



Universidad  
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**INFLUENCIA DEL USO DEL CAUCHO GRANULADO  
RECICLADO Y VIDRIO MOLIDO EN LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO, PARA  
TRÁNSITO LIVIANO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA CIVIL**

**Autor:**

Bach. Carranza Muñoz, Zully Yazmin

<https://orcid.org/0000-0002-9377-4798>

**Asesor:**

Dr. Muñoz Pérez Sócrates Pedro

<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2023**

**“INFLUENCIA DEL USO DEL CAUCHO GRANULADO RECICLADO Y VIDRIO  
MOLIDO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO, PARA  
TRÁNSITO LIVIANO”**

**Aprobación del jurado**

---

Dr. TEPE ATOCHE VICTOR MANUEL

**Presidente del Jurado de Tesis**

---

Mg. SÁNCHEZ DÍAZ ELVER

**Secretario del Jurado de Tesis**

---

Mg. MAHLI HELEM ROJAS HERRERA

**Vocal del Jurado de Tesis**



Universidad  
Señor de Sipán

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy egresado (s) del Programa de Estudios de **Ingeniería Civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro bajo juramento que soy autor del trabajo titulado:

### **INFLUENCIA DEL USO DEL CAUCHO GRANULADO RECICLADO Y VIDRIO MOLIDO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ASFALTO, PARA TRÁNSITO LIVIANO**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Carranza Muñoz, Zully Yazmin	DNI: 73961452	
------------------------------	---------------	--

Pimentel, 04 de mayo del 2023.

\* Porcentaje de similitud turnitin:18%

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS RECORTADA\_ZULLY.docx

RECUESTO DE PALABRAS

13907 Words

RECUESTO DE CARACTERES

72328 Characters

RECUESTO DE PÁGINAS

85 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

769.7KB

FECHA DE ENTREGA

Aug 18, 2023 3:39 PM GMT-5

FECHA DE INFORME

Aug 18, 2023 3:40 PM GMT-5

#### ● 18% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cross

#### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)
- Material citado

## **Dedicatoria**

La presente Tesis está dedicada para mis queridos hermanos menores, Oscar Junior y Frank Jordyn, quienes me motivaron para culminar mi carrera profesional, realizando un paso más en mi vida profesional; demostrarles que con esfuerzo y dedicación las metas se logran alcanzar, los sueños se hacen realidad; se los dedico con mucho amor y orgullo.

Carranza Muñoz, Zully Yazmín

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis amados padres, Oscar Marín y Elsa Esperanza, por sus esfuerzos en darme una buena educación, sus enseñanzas día a día; también me siento muy agradecida con mi adorable hermana mayor Evelyn Katheryne por su amor, su paciencia y por darme su apoyo cuando más lo necesitaba; finalmente a mi querida amiga Nathaly Alvites Irigoín, quien me motivo con hermosas palabras de aliento, consejos inolvidables; a todos ustedes los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

Carranza Muñoz, Zully Yazmín

## Índice

Dedicatoria .....	4
Agradecimientos.....	5
Índice de tablas.....	9
Índice de figuras .....	11
Resumen .....	15
Abstract.....	16
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1. Realidad problemática.....	17
1.2. Formulación del problema .....	26
1.3. Hipótesis .....	26
1.4. Objetivos .....	26
1.5. Teorías relacionadas al tema .....	27
1.5.1. Variable Dependiente: Propiedades físico-mecánicas del asfalto	27
1.5.1.1. Asfalto .....	27
1.5.1.2. Propiedades de Mezcla Asfáltica.....	31
1.5.1.2.1. Estabilidad de Marshall .....	32
1.5.1.2.2. Ensayo de Estabilidad y Flujo de Marshall .....	32
1.5.1.2.3. Durabilidad de una Pavimento Asfáltico.....	32
1.5.2. Variable Independiente: Caucho reciclado y vidrio molido .....	33
1.5.2.1. Caucho Granulado.....	33
1.5.2.2. Vidrio .....	35

<b>II. MATERIALES Y MÉTODO.....</b>	<b>38</b>
<b>2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....</b>	<b>38</b>
2.1.1. Tipo de la investigación:.....	38
2.1.2. Diseño de investigación: .....	38
<b>2.2. Variables, Operacionalización .....</b>	<b>38</b>
2.2.1. Variables .....	38
2.2.2. Operacionalización de variables .....	38
<b>2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección .....</b>	<b>42</b>
2.3.1. Población.....	42
2.3.2. Muestra .....	42
<b>2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad</b>	<b>43</b>
<b>2.5. Procedimiento de análisis de datos .....</b>	<b>45</b>
2.5.1. Diagrama de flujo .....	45
<b>2.6. Criterios éticos.....</b>	<b>47</b>
<b>2.7. Criterio de Rigor Científico .....</b>	<b>47</b>
2.7.1. Validez.....	47
2.7.2. Confiabilidad .....	47
2.7.3. Replicabilidad.....	47
<b>III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1. Resultados en tablas y figuras .....</b>	<b>48</b>
3.1.1. Evaluación de las características de los agregados, y su combinación para un diseño de mezcla asfáltica modificada .....	48

3.1.1.1.	Propiedades del agregado fino .....	48
3.1.2.	Evaluación de las propiedades de los diseños de mezcla asfáltica .	54
3.2.	Discusión de resultados.....	98
3.2.1.	Discusión 1 .....	98
3.2.2.	Discusión 2.....	98
3.2.3.	Discusión 3.....	99
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	100
4.1.	Conclusiones .....	100
4.2.	Recomendaciones .....	101
	REFERENCIAS.....	102
	ANEXOS .....	106



## Índice de tablas

<b>Tabla I</b> Composición química del asfalto .....	28
<b>Tabla II</b> Operacionalización de variable independiente.....	39
<b>Tabla III</b> Operacionalización de variable independiente.....	40
<b>Tabla IV</b> Operacionalización de variable dependiente .....	41
<b>Tabla V</b> Número de muestras para ensayo de método de Marshall .....	42
<b>Tabla VI</b> Número de muestras para ensayo de método de Marshall .....	43
<b>Tabla VII</b> Número de muestras para ensayo de método de Marshall .....	43
<b>Tabla VIII</b> Resultados de ensayos para agregado fino – arena fina .....	48
<b>Tabla IX</b> Resultados Obtenidos de ensayo granulométrico – arena fina .....	49
<b>Tabla X</b> Resultados de ensayos para agregado fino – arena gruesa .....	50
<b>Tabla XI</b> Resultados de ensayos para agregado fino – arena gruesa .....	51
<b>Tabla XII</b> Resultados de ensayos para agregado grueso – piedra triturada .....	52
<b>Tabla XIII</b> Resultados Obtenidos de ensayo granulométrico – piedra triturada .....	53
<b>Tabla XIV</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño patrón .....	54
<b>Tabla XV</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con vidrio molido al 3%.....	58
<b>Tabla XVI</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con vidrio molido al 5%.....	61
<b>Tabla XVII</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con vidrio molido al 7%.....	65
<b>Tabla XVIII</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con vidrio molido al 10%..	69
<b>Tabla XIX</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con 3% caucho granulado .	73
<b>Tabla XX</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño modificado con 5% caucho granulado.....	77
<b>Tabla XXI</b> Dosificación de agregados .....	77
<b>Tabla XXII</b> Resumen de resultados de gráficos con el método Marshall al 5% de caucho granulado.....	81
<b>Tabla XXIII</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño modificado con caucho al 7%.....	82
<b>Tabla XXIV</b> Dosificación de agregados.....	82
<b>Tabla XXV</b> Resumen de resultados de gráficos con el método Marshall al 7% de caucho granulado.....	86
<b>Tabla XXVI</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño modificado con 10% caucho granulado.....	87
<b>Tabla XXVII</b> Dosificación de agregados.....	87

<b>Tabla XXVIII</b> Resumen de resultados de gráficos con el método Marshall al 10% de caucho granulado.....	91
<b>Tabla XXIX</b> Resultados óptimos de ensayos de mezcla asfáltica.....	92
<b>Tabla XXX</b> Resultados óptimos de ensayos de mezcla asfáltica incorporando caucho granulado.....	92
<b>Tabla XXXI</b> Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño con 7% vidrio y 3% caucho triturado .....	93
<b>Tabla XXXII</b> Dosificación de agregados.....	93
<b>Tabla XXXIV</b> Resumen de resultados de gráficos con el método Marshall al 7% VM y 3% de CGR .....	98

## Índice de figuras

Figura 1. Fabricación de productos asfálticos .....	30
Figura 2. Trabajos de bacheo con mezcla asfáltica según Vercelli, (2021).....	31
Figura 3. Descripción del proceso por vía húmeda según repository.ucatolica.edu. p .....	35
Figura 4. Pavimento flexible según <a href="https://bitafal.com.uy/primer-tramo-con-polvo-de-vidrio-reciclado">https://bitafal.com.uy/primer-tramo-con-polvo-de-vidrio-reciclado</a> .....	37
Figura 5. Análisis granulométrico del agregado fino .....	50
Figura 6. Curva granulométrica de la arena gruesa .....	52
Figura 7. Curva granulométrica de la piedra triturada .....	54
Figura 8. Porcentaje de vacíos con el Método Marshall.....	55
Figura 9. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con el Método Marshall.....	55
Figura 10. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico.....	56
Figura 11. Estabilidad con el Método Marshall .....	56
Figura 12. Flujo con el Método Marshall .....	57
Figura 13. Índice de rigidez con el Método Marshall .....	57
Figura 14. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 3% vidrio molido .....	58
Figura 15. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 3% vidrio molido .....	59
Figura 16. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 3% vidrio molido ..	59
Figura 17. Estabilidad con el Método Marshall, con 3% vidrio molido.....	60
Figura 18. Flujo con el Método Marshall con 3% vidrio molido .....	60
Figura 19. Índice de rigidez con el Método Marshall con 3% vidrio molido.....	61
Figura 20. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 5% vidrio molido .....	62
Figura 21. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 5% vidrio molido .....	62
Figura 22. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 5% vidrio molido ..	63
Figura 23. Estabilidad con el Método Marshall, con 5% vidrio molido.....	63
Figura 24. Flujo con el Método Marshall con 5% vidrio molido .....	64

<b>Figura 25. Índice de rigidez con el Método Marshall con 5% vidrio molido.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 26. Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 7% vidrio molido .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 27. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 7% vidrio molido .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 28. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 7% vidrio molido .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 29. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 7% vidrio molido ..</b>	<b>67</b>
<b>Figura 30. Estabilidad con el Método Marshall, con 7% vidrio molido.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 31. Flujo con el Método Marshall con 7% vidrio molido .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 32. Índice de rigidez con el Método Marshall con 7% vidrio molido.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 33. Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 10% vidrio molido .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 34. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 10% vidrio molido .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 35. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 10% vidrio molido .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 36. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 10% vidrio molido</b>	<b>71</b>
<b>Figura 37. Estabilidad con el Método Marshall, con 10% vidrio molido.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 38. Flujo con el Método Marshall con 10% vidrio molido .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 39. Índice de rigidez con el Método Marshall con 10% vidrio molido.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 40. Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 3% caucho granulado .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 41. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 3% caucho granulado ....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 42. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 3% de caucho granulado</b>	<b>74</b>
<b>Figura 43. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 3% de caucho granulado .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 44. Estabilidad con el Método Marshall, con 3% de caucho granulado .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 45. Flujo con el Método Marshall con 3% de caucho granulado.....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 46. Índice de rigidez con el Método Marshall con 3% de caucho granulado ....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 47. Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 5% caucho granulado .....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 48. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 5% caucho granulado ....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 49. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 5% de caucho granulado</b>	<b>79</b>

<b>Figura 50. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 5% de caucho granulado .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 51. Estabilidad con el Método Marshall, con 5% de caucho granulado .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 52. Flujo con el Método Marshall con 5% de caucho granulado.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 53. Índice de rigidez con el Método Marshall con 5% de caucho triturado .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 54. Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 7% caucho granulado .....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 55. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 7% caucho granulado ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 56. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 7% de caucho granulado .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 57. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 7% de caucho granulado .....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 58. Estabilidad con el Método Marshall, con 7% de caucho granulado .....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 59. Flujo con el Método Marshall con 7% de caucho granulado.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 60. Índice de rigidez con el Método Marshall con 7% de caucho granulado ....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 61. Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 10% caucho granulado .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 62. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 10% caucho granulado ..</b>	<b>88</b>
<b>Figura 63. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 10% de caucho granulado .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 64. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 10% de caucho granulado .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 65. Estabilidad con el Método Marshall, con 10% de caucho granulado .....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 66. Flujo con el Método Marshall con 10% de caucho granulado.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 67. Índice de rigidez con el Método Marshall con 10% de caucho granulado ..</b>	<b>91</b>
<b>Figura 68. Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 3% caucho granulado .....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 69. Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 3% caucho granulado ....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 70. Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 3% de caucho granulado</b>	<b>95</b>

<b>Figura 71. Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 3% de caucho granulado .....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 72. Estabilidad con el Método Marshall, con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado. ....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 73. Flujo con el Método Marshall con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado .....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 74. Índice de rigidez con el Método Marshall con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado. ....</b>	<b>97</b>

## Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo elaborar un diseño de mezcla asfáltica para tránsito liviano sustituyendo el agregado fino por caucho granulado reciclado (CGR) y vidrio molido (VM). Se realizó el diseño de muestra patrón y con la sustitución al 3%, 5%, 7% y 10% de CGR y VM, así como la combinación de cada agregado reciclado, se realizaron 150 muestras de diseño y se ensayaron con el Método Marshall. Los resultados nos muestran que el porcentaje óptimo de CGR es al 3% cumpliendo los parámetros del MTC, el porcentaje óptimo de VM es al 7%, pero el VM al 3%, 5% y 10% también cumplen con los parámetros del MTC para tránsito liviano; la combinación de los agregados reciclados mostró que la combinación de óptimos al 7% de VM y 3% CGR, con un 5.75% de cemento asfáltico, tiene un % vacíos del 3.6%, un flujo de 25.2 mm., una estabilidad 11.91 kN e índice de rigidez de 3144, cumpliendo los parámetros del MTC, pero el flujo sobrepasa el rango especificado en el MTC, para tránsito liviano. Se concluyó que sus propiedades de la mezcla asfáltica mejoran con los porcentajes de VM de manera independiente; y con la combinación de ambos porcentajes óptimos de agregados reciclados, porque cumplen los parámetros del MTC para tránsito liviano.

**Palabras Clave:** Caucho granulado reciclado, vidrio molido, método Marshall, tránsito liviano.

## Abstract

The objective of this research was to develop an asphalt mix design for light traffic by substituting the fine aggregate with recycled granulated rubber (RGC) and ground glass (RGV). The design of the standard sample was carried out and with the substitution of 3%, 5%, 7% and 10% of RGC and MV, as well as the combination of each recycled aggregate, 150 design samples were made and tested with the Marshall Method. The results show that the optimum percentage of CGR is 3% complying with the MTC parameters, the optimum percentage of VM is 7%, but the VM at 3%, 5% and 10% also comply with the MTC parameters for light traffic; the combination of recycled aggregates showed that the optimum combination of 7% VM and 3% CGR, with 5.75% of asphalt cement, has a void ratio of 3.6%, a flow of 25.2 mm, a stability of 11.91 kN and a stability of 11.91 kN, The stability 11.91 kN and stiffness index of 3144, meeting the parameters of the MTC, but the flow exceeds the range specified in the MTC, for light traffic. It was concluded that the properties of the asphalt mix improve with the MV percentages independently; and with the combination of both optimal percentages of recycled aggregates, because they meet the parameters of the MTC for light traffic.

**Keywords:** recycled granulated rubber, ground glass, Marshall method, light traffic.



## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática.

El aumento en la producción industrial de llantas de autos dará lugar a un aumento de los residuos, lo que dará lugar a procesos y destinos finales complejos, costosos y ecológicamente insostenibles. El mayor uso de diversos desechos obtiene provechos en el ámbito de ambiente y economía. Una de estas iniciativas está dirigida a pavimentos asfálticos y utiliza materiales desechables como estabilizadores de suelos para construir innovadores diseños de pavimento [1].

Además, debido a la gran cantidad de residuos, la capacidad de uso es muy grande, minimizando la contaminación y lo que influye en el medio ambiente; debido a la inclinación por proteger nuestro medio ambiente, el potencial para reutilización de diversos residuos está atrayendo la atención del público. Sin embargo, es limitada la aplicación de residuos de caucho granulado, que no existe muchos estudios sobre ello, por eso se busca que el caucho sea una nueva alternativa para su incorporación en las mezclas asfálticas, ayudando dar sostenibilidad a la acumulación de estos residuos [2].

La exportación del caucho contribuyó positivamente en su economía en los últimos años, pero esto ha ido causando que se produzcan mayores desechos, este problema ambiental ha ido creciendo ya que a estos residuos no les dan una reutilización. Las investigaciones han indicado que los materiales de este desecho se pueden usar con éxito como relleno, agregado y modificador de asfalto en mezclas asfálticas [3].

La producción de mezclas asfálticas suele ser costosa e insostenible; los investigadores deben hallar el diseño adecuado y materiales para mejorar la eficiencia de la construcción de carreteras y extender la vida útil de la superficie de la carretera, para ello y ante nuevas alternativas de solución, por su elevado precio por los materiales que se usa para su producción, el caucho es un material que puede ser una opción para dar una reutilización en este tipo de mezclas asfálticas supliendo el polvo mineral. [4].

El uso de vidrio de desecho en mezclas de asfalto reduce no solo la absorción de betún, sino también los impactos ambientales adversos asociados con la eliminación de vidrio de desecho debido a la naturaleza no metálica e inorgánica de los desechos de vidrio, lo que hace que sea imposible desecharlos en incineradores o rellenos sanitarios, para ello una alternativa de solución, los investigadores buscan incorporar el vidrio molido en los nuevos diseños de mezclas asfálticas, ayudando a dar sostenibilidad a este tipo de residuo que se propague en nuestro ambiente [5].

