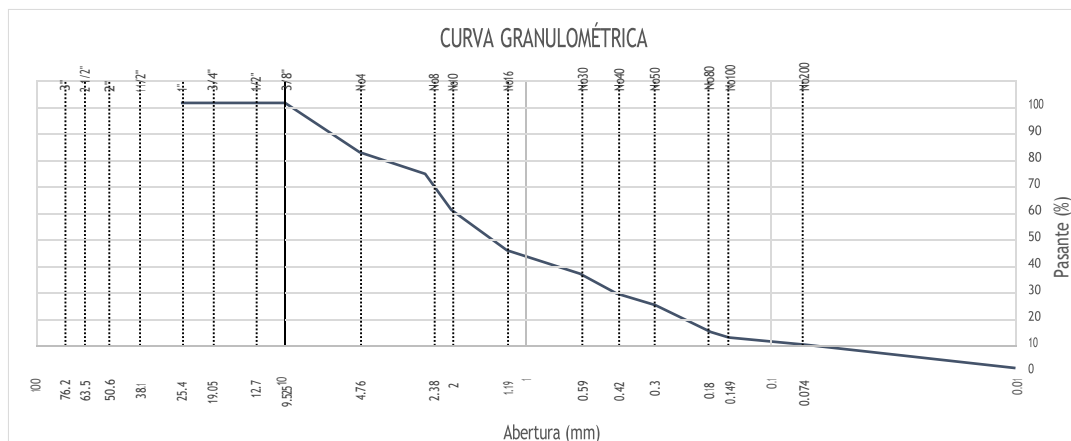
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	M.A-002
<b>FECHA:</b>	17/01/2022

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

(MTC E 204)

ARENA NATURAL					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acum. ul.	% Pasante
Tam iz	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	277.05	18.47	18.47	81.53
tmz - N°8	2.550	124.80	8.32	26.79	73.21
tmz - N°10	2.000	200.55	13.37	40.16	59.84
tmz - N°16	1.185	232.35	15.49	55.65	44.35
tmz - N°30	0.600	131.10	8.74	64.39	35.61
tmz - N°40	0.425	108.30	7.22	71.61	28.39
tmz - N°50	0.295	67.20	4.48	76.09	23.91
tmz - N°80	0.175	155.85	10.39	86.48	13.52
tmz - N°100	0.148	30.75	2.05	88.53	11.47
tmz - N°200	0.072	40.20	2.68	91.21	8.79
< tmz - N°200	0.010	131.85	8.79	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		



  
**Juan Ernesto Tejada Díaz**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 COLDFIX E.I.R.L.

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

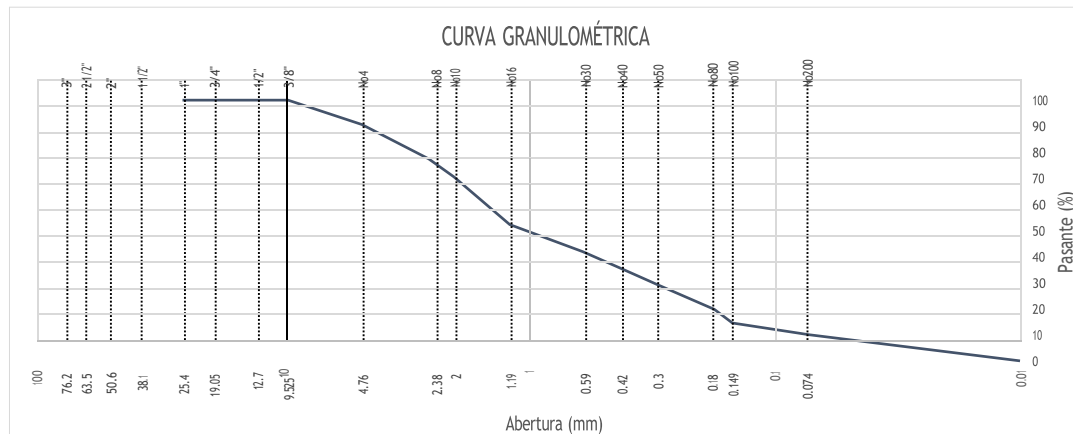


## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	M.A-003
<b>FECHA:</b>	17/01/2022

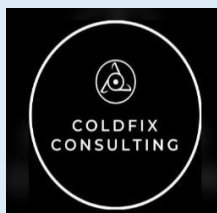
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA CHANCADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acum. ul.	% Pasante
Tam iz	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	143.10	9.54	9.54	90.46
tmz - N°8	2.550	195.00	13.00	22.54	77.46
tmz - N°10	2.000	102.00	6.80	29.34	70.66
tmz - N°16	1.185	276.15	18.41	47.75	52.25
tmz - N°30	0.600	157.05	10.47	58.22	41.78
tmz - N°40	0.425	92.10	6.14	64.36	35.64
tmz - N°50	0.295	99.75	6.65	71.01	28.99
tmz - N°80	0.175	141.15	9.41	80.42	19.58
tmz - N°100	0.148	77.10	5.14	85.56	14.44
tmz - N°200	0.072	67.35	4.49	90.05	9.95
< tmz - N°200	0.010	149.25	9.95	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 Palma**  
 TECNICO DE LABORATORIO  
 COLDPIX E.I.R.L.

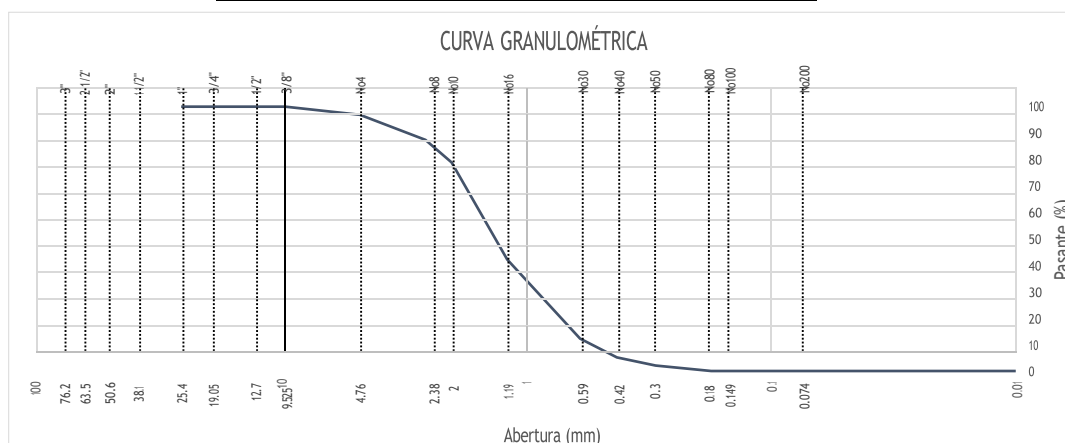


## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	M.A-004
<b>FECHA:</b>	17/01/2022

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

CAUCHO GRANULADO					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acum. ul.	% Pasante
Tam iz	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	15.90	3.18	3.18	96.82
tmz - N°8	2.550	47.20	9.44	12.62	87.38
tmz - N°10	2.000	42.80	8.56	21.18	78.82
tmz - N°16	1.185	183.00	36.60	57.78	42.22
tmz - N°30	0.600	150.10	30.02	87.80	12.20
tmz - N°40	0.425	34.30	6.86	94.66	5.34
tmz - N°50	0.295	15.90	3.18	97.84	2.16
tmz - N°80	0.175	9.80	1.96	99.80	0.20
tmz - N°100	0.148	0.60	0.12	99.92	0.08
tmz - N°200	0.072	0.40	0.08	100.00	0.00
< tmz - N°200	0.010	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		500.00	gr		



**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



**PROYECTO:** EFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

**CONSULTOR:** BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA

**UBICACION:** HUANCAYO

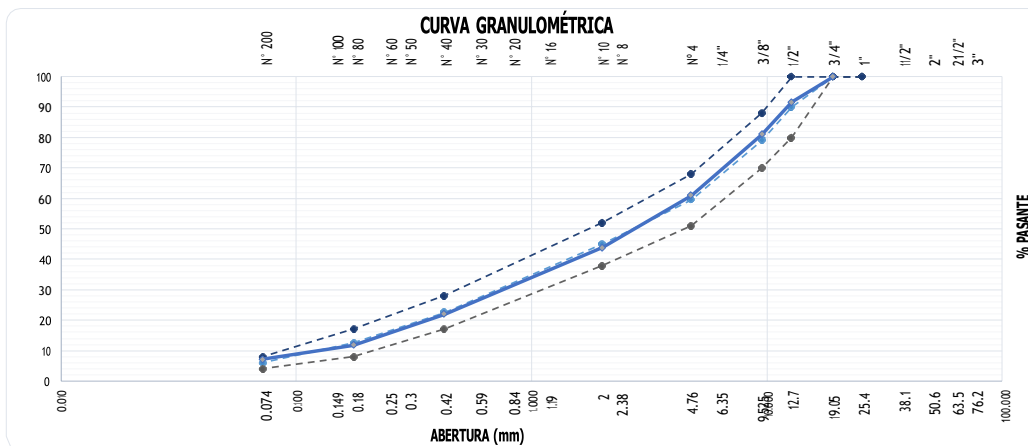
**CANtera:** MATAHUASI

**MUESTRA:** MAC2-0% Caucho granulado

**FECHA:** 17/01/2022

### COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO - MAC 2

Malla		Porcentaje pasantes (%)						Especificaciones	
Tam iz	mm	Caucho granulado	PIEDRAS		ARENAS		MEZCLA	MAC-2	Tamaño máximo 1/2"
			Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Natural	Material propio			
Proporciones		CG	1/2"	CHANCADA	NATURAL	FINO	100%		Curva Ideal
tmz - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100	100
tmz - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100	100
tmz - 1/2"	12.700	100.00	75.35	100.00	100.00	100.00	91.6	80 - 100	90
tmz - 3/8"	9.525	100.00	44.10	100.00	100.00	100.00	81.0	70 - 88	79
tmz - N°4	4.750	96.82	11.69	81.53	90.46	100.00	60.9	51 - 68	60
tmz - N°8	2.550	87.38	3.81	73.21	77.46	100.00	51.3		
tmz - N°10	2.000	78.82	1.36	59.84	70.66	100.00	43.9	38 - 52	45
tmz - N°16	1.185	42.22	0.76	44.35	52.25	100.00	32.7		
tmz - N°30	0.600	12.20	0.45	35.61	41.78	100.00	26.3		
tmz - N°40	0.425	5.34	0.24	28.39	35.64	100.00	21.9	17 - 28	23
tmz - N°50	0.295	2.16	0.15	23.91	28.99	100.00	18.3		
tmz - N°80	0.175	0.20	0.07	13.52	19.58	100.00	11.8	8 - 17	13
tmz - N°100	0.148	0.08	0.03	11.47	14.44	100.00	9.4		
tmz - N°200	0.072	0.00	0.01	8.79	9.95	100.00	7.1	4 - 8	6
< tmz - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0		