La búsqueda de la sostenibilidad en la infraestructura de pavimentos se centra principalmente en el reciclaje de materiales usados, como material agregado de cantera, materiales de pavimento asfáltico recuperado y hormigón triturado. Para ello se busca incluir los residuos de caucho para ir erradicando su aumento y disminuir costos en la producción de mezcla asfáltica en la industria del pavimento, varios investigadores e industrias de transporte han realizado esfuerzos para aumentar el uso de materiales reciclados en proyectos de construcción y rehabilitación de carreteras para mitigar los problemas relacionados con el almacenamiento y fomentar la adopción de materiales de pavimento sostenibles [6].

Un pavimento necesita primordialmente una buena base, para que pueda resistir grandes cargas, y a la vez se acomode a las circunstancias que se presentan en el área del tránsito en grandes tensiones. La base de un pavimento convencional no tiene la capacidad de adaptarse al desarrollo actual de un pavimento inteligente en China por su estructura única, el dilema difícil del pavimento y su precio elevado de sostenimiento. Una base de macadán se acomoda a distintos tipos de tensión externos, mediante su propia reordenación de partículas pétreas, de esta manera evitar que se raje la base del pavimento por los distintos factores que se presentan. Por lo tanto, se percibe que este proceso ayudara a aumentar el desarrollo en los pavimentos en China [7].

Los pavimentos compuestos por bitúmenes necesitan de un sostenimiento prolongado a causa de la gran circulación de tráfico con cargas altas y a factores climáticos, a su vez

también necesitan la cual ayuda a sostener una cantidad superior de tráfico. La implementación de un modelo de desarrollo de pavimentos que necesita agregados pétreos triturados y aglomerante bituminoso, los cuales están teniendo problemas por la alta demanda de estos productos y su costo elevado. Por este motivo se está implementando nuevos métodos para encontrar materiales alternativos que puedan ayudar a contener este problema que se presenta hoy en día y a la vez puedan cumplir los requerimientos solicitados en las normas vigentes [8].

La conciencia de la degradación de la capa de asfalto es un problema que se intenta resolver mediante el desarrollo de nuevas aplicaciones técnicas y la mejora de la calidad y longevidad. Hacer una modificación de asfalto sería una técnica novedosa que se utiliza para hacer un uso eficaz del asfalto en el pavimento. Esta técnica agrega a una mezcla de asfalto regular donde mejora sus propiedades físico-mecánicas, un nuevo material que pueda sustituir a otro, o también pueda usarse como aglomerante, para ello una alternativa es los residuos de vidrio en fibra que busca incorporarse en los nuevos diseños de mezclas asfálticas, permitiendo también ir eliminando su acumulación en nuestro planeta. [9].

La acumulación de residuos de vidrios ha ido creciendo, por eso se ha sumado un problema ambiental más, ya que de no ser reciclado se ha ido acumulado en vertederos u otros lugares que ya están colapsando por su acumulación, los investigadores buscan dar una solución para este problema que enfrentamos, para ello el polvo de vidrio se busca incluir como alternativa de uso en las mezclas asfálticas, esperando se pueda mejorar sus propiedades, para poder ser usado en el ámbito de la ingeniería civil. [10]

En Trujillo no hay un sistema sobre gestión en pavimento, ya que el deterioro del pavimento es continuo debido a varios factores, como el diseño y el medio ambiente, y el mantenimiento no se realiza según sea necesario. Otro problema es un aumento del tráfico, es decir, un aumento de la demanda de pavimentos. El mayor daño que se da por gradiente de temperatura del hormigón bituminoso es su principal causa correspondiente al deterioro de un hormigón bituminoso, para ello se busca incorporar nuevos materiales que ayuden a

mejorar sus propiedades [11].

Hoy en día se tiene dificultades vías de tránsito, hay demasiados errores en las vías pavimentadas, que no están diseñadas como rige la NTP, otro problema son las autoridades, que no cumplen con su deber de mantener en buen estado los pavimentos y no buscan alternativas para que puedan solucionarlos, las ciudades del centro del Perú, sufren aún más este tipo de problemas los pavimentos, porque no se les da el mantenimiento que se debe, las vías de tránsito con el pasar de los años van sufriendo problemas en su estructura debido a problemas físicos o por las patologías del ambiente, y esto genera desgaste, agrietamiento, esto hace que la estructura del pavimento se valla deteriorando [12].

En los últimos años, la congestión en el tráfico de automóviles ha ido en aumento en el Perú, es porque no tenemos muchas carreteras auxiliares, ni carreteras auxiliares en caso de emergencia; por este motivo ha causado muchos problemas a la red de carreteras de carros con mayor peso, medianos y ligeros, por eso necesario hacer mantenimiento y restauración de aceras en todas las zonas del país. Las rutas de tráfico suelen tener problemas como agujeros, grietas, piel de cocodrilo, etc. debido al alto volumen de tráfico, por lo que es necesario encontrar soluciones prácticas para poder construir. vida útil sin exceder el costo y proceso de construcción [13].

En la actualidad en el Perú con respecto a las vías de tránsito es uno de los temas principal a nivel nacional, por la mayor deficiencia de las vías pavimentadas, que necesitan reparaciones urgentes por una ruta estructurada de mayor solidez y durabilidad. Es muy importante averiguar lo que ocasiona estos daños y abordarlos de manera efectiva, permitiendo que el país continúe operando; ya que las aceras son el enlace vial más utilizado en la tierra y permiten comunicarnos desde sitios diferentes siempre y cuando las vías estén en excelente estado y podrán movilizar, a las partes más remotas del país donde aún no se cuenta con un acceso adecuado [14].

El exceso de materiales residuales han ocasionado que su acumulación reduzca espacios en nuestro ambiente, causando daños en el ecosistema, propusieron que estos

elementos podrían usarse como agregados de varias estructuras en aplicaciones de ingeniería civil entre ellas tenemos las fibras de vidrio, que se busca utilizar en los nuevos pavimentos modificados, para ello se busca incorporar en las mezclas asfálticas como un nuevo material constructivo en la construcción de carreteras [15].

A lo largo de los años, la construcción en Chiclayo ha encontrado incógnitas debido a suelos ineficientes, afloramientos o niveles de agua poco profundos asociados con suelos saturados y capas de asfalto inadecuadas de vehículos que pasan por cada área. Debido a las limitaciones presupuestarias, las soluciones actuales no son económicamente sostenibles; Debemos priorizar porque se hacen alfombras de asfalto para las situaciones más duras, proponer medio de solución o mejorar las antiguas formas [16].

Más del 50% de la población Chiclayana tiene el problema de su pavimento flexible. Uno de las problemáticas más comunes en la ciudad es el envejecimiento prematuro del pavimento por diversas razones. Por mantenimiento mínimo y reparaciones tempranas, pérdidas económicas e inestabilidad de la población, para ello se busca dar solución a estos problemas, usando los materiales de residuo como alternativas para que puedan mejorar sus propiedades de las mezclas asfálticas [17].

De algunas de las cualidades más adecuadas que debe tener una mezcla de asfalto caliente, la estabilidad y facilidad de flujo, la calidad de la que dependen el rendimiento y la durabilidad del pavimento es en gran medida, por el gran deterioro de pavimentos flexibles se está buscando soluciones que ayuden a mejorar sus propiedades, para ellos la escoria de acero busca sustituir de manera parcial los agregados pétreos, porque su excesiva explotación está causando la insostenibilidad de estos recursos naturales. [18].

[19], en su investigación “Desafíos técnicos de utilizar caucho de llantas molidas en Pavimentos de asfalto en los Estados Unidos”. Tuvo como objetivo analizar las propiedades del asfalto incorporando caucho de llantas recicladas en polvo. La metodología que se aplicó fue añadir porcentajes de caucho en polvo de 5% y 10%, con aglutinante. Los resultados obtenidos muestran que el asfalto con polvo de caucho en un ensayo a fatiga muestra una

mejora en un 17,6 % y en módulo dinámico muestra una mejora del 11,8%. Se concluyó que el asfalto modificado con polvo de caucho tiene un mejor rendimiento como su resistencia y fatiga por lo tanto es viable usarlo en el ámbito constructivo de carreteras.

En USA [20], en su investigación “Investigación de rendimiento de laboratorio y campo de mezclas asfálticas modificadas con caucho triturado prehinchado”. Tuvo como objetivo analizar las características del caucho modificado para capas superficiales e intermedias. La metodología que se uso fue incorporar un porcentaje de 0.6% de caucho triturado en el volumen total de la mezcla asfáltica en probetas de concreto asfáltico. Los resultados obtenidos muestran que la resistencia a tracción de en diseño convencional es de 2.9 kN y de la muestra modificada es de 2.87 kN, la energía de fractura para ambos diseños es de 0.346 J y 0.754 J. Se concluyó que esta técnica novedosa si cumple los parámetros requeridos para ser usado en el ámbito de construcción de carreteras, por lo tanto, es viable su uso ya que permite dar sostenibilidad a los residuos de caucho.

En Egipto [21], en su investigación “Efecto de la adición de fibra de vidrio sobre las propiedades de la mezcla asfáltica”. Tuvo como objetivo analizar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente agregando fibra de vidrio, para estimar el contenido óptimo. La metodología que se uso fue añadir porcentajes de 0.25%, 0.5%, 0.75% y 1.0% de fibra de vidrio en el volumen total de la mezcla, aplicando pruebas de Marshall Stability. Los resultados que se obtuvieron con el porcentaje óptimo fueron comparados con los límites de especificación de las propiedades Marshall, por lo tanto, su estabilidad que se obtuvo fue de 1615 kg. para un límite mínimo de 900 kg., en su caudal se tuvo 3.3 mm. para 2-4 mm., la rigidez obtenida fue de 489 kg/mm. para 300-500 kg/mm., respectivamente. Se concluyó que el porcentaje optimo fue al 0.25%, ya que su incorporación mejora las propiedades indicadas en porcentajes entre el 10% y 20%, por encima de la mezcla asfáltica control.

En la India [22], en su investigación “Utilización de Rellenos de Residuos de Polvo de Vidrio y Compuestos de Vidrio en Pavimentos Asfálticos”. Tuvo como objetivo conocer las propiedades de una mezcla asfáltica incorporando polvo de vidrio en sustituto del polvo de

pedra, para saber la viabilidad de este nuevo diseño. La metodología que se uso fue aplicar el polvo de vidrio en porcentajes del 4%, 5.5%, 7% y 8.5% del volumen total de la mezcla, usando el método de Marshall. Los resultados que se obtuvieron en la estabilidad de Marshall, con su desviación estándar en los porcentajes indicados fueron de 12.98 kN-0.46, 13.46 kN-0.52, 14.93 kN-0.88 y 14.52 kN-0.62, respectivamente, su deformación fue de 0.075 mm., 0.067 mm., 0.045 mm. y 0.032 mm., con una desviación estándar de 0.01 mm., respectivamente. Se concluyó que incorporar residuos de polvo de vidrio mejora las propiedades de la nueva mezcla asfáltica modificada.

En Egipto [23], en su investigación "Propiedades a corto y largo plazo de mezclas asfálticas reforzadas con fibra de vidrio". Tuvo como objetivo analizar las características de los diseños asfálticos incorporando fibras de vidrio. La metodología que se uso fue incorporar fibras de vidrio de 6mm y 12 mm de tamaño, aplicando el método estándar de Marshall. Los resultados que se obtuvieron para el módulo resiliente a 25 °C, en la muestra control fue de 3000 MPa, y para las muestras con las fibras de vidrio indicadas fueron de 4000 MPa y 4500 MPa, respectivamente. Se concluyó que el uso de fibras de vidrio da un mejor rendimiento en las propiedades de las mezclas asfálticas, por lo tanto, es un estímulo que puede ser usado en el ámbito constructivo de pavimentos bituminosos.

En China [24], en su investigación "Evaluación en laboratorio de asfaltos emulsionados reforzados con fibra de vidrio tratados con diferentes métodos". Tuvo como objetivo analizar el rendimiento mecánico de las mezclas asfálticas incorporando fibras de vidrios. La metodología que se aplicó fue incorporar fibra de vidrio en un porcentaje del 3%, con un diámetro de 0.60 mm., en el peso total de la mezcla control. Los resultados que se obtuvieron en la muestra control para un ensayo de esfuerzo a tensión en una temperatura de 0 °C y 10 °C, fue de 0.44 MPa y 0.59 MPa, y para las mezclas modificadas fue de 0.68 MPa y 0.75 MPa, respectivamente. Se concluyo que la aplicación de fibra de vidrio si es viable en el desarrollo de mezclas asfálticas ya que sus características muestran una mejora en sus propiedades.

En Trujillo [25], en su investigación “Efecto del vidrio molido reciclado en la elaboración de mezcla asfáltica en caliente, utilizando agregados de la cantera La Soledad”. Tuvo como objetivo utilizar vidrio molido para hacer mezcla asfáltica en caliente, evaluando sus características mecánicas. La metodología que se aplica son mezclas de mezclas asfálticas añadiendo vidrio molido en porcentajes 2.5%, 5%, 7,5% y 10% del volumen total de la mezcla. Como resultados se determinó que a los 28 días de curado la muestra con vidrio molido con el porcentaje mínimo tuvo 3.5 MPa de resistencia a la flexión, muy por encima del modelo patrón 2.08 MPa. Concluyendo que, al evaluar y comparar los resultados de estabilidad y flujo, la mezcla asfáltica con el vidrio molido varía de manera ascendente.

En Piura [26], en su investigación “Uso del vidrio reciclado en el diseño de mezcla asfáltica para la Av. Chulucanas entre Av. Sánchez Cerro y Av. Principal de Santa Margarita-Piura, 2018”. Tuvo como objetivo analizar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente agregando vidrio reciclado, para estimar el contenido óptimo. La metodología que se usó fue añadir porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% de vidrio reciclado en el volumen total de la mezcla, aplicando pruebas de Estabilidad de Marshall. Los resultados que se obtuvieron con el porcentaje óptimo fueron comparados con los límites de especificación de las propiedades Marshall, por lo tanto, su estabilidad que se obtuvo fue de 18 MPa, para un límite mínimo de 12 MPa, respectivamente. Se concluyó que el porcentaje óptimo fue al 1%, ya que su incorporación mejora las propiedades indicadas en porcentajes entre el 18% y 25%, por encima de la mezcla asfáltica control.

En Lima [27], en su investigación “Comportamiento de la mezcla asfáltica agregando caucho reciclado en pavimentos flexibles, Ate, Lima-Perú, 2018”. Tuvo como objetivo analizar las propiedades del asfalto incorporando caucho triturado. La metodología que se aplicó fue incorporar caucho granulado en porcentajes del 5%, 10% y 15% del volumen total del asfalto. Los resultados que se obtuvieron fue que incorporando los porcentajes de caucho granulado la ductilidad del asfalto fue variando, al 12% tuvo 60 mm, al 17% tuvo 67 mm. y al 25% tuvo 97 mm. Se concluyó que la incorporación de caucho granulado mejora la flexibilidad del asfalto



por lo tanto varía de manera creciente la ductilidad de la mezcla asfáltica ya que el estímulo es un elemento elástico.

En Lima [28], en su investigación “Incorporación de caucho reciclado en las mezclas asfálticas para mejorar pavimentos flexibles en la Ciudad de Lima, Perú 2019”. Tuvo como objetivo evaluar las propiedades del asfalto modificadas con caucho granulado, como fluidez y estabilidad. La metodología que se aplicó fue incorporar porcentajes de 10% y 15% en el peso total de la mezcla asfáltica. Los resultados que se obtuvieron en una mezcla asfáltica convencional en su resistencia a la corte fueron de 10 MPa, las muestras modificadas son de 12 MPa y 13.2 MPa, respectivamente; el módulo resiliente en la muestra control es de 5600 MPa y de las muestras con caucho granulado es de 6250 MPa y 9980 MPa, respectivamente. Se concluyó que es tipo de mezclas modificadas son recomendables ya que permiten evitar los daños por humedad, ya que muestran una mejor resistencia.

En Piura [29], en su investigación “Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura”. Tuvo como objetivo conocer las propiedades de una mezcla asfáltica incorporando polvo de caucho en sustituto del polvo mineral. La metodología que se usó fue aplicar el polvo de caucho en porcentajes del 7.5%, 10%, 12.5% y 15% del volumen total de la mezcla, usando el método de Marshall. Los resultados que se obtuvieron en la estabilidad de Marshall, en los porcentajes indicados fueron de 6 MPa, 8.5 MPa, 10 MPa y 12.5 MPa, respectivamente, su deformación fue de 0.060 mm., 0.052 mm., 0.040 mm. y 0.028 mm., con una desviación estándar de 0.01 mm., respectivamente. Se concluyó que incorporar residuos de caucho en polvo mejora las propiedades de la nueva mezcla asfáltica modificada.

La presente investigación dispone una opción de la reutilización de caucho granulado reciclado y vidrio molido para la producción de mezcla asfáltica, con el fin de poder ver sus características mecánicas, que podrían ser utilizados en la construcción de diferentes obras de carreteras, de la misma forma brindará un amplio panorama de la utilización del caucho granulado reciclado y vidrio molido en mezclas asfálticas para así evidenciar una alternativa

económica para procesos de descontaminación reciclándolos y reutilizarlos para la elaboración de mezcla asfáltica.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye la incorporación del caucho granulado reciclado y vidrio molido en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica en porcentajes de 3%, 5%, 7% y 10%?

## **1.3. Hipótesis**

El uso de caucho granulado reciclado y vidrio molido en porcentajes de 3%, 5%, 7% y 10% incorporando en el diseño de mezcla asfáltica convencional, mejora sus propiedades mecánicas, para tránsito liviano.

## **1.4. Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar las características mecánicas de la mezcla asfáltica incorporando caucho granulado reciclado y vidrio molido, para tránsito liviano.

### **Objetivos específicos**

- Identificar la calidad de los agregados, para el diseño de mezcla asfáltica convencional y diseño modificado.
- Analizar las propiedades de un diseño de mezclas asfáltica convencional, utilizando el método Marshall.
- Determinar las propiedades de un diseño de mezcla asfáltica incorporando porcentajes del 3%, 5%, 7% y 10% de caucho granulado reciclado y vidrio molido, sustituyendo al agregado fino, con el método Marshall.
- Identificar el contenido óptimo de asfalto para mi diseño de mezcla patrón y diseño modificado.
- Determinar el porcentaje óptimo de caucho granulado reciclado y vidrio molido a incorporar en el diseño de mezcla asfáltica convencional.
- Evaluar las propiedades para tránsito liviano, en la mezcla convencional y con porcentajes

de caucho granulado y vidrio molido.

## **1.5. Teorías relacionadas al tema**

### **1.5.1. Variable Dependiente: Propiedades físico-mecánicas del asfalto**

#### **1.5.1.1. Asfalto**

Se considera un sistema de hidrocarburos coloidales complejo en el que es difícil distinguir claramente entre fases continuas y dispersas. [30]

En la literatura, se utilizan diferentes términos para referirse a materiales a base de petróleo utilizados como aglutinantes para agregados en pavimentos de asfalto. Los aglutinantes bituminosos se denominan cementos bituminosos en la literatura norteamericana y bituminosa en la literatura europea. En el Perú se le llama hormigón bituminoso CAPPEN y existen diferentes tipos según sus propiedades. La composición y estructura química del ligante bituminoso es importante porque es la propiedad que gobierna fundamentalmente el comportamiento reológico del material. [31]

Los componentes químicos de cemento asfáltico se pueden identificar como asfáltenos y maltenos. Los maltenos se pueden subdividir en tres grupos de resinas saturadas, aromáticas. La naturaleza polar de las resinas proporciona al asfalto sus propiedades adhesivas. También actúan como agentes dispersantes para los asfáltenos. Proporcionan propiedades de adherencia y ductilidad para el asfalto materiales. Las propiedades viscoso-elásticas del asfalto y como ligante de pavimento están determinadas por los diferentes porcentajes entre la fracción de asfáltenos y maltenos. [32]

Básicamente, la brea se compone de varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y pequeñas cantidades de azufre, nitrógeno y otros elementos. Cuando el asfalto se disuelve en un solvente como el heptano, se separa en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.

Las resinas son una fracción semisólida de peso intermedio formado por anillos aromáticos con cadenas laterales. Además, resinas son moléculas polares que actúan como agentes peptizantes para prevenir moléculas de asfaltenos de la coagulación [33]. En

general, los asfaltenos producen la mayor parte del betún, mientras que las resinas contribuyen a la adhesión y la ductilidad y los aceites influyen en las propiedades de flujo y viscosidad. Según la microestructura y el sistema coloidal, los asfaltenos se difunden en una matriz aceitosa de maltenos, envuelto por una cáscara de resinas por lo que su espesor varía con la temperatura que se está probando. Por lo tanto, el betún La composición y las temperaturas dependen en gran medida de la propiedades mecánicas y microestructura del betún y en el grado de aromatización de los maltenos y la concentración de asfaltenos. [34]

**Tabla I**

Composición química del asfalto

<b>ELEMENTO</b>	<b>CONCENTRACIÓN</b>
<b>Carbono</b>	82-88%
<b>Hidrógeno</b>	8-11%
<b>Azufre</b>	0-6%
<b>Oxígeno</b>	0-1.5%
<b>Nitrógeno</b>	0-1%

*Nota:* Ejecución de pavimentos de hormigón impreso [34]

### **Propiedades Físicas del Asfalto**

Conceptualmente, son las propiedades del betún se revelan sin intervención. Los aspectos más importantes del diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

#### **a) Durabilidad:**

Es una medida donde el asfalto, retiene sus propiedades originales durante la degradación y el envejecimiento normales. Esta es una característica que se evalúa principalmente sobre las propiedades del pavimento, por lo que es difícil determinarla basándose únicamente en las características del asfalto. Esto se debe a que el rendimiento del pavimento está influenciado por el diseño de la mezcla, las características de la pendiente, el trabajo de construcción y otras variables, incluida la resistencia del asfalto.

***b) Adhesión y cohesión:***

La adherencia se refiere a la capacidad del betún para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Por otro lado, la cohesión es la capacidad del asfalto para retener partículas de agregado en el pavimento terminado.

***c) Susceptibilidad a la temperatura:***

El asfalto es un material termoplástico que se vuelve más viscoso (más duro) a medida que baja la temperatura y menos viscoso (más suave) a medida que aumenta la temperatura. Es importante que el asfalto tenga suficiente fluidez a altas temperaturas para cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, permitiéndoles moverse entre sí durante la compactación. Luego, a temperatura ambiente normal, se volverá lo suficientemente pegajoso como para mantener juntas las partículas.

***d) Endurecimiento y envejecimiento:***

Durante la construcción, el asfalto tiende a endurecerse tanto en la mezcla asfáltica como en el pavimento terminado. El endurecimiento se debe principalmente a la oxidación (el betún se combina con el oxígeno), que ocurre más fácilmente a temperaturas elevadas (p. ej., temperaturas de diseño) y en mezclas bituminosas (p. ej., revestimiento de partículas sintéticas). No todos se endurecen a la misma velocidad cuando se calientan en papel de aluminio, por lo que cada tipo de betún debe probarse individualmente para determinar sus características de envejecimiento y las técnicas de aplicación se pueden ajustar para minimizar la congelación. Estos ajustes implican mezclar el asfalto con el árido a la temperatura más baja posible y en el menor tiempo posible.

***e) Pureza:***

El cemento asfáltico se compone principalmente de betún, por definición es un material completamente soluble en disulfuro de carbono. Aproximadamente el 99,5 % del betún refinado es soluble en disulfuro de carbono y, si contiene impurezas, es inerte. El cemento asfáltico a menudo carece de agua porque se pierde durante el refinado. Cuando

no pierde toda su agua, hace espuma cuando se calienta a más de 100°C (212°F). Así, la limpieza del asfalto está determinada por la ausencia de humedad y cualquier contaminación.

### Propiedades Mecánicas del Asfalto

Las propiedades del asfalto cambian con la temperatura, lo que significa que existe un rango específico donde la viscosidad permite una compactación adecuada al proporcionar lubricación entre las partículas durante el proceso de compactación. La baja temperatura evita que las partículas de agregado se muevan y no es posible lograr la densidad requerida. Las simulaciones por computadora de sistemas de modelos simplificados pueden reproducir algunas de las propiedades características del asfalto. [35]

Una buena mezcla en caliente funciona bien porque está diseñada, fabricada y colocada para lograr las propiedades esperadas. Varias características contribuyen a un suelo de mezcla en caliente de alta calidad. [36]

Estos incluyen estabilidad, durabilidad, resistencia al agua, manejo, flexibilidad, resistencia a la fatiga y antideslizante. [37]. El objetivo del proceso de diseño de la mezcla es garantizar que la mezcla para pisos tenga cada una de estas características. Por lo tanto, los evaluadores deben saber qué significa cada una de estas características, cómo se califican y qué dicen sobre el rendimiento del piso. [38]

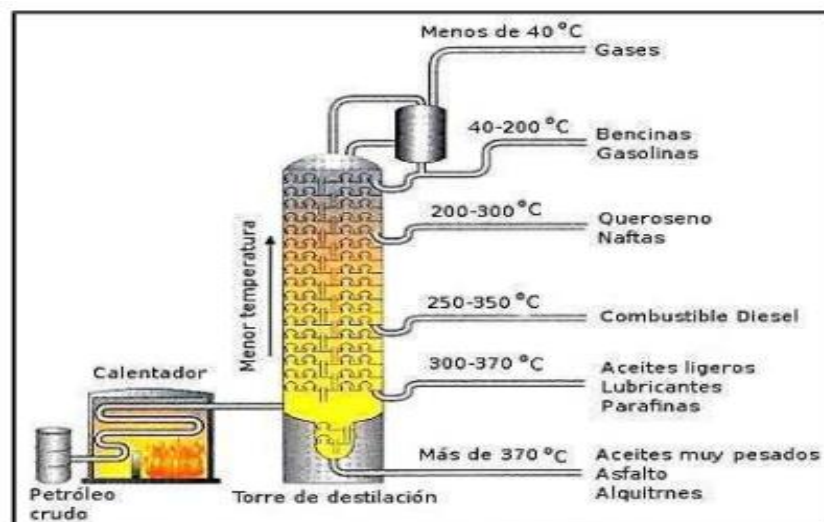


Figura 1. Fabricación de productos asfálticos

*Nota:* Fabricación de productos asfálticos en distintas temperaturas.

### **Mezclas Asfálticas**

La mezcla de asfalto es una mezcla de rellenos, betún y modificadores o aditivos, según corresponda. Los agregados se obtienen triturando la roca y generalmente se almacenan por separado por tamaño. Si la malla 200 no es lo suficientemente ancha, a menudo se agrega una carga a la carga para reponer la tracción perdida. Suele ser cal apagada u hormigón. [39]

Las mezclas asfálticas y sus especificaciones precisas son importantes para la durabilidad y correcta construcción de la red vial, ya que el pavimento flexible se considera una de las mejores opciones para la construcción de carreteras. [40]



**Figura 2.** Trabajos de bacheo con mezcla asfáltica

### **Composición de la mezcla asfáltica**

El agregado se obtiene triturando la roca y generalmente se almacena según su tamaño. Si la malla 200 no está completamente penetrada, a menudo se agregan rellenos a los rellenos para compensar la falta de tracción. Generalmente cal u hormigón hidratado. [41]

#### **1.5.1.2. Propiedades de Mezcla Asfáltica**

Las propiedades consideradas en el diseño es generalmente propiedades tales como estabilidad Marshall, flujo Marshall, densidad de mezcla, huecos de agregados minerales y asfalto. Contenido, módulo de tracción indirecta y módulo compuesto; porque debe funcionar

bien en el tiempo y en el medio ambiente.

#### **1.5.1.2.1. Estabilidad de Marshall**

La estabilidad de Marshall está relacionada con la resistencia de los materiales bituminosos a las tensiones de distorsión, desplazamiento, formación de surcos y cizallamiento. La estabilidad se deriva principalmente de la fricción y la cohesión internas. La cohesión es la fuerza de unión del material aglutinante, mientras que la fricción interna es la resistencia de entrelazado y fricción de los agregados [42]

Dado que el pavimento bituminoso está sujeto a fuertes cargas de tráfico de vez en cuando, es necesario adoptar material bituminoso con buena estabilidad y fluidez. Está relacionada con su capacidad de carga bajo la influencia del tráfico de automóviles. Además, depende de la fricción interna y las fuerzas de adhesión del adhesivo, medidas por la relación del asfalto.

#### **1.5.1.2.2. Ensayo de Estabilidad y Flujo de Marshall**

En la práctica, el contenido óptimo de asfalto es de alrededor del 6%, que está relacionado con el peso del agregado de roca. Cuanto mayor sea el porcentaje, más cuidadosamente se debe validar el diseño compuesto para validar los datos. Deben prepararse tres muestras, para cada contenido de betún. Normalmente, el lote necesita utilizar 6 tipos de asfalto, de los cuales se necesitan 18 tipos de asfalto. Además, deben incluirse seis carbonos puente para determinar el efecto del agua sobre la estabilidad y el flujo. [43]

Cada gránulo requiere aproximadamente 1200 g de agregado, por lo que una cantidad típica de agregado debe ser de al menos 29 kg (65 lbs). También necesitará aproximadamente 1 galón de asfalto. [42]

#### **1.5.1.2.3. Durabilidad de una Pavimento Asfáltico**

La fuerza es su capacidad para resistir factores como el colapso de los agregados, el cambio en las propiedades del asfalto, la deslaminación de la mezcla asfáltica. [44]

Estos factores pueden ser el resultado de las condiciones climáticas, el tráfico. En



general, la resistencia de la mezcla se puede mejorar de tres formas. [45]

## **1.5.2. Variable Independiente: Caucho reciclado y vidrio molido**

### **1.5.2.1. Caucho Granulado**

El caucho granulado es un término que generalmente se aplica al caucho reciclado de neumáticos de desecho de automóviles y camiones. Hay dos tecnologías principales para producir caucho granulado: el triturado mecánico a temperatura ambiente y el triturado criogénico. De los dos procesos, el proceso criogénico es más caro, pero produce migas más suaves y pequeñas [46]

El caucho se ha utilizado desde épocas remotas, pero ha evolucionado progresivamente su industria, hoy se sabe que este material tiene diferentes usos a nivel mundial [32].

Actualmente existe una gran demanda de neumáticos, estos contienen un promedio de 50 % de caucho en su composición, por lo que el caucho es muy industrializado, sobre todo en el sector. Pero tienen un determinado periodo de vida útil, posteriormente a su uso, pasan a convertirse en desechos sólidos nocivos y contaminantes. Debido a que se arrojan en botaderos al aire libre, la contaminación que generan, perjudica seriamente la salud de las personas.

### **Usos del Caucho Granulado**

Antes de los usos, cabe mencionar que éste se vende como materia prima para procesos de desvulcanización química o pirólisis, se agrega al asfalto para pavimentar carreteras y selladores de pavimentos, o se utiliza para la producción de una gran cantidad de productos que contienen caucho reciclado.

El caucho granulado se utiliza como relleno en campos de césped artificial . En 2007, el uso en esta capacidad evitó que alrededor de 300 millones de libras de caucho contaminen los vertederos . Por lo general, se necesitan entre 20 000 y 40 000 llantas de desecho para producir suficiente relleno para cubrir un campo de fútbol promedio [33]

### **Propiedades y Aplicación del caucho de neumáticos en las mezclas**

## **asfálticas:**

El caucho en estado natural tiene buenas propiedades como resistencia al desgaste, resistencia al calor, resistencia al aceite y resistencia al ozono debido a su elasticidad. En general, las propiedades mecánicas de un material se caracterizan por su dependencia de la temperatura y el tiempo, factor conocido como propiedades elásticas. Este comportamiento dependerá de la temperatura, la duración de la carga (elasticidad) y la magnitud de la carga aplicada. [47]

### **Propiedades del caucho:**

A bajas temperaturas, el caucho se endurece a su estado original, y cuando está cerca de congelarse, tiene una estructura fibrosa. Cuando supera los 100°C, comienza a cambiar y alcanza un estado plástico. Si el caucho deforma y estira, no volverá a su estado original (por un tiempo).

### **Aplicación del caucho:**

La producción de caucho natural ha comenzado a aumentar nuevamente, impulsada por las nuevas tecnologías en el área de desarrollo de recursos naturales (materias primas) a medida que se utilizan nuevos procesos para transformar los productos. El caucho natural y los materiales sintéticos se utilizan en una variedad de productos, como revestimientos para pisos de alta calidad, el uso del caucho para la respuesta acústica, cuestiones estéticas y de seguridad. También se utiliza en soluciones de acondicionamiento termoacústico, soluciones de transmisión de vibraciones, soluciones de absorción de desplazamiento y rotación y soluciones de disipación de energía.

### **Ventajas**

- Se obtiene mezclas resistentes asociadas a fatiga, ahuellamiento
- Agregando 5% de GCR a la mezcla asfáltica confirma mayor durabilidad.
- Al mezclar cemento asfáltico a alta temperatura, se puede obtener una mezcla de caucho y asfalto más duradera y resistente a las grietas.
- Resiste a las deformaciones y hace menos ruido.

- Extender la vida útil de las carreteras y mezclas asfálticas flexibles que incorporan GCR para que los problemas existentes puedan ser reparados cada 15 años, lo que redunda en un ahorro de costos a nivel nacional.
- Contribuye con daños ambientales por el uso de neumáticos.
- Resistencia al envejecimiento: gracias al uso de caucho reciclado, conserva sus propiedades.

### Desventajas

- Las mezclas bituminosas pueden ser muy blandas y lisas debido a que la absorción o absorción tiene un efecto sobre el coeficiente de adherencia.
- Se requiere maquinaria especial para separar el caucho y el alambre dentro de la llanta.
- El caucho pulido no debe estar mojada ni sucia.
- Debido al rápido curado, la distribución de temperatura mínima es de 125°C.



**Figura 3.** Descripción del proceso por vía húmeda

### 1.5.2.2. Vidrio

En general, el vidrio y el cristal son una mezcla de sodio y potasio silicato con trazas de óxido de magnesio, aluminio, hierro y manganeso. [48] El proceso del vidrio consiste en el

súper enfriamiento de un líquido derretido que consta de arena y carbonato de sodio. El vidrio es dañino para nuestro medio ambiente porque no es biodegradable, se necesitan millones de años para descomponerse en las materias primas con las que se fabricó. El vidrio sirve como recipiente y algunos otros usos [49]

Los fabricantes de vidrio ahorran costos y energía al usar vidrio triturado reciclado conocido como "Cullet." El cullet cuesta menos que las materias primas y se funde a una temperatura más baja. La Plastic Packaging Institute informa sobre la energía que se ahorra al reciclar una lata de vidrio; una bombilla de 100 vatios durante cuatro horas o hacer funcionar una computadora durante 30 minutos, también se usa en la fabricación de perlas, aplicaciones decorativas, fibra de vidrio, fraccionadores (puntas de fósforos) y fundentes en trabajos de fundición de metales. En la construcción de carreteras, los usos de vidrio de desecho son para sustitutos de agregados en el asfalto, para los pavimentos.

### **Vidrio Reciclado**

El vidrio tiene ciclo natural propio, donde se divide en 2 principalmente que son: reutilización (devolución y embalaje, después de la limpieza en condiciones estrictas) y reciclaje (para reflujo y fabricación de artículos similares u otros). En ambos ciclos no hubo restricciones y la recuperación del material fue completa. Asimismo, el vidrio se puede reciclar sin ningún límite o restricción, e idealmente se puede reciclar al 100%, se utilizan minerales como materia prima para producirlo como arena, piedra caliza, feldespato y similares, se convierte en materiales renovables. [50].

La mayoría de esos fragmentos provenían de contenedores, tanto aquellos en los que había completado su ciclo de reutilización como fragmentos desechables. Actualmente, se reciclan millones de toneladas cada mes en todo el mundo y la tasa de vidrios reciclados en hornos es generalmente superior al 50%. [51].