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

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

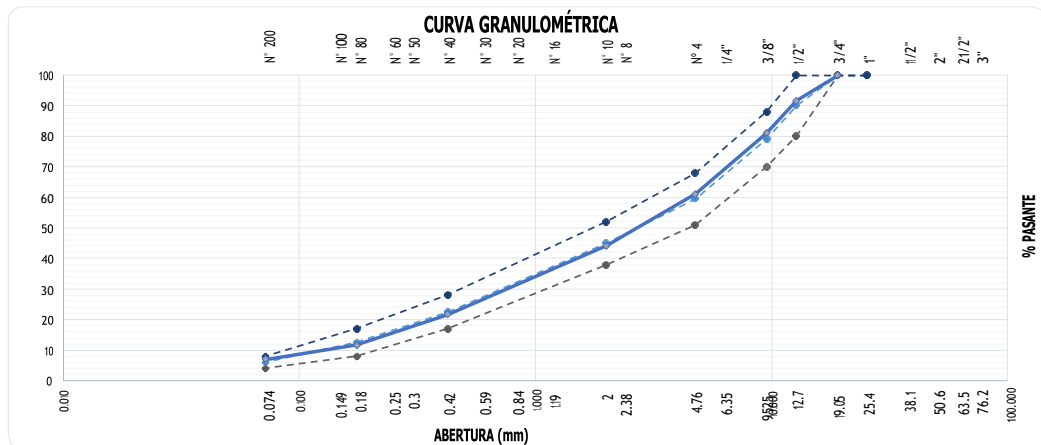
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACION:</b>	HUANCAYO
<b>CANERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	MAC2-1% Caucho granulado
<b>FECHA:</b>	17/01/2022

### COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO - MAC 2

Malla		Porcentaje pasantes (%)					Especificaciones		
Tam iz	mm	Caucho granulado	PIEDRAS	ARENAS			MEZCLA	MAC-2	Tamaño máximo 1/2"
Agregados			Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Natural	Material propio			
Proporciones		CG	1/2"	CHANCADA	NATURAL	FINO	100%	Curva Ideal	
		1%	34%	31%	33%	1%			
tmz - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100	100
tmz - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100	100
tmz - 1/2"	12.700	100.00	75.35	100.00	100.00	100.00	91.6	80 - 100	90
tmz - 3/8"	9.525	100.00	44.10	100.00	100.00	100.00	81.0	70 - 88	79
tmz - N°4	4.750	96.82	11.69	81.53	90.46	100.00	61.1	51 - 68	60
tmz - N°8	2.550	87.38	3.81	73.21	77.46	100.00	51.4		
tmz - N°10	2.000	78.82	1.36	59.84	70.66	100.00	44.1	38 - 52	45
tmz - N°16	1.185	42.22	0.76	44.35	52.25	100.00	32.7		
tmz - N°30	0.600	12.20	0.45	35.61	41.78	100.00	26.1		
tmz - N°40	0.425	5.34	0.24	28.39	35.64	100.00	21.7	17 - 28	23
tmz - N°50	0.295	2.16	0.15	23.91	28.99	100.00	18.1		
tmz - N°80	0.175	0.20	0.07	13.52	19.58	100.00	11.7	8 - 17	13
tmz - N°100	0.148	0.08	0.03	11.47	14.44	100.00	9.3		
tmz - N°200	0.072	0.00	0.01	8.79	9.95	100.00	7.0	4 - 8	6
< tmz - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0		



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

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

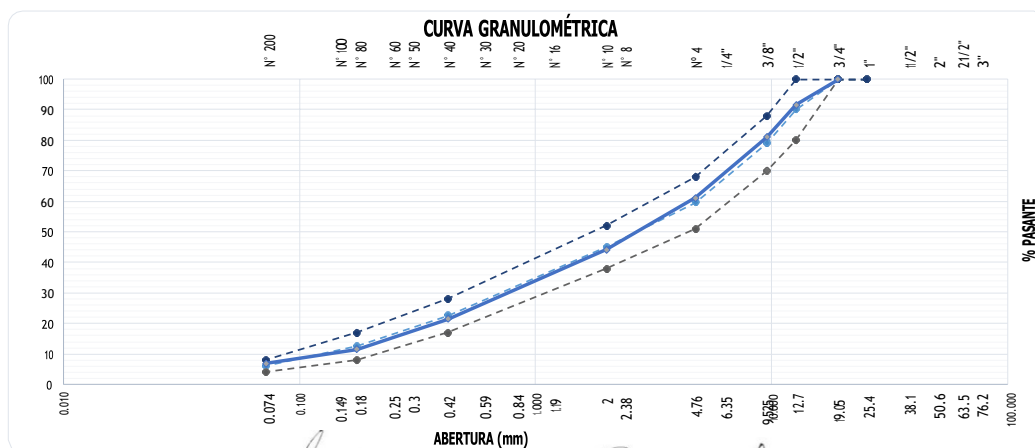
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACION:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	MAC2-2% Caucho granulado
<b>FECHA:</b>	17/01/2022

### COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO - MAC 2

Malla		Porcentaje pasantes (%)						Especificaciones	
Tam iz	mm	Caucho granulado	PIEDRAS		ARENAS		MEZCLA	MAC-2	Tamaño máximo 1/2"
			Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Natural	Material propio			
Proporciones		CG	1/2"	CHANCADA	NATURAL	FINO	100%		Curva Ideal
tmz - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100	100
tmz - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100	100
tmz - 1/2"	12.700	100.00	75.35	100.00	100.00	100.00	91.6	80 - 100	90
tmz - 3/8"	9.525	100.00	44.10	100.00	100.00	100.00	81.0	70 - 88	79
tmz - N°4	4.750	96.82	11.69	81.53	90.46	100.00	61.1	51 - 68	60
tmz - N°8	2.550	87.38	3.81	73.21	77.46	100.00	51.5		
tmz - N°10	2.000	78.82	1.36	59.84	70.66	100.00	44.2	38 - 52	45
tmz - N°16	1.185	42.22	0.76	44.35	52.25	100.00	32.6		
tmz - N°30	0.600	12.20	0.45	35.61	41.78	100.00	25.8		
tmz - N°40	0.425	5.34	0.24	28.39	35.64	100.00	21.4	17 - 28	23
tmz - N°50	0.295	2.16	0.15	23.91	28.99	100.00	17.8		
tmz - N°80	0.175	0.20	0.07	13.52	19.58	100.00	11.5	8 - 17	13
tmz - N°100	0.148	0.08	0.03	11.47	14.44	100.00	9.2		
tmz - N°200	0.072	0.00	0.01	8.79	9.95	100.00	6.9	4 - 8	6
< tmz - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0		



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

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

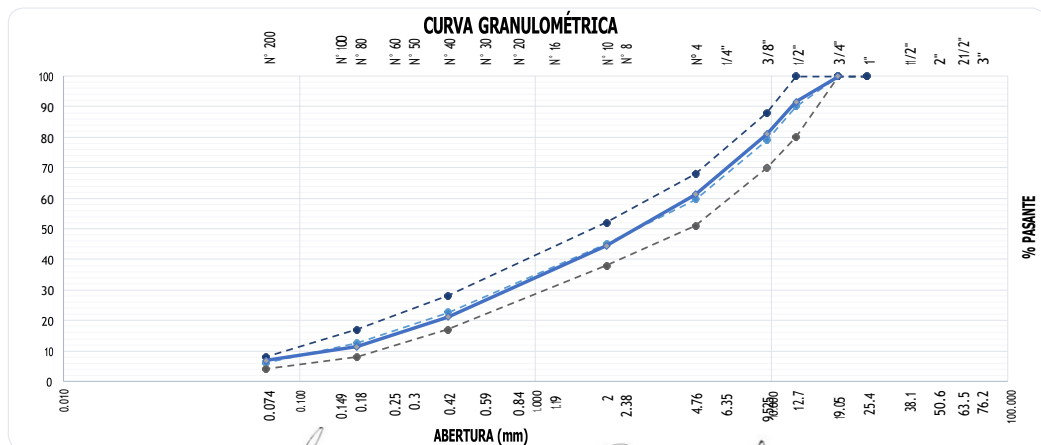
## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO




<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACION:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	MAC2-3% Caucho granulado
<b>FECHA:</b>	17/01/2022

### COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO - MAC 2

Malla		Porcentaje pasantes (%)						Especificaciones	
Tam iz	mm	Caucho granulado	PIEDRAS		ARENAS		MEZCLA	MAC-2	Tamaño máximo
			Piedra 1/2"	Arena Chancada	Arena Natural	Material propio			
Proporciones		CG	1/2"	CHANCADA	NATURAL	FINO	100%		Curva Ideal
		3%	34%	30%	32%	1%			
tmz - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100	100
tmz - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100	100
tmz - 1/2"	12.700	100.00	75.35	100.00	100.00	100.00	91.6	80 - 100	90
tmz - 3/8"	9.525	100.00	44.10	100.00	100.00	100.00	81.0	70 - 88	79
tmz - N°4	4.750	96.82	11.69	81.53	90.46	100.00	61.3	51 - 68	60
tmz - N°8	2.550	87.38	3.81	73.21	77.46	100.00	51.7		
tmz - N°10	2.000	78.82	1.36	59.84	70.66	100.00	44.4	38 - 52	45
tmz - N°16	1.185	42.22	0.76	44.35	52.25	100.00	32.6		
tmz - N°30	0.600	12.20	0.45	35.61	41.78	100.00	25.6		
tmz - N°40	0.425	5.34	0.24	28.39	35.64	100.00	21.2	17 - 28	23
tmz - N°50	0.295	2.16	0.15	23.91	28.99	100.00	17.6		
tmz - N°80	0.175	0.20	0.07	13.52	19.58	100.00	11.4	8 - 17	13
tmz - N°100	0.148	0.08	0.03	11.47	14.44	100.00	9.1		
tmz - N°200	0.072	0.00	0.01	8.79	9.95	100.00	6.8	4 - 8	6
< tmz - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0		