**Figura 4.** Pavimento flexible

## **II. MATERIALES Y MÉTODO**

### **2.1. Tipo y Diseño de Investigación**

#### **2.1.1. Tipo de la investigación:**

La investigación es cuantitativa, en el sentido de que presenta un método sólido mediante la recopilación e investigación de datos relacionados con variables y mediante la reutilización de otros estudios. Esto nos permitirá comprender los hechos y el comportamiento de la población, así como responder preguntas de investigación y probar hipótesis. [52]

#### **2.1.2. Diseño de investigación:**

El enfoque es experimental, puesto que la finalidad de esta investigación es buscar el desempeño del caucho granulado reciclado y el vidrio molido en las mezclas asfálticas, donde los resultados obtenidos van a darse bajo estudios que en nuestro caso serían ensayos de laboratorio.

### **2.2. Variables, Operacionalización**

#### **2.2.1. Variables**

Variable Independiente: Caucho granulado y vidrio molido.

Variable Dependiente: Propiedades mecánicas del asfalto.

#### **2.2.2. Operacionalización de variables**

**Tabla II**

Operacionalización de variable independiente

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Caucho granulado	Es un complemento ideal para desarrollo de proyectos, con distintas características que permiten adaptarse en combinación con otros materiales.	Se adiciona en porcentajes de sustitución por el agregado fino, en la producción de mezclas asfálticas para mejorar sus propiedades de la mezcla.	Propiedades físicas	Granulometría	gr	Ficha técnica	gr	Numérica	Intervalo
				Contenido de humedad	$P = \frac{(W - D) * 100}{D}$		%		
				Absorción y Peso específico	$A = \frac{(S - A) * 100}{A}$		%		
			Porcentajes de aplicación	3%	kg	Revisión documental	kg		
				5%	kg		kg		
				7%	kg		kg		
				10%	kg		kg		

Nota: Operacionalización del caucho granulado, especificando los ensayos realizados y porcentajes de aplicación en la mezcla asfáltica.

**Tabla III**

Operacionalización de variable independiente

Variabl e de estudio	Definición conceptual	Definición operaciona l	Dimensio ne s	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valore s finales	Tipo de variable	Escala de medició n
Vidrio molido	Es un complemento ideal para desarrollo de proyectos, con distintas característic as que permiten adaptarse en combinación con otros materiales.	Se adiciona en porcentajes de sustitución por el agregado fino, en la producción de mezclas asfálticas para mejorar sus propiedades de la mezcla.	Propiedades físicas	Granulometría	gr	Ficha técnica	gr	Numéric a	Intervalo
				Contenido de humedad	$P = \frac{(W - D) * 100}{D}$		%		
				Absorción y Peso específico	$A = \frac{(S - A) * 100}{A}$		%		
			Porcentajes de aplicación	3%	kg	Revisión documentari a	kg		
				5%	kg		kg		
				7%	kg		kg		
				10%	kg		kg		

Nota: Operacionalización del vidrio molido, especificando los ensayos realizados y porcentajes de aplicación en la mezcla asfáltica.



**Tabla IV**

Operacionalización de variable dependiente

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Valores finales	Tipo de variable	Escala de medición
Propiedades mecánicas del asfalto	Son las características de la mezcla asfáltica que permite verificar si la mezcla es apta a utilizar en un pavimento flexible para tránsito liviano.	El diseño de mezcla asfáltica convencional se adiciona caucho granulado y vidrio molido por separado y en combinación de porcentajes óptimos para medir sus propiedades mecánicas.	Propiedades físicas	Granulometría	gr	Ficha técnica	gr	Numérica	Intervalo
				Contenido de humedad	$P = \frac{(W - D) * 100}{D}$		%		
				Absorción y Peso específico	$A = \frac{(S - A) * 100}{A}$		%		
				Estabilidad	kN		kN		
			Ensayos con el método Marshall	Flujo	mm	mm			
				Vacíos	%	%			
				Índice de rigidez	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>			

Nota: Operacionalización de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, especificando los ensayos realizados para las propiedades físicas de los agregados y propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con el método Marshall.

## 2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

### 2.3.1. Población

En este proyecto de investigación se realizará muestras de mezcla asfáltica compuestas por agregados pétreos, polvo mineral y ligante asfáltico, a la vez incorporando caucho granulado reciclado y vidrio molido en sustitución de los agregados pétreos. Este proyecto se realizará teniendo en cuenta los parámetros de las normativas ASTM, MTC Y AASHTO.

### 2.3.2. Muestra

La investigación está compuesta por briquetas de mezcla asfáltica convencionales. También se elaboran muestras con porcentajes de 3%, 5%, 7% y 10% de caucho granulado reciclado y vidrio molido en reemplazo de los agregados pétreos para posteriormente llevarlos a ensayos teniendo en cuenta los parámetros de las normativas ASTM, MTC Y AASHTO, en un total de 150 briquetas.

**Tabla V**

Número de muestras para ensayo de método de Marshall

Tipo de elemento	Ligante asfáltico (%)	Mezcla asfáltica con CGR					Sub total	Total
		0%	3%	5%	7%	10%		
Briquetas	4.5	3	3	3	3	3	15	75
	5.0	3	3	3	3	3	15	
	5.5	3	3	3	3	3	15	
	6.0	3	3	3	3	3	15	
	% Óptimo	3	3	3	3	3	15	

Nota: Cantidad de briquetas patrón y adicionando caucho granulado en sustitución del agregado fino para ensayos con el método Marshall.

**Tabla VI**

Número de muestras para ensayo de método de Marshall

Tipo de elemento	Ligante asfáltico (%)	Mezcla asfáltica con VM				Sub total	Total
		3%	5%	7%	10%		
	4.5	3	3	3	3	12	
	5.0	3	3	3	3	12	
Briquetas	5.5	3	3	3	3	12	60
	6.0	3	3	3	3	12	
	% Óptimo	3	3	3	3	12	

Nota: Cantidad de briquetas adicionando vidrio molido en sustitución del agregado fino para ensayos con el método Marshall.

**Tabla VII**

Número de muestras para ensayo de método de Marshall

Tipo de elemento	Ligante asfáltico (%)	Mezcla asfáltica con % óptimo CGR + % óptimo VM	Sub total	Total
	4.5	3	3	
	5.0	3	3	
Briquetas	5.5	3	3	15
	6.0	3	3	
	% Óptimo	3	3	

Nota: Cantidad de briquetas en combinación de porcentajes óptimos de caucho granulado y vidrio molido en sustitución del agregado fino para ensayos con el método Marshall.

#### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Realizada la operacionalización de las variables dependiente e independientes y determinados en los cuadros, el siguiente paso será elegir los métodos de recopilación de apuntes, para comprobar las suposiciones (hipótesis) o reconocer las incógnitas enunciadas en el proyecto de investigación”. Siempre en relación con el problema, los objetivos y el diseño de investigación. [53]

La técnica esta enlazado con los procedimientos o pasos que se utilizara para la recopilación de datos in situ, estos se clasificaran como revisión documental, observación, encuestas entre otras. [54]

### **2.4.1. Técnica de recolección de datos**

#### **Observación**

Operaciones que maneja el científico para poder encontrarse claramente lo que estudia, sin modificar o realizar cualquier operación que permita manipular sobre el proyecto.

Mediante esta técnica estudiaremos el proceso por la cual se sustituirá parcialmente los agregados pétreos por caucho granulado reciclado y vidrio molido en porcentajes de 3%, 5%, 7% y 10% respectivamente, asimismo los resultados globales se anotarán en formatos adecuados.

#### **Análisis de Documentos**

Mediante el siguiente análisis seguiremos los pasos de modo adecuado, es así que se examinó y juntó documentaciones, registros electrónicos relacionados, libros, tesis, artículos científicos indexados en base de datos reconocidas como el scopus, sci hub, normas nacionales e internacionales en relación con el tema de investigación.

### **2.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

Son los formatos (papel o en digital), que se usa para poder recopilar y reconocer, toda la información que se obtendrá de los ensayos que medirán el comportamiento de que le otorga nuestras variables a nuestro proyecto de investigación. [55]

### **Guía de observación**

La guía de observación es una forma en la cual se logran recoger las relaciones en metódica y permite al observador situarse en el objeto de estudio para la investigación, junta todos los datos según sea la necesidad específica que presente. [56]

En este caso la investigación tendrá como guías de observación, formatos de cálculos que se realizará por el investigador. Se manejó los formatos solicitados para los ensayos que se realizara con la cual hallaremos el comportamiento de la mezcla asfáltica mediante el método de Marshall.

### **Guía de análisis de documentos**

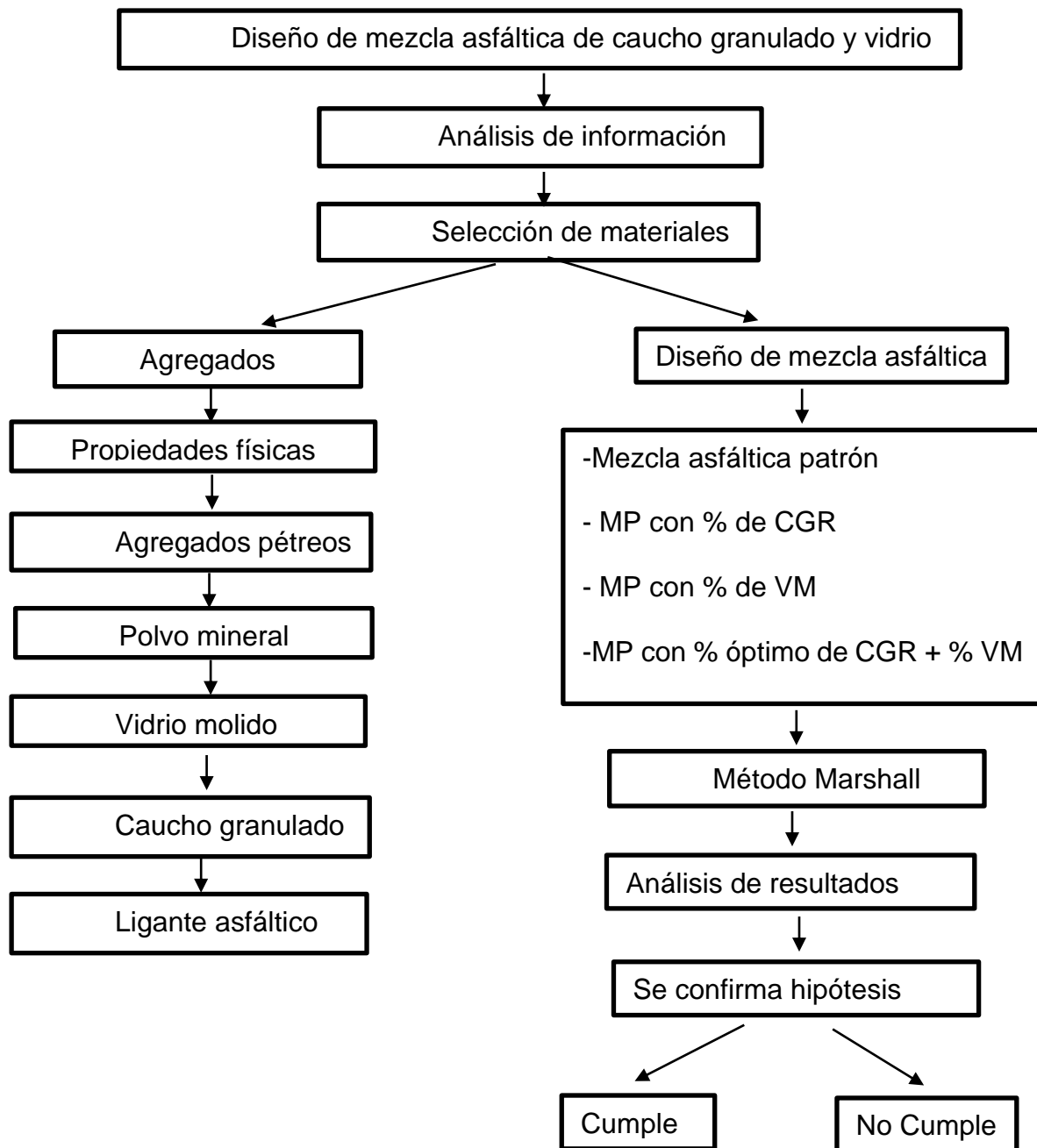
Se empleará libros, revistas, nos guiaremos de las normativas vigentes correspondiente a cada ensayo que se tendrá que realizar como la norma "ASTM", "Norma Técnica Peruana" (NTP), MTC, AASHTO y el Reglamento Nacional de Edificaciones, en el cual se detallará los pasos, procesos y cálculos que se realizará durante la investigación.

## **2.5. Procedimiento de análisis de datos**

Este proceso consiste en las funciones de publicación y clasificación, la publicación comprende el reconocimiento de los formatos o dimensiones de datos y la clasificación consiste en el establecimiento de clases para las respuestas. [57]

El propósito de este análisis es crear los fundamentos para poder mejorar posibilidades de solución o soluciones en la investigación con el fin de lograr el mejoramiento de nuestro estudio.

### **2.5.1. Diagrama de flujo**



## **2.6. Criterios éticos**

Esta investigación tiene como propósito proporcionar nuevas aportaciones en el ámbito de pavimentos flexibles, a ser el caso de tener un buen resultado poder aportar en el área de transportes del MTC, se respetó los derechos de propiedad de cada autor y ensayista que se sustrajo información con su respectiva cita y también siguiendo al pie de la letra cada reglamento o normativa peruana, para ser competente en ello con honestidad, lealtad profesional, responsabilidad, respeto, solidaridad y justicia.

## **2.7. Criterio de Rigor Científico**

### **2.7.1. Validez**

Es el grado o la eficacia en el que una herramienta mide las variables que se presentan en la investigación para poder evaluar, esta validez se encuentra relacionada o sujeta con el objetivo del instrumento. [58]

Todos los resultados que obtendremos en nuestra investigación serán con total originalidad y autenticidad, ya que serán evaluados mediante ensayos que realizaremos con instrumentos y maquinas que cumplan los estándares de calidad, así mismo serán evaluados por un especialista del área de laboratorio de ensayos.

### **2.7.2. Confiabilidad**

La confiabilidad es un instrumento de medición que se podrá determinar mediante diversas técnicas, se realiza para hallar la precisión de los resultados obtenidos al ser aplicados en casos o situaciones diferentes. [59]

Los ensayos se realizaron en un laboratorio externo cumpliendo todos los estándares de calidad para que nos pueda ayudar a obtener resultados exactos y tener una mejor evaluación de las mezclas asfálticas.

### **2.7.3. Replicabilidad**

Este criterio científico permite a nuestro proyecto de investigación, dar viabilidad mediante estudios de otros investigadores, que nos ayudan a verificar nuestros resultados obtenidos, con los ensayos que vamos a realizar.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados en tablas y figuras

En esta sección se mostrarán los valores de los distintos ensayos realizados, los cuales se verificarán con los documentos anexados emitidos por el laboratorio donde se hicieron.

##### 3.1.1. Evaluación de las características de los agregados, y su combinación para un diseño de mezcla asfáltica modificada

Para el diseño de una mezcla asfáltica la intervención de los agregados es muy importante, para ello se debe tener en cuenta un control de calidad preciso, y determinar de esta manera mediante los ensayos con los parámetros normativos que sus características cumplan lo solicitado.

##### 3.1.1.1. Propiedades del agregado fino

Tabla VIII

Resultados de ensayos para agregado fino – arena fina

Para agregado fino – Cantera La Pluma – Batán Grande		
Ensayo a realizar	Resultado	Requerimientos
Equivalente de arena	75.7	45% min – MTC E 114
Índice de Plasticidad	2.18	4% máx. – MTC E 111
Sales solubles totales	0.27	0.5% máx. – MTC E 219
Absorción	0.51	0.5% máx. – MTC E 205
Adhesividad (Riedel Weber)	4.05	4% min – MTC E 220

Nota: Ensayos de agregado fino, para diseño de mezcla asfáltica, con parámetros del MTC.

- **Análisis granulométrico del agregado fino NTP 400.012**

Este ensayo permite graduar el agregado para poder determinar si es el indicado para el diseño de mezcla asfáltica, un agregado de mala calidad nos daría un diseño de mezcla asfáltica que no cumpla los parámetros permitidos



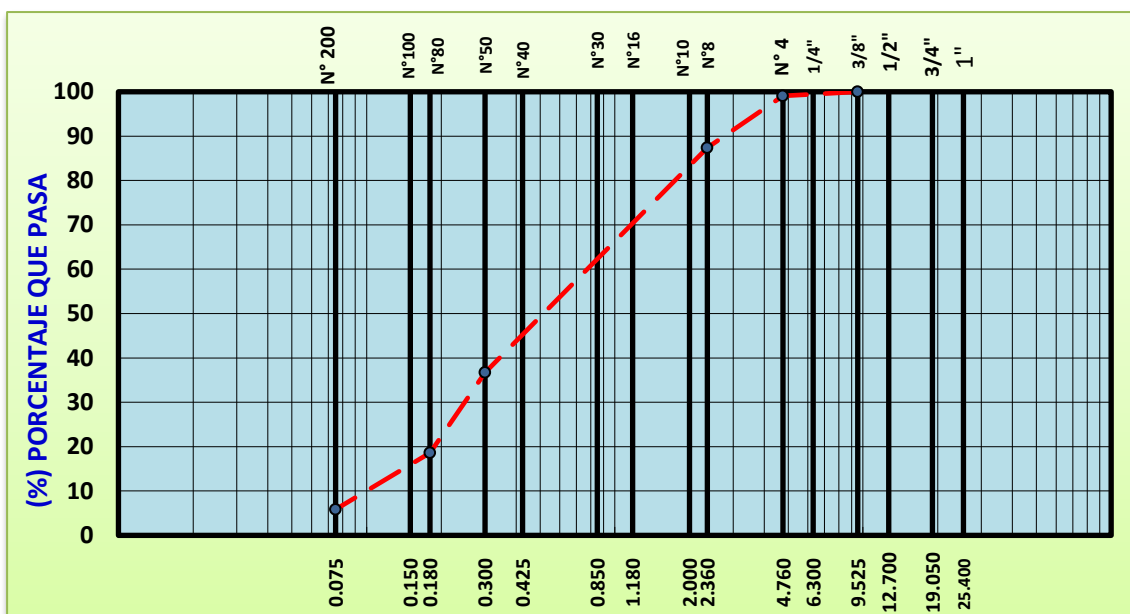
**Tabla IX**

Resultados Obtenidos de ensayo granulométrico – arena fina

<b>Masa inicial seco 1334.00 gr</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura</b>	<b>Peso</b>		<b>%</b>	
<b>Pulg.</b>	<b>mm</b>	<b>retenido</b>	<b>retenido</b>	<b>acumulado</b>	<b>que pasa</b>
3/8"	9.525				100.0
1/4"	6.300				
N° 4	4.760	12.0	0.9	0.9	99.1
N° 8	2.360				
N° 10	2.000	156.0	11.7	12.6	87.4
N° 16	1.180				
N° 30	0.850				
N° 40	0.425	676.0	50.7	63.3	36.7
N° 50	0.300				
N° 80	0.180	242.0	18.1	81.4	18.6
N° 100	0.150				
N° 200	0.075	170.0	12.7	94.2	5.8
< 200	-	78.0	5.8	100.0	

Nota: Análisis granulométrico por tamizado de agregado grueso y fino Norma ASTM C 136

MTC E 204 - Arena fina



**Figura 5.** Análisis granulométrico del agregado fino

*Nota:* Curva granulométrica del agregado fino, con los parámetros del MTC E 204, por los tamices que pasaron en el ensayo granulométrico.