  
**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

**PROYECTO:**

EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

**CONSULTOR:**

BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA

**MUESTRA:**

Diseño - 1% de caucho granulado

**UBICACIÓN:**

HUANCAYO

**FECHA:**

20/01/2022

**CANTERA:**

MATAHUASI

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - 1% CAUCHO GRANULADO (MTC E 504)

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°		
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50		
2	Agregado grueso en peso de la mezcla > N° 4	%	32.64	32.64	32.64	32.47	32.47	32.47	32.30	32.30	32.30	32.13	32.13	32.13	31.96	31.96	31.96	31.79	31.79	31.79		
3	Agregado fino en peso de la mezcla < N° 4	%	62.40	62.40	62.40	62.08	62.08	62.08	61.75	61.75	61.75	61.43	61.43	61.43	61.10	61.10	61.10	60.78	60.78	60.78		
4	Filler en peso de la mezcla	%	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	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	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	1.020	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	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	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	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	2.605	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	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100		
9	Peso de la briqueta al aire	gr	1247.9	1249.0	1248.1	1248.0	1246.4	1247.2	1245.9	1250.0	1248.6	1246.1	1246.3	1249.8	1245.5	1250.0	1248.8	1247.9	1248.5	1248.3		
10	Peso de la briqueta saturada	gr	1258.1	1254.8	1250.9	1256.5	1249.4	1252.1	1255.6	1258.7	1252.0	1251.0	1255.2	1256.6	1251.9	1260.8	1258.0	1254.3	1258.1	1254.9		
11	Peso de la briqueta en agua	gr	722.3	721.4	716.5	720.8	716.1	718.0	720.4	725.0	717.3	717.2	718.0	719.6	715.7	720.9	717.3	716.8	716.6	715.5		
12	Volumen de briqueta + parafina	cm³	535.8	533.4	534.4	535.7	533.3	534.1	535.2	533.7	534.7	533.8	537.2	537.0	536.2	539.9	540.7	537.5	541.5	539.4		
13	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm³	2.329	2.342	2.336	2.330	2.337	2.335	2.328	2.342	2.335	2.334	2.320	2.327	2.323	2.315	2.310	2.322	2.306	2.314		
14	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm³	2.481	2.481	2.481	2.460	2.460	2.460	2.441	2.441	2.441	2.416	2.416	2.416	2.380	2.380	2.380	2.360	2.360	2.360		
15	Vacíos (MTC E-505)	%	6.1	5.6	5.9	5.3	5.0	5.1	4.6	4.0	4.3	3.4	4.0	3.7	2.4	2.7	3.0	1.6	2.3	1.9		
16	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm³	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631	2.631		
17	V.M.A.	%	15.0	14.6	14.8	15.4	15.2	15.2	15.9	15.4	15.7	16.2	16.7	16.4	17.0	17.3	17.5	17.5	18.1	17.8		
18	Vacíos llenos con cemento asfáltico	%	59.2	61.4	60.3	65.7	67.1	66.7	70.9	73.8	72.3	79.1	76.2	77.6	85.9	84.3	83.1	90.7	87.2	89.1		
19	Peso específico del agregado total	gr/cm³	2.638	2.638	2.638	2.635	2.635	2.635	2.634	2.634	2.634	2.625	2.625	2.625	2.601	2.601	2.601	2.597	2.597	2.597		
20	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.110	0.110	0.110	0.064	0.064	0.064	0.047	0.047	0.047	-0.087	-0.087	-0.087	-0.441	-0.441	-0.441	-0.504	-0.504	-0.504		
21	Cemento asfáltico efectivo	%	3.90	3.90	3.90	4.44	4.44	4.44	4.96	4.96	4.96	5.58	5.58	5.58	6.41	6.41	6.41	6.97	6.97	6.97		
22	Flujo	mm	1.39	1.24	1.11	1.52	1.80	1.29	2.04	2.25	1.85	2.42	2.71	2.89	3.32	3.62	3.10	3.87	4.06	3.79		
23	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	849.8	878.0	861.6	909.2	933.0	915.9	935.5	963.1	952.2	963.0	953.4	929.2	880.7	896.1	874.4	819.2	785.1	801.8		
25	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
26	Estabilidad corregida	kg	849.8	878.0	861.6	909.2	933.0	915.9	935.5	963.1	952.2	963.0	953.4	929.2	880.7	896.1	874.4	819	785	802		
27	Estabilidad - Flujo	kg/cm	6114	7081	7762	5982	5183	7100	4586	4280	5147	3979	3518	3215	2653	2475	2821	2117	1934	2116		
28	Compactación, numero de golpes por cara			75 golp.				75 golp.				75 golp.				75 golp.				75 golp.		





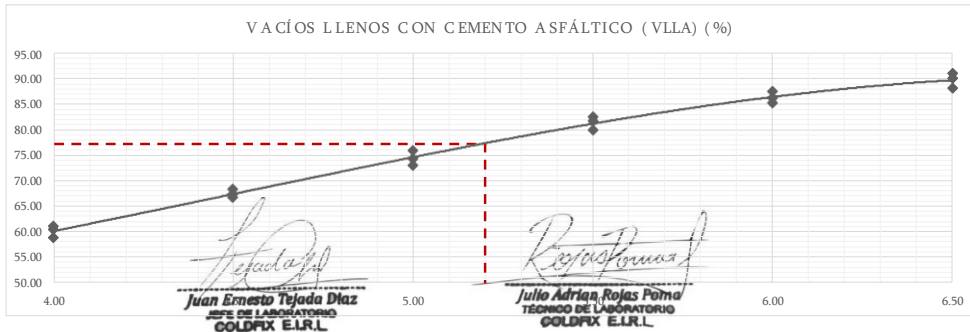
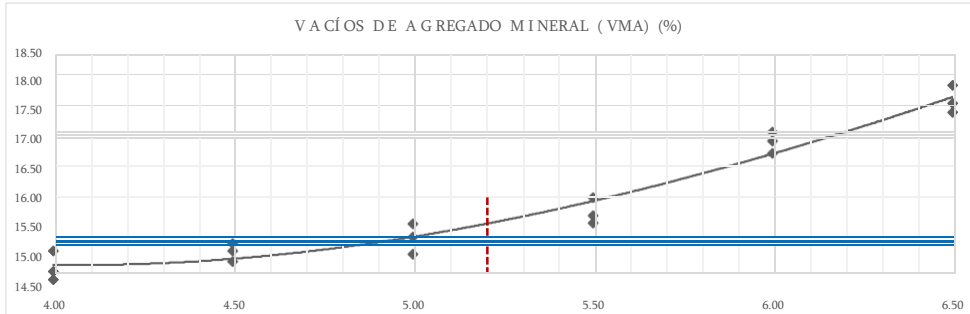
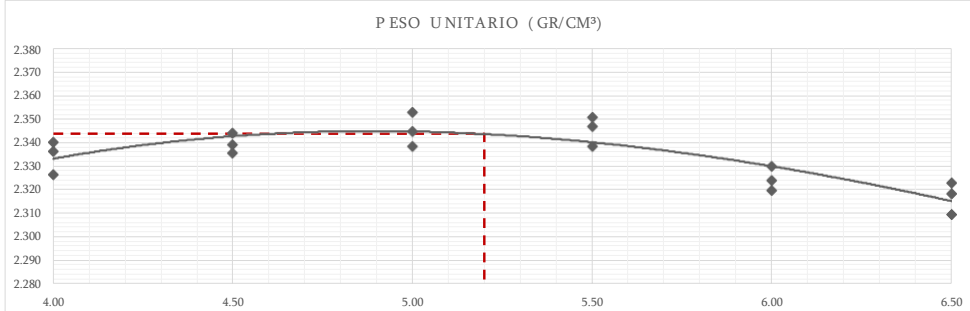


## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFEECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANtera:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - 0% de caucho granulado (1/2)
<b>FECHA:</b>	19/01/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.340	2.327	2.336	2.336	2.339	2.344	2.353	2.338	2.344
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	14.61	15.11	14.75	15.22	15.10	14.92	15.05	15.56	15.34
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	61.14	58.80	60.46	66.76	67.39	68.35	75.93	73.00	74.23
CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.338	2.350	2.347	2.324	2.320	2.330	2.323	2.310	2.318
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	16.02	15.58	15.71	16.96	17.12	16.76	17.45	17.91	17.61
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	79.90	82.55	81.76	86.15	85.22	87.41	90.98	88.14	89.97





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - 0% de caucho granulado (2/2)
<b>FECHA:</b>	19/01/2022