**Tabla X**

Resultados de ensayos para agregado fino – arena gruesa

<b>Para agregado fino – Cantera La Pluma – Batán Grande</b>		
<b>Ensayo a realizar</b>	<b>Resultado</b>	<b>Requerimientos</b>
Equivalente de arena	67	45% min – MTC E 114
Índice de Plasticidad	2.18	4% máx. – MTC E 111
Sales solubles totales	0.33	0.5% máx. – MTC E 219
Absorción	0.50	0.5% máx. – MTC E 205
Adhesividad (Riedel Weber)	4.08	4% min – MTC E 220

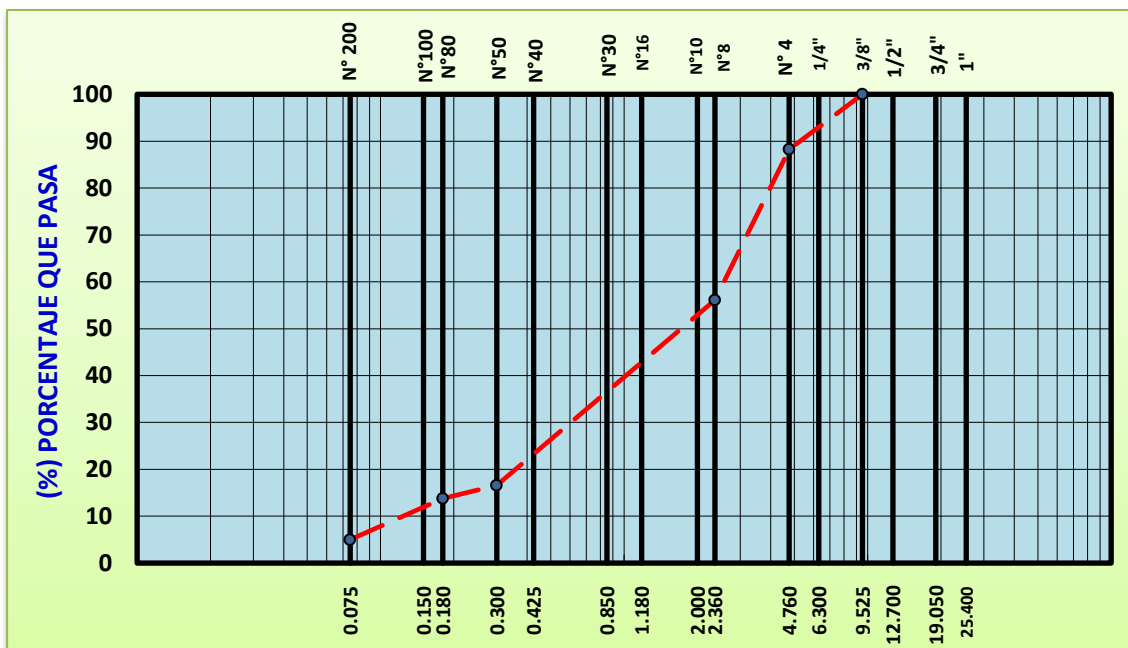
*Nota:* Ensayos de agregado fino, para mezcla asfáltico, con parámetros del MTC

**Tabla XI**

Resultados de ensayos para agregado fino – arena gruesa

<b>Masa inicial seco 1334.00 grs</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura</b>	<b>Peso</b>		<b>%</b>	
<b>Pulg.</b>	<b>mm</b>	<b>retenido</b>	<b>retenido</b>	<b>acumulado</b>	<b>que pasa</b>
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				100.0
1/4"	6.300				100.0
N° 4	4.760	187.3	11.7	11.7	88.3
N° 8	2.360				
N° 10	2.000	513.7	32.1	43.9	56.1
N° 16	1.180				
N° 30	0.850				
N° 40	0.425	632.1	39.6	83.4	16.6
N° 50	0.300				
N° 80	0.180	45.2	2.8	86.3	13.7
N° 100	0.150				
N° 200	0.075	139.8	8.7	95.0	5.0
< 200	-	79.9	5.0	100.0	

Nota: Análisis granulométrico por tamizado de agregado grueso y fino Norma ASTM C 136  
MTC E 204 - Arena gruesa.



**Figura 6.** Curva granulométrica de la arena gruesa

Nota: Curva granulométrica con los parámetros del MTC E. 204, indicando el porcentaje que pasa por cada malla.

**Tabla XII**

Resultados de ensayos para agregado grueso – piedra triturada

**Para agregado fino – Cantera La Pluma – Batán Grande**

Ensayo a realizar	Resultado	Requerimientos
Abrasión de los ángulos	22.8	40% máx. - MTC E 207
Pérdida de sulfato de Mg	6.78	12% máx. - MTC E 209
Partículas chatas y alargadas	9.5	15% máx. - MTC E 223
Partículas fracturadas	31/73	65/40 - MTC E 210
Sales solubles	0.19	0.5% máx. - MTC E 219
Absorción	0.95	1% máx. - MTC E 206
Adherencia	95	95 + - MTC E 517

Nota: Resultados de ensayos para el agregado grueso, con sus especificaciones técnicas del MTC.

- **Ensayo granulométrico de agregados-agregado grueso**

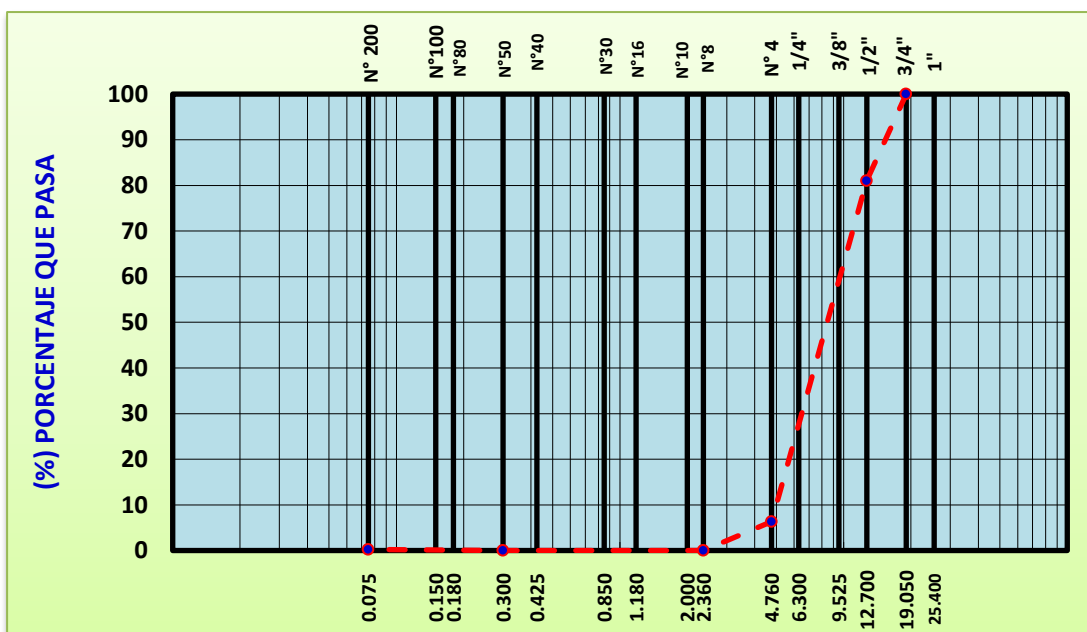
**Tabla XIII**

Resultados Obtenidos de ensayo granulométrico – piedra triturada

<b>Masa inicial seco 1334.00 grs</b>					
<b>Tamiz</b>	<b>Abertura</b>	<b>Peso</b>		<b>%</b>	
<b>Pulg.</b>	<b>mm</b>	<b>retenido</b>	<b>retenido</b>	<b>acumulado</b>	<b>Que pasa</b>
1"	25.400				
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.700	2692.0	18.99	19.0	81.0
3/8"	9.525	4593.0	32.41	51.4	48.6
1/4"	6.300				
N° 4	4.760	5990.0	42.3	93.7	6.3
N° 8	2.360				
N° 10	2.000	638.0	4.5	98.2	1.8
N° 16	1.180				
N° 30	0.850				
N° 40	0.425	118.0	0.8	99.0	1.0
N° 50	0.300				
N° 80	0.180	98.0	0.7	99.7	0.3
N° 100	0.150				
N° 200	0.075	14.0	0.1	99.8	0.2
< 200	-	30.0	0.2	100	

Nota: Análisis granulométrico por tamizado de agregado grueso y fino Norma ASTM C 136

MTC E 204 – Piedra triturada.



**Figura 7.** Curva granulométrica de la piedra triturada

Nota: Curva granulométrica para la piedra triturada con los parámetros del MTC E. 204, indicando el porcentaje que pasa por cada malla.

### 3.1.2. Evaluación de las propiedades de los diseños de mezcla asfáltica

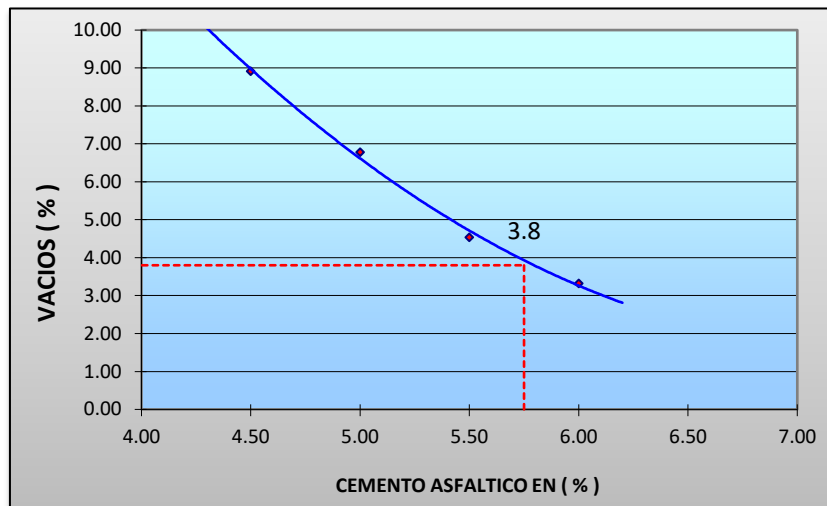
En esta sección evaluamos las propiedades de la mezcla asfáltica convencional, con la mezcla asfáltica modificada, para determinar su porcentaje óptimo de aplicación.

**Tabla XIV**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño patrón

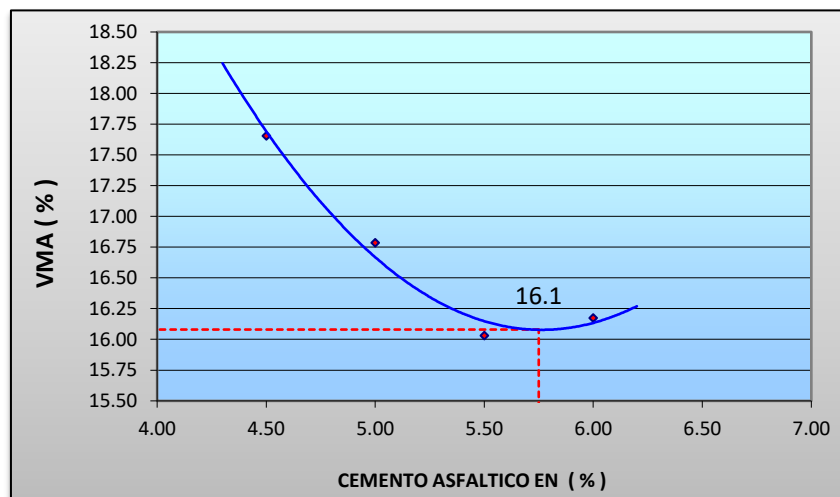
% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
Nº golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	8.92	6.79	4.54	3.32	3 – 5 %
VMA (%)	17.65	16.79	16.03	16.17	Min 14%
VLCA (%)	49.5	59.6	71.7	79.5	70 – 80 %
Flujo (mm)	15.89	15.29	13.99	13.35	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	6.29	7.61	11.45	12.01	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	1590	2002	3293	3636	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall de muestra patrón (sin incorporar estímulos), con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.



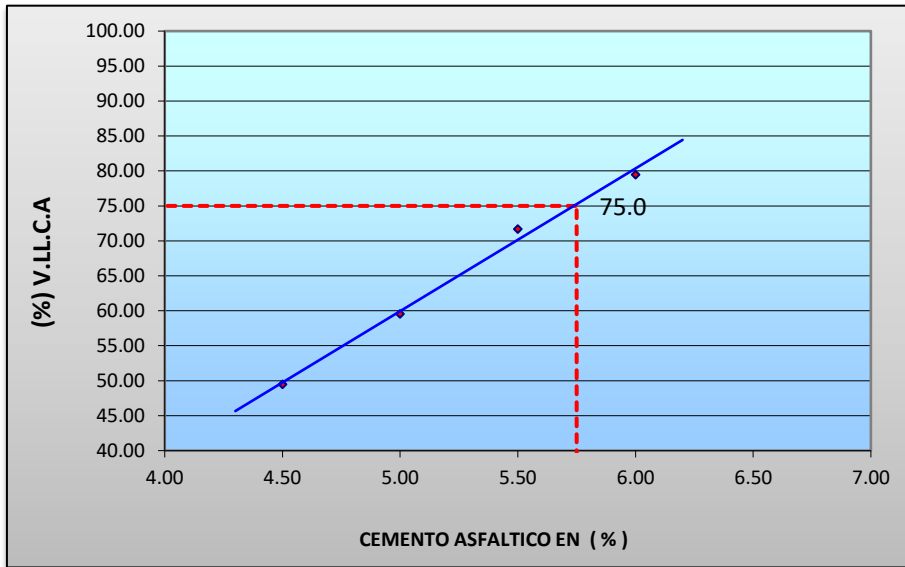
**Figura 8.** Porcentaje de vacíos con el Método Marshall

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño patrón, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



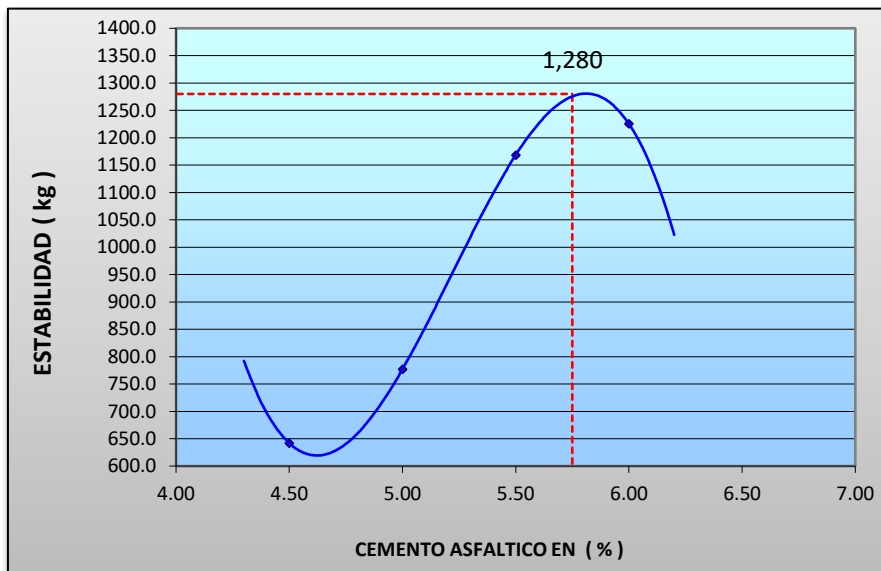
**Figura 9.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con el Método Marshall

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño patrón, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 10.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico

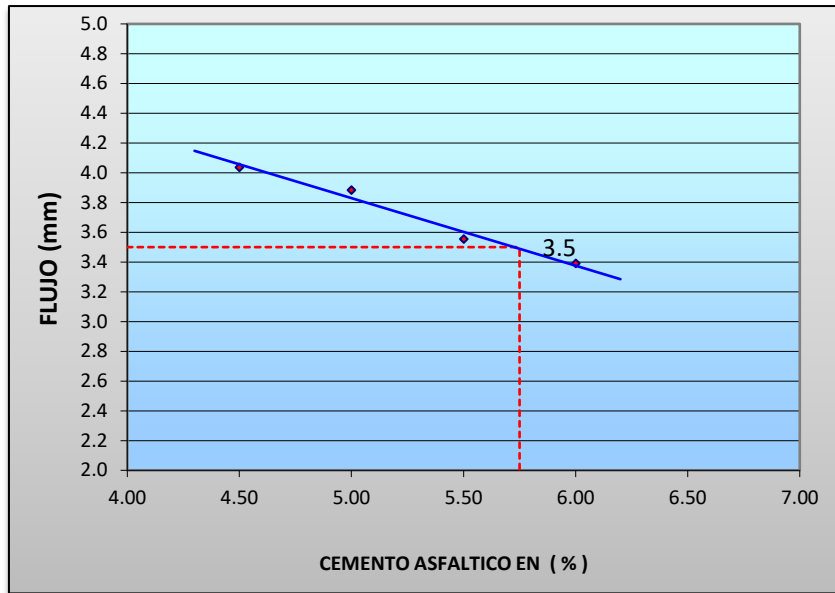
Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño patrón, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 11.** Estabilidad con el Método Marshall

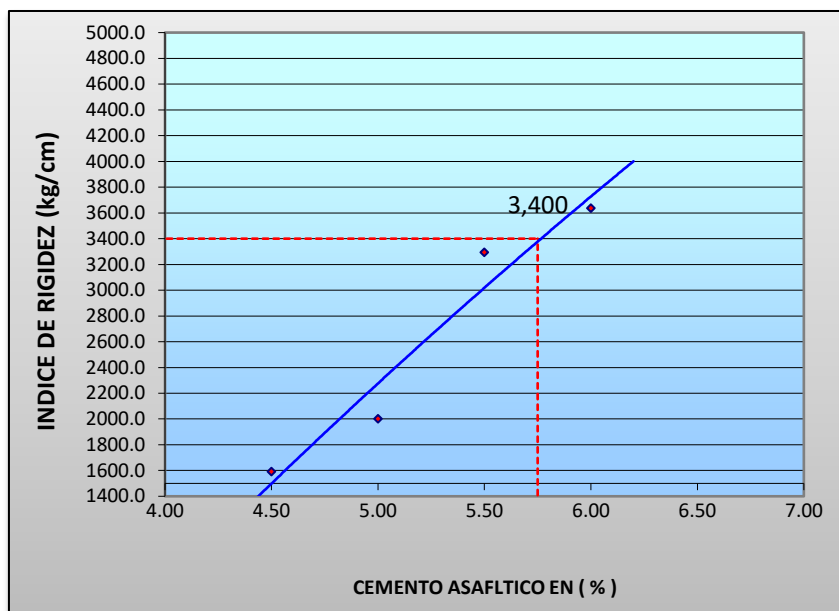
Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño patrón, para hallar el contenido óptimo de asfalto.