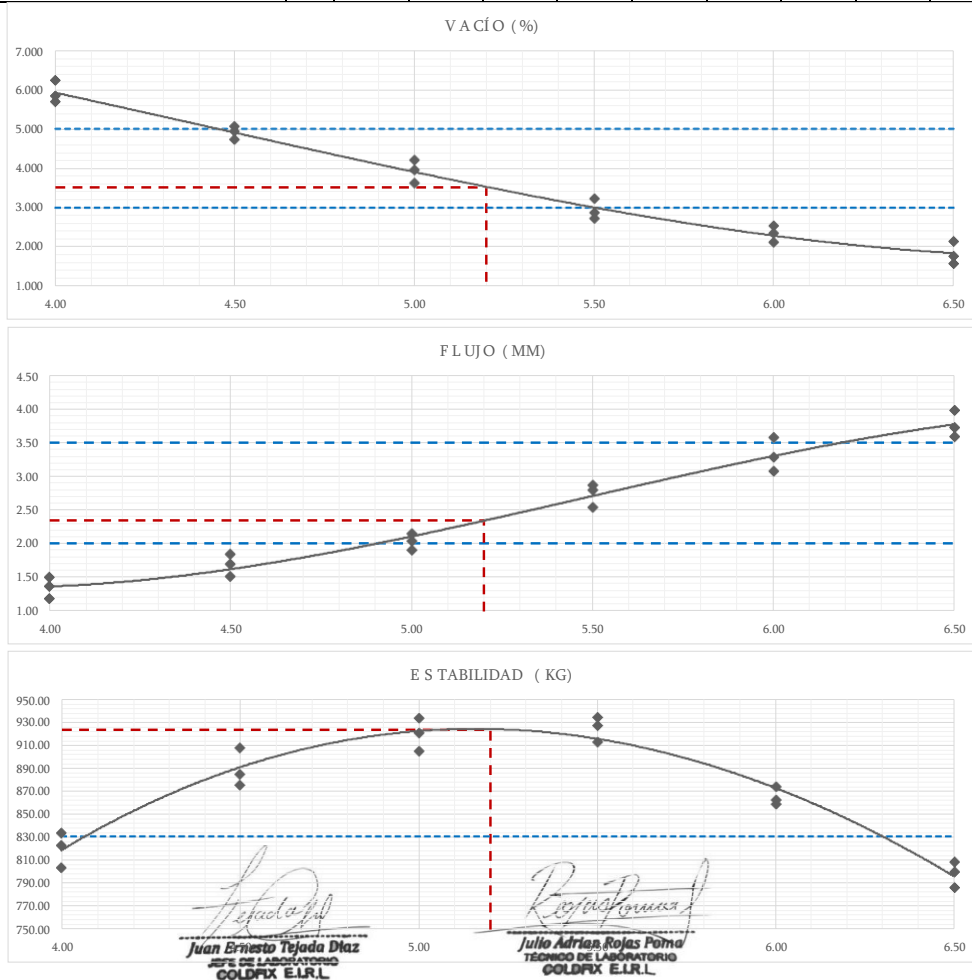
### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

(MTC E 504)

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
VACÍOS	%	5.68	6.22	5.83	5.06	4.93	4.72	3.62	4.20	3.95
FLUJO	mm	1.18	1.37	1.50	1.70	1.51	1.84	2.04	2.15	1.91
ESTABILIDAD	kg	823.20	833.40	803.50	875.20	907.00	884.50	932.80	904.40	920.30

CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
VACÍOS	%	3.22	2.72	2.86	2.35	2.53	2.11	1.57	2.12	1.77
FLUJO	mm	2.54	2.80	2.87	3.07	3.28	3.58	3.59	3.72	3.98
ESTABILIDAD	kg	912.00	933.90	926.50	873.60	858.70	862.60	786.70	799.90	808.60





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

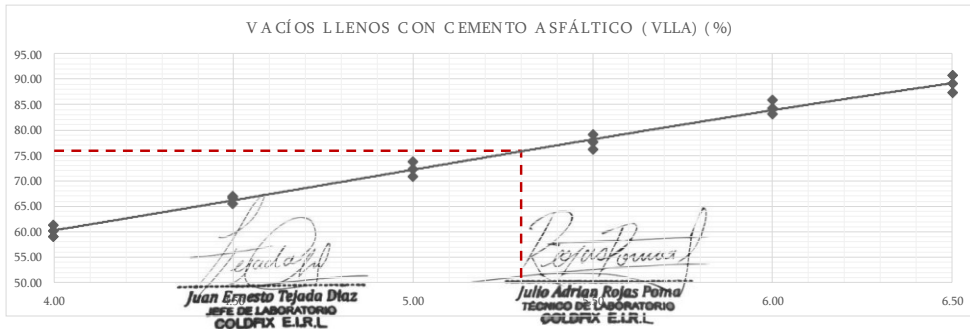
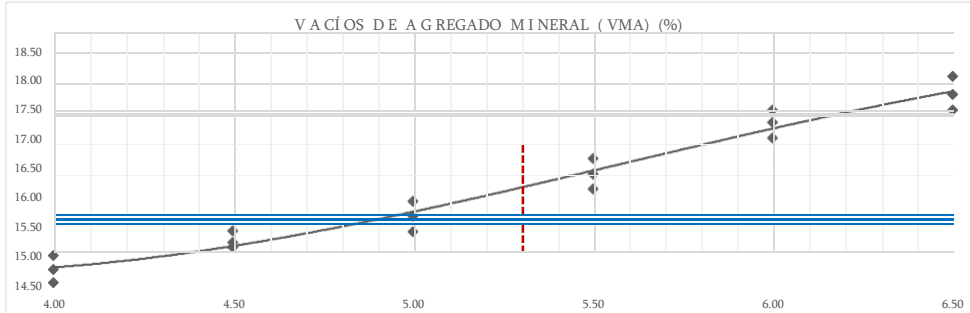
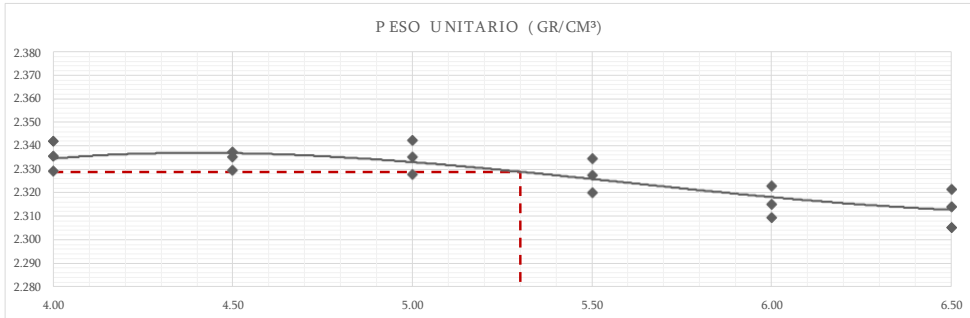
<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANtera:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - 1% de caucho granulado (1/2)
<b>FECHA:</b>	21/01/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.329	2.342	2.336	2.330	2.337	2.335	2.328	2.342	2.335
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	15.02	14.56	14.78	15.44	15.17	15.24	15.94	15.43	15.68
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	59.21	61.40	60.33	65.68	67.07	66.69	70.94	73.75	72.35

CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.334	2.320	2.327	2.323	2.315	2.310	2.322	2.306	2.314
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	16.15	16.67	16.40	17.01	17.28	17.48	17.49	18.06	17.76
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	79.09	76.16	77.64	85.88	84.25	83.08	90.72	87.25	89.08





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANtera:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - 1% de caucho granulado (2/2)
<b>FECHA:</b>	21/01/2022

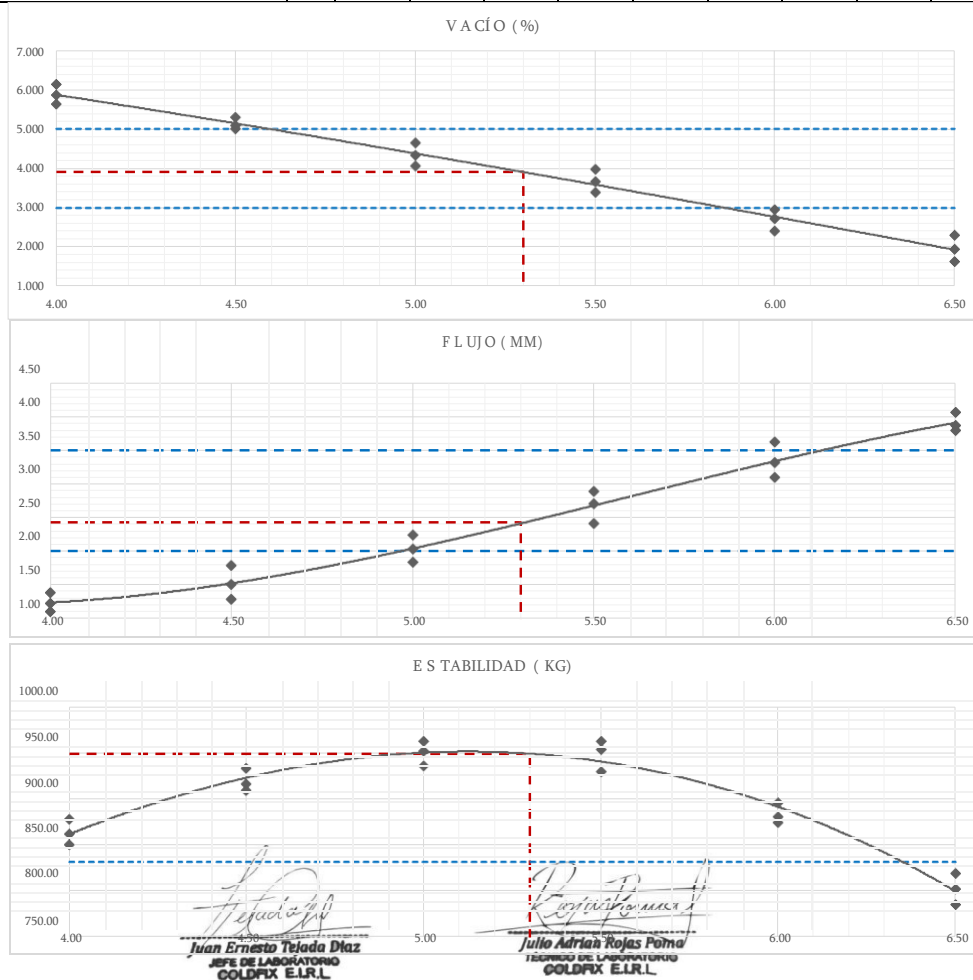
### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

(MTC E 504)

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
VACÍOS	%	6.12	5.62	5.86	5.30	4.99	5.08	4.63	4.05	4.34
FLUJO	mm	1.39	1.24	1.11	1.52	1.80	1.29	2.04	2.25	1.85
ESTABILIDAD	kg	849.80	878.00	861.60	909.20	933.00	915.90	935.50	963.10	952.20

CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
VACÍOS	%	3.38	3.97	3.67	2.40	2.72	2.96	1.62	2.30	1.94
FLUJO	mm	2.42	2.71	2.89	3.32	3.62	3.10	3.87	4.06	3.79
ESTABILIDAD	kg	963.00	953.40	929.20	880.70	896.10	874.40	819.20	785.10	801.80





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

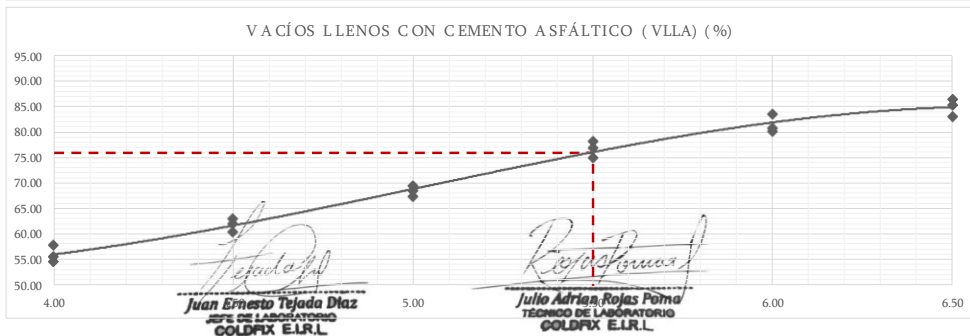
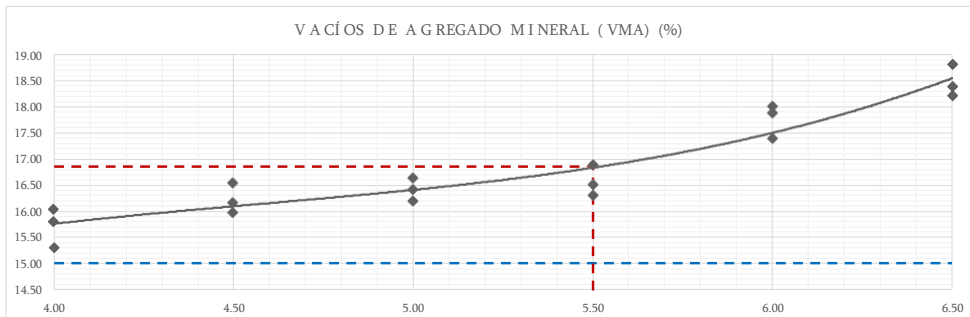
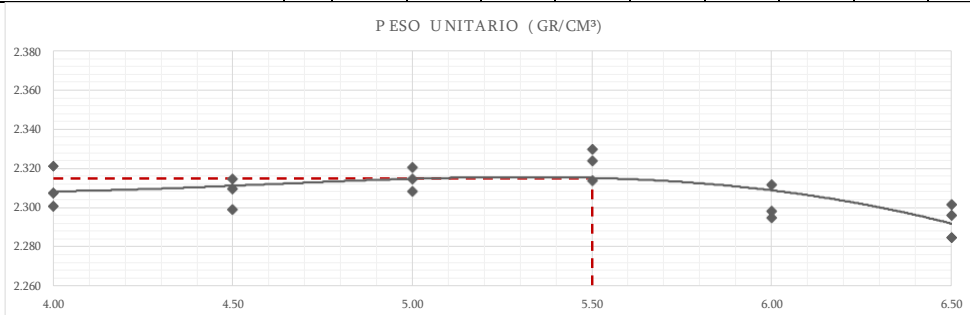
<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - 2% de caucho granulado (1/2)
<b>FECHA:</b>	23/01/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (MTC E 504)

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.307	2.321	2.301	2.299	2.314	2.309	2.308	2.320	2.315
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	15.82	15.31	16.05	16.56	15.99	16.17	16.65	16.21	16.43
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	55.69	57.89	54.71	60.43	63.00	62.14	67.35	69.53	68.46

CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.324	2.314	2.330	2.295	2.298	2.312	2.296	2.285	2.301
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	16.53	16.89	16.32	18.01	17.89	17.41	18.40	18.81	18.21
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	76.92	74.94	78.09	80.10	80.77	83.49	85.30	83.02	86.35





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANtera:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - 2% de caucho granulado (2/2)
<b>FECHA:</b>	23/01/2022

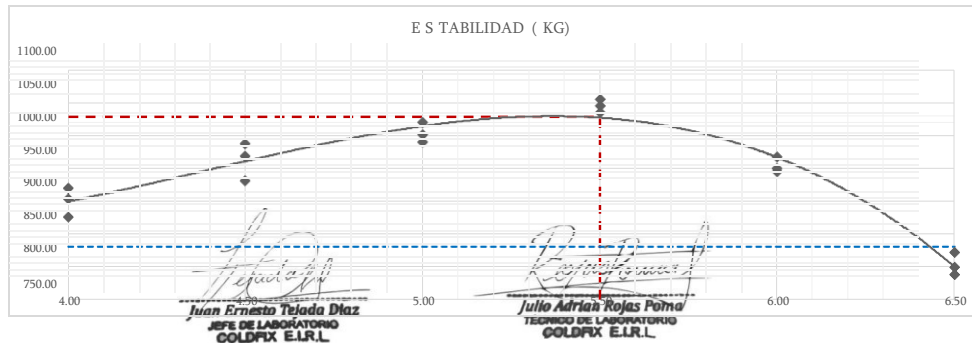
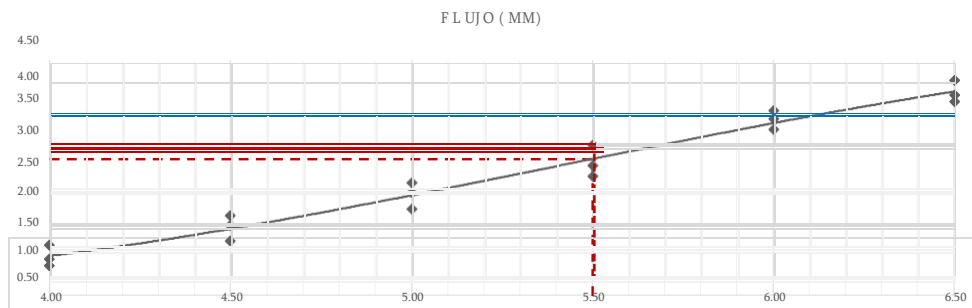
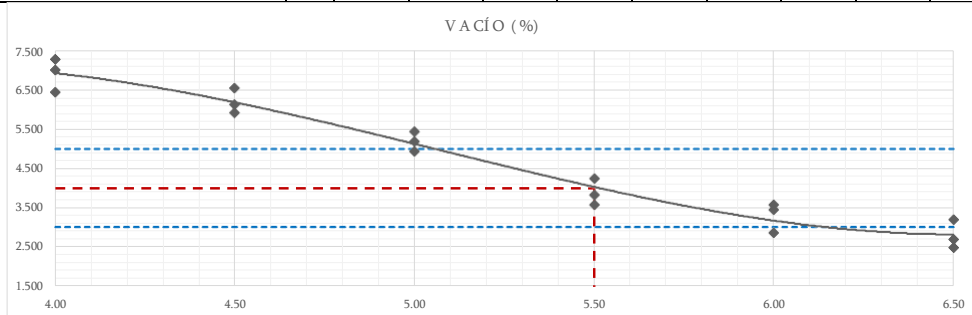
### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

(MTC E 504)

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
VACÍOS	%	7.01	6.45	7.27	6.55	5.91	6.12	5.44	4.94	5.18
FLUJO	mm	1.36	1.01	1.11	1.43	1.69	1.85	2.41	2.24	1.97
ESTABILIDAD	kg	876.90	904.50	920.40	969.40	987.60	930.90	1001.50	1020.70	990.40

CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
VACÍOS	%	3.81	4.23	3.58	3.58	3.44	2.87	2.70	3.19	2.49
FLUJO	mm	2.70	2.52	3.05	3.64	3.50	3.32	3.90	4.15	3.79
ESTABILIDAD	kg	1055.70	1034.90	1045.20	967.90	945.00	950.20	800.80	789.60	823.40





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANtera:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - 3% de caucho granulado (1/2)
<b>FECHA:</b>	25/01/2022

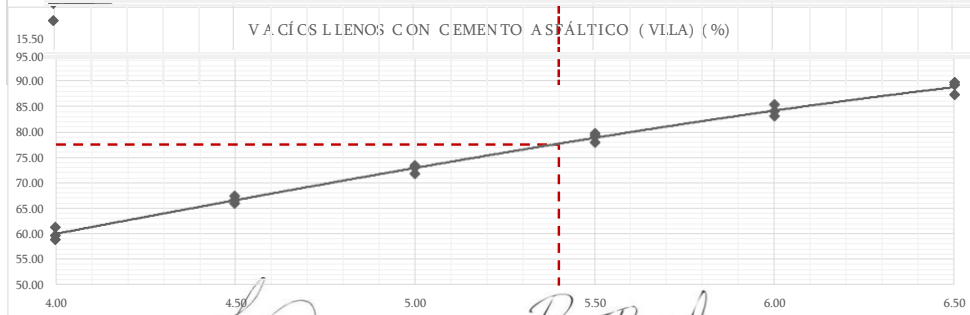
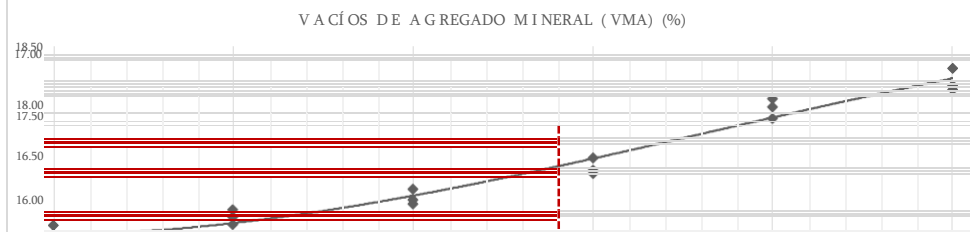
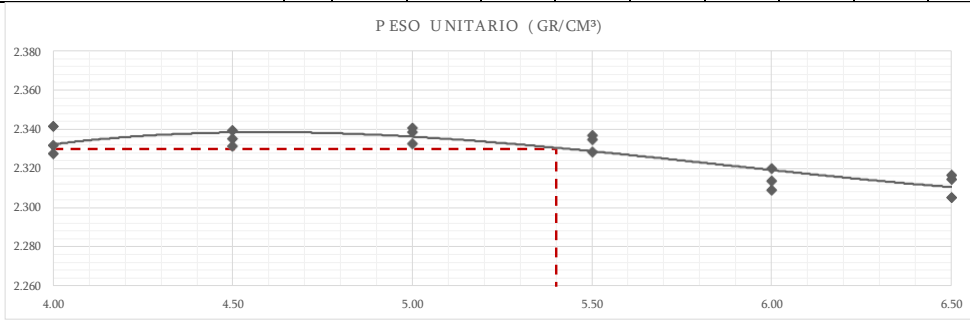
### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