**Figura 12.** Flujo con el Método Marshall

Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño patrón, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 13.** Índice de rigidez con el Método Marshall

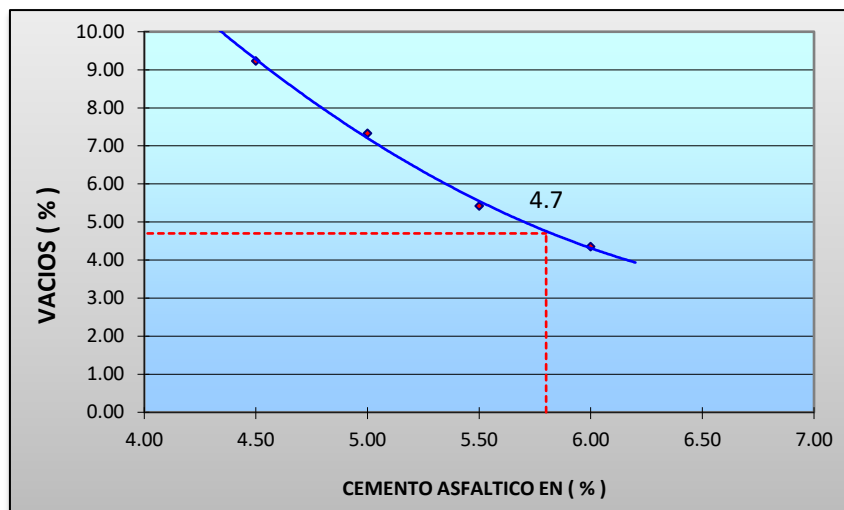
Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño patrón, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

**Tabla XV**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con vidrio molido al 3%

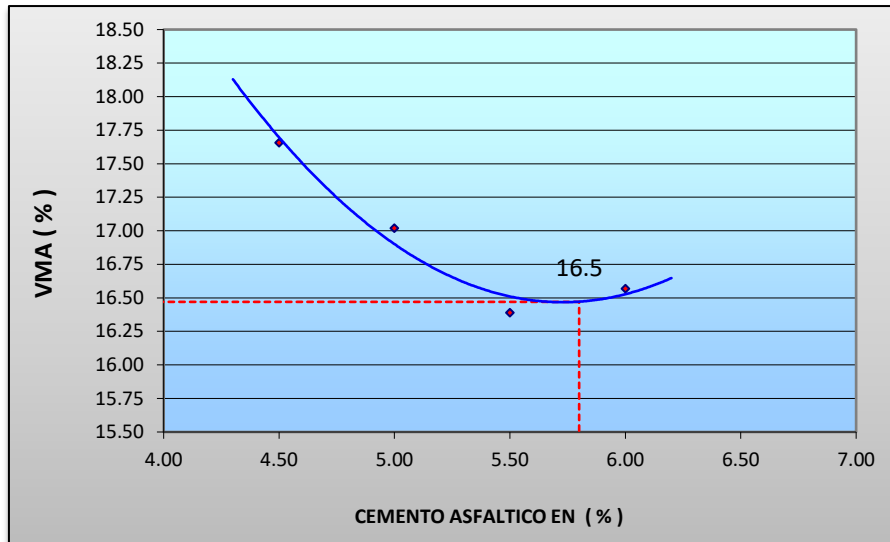
% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
Nº golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	9.23	7.33	5.42	4.36	3 – 5 %
VMA (%)	17.66	17.02	16.39	16.57	
VLCA (%)	47.7	56.9	66.9	73.7	70 – 80 %
Flujo (mm)	18.90	16.18	14.12	13.11	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	7.33	8.42	11.68	11.94	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	1560	2093	3322	3670	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando vidrio molido al 3%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.



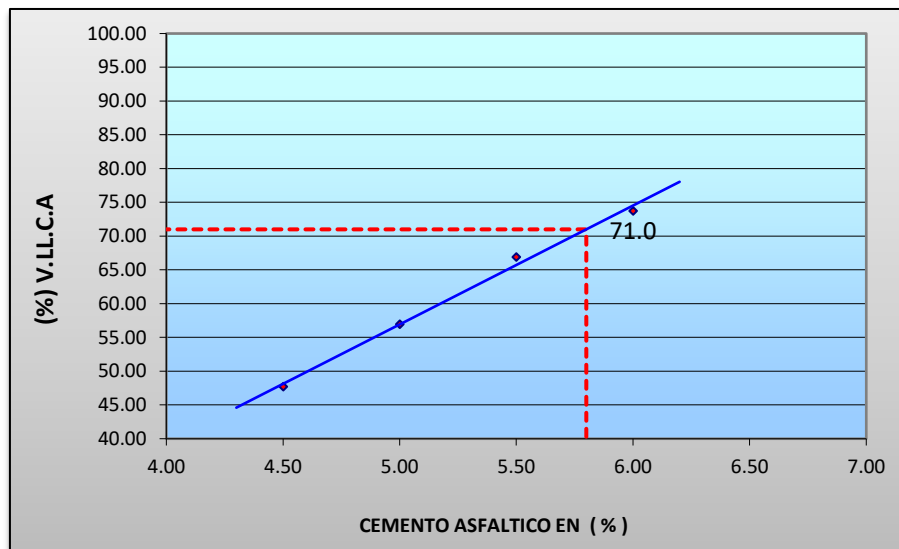
**Figura 14.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 3% vidrio molido

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 3% de vidrio, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



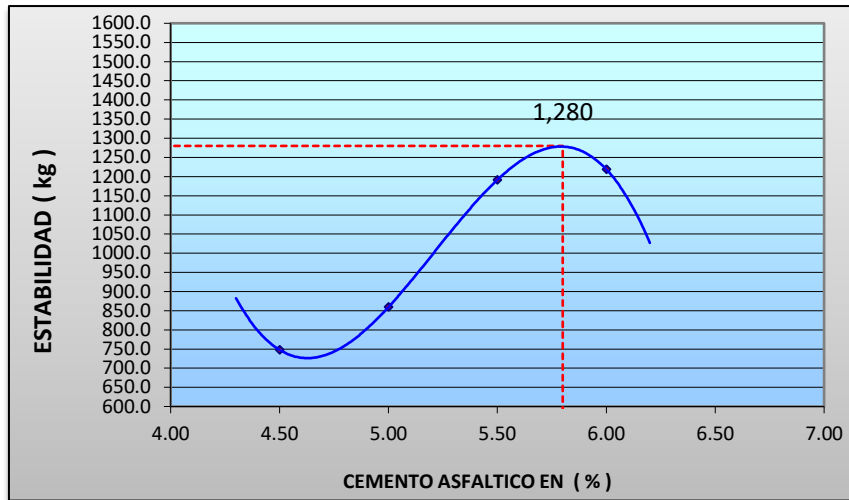
**Figura 15.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 3% vidrio molido

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 3% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



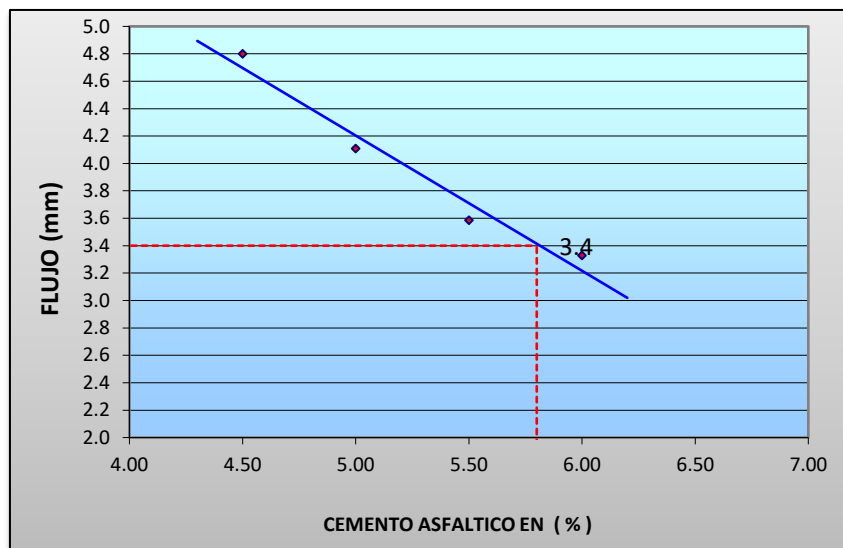
**Figura 16.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 3% vidrio molido

Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 3% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



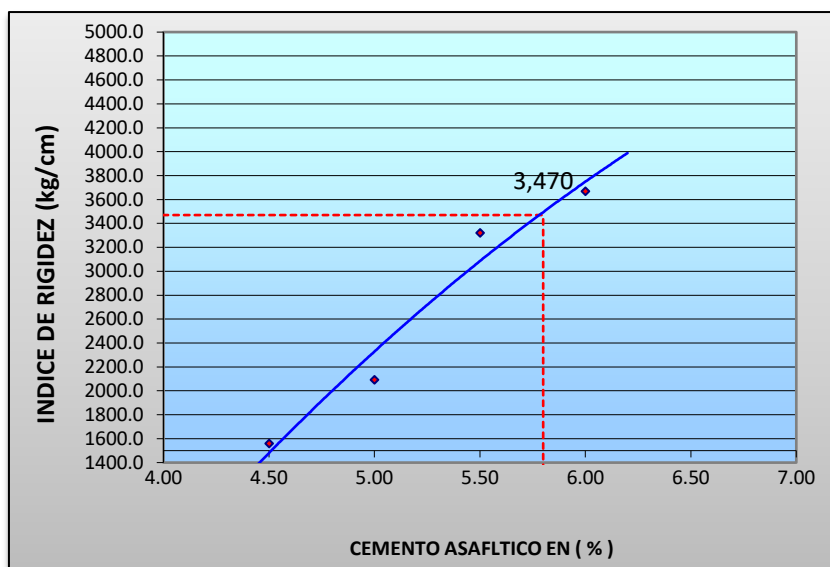
**Figura 17.** Estabilidad con el Método Marshall, con 3% vidrio molido

Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 3% vidrio molido, para hallar el contenido óptimo de asfalto.



**Figura 18.** Flujo con el Método Marshall con 3% vidrio molido

Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño con 3% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 19.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 3% vidrio molido

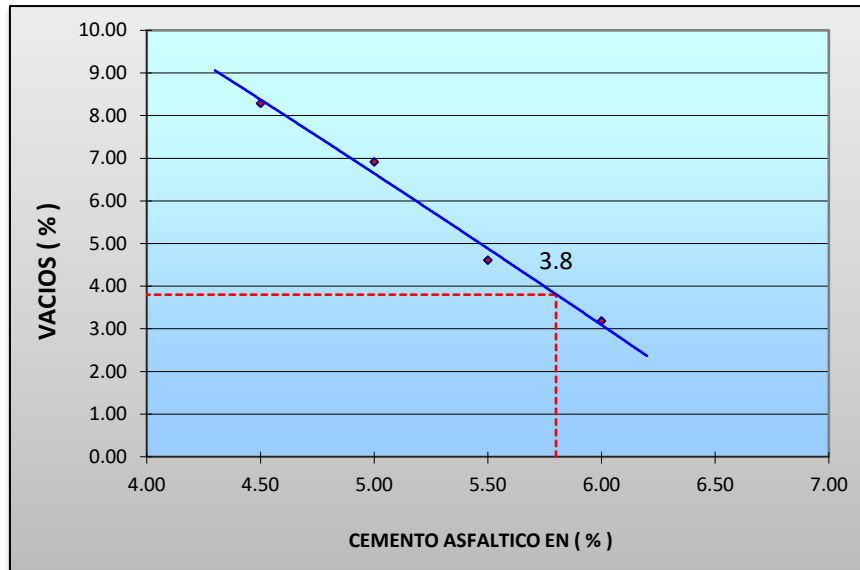
Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 3% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

**Tabla XVI**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con vidrio molido al 5%

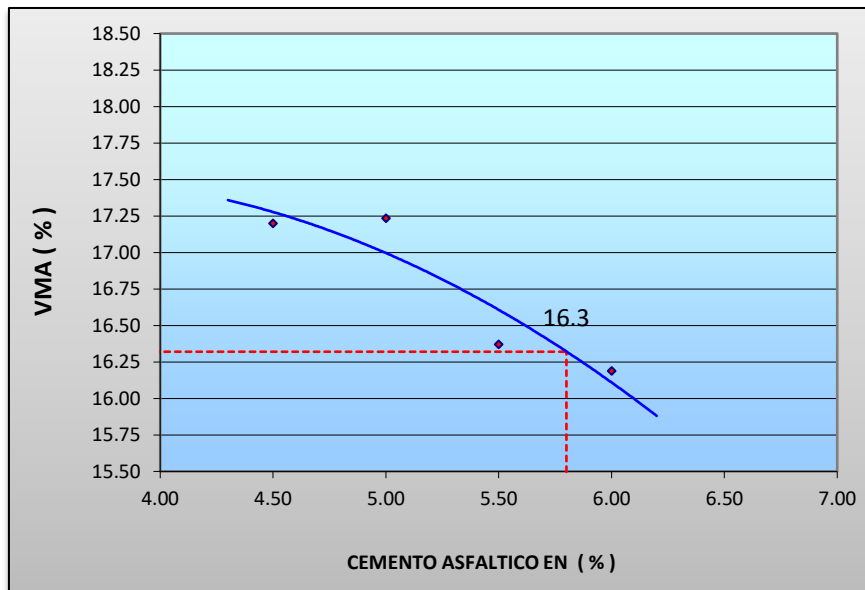
% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
N° golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	8.29	6.92	4.61	3.18	3 – 5 %
VMA (%)	17.20	17.23	16.37	16.19	
VLCA (%)	51.8	59.9	71.8	80.4	70 – 80 %
Flujo (mm)	15.08	14.23	14.72	14.07	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	6.95	8.03	10.67	12.33	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	1851	2273	2913	3522	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando vidrio molido al 5%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.



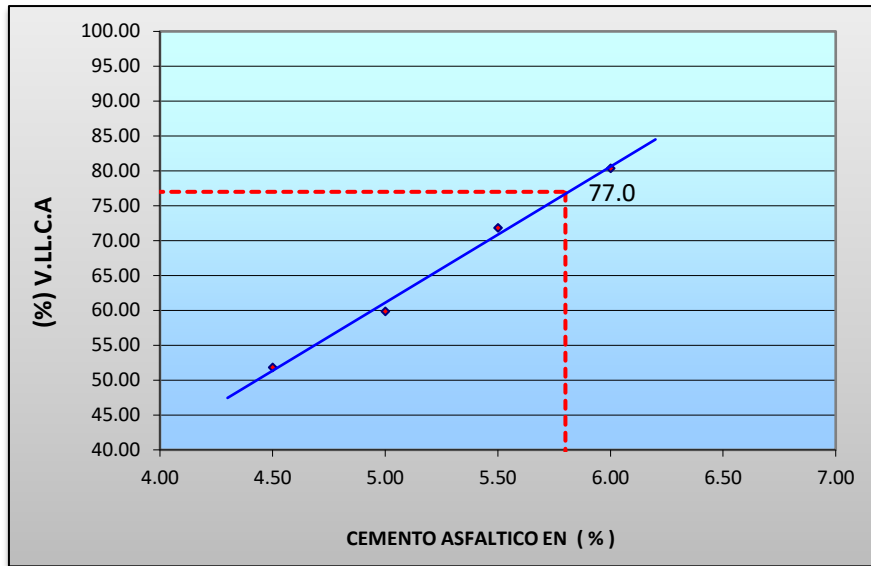
**Figura 20.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 5% vidrio molido

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 5% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



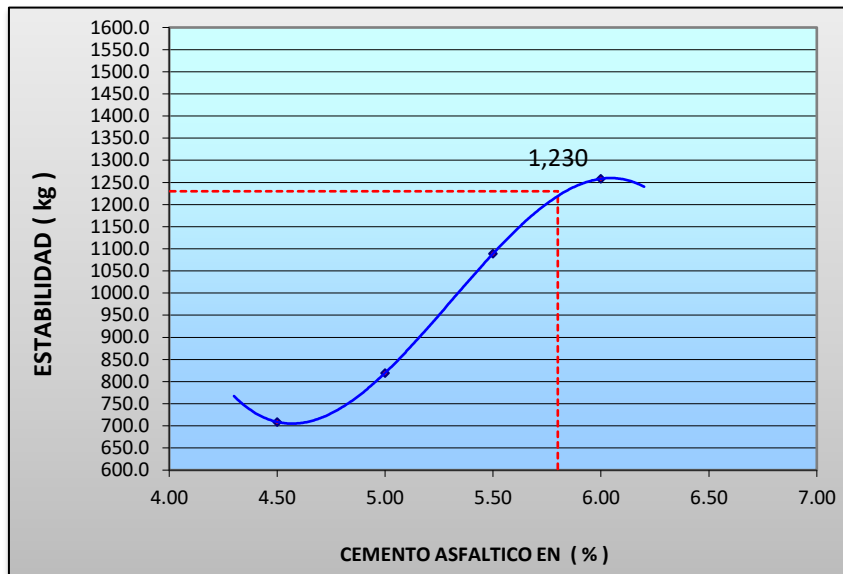
**Figura 21.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 5% vidrio molido

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 5% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



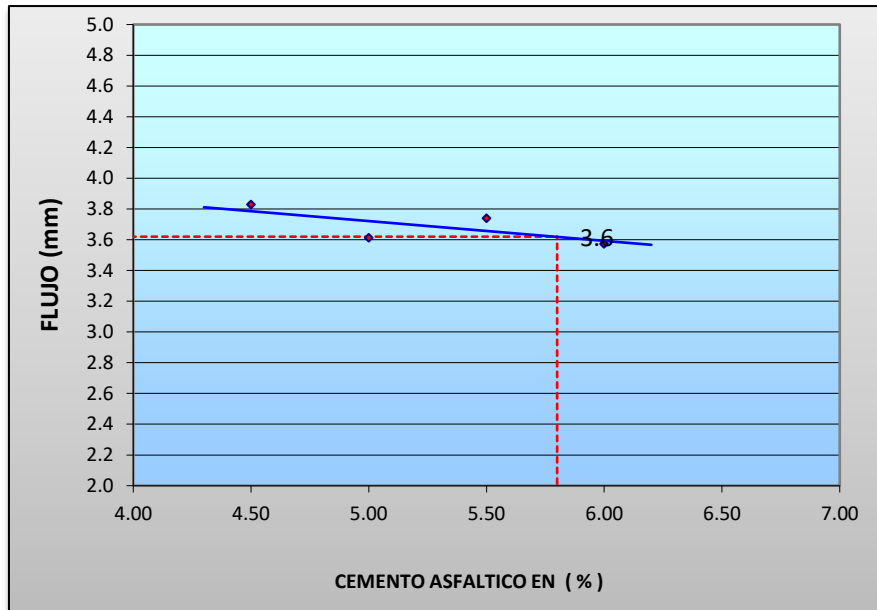
**Figura 22.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 5% vidrio molido

Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 5% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



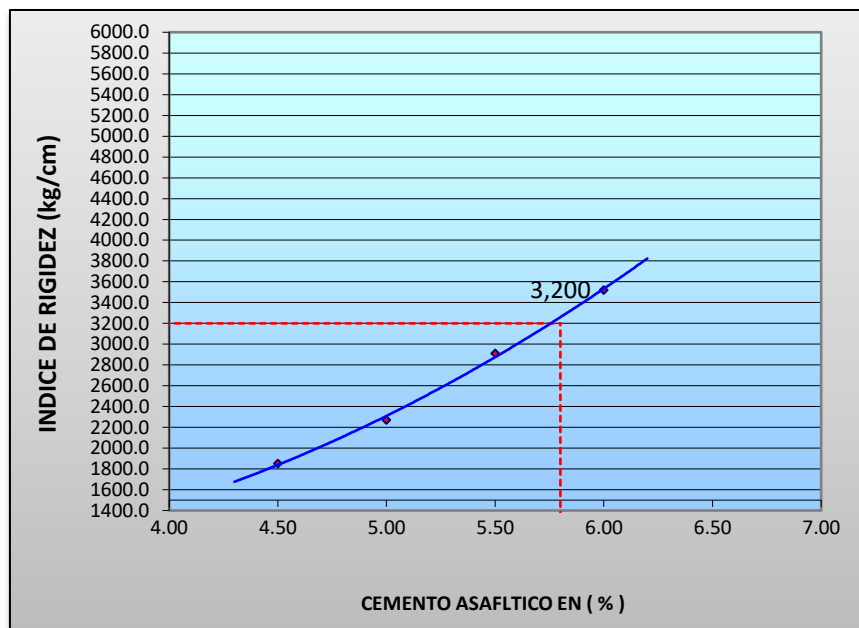
**Figura 23.** Estabilidad con el Método Marshall, con 5% vidrio molido

Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 5% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 24.** Flujo con el Método Marshall con 5% vidrio molido

Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño con 5% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 25.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 5% vidrio molido

Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 5% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

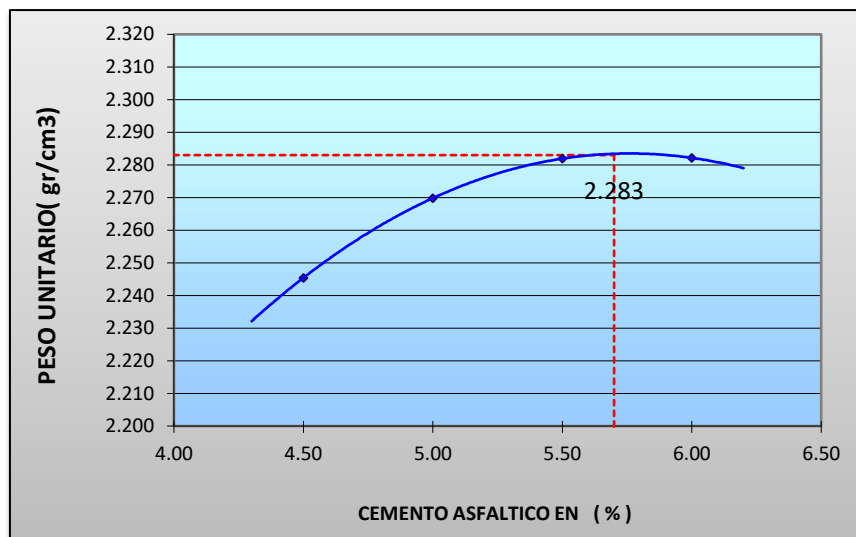


**Tabla XVII**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con vidrio molido al 7%

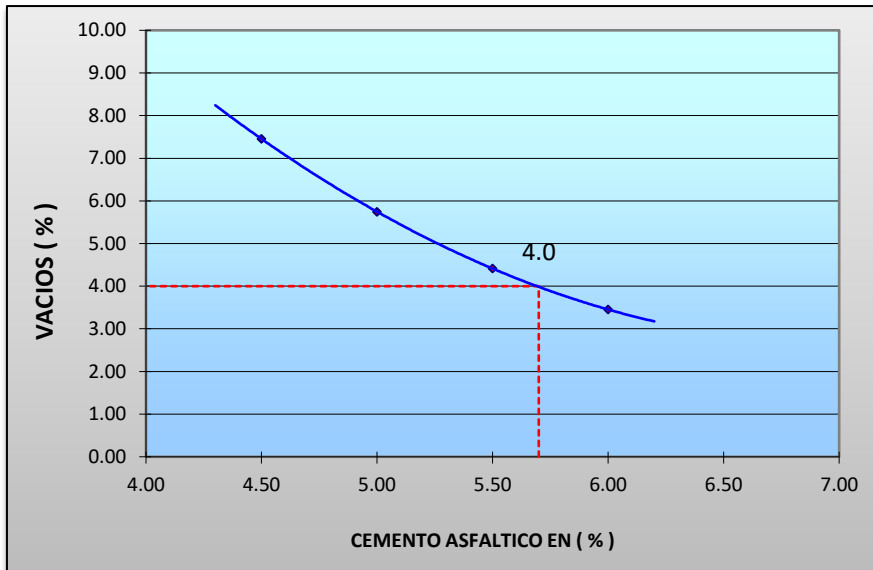
% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
N° golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	7.45	5.74	4.42	3.45	3 – 5 %
VMA (%)	16.85	16.39	16.39	16.82	
VLCA (%)	55.8	65.0	73.1	79.5	70 – 80 %
Flujo (mm)	15.62	14.45	13.45	12.41	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	8.52	10.27	12.51	13.12	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	2191	2855	3740	4250	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando vidrio molido al 7%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.



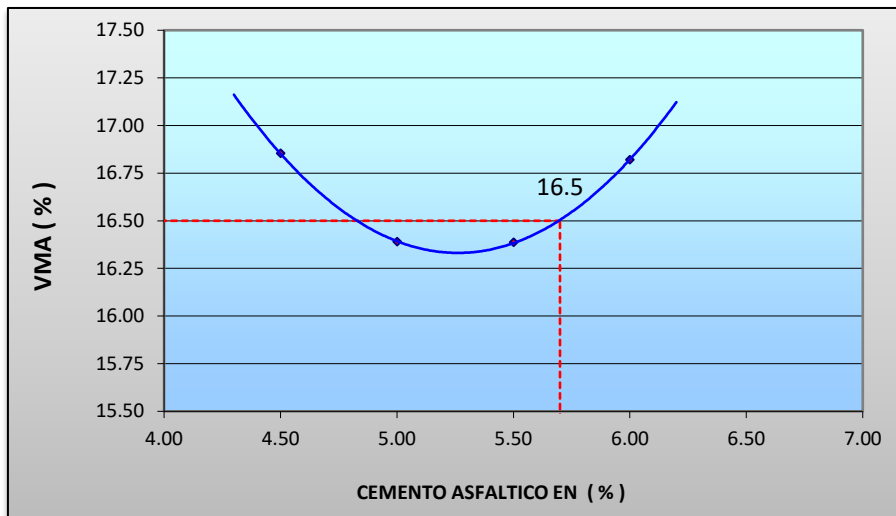
**Figura 26.** Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 7% vidrio molido

Nota: Gráfico de peso unitario en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 7% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



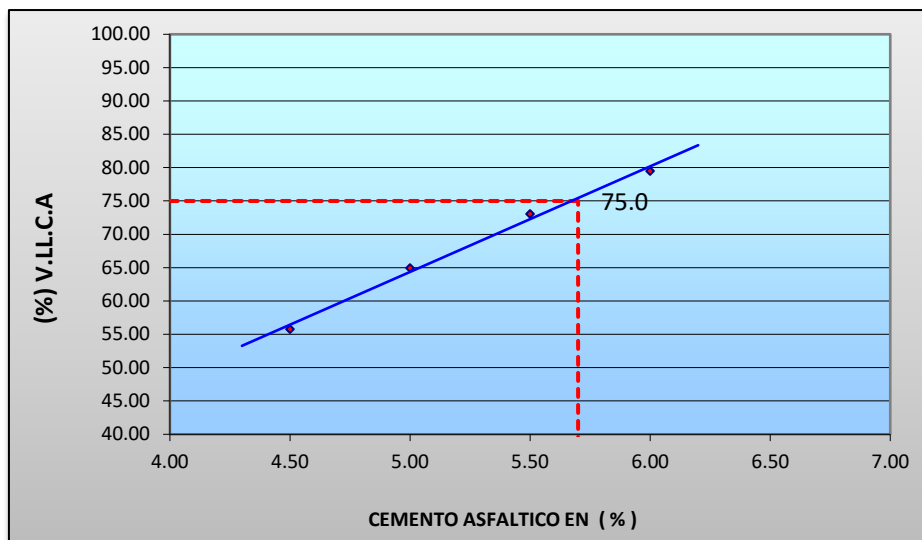
**Figura 27.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 7% vidrio molido

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 7% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



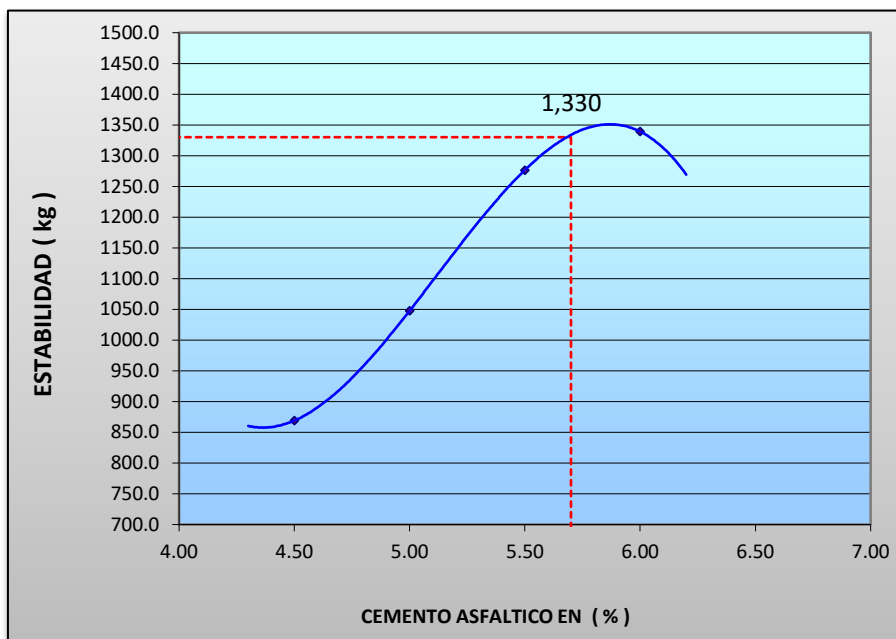
**Figura 28.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 7% vidrio molido

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 7% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



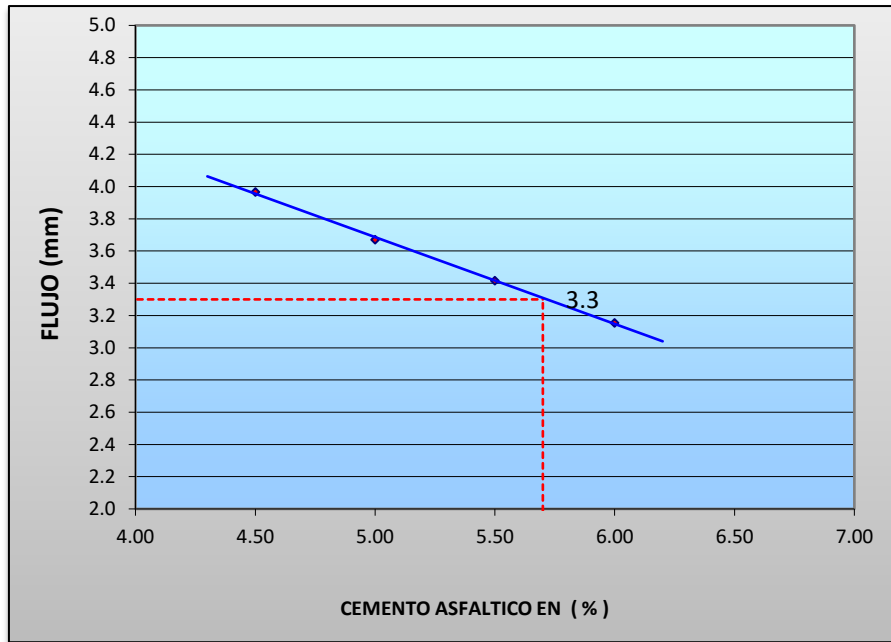
**Figura 29.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 7% vidrio molido

Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 7% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



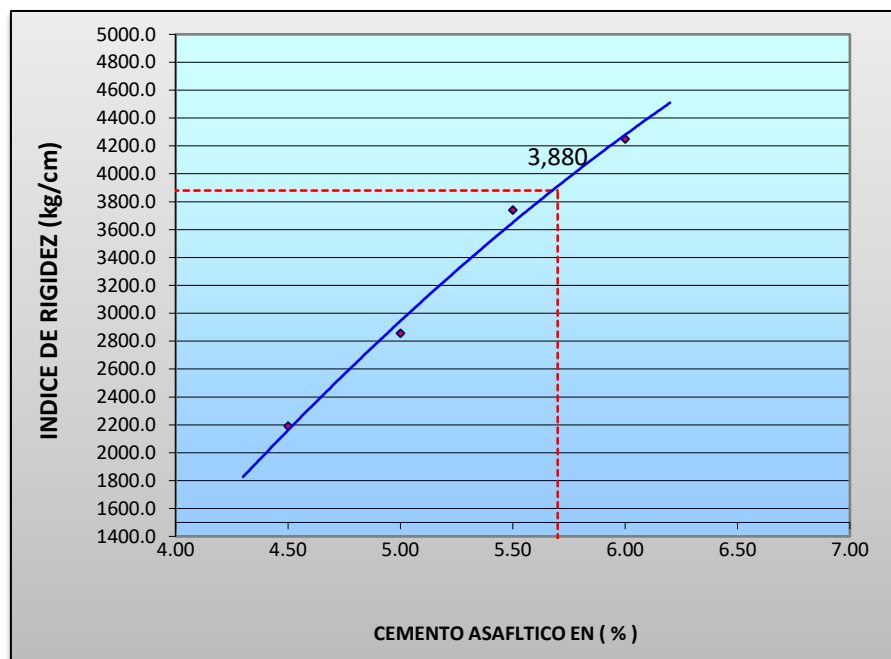
**Figura 30.** Estabilidad con el Método Marshall, con 7% vidrio molido

Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 7% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 31.** Flujo con el Método Marshall con 7% vidrio molido

Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño con 7% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 32.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 7% vidrio molido

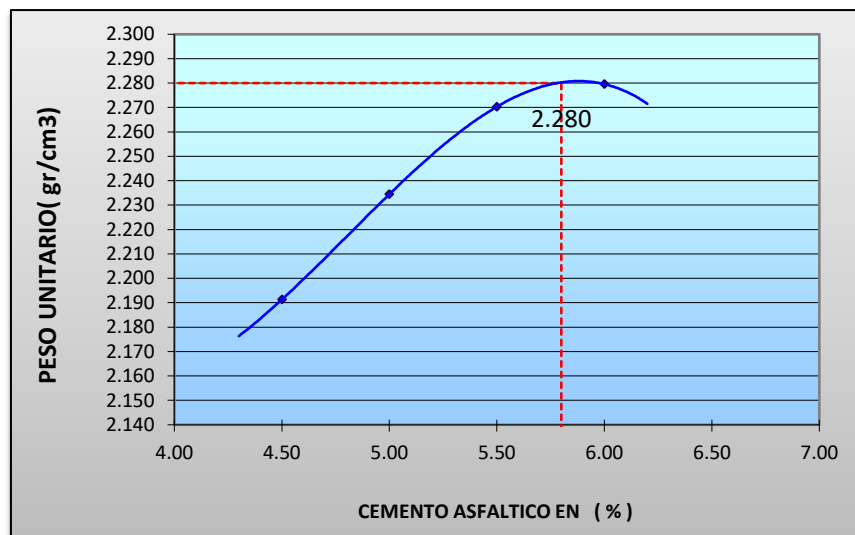
Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 7% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