(MTC E 504)

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.332	2.327	2.341	2.331	2.335	2.339	2.332	2.340	2.338
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	14.92	15.08	14.58	15.39	15.24	15.10	15.78	15.49	15.57
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	59.67	58.93	61.30	65.92	66.67	67.43	71.81	73.38	72.95

CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
PESO UNITARIO	gr/cm <sup>3</sup>	2.336	2.328	2.335	2.309	2.314	2.320	2.314	2.305	2.317
VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	%	16.08	16.38	16.14	17.50	17.34	17.12	17.75	18.08	17.67
VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	%	79.52	77.79	79.15	82.99	83.93	85.23	89.13	87.13	89.61



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

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



## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Diseño - 3% de caucho granulado (2/2)
<b>FECHA:</b>	25/01/2022

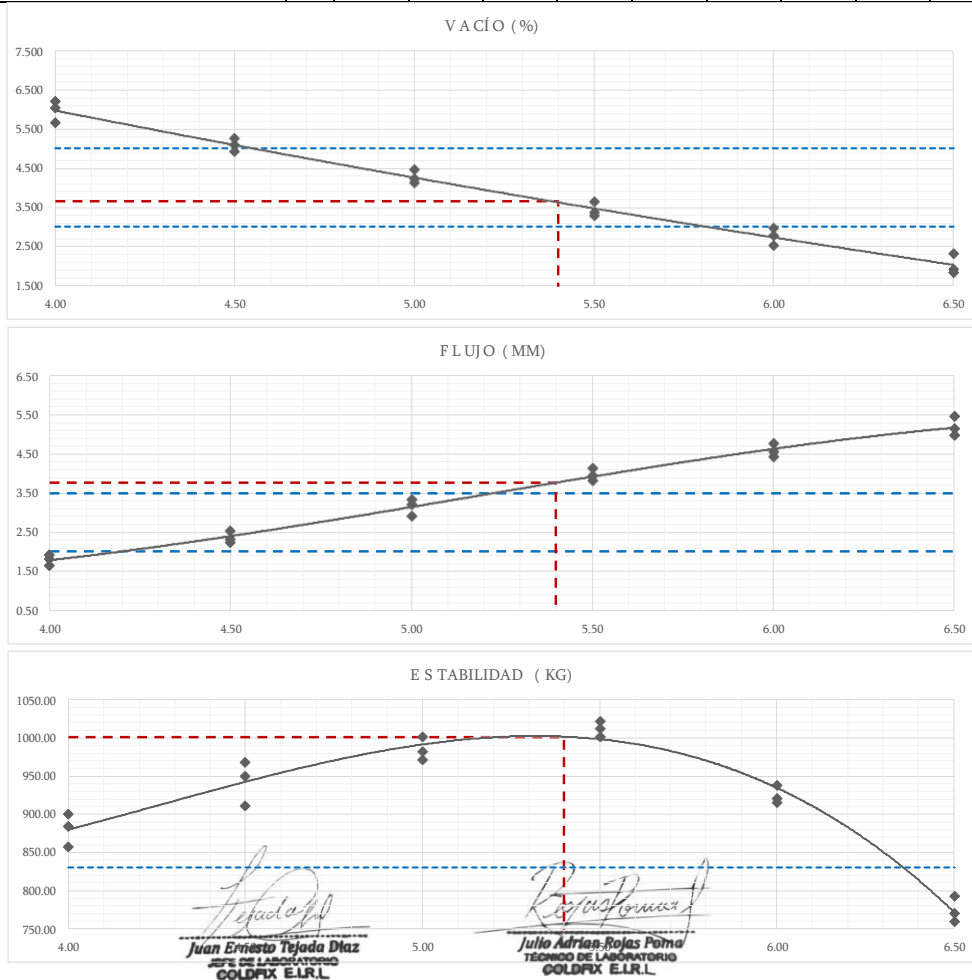
### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

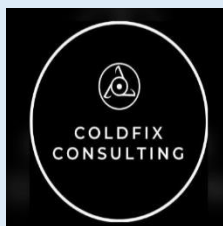
(MTC E 504)

CEMENTO ASFÁLTICO	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
VACÍOS	%	6.02	6.19	5.64	5.25	5.08	4.92	4.45	4.12	4.21
FLUJO	mm	1.65	1.83	1.93	2.25	2.33	2.54	2.91	3.21	3.32
ESTABILIDAD	kg	856.90	884.50	900.40	949.40	967.60	910.90	981.50	1000.70	970.40

CEMENTO ASFÁLTICO	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
VACÍOS	%	3.29	3.64	3.36	2.98	2.79	2.53	1.93	2.33	1.84
FLUJO	mm	3.80	3.94	4.13	4.74	4.53	4.42	4.95	5.12	5.43
ESTABILIDAD	kg	1021.70	1000.90	1011.20	937.90	915.00	920.20	770.80	759.60	793.40





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Tiempo Acond. - 1% de caucho granulado
<b>FECHA:</b>	26/01/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL VARIANDO EL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO - 1% Caucho granulado (MTC E 504)

ITEM	MUESTRA	TIEMPO DE ACOND.	PESO SECO	PESO SSS	PESO SUM.	VOLUMEN	PESO ESPECIF. BULK	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO	VACÍOS
		min	gr	gr	gr	cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	%
1	M-IL-001	0	1251.2	1256.6	721.4	535.2	2.338	2.426	3.63
2	M-IL-002	0	1248.6	1254.6	718.1	536.5	2.327	2.426	4.07
3	M-IL-003	0	1247.8	1255.4	720.4	535.0	2.332	2.426	3.86
4	M-IL-004	45	1249.3	1254.8	717.5	537.3	2.325	2.426	4.16
5	M-IL-005	45	1249.9	1255.7	720.0	535.7	2.333	2.426	3.82
6	M-IL-006	45	1251.0	1256.7	721.1	535.6	2.336	2.426	3.72
7	M-IL-007	90	1248.2	1258.2	715.7	542.5	2.301	2.426	5.16
8	M-IL-008	90	1247.3	1258.1	714.4	543.7	2.294	2.426	5.44
9	M-IL-009	90	1248.8	1259.2	714.3	544.9	2.292	2.426	5.53
10	M-IL-010	120	1247.9	1259.5	713.1	546.4	2.284	2.426	5.86
11	M-IL-011	120	1249.8	1259.7	711.3	548.4	2.279	2.426	6.06
12	M-IL-012	120	1248.5	1259.1	710.5	548.6	2.276	2.426	6.19
13	M-IL-013	150	1248.2	1259.3	710.5	548.8	2.274	2.426	6.25
14	M-IL-014	150	1247.1	1259.0	709.9	549.1	2.271	2.426	6.38
15	M-IL-015	150	1248.6	1258.4	710.7	547.7	2.280	2.426	6.03

ITEM	MUESTRA	TIEMPO DE ACOND.	PESO ESPECÍFICO BULK DE AGREG.	VACÍOS DE AGREGADO MINERAL	VACÍOS LLENOS CON C.A.	FLUJO	ESTABILIDAD	FACTOR	ESTAB. CORREGIDA
		min	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	mm	kg	---	kg
1	M-IL-001	0	2.631	15.85	77.07	2.62	944.1	1	944.1
2	M-IL-002	0	2.631	16.23	74.94	2.50	935.0	1	935.0
3	M-IL-003	0	2.631	16.05	75.95	2.25	971.9	1	971.9
4	M-IL-004	45	2.631	16.31	74.51	2.27	964.8	1	964.8
5	M-IL-005	45	2.631	16.02	76.12	2.13	996.3	1	996.3
6	M-IL-006	45	2.631	15.93	76.63	2.03	985.2	1	985.2
7	M-IL-007	90	2.631	17.18	69.97	1.93	1078.6	1	1078.6
8	M-IL-008	90	2.631	17.43	68.80	1.72	1100.8	1	1100.8
9	M-IL-009	90	2.631	17.51	68.41	1.65	1067.8	1	1067.8
10	M-IL-010	120	2.631	17.80	67.07	1.58	1007.9	1	1007.9
11	M-IL-011	120	2.631	17.97	66.28	1.46	1025.6	1	1025.6
12	M-IL-012	120	2.631	18.09	65.76	1.38	1021.2	1	1021.2
13	M-IL-013	150	2.631	18.13	65.55	1.22	957.7	1	957.7
14	M-IL-014	150	2.631	18.25	65.03	0.99	975.4	1	975.4
15	M-IL-015	150	2.631	17.94	66.40	0.85	936.7	1	936.7

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

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





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

<b>PROYECTO:</b>	EFFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO
<b>CONSULTOR:</b>	BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA
<b>UBICACIÓN:</b>	HUANCAYO
<b>CANTERA:</b>	MATAHUASI
<b>MUESTRA:</b>	Tiempo Acond. - 2% de caucho granulado
<b>FECHA:</b>	27/01/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL VARIANDO EL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO - 2% Caucho granulado (MTC E 504)

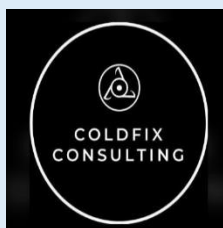
ITEM	MUESTRA	TIEMPO DE ACOND.	PESO SECO	PESO SSS	PESO SUM.	VOLUMEN	PESO ESPECIF. BULK	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO	VACÍOS
		min	gr	gr	gr	cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	%
16	M-IL-016	0	1248.2	1255.7	719.6	536.1	2.328	2.416	3.63
17	M-IL-017	0	1247.8	1255.1	716.4	538.7	2.316	2.416	4.13
18	M-IL-018	0	1247.5	1256.8	717.3	539.5	2.312	2.416	4.29
19	M-IL-019	45	1249.0	1255.0	714.9	540.1	2.313	2.416	4.28
20	M-IL-020	45	1250.5	1256.7	715.3	541.4	2.310	2.416	4.40
21	M-IL-021	45	1247.1	1254.3	716.2	538.1	2.318	2.416	4.07
22	M-IL-022	90	1249.8	1256.6	713.6	543.0	2.302	2.416	4.73
23	M-IL-023	90	1251.1	1257.0	715.8	541.2	2.312	2.416	4.32
24	M-IL-024	90	1250.0	1258.0	716.4	541.6	2.308	2.416	4.47
25	M-IL-025	120	1251.3	1257.7	714.3	543.4	2.303	2.416	4.69
26	M-IL-026	120	1250.8	1256.9	712.5	544.4	2.298	2.416	4.90
27	M-IL-027	120	1250.2	1255.4	710.6	544.8	2.295	2.416	5.02
28	M-IL-028	150	1249.7	1258.2	710.4	547.8	2.281	2.416	5.58
29	M-IL-029	150	1247.9	1256.6	711.9	544.7	2.291	2.416	5.17
30	M-IL-030	150	1251.9	1258.4	710.8	547.6	2.286	2.416	5.37

ITEM	MUESTRA	TIEMPO DE ACOND.	PESO ESPECÍFICO BULK DE AGREG.	VACÍOS DE AGREADO MINERAL	VACÍOS LLENOS CON C.A.	FLUJO	ESTABILIDAD	FACTOR	ESTAB. CORREGIDA
		min	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	mm	kg	---	kg
16	M-IL-016	0	2.631	16.37	77.83	2.84	1012.5	1	1012.5
17	M-IL-017	0	2.631	16.80	75.44	2.95	1046.7	1	1046.7
18	M-IL-018	0	2.631	16.95	74.68	2.63	1025.0	1	1025.0
19	M-IL-019	45	2.631	16.94	74.72	2.66	1076.2	1	1076.2
20	M-IL-020	45	2.631	17.04	74.19	2.59	1055.6	1	1055.6
21	M-IL-021	45	2.631	16.76	75.69	2.83	1036.0	1	1036.0
22	M-IL-022	90	2.631	17.33	72.69	2.42	1032.7	1	1032.7
23	M-IL-023	90	2.631	16.97	74.56	2.29	1057.1	1	1057.1
24	M-IL-024	90	2.631	17.10	73.86	2.54	1044.3	1	1044.3
25	M-IL-025	120	2.631	17.29	72.88	2.00	1072.9	1	1072.9
26	M-IL-026	120	2.631	17.48	71.95	1.76	1108.7	1	1108.7
27	M-IL-027	120	2.631	17.58	71.45	1.88	1066.9	1	1066.9
28	M-IL-028	150	2.631	18.06	69.13	1.43	1040.3	1	1040.3
29	M-IL-029	150	2.631	17.71	70.79	1.65	1022.5	1	1022.5
30	M-IL-030	150	2.631	17.89	69.95	1.27	1048.6	1	1048.6

Juan Francisco Toledo Diaz

Julio Adrian Rojas Poma





## LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

**PROYECTO:** EFECTO DEL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO EN LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO POR VÍA SECA, EN LA PROVINCIA DE HUANCAYO

**CONSULTOR:** BACH. IRWIN LAZO ESPINOZA

**UBICACIÓN:** HUANCAYO

**CANTERA:** MATAHUASI

**MUESTRA:** Tiempo Acond. - 3% de caucho granulado

**FECHA:** 28/01/2022

### RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL

VARIANDO EL TIEMPO DE ACONDICIONAMIENTO - 3% Caucho granulado

(MTC E 504)

ITEM	MUESTRA	TIEMPO DE ACOND.	PESO SECO	PESO SSS	PESO SUM.	VOLUMEN	PESO ESPECIF. BULK	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO	VACÍOS
		min	gr	gr	gr	cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	%
31	M-IL-031	0	1251.2	1256.2	719.7	536.5	2.332	2.421	3.67
32	M-IL-032	0	1248.6	1254.8	718.6	536.2	2.329	2.421	3.82
33	M-IL-033	0	1250.9	1255.3	720.0	535.3	2.337	2.421	3.48
34	M-IL-034	45	1249.4	1259.2	718.3	540.9	2.310	2.421	4.59
35	M-IL-035	45	1246.4	1258.6	717.8	540.8	2.305	2.421	4.80
36	M-IL-036	45	1250.0	1259.5	716.2	543.3	2.301	2.421	4.97
37	M-IL-037	90	1249.6	1258.9	715.5	543.4	2.300	2.421	5.01
38	M-IL-038	90	1248.1	1258.5	714.9	543.6	2.296	2.421	5.16
39	M-IL-039	90	1249.5	1259.5	715.1	544.4	2.295	2.421	5.20
40	M-IL-040	120	1246.1	1256.4	712.7	543.7	2.292	2.421	5.33
41	M-IL-041	120	1248.6	1258.6	712.0	546.6	2.284	2.421	5.65
42	M-IL-042	120	1248.3	1258.1	713.8	544.3	2.293	2.421	5.27
43	M-IL-043	150	1251.0	1259.2	710.9	548.3	2.282	2.421	5.76
44	M-IL-044	150	1248.8	1258.3	712.2	546.1	2.287	2.421	5.54
45	M-IL-045	150	1249.6	1258.8	710.6	548.2	2.279	2.421	5.85

ITEM	MUESTRA	TIEMPO DE ACOND.	PESO ESPECÍFICO BULK DE AGREG.	VACÍOS DE AGREADO MINERAL	VACÍOS LLENOS CON C.A.	FLUJO	ESTABILIDAD	FACTOR	ESTAB. CORREGIDA
		min	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	mm	kg	---	kg
31	M-IL-031	0	2.631	16.15	77.27	3.89	1019.9	1	1019.9
32	M-IL-032	0	2.631	16.27	76.55	3.78	981.1	1	981.1
33	M-IL-033	0	2.631	15.98	78.24	3.63	1003.2	1	1003.2
34	M-IL-034	45	2.631	16.95	72.91	3.26	1011.2	1	1011.2
35	M-IL-035	45	2.631	17.13	71.97	3.15	1036.3	1	1036.3
36	M-IL-036	45	2.631	17.27	71.25	2.95	1027.1	1	1027.1
37	M-IL-037	90	2.631	17.32	71.04	2.07	1008.5	1	1008.5
38	M-IL-038	90	2.631	17.45	70.40	2.22	993.0	1	993.0
39	M-IL-039	90	2.631	17.47	70.26	2.39	1024.3	1	1024.3
40	M-IL-040	120	2.631	17.59	69.69	1.12	1033.5	1	1033.5
41	M-IL-041	120	2.631	17.87	68.40	1.29	1053.7	1	1053.7
42	M-IL-042	120	2.631	17.54	69.95	0.91	1027.0	1	1027.0
43	M-IL-043	150	2.631	17.96	67.95	0.61	981.2	1	981.2
44	M-IL-044	150	2.631	17.78	68.81	0.50	1011.4	1	1011.4
45	M-IL-045	150	2.631	18.04	67.59	0.43	993.7	1	993.7



**INFORME DE CALIBRACION**

**LT - 012 – 2022**

Expediente: 009-2022

Fecha de Emisión: 2022-01-15

Página: 1 de 3

**SOLICITANTE :** COLDFIX E.I.R.L.  
**Dirección :** Cal. San Gregorio nro. 228 Huancayo

**DESCRIPCION DEL EQUIPO :** ESTUFA  
**Marca :** NO INDICA  
**Modelo :** HR001  
**Serie :** 520  
**Capacidad del Equipo :** 87 L  
**Indicación :** DIGITAL  
**Marca pirómetro :** THOLZ  
**Modelo pirómetro :** MDH  
**Temperatura Calibra :** 110 °C

**LUGAR DE CALIBRACION**

Instalaciones de COLDFIX E.I.R.L.

**METODO DE CALIBRACION**

La Calibración se realizó según el procedimiento de calibración PC-018  
"Procedimiento de Calibración para medios Isotérmicos usando aire  
Como medio conductor"

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GEOLAB EQUIPOS S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**TRAZABILIDAD**

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
TERMOMETRO DIGITAL	DELTA OHM	LT-075-2021	SISTEMA INTERNACIONAL
TERMOMETRO DIGITAL	FLUKE	LT-041-2021	

**CONDICIONES AMBIENTALES**

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	17.1 °C	17.4 °C
HUMEDAD RELATIVA	48%	49%

**CONCLUSIONES**

La estufa se encuentra dentro de los rangos 110 °C ± 5°C para la realización de los ensayos de Laboratorio según la norma ASTM

**OBSERVACIONES**

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color celeste indicando el número del informe y la fecha de la calibración.

  
Carlos E. Ramírez Menéndez  
Gerente General

**INFORME DE CALIBRACION Nº LT-012-2022**

Página : 2 de 3

**CALIBRACION PARA 110 °C**

Tiempo hh:mm	Indicador del Equipo °C	Temperaturas convencionalmente verdaderas expresadas en °C										T. Prom. °C	Δ Tmax °C
		Posicion 1	Posicion 2	Posicion 3	Posicion 4	Posicion 5	Posicion 6	Posicion 7	Posicion 8	Posicion 9	Posicio n 10		
00:00	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:02	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
00:04	109,8	108,5	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
00:06	107,6	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	108,0	5,2
00:08	109,9	108,5	110,8	111,1	112,3	111,9	108,7	106,5	107,1	107,1	110,9	109,5	5,8
00:10	110,4	109,2	112,1	111,4	113,9	112,2	109,3	108,0	109,0	108,3	113,1	110,7	5,9
00:12	112,6	111,3	113,6	112,8	114,7	113,3	112,6	109,2	109,8	110,7	113,9	112,2	5,4
00:14	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:16	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
00:18	109,8	108,5	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
00:20	107,6	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	108,0	5,2
00:22	109,9	108,5	110,8	111,1	112,3	111,9	108,7	106,5	107,1	107,1	110,9	109,5	5,8
00:24	110,4	109,2	112,1	111,4	113,9	112,2	109,3	108,0	109,0	108,3	113,1	110,7	5,9
00:26	112,6	111,3	113,6	112,8	114,7	113,3	112,6	109,2	109,8	110,7	113,9	112,2	5,4
00:28	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:30	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
00:32	109,8	108,5	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
00:34	107,6	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	108,0	5,2
00:36	109,9	108,5	110,8	111,1	112,3	111,9	108,7	106,5	107,1	107,1	110,9	109,5	5,8
00:38	110,4	109,2	112,1	111,4	113,9	112,2	109,3	108,0	109,0	108,3	113,1	110,7	5,9
00:40	112,6	111,3	113,6	112,8	114,7	113,3	112,6	109,2	109,8	110,7	113,9	112,2	5,4
00:42	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:44	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
00:46	109,8	108,5	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4
00:48	107,6	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	108,0	5,2
00:50	109,9	108,5	110,8	111,1	112,3	111,9	108,7	106,5	107,1	107,1	110,9	109,5	5,8
00:52	110,4	109,2	112,1	111,4	113,9	112,2	109,3	108,0	109,0	108,3	113,1	110,7	5,9
00:54	112,6	111,3	113,6	112,8	114,7	113,3	112,6	109,2	109,8	110,7	113,9	112,2	5,4
00:56	113,2	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	111,3	110,7	110,8	111,7	114,7	113,2	4,8
00:58	111,5	111,2	113,1	112,9	115,2	112,3	109,5	109,4	110,4	109,5	113,2	111,7	5,7
01:00	109,8	108,5	110,8	110,5	112,9	112,1	107,4	107,8	108,0	107,6	110,9	109,6	5,4

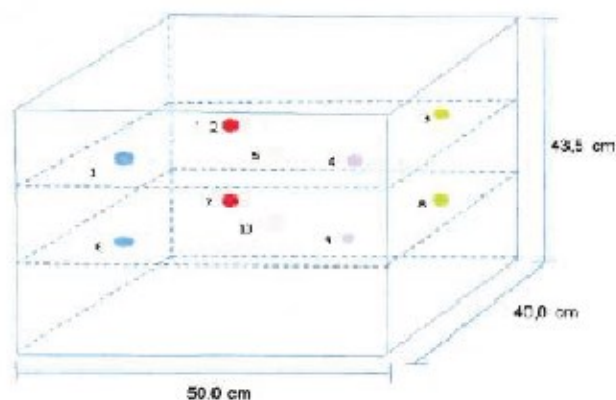
T. Promedio	110,1	112,2	112,0	113,7	112,3	109,3	108,3	108,8	108,7	112,4	Temperatura Promedio General (°C)
T. Maximo	113,1	114,8	114,4	115,6	114,4	112,5	110,7	110,8	111,7	114,7	
T. Minimo	107,2	110,0	110,1	110,9	109,5	106,3	105,8	105,7	105,6	109,4	
DTT	5,9	4,8	4,4	4,7	5,0	6,2	5,0	5,1	6,1	5,3	

Parametro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida °C
Maxima Temperatura Medida	115,6	0,3
Minima Temperatura Medida	105,6	0,2
Desviacion de Temperatura en el Espacio	6,2	0,1
Desviacion de Temperatura en el Tiempo	5,4	0,1
Estabilidad Medida ( ± )	3,08	0,04
Uniformidad Medida	5,9	0,1

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición  
Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.  
La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%

  
Carlos E. Ramirez Mendileta  
CALIBRACION

DISTRIBUCION DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demás sensores se ubicaron a 8 cm de los bordes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura más alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1.5 cm por debajo de la pantalla más baja.

  
Carlos E. Ramirez Mendileta  
CERAM.COM.UY

**INFORME DE CALIBRACION**

**LF - 002 – 2022**

Expediente: 002-2022

Fecha de Emisión: 2022-01-07

Página: 1 de 2

**SOLICITANTE :** COLDFIX E.I.R.L.  
**Dirección :** Cal. San Gregorio nro. 228 Huancayo

**DESCRIPCION DEL EQUIPO :** PRENSA MARSHALL - CBR  
**Marca :** NO INDICA  
**Modelo :** K20  
**Serie :** 604  
**Marca de la Celda :** ZEMIC  
**Modelo de Celda :** H3C-C3-5.0T-6B  
**Serie de Celda :** SP036154  
**Capacidad de Celda :** 5 t  
**Marca del Indicador :** HIGH-WEIGHT  
**Modelo del indicador :** 315-X8  
**Serie del indicador :** 982514525

**LUGAR DE CALIBRACION**

Instalaciones de COLDFIX E.I.R.L.

**METODO DE CALIBRACION**

La Calibración se realizo de acuerdo a la norma ASTM E4

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

GEOLAB EQUIPOS S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**TRAZABILIDAD**

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCER	INF-LE-110	SISTEMA INTERNACIONAL
INDICADOR	AEP TRANSDUCER		

**CONDICIONES AMBIENTALES**

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	18.1 °C	18.4 °C
HUMEDAD RELATIVA	48%	49%

**RESULTADOS DE LA MEDICION**

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

**OBSERVACIONES**

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color celeste indicando el número del informe y la fecha de la calibración.

  
Carlos E. Ramirez Mendileta  
CALLETE 000011

**TABLA N° 1**

SISTEMA DIGITAL "A" Kgf	SERIE DE VERIFICACION (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
500	502,60	503,50	-0,52	-0,70	503,05	-0,61	-0,18
1000	1006,05	1005,05	-0,60	-0,50	1005,55	-0,55	0,10
1500	1503,95	1501,10	-0,26	-0,07	1502,53	-0,17	0,19
2000	2001,15	2000,50	-0,06	-0,03	2000,83	-0,04	0,03
2500	2497,45	2504,15	0,10	-0,17	2500,80	-0,03	-0,27
3000	2996,15	2996,45	0,13	0,12	2996,30	0,12	-0,01
3500	3493,30	3493,05	0,19	0,20	3493,18	0,20	0,01
4000	3985,24	3984,75	0,37	0,38	3985,00	0,38	0,01

**NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN**

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = \frac{(A-B)}{B} \times 100 \quad Rp = \text{Error}(2) - \text{Error}(1)$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación:  $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste :  $y = 1,0049x - 9,5241$

  
Carlos E. Ramírez Menéndez  
CALIBRACION

### ANEXO 3. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general:</b> ¿Cómo afecta el tiempo de acondicionamiento en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca, en la provincia de Huancayo?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Analizar el efecto del tiempo de acondicionamiento en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca, en la provincia de Huancayo.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> El tiempo de acondicionamiento a 90 minutos mejora las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho por vía seca en un 15%, en la provincia de Huancayo.</p>	<p><b>Variable independiente:</b>  Tiempo de acondicionamiento</p>	<p><b>Dimensión 1:</b> Tiempo de acondicionamiento a 45 min</p>	<p>- <b>Indicador 1:</b> Ensayo de muestreo de mezclas MTC E 501 - <b>Indicador 2:</b> Ensayo de análisis mecánico MTC E 503 - <b>Indicador 3:</b> Ensayo por Marshall MTC E 504  - <b>Indicador 1:</b> Ensayo de muestreo de mezclas MTC E 501 - <b>Indicador 2:</b> Ensayo de análisis mecánico MTC E 503 - <b>Indicador 3:</b> Ensayo por Marshall MTC E 504  - <b>Indicador 1:</b> Ensayo de muestreo de mezclas MTC E 501 - <b>Indicador 2:</b> Ensayo de análisis mecánico MTC E 503 - <b>Indicador 3:</b> Ensayo por Marshall MTC E 504</p>	<p><b>Método de investigación:</b> La investigación será analizada por el método científico.  <b>Nivel:</b> El nivel de la investigación es el correlacional.  <b>Tipo:</b> El tipo de investigación es aplicado.  <b>Diseño de investigación:</b> La investigación es cuasi-experimental.  <b>Materiales y métodos:</b> Por observación directa  Fichas de recolección de datos.</p>
<p><b>Problemas específicos:</b> ¿Qué propiedades mecánicas y volumétricas presenta la mezcla asfáltica en condiciones naturales sin tiempo de acondicionamiento?</p>	<p><b>Objetivos específicos:</b> Determinar las propiedades mecánicas y volumétricas que presenta la mezcla asfáltica en caliente bajo condiciones naturales sin tiempo de acondicionamiento</p>	<p><b>Hipótesis específica:</b> Las propiedades mecánicas y volumétricas que presenta la mezcla asfáltica en caliente bajo condiciones naturales sin tiempo de acondicionamiento cumplen los requerimientos Marshall</p>		<p><b>Dimensión 2:</b> Tiempo de acondicionamiento a 90 min</p>		
<p>¿Cuál es comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con distintos porcentajes de adición de caucho?</p>	<p>Establecer el comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con distintos porcentajes de adición de caucho.</p>	<p>El mejor comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada es al 2.00% de adición de caucho</p>	<p><b>Variable dependiente:</b>  Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente</p>	<p><b>Dimensión 1:</b> Estabilidad</p>	<p>- <b>Indicador 1:</b> Ensayo de muestra de materiales MTC E 301 - <b>Indicador 2:</b> Ensayo de análisis mecánico MTC E 503 - <b>Indicador 3:</b> Ensayo por Marshall MTC E 504  - <b>Indicador 1:</b> Ensayo de muestreo de mezclas MTC E 501 - <b>Indicador 2:</b> Ensayo de análisis mecánico MTC E 503 - <b>Indicador 3:</b> Ensayo por Marshall MTC E 504</p>	
<p>¿Cuál es comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho a distintos periodos de acondicionamiento?</p>	<p>Establecer el comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho a distintos periodos de acondicionamiento</p>	<p>El mejor comportamiento que se presentan en las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho es a 90 minutos de acondicionamiento</p>		<p><b>Dimensión 2:</b> Flujo</p>		