**Tabla XVIII**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con vidrio molido al 10%

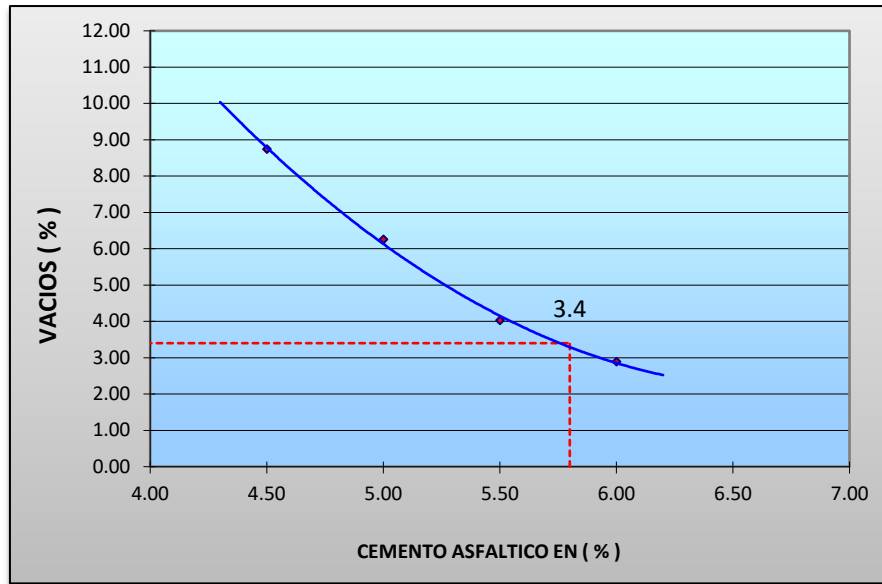
% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
Nº golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	8.74	6.26	4.03	2.89	3 – 5 %
VMA (%)	18.85	17.68	16.80	16.90	
VLCA (%)	53.60	64.6	76.0	82.9	70 – 80 %
Flujo (mm)	16.34	15.43	14.09	12.59	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	9.02	11.41	13.35	13.15	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	2219	2977	3807	4197	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando vidrio molido al 10%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.



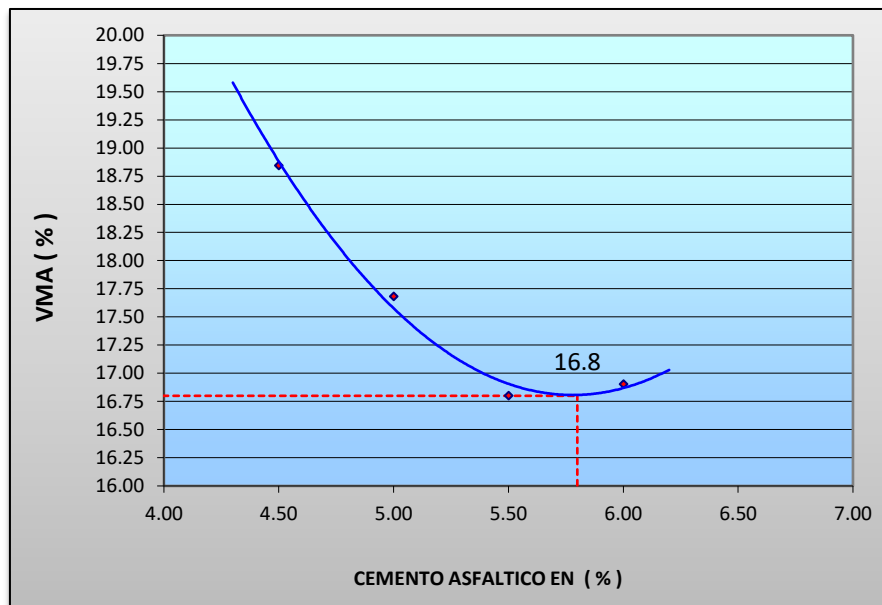
**Figura 33.** Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 10% vidrio molido

Nota: Gráfico de peso unitario en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 10% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



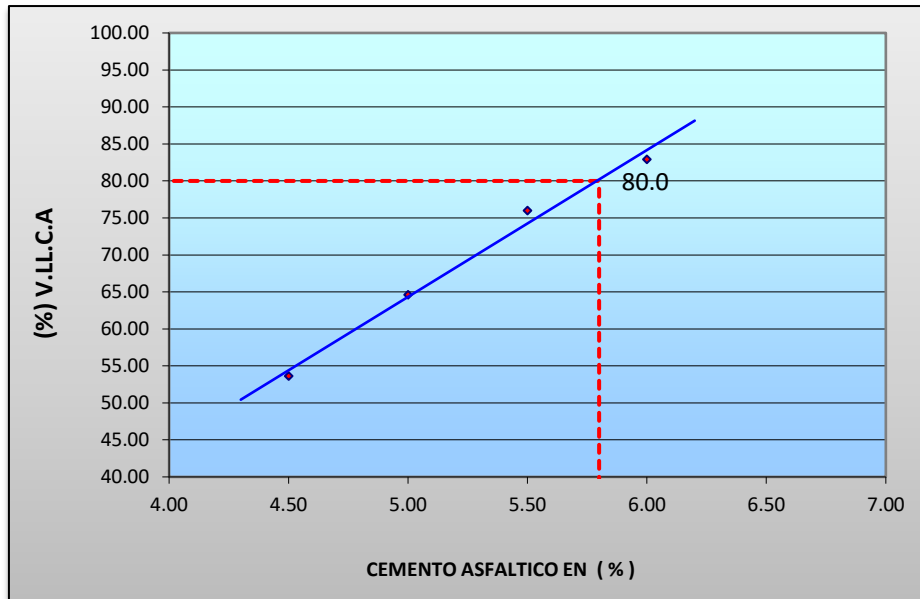
**Figura 34.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 10% vidrio molido

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 10% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



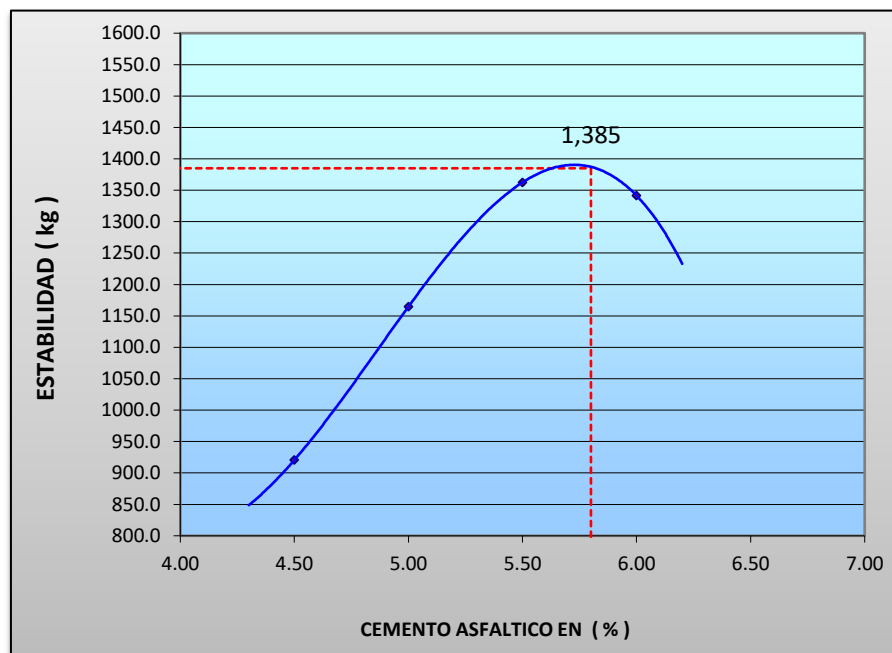
**Figura 35.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 10% vidrio molido

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 10% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



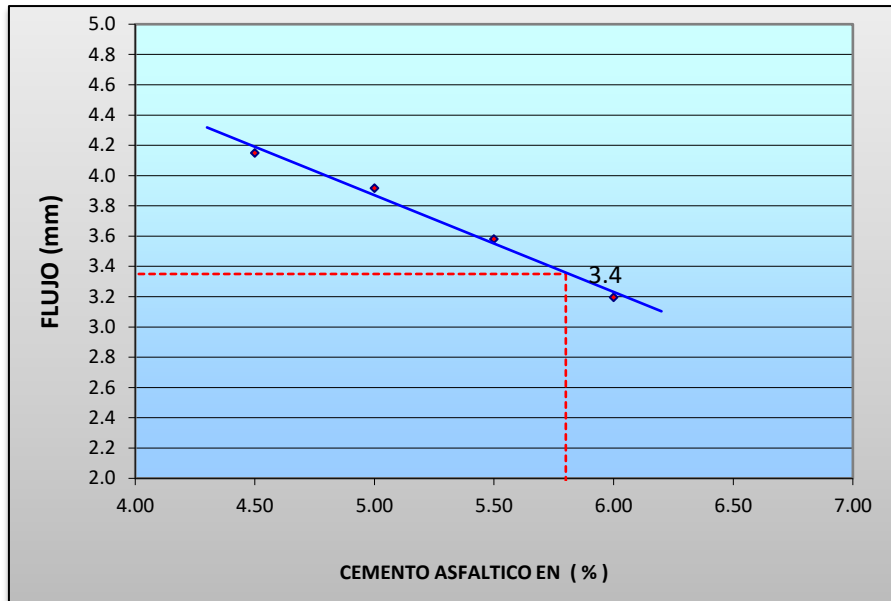
**Figura 36.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 10% vidrio molido

Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 10% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



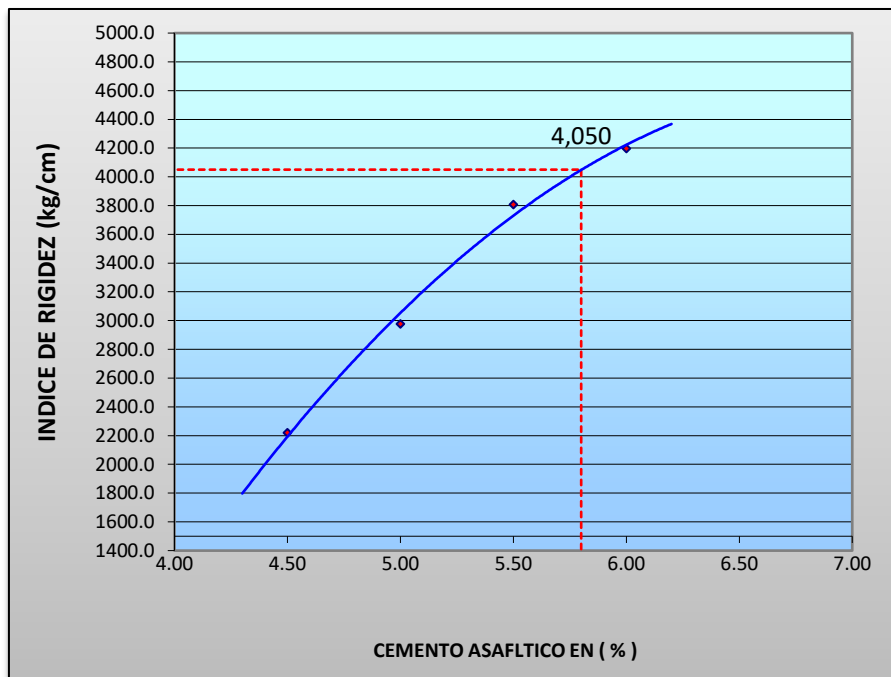
**Figura 37.** Estabilidad con el Método Marshall, con 10% vidrio molido

Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 10% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 38.** Flujo con el Método Marshall con 10% vidrio molido

Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño con 10% vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 39.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 10% vidrio molido

Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 10% de vidrio molido, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

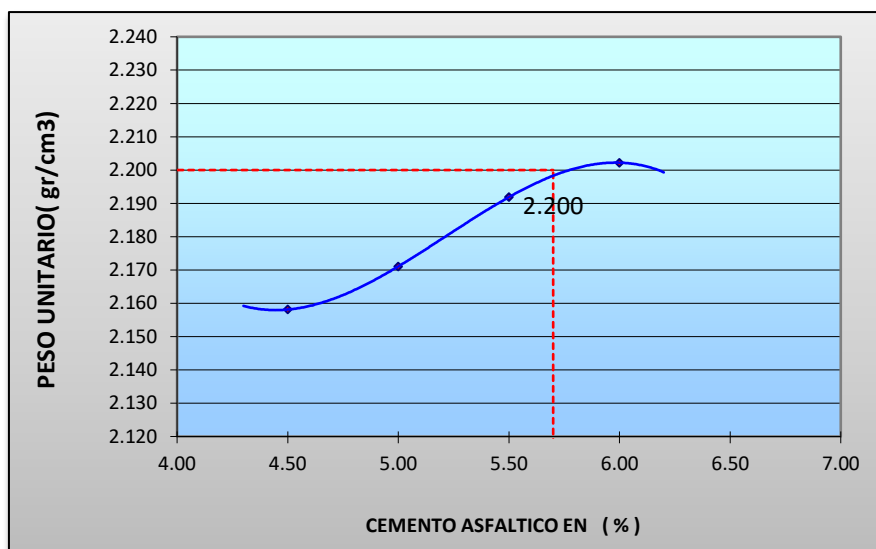


**Tabla XIX**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica con 3% caucho granulado

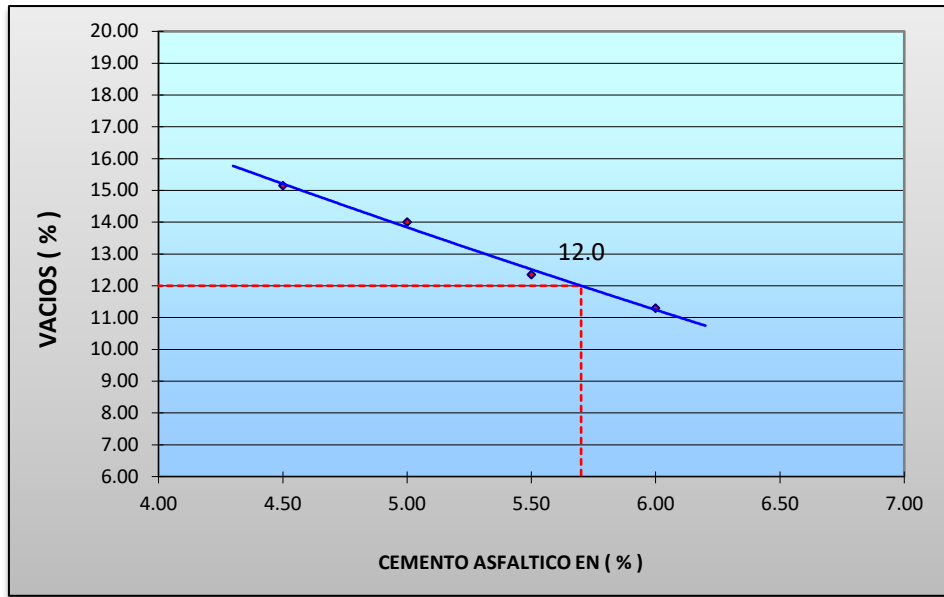
% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
Nº golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	15.15	14.0	12.35	11.30	3 – 5 %
VMA (%)	20.10	20.04	19.70	19.75	
VLCA (%)	24.6	30.1	37.3	42.8	70 – 80 %
Flujo (mm)	21.22	19.76	17.67	16.50	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	7.41	8.01	8.27	8.14	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	1403	1629	1887	1983	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando caucho triturado al 3%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.



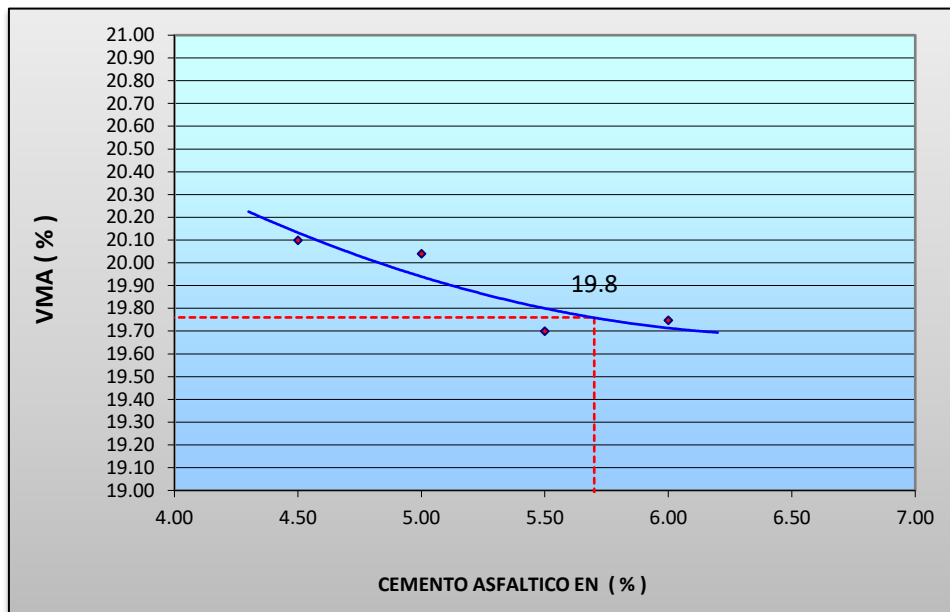
**Figura 40.** Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 3% caucho granulado

Nota: Gráfico de peso unitario en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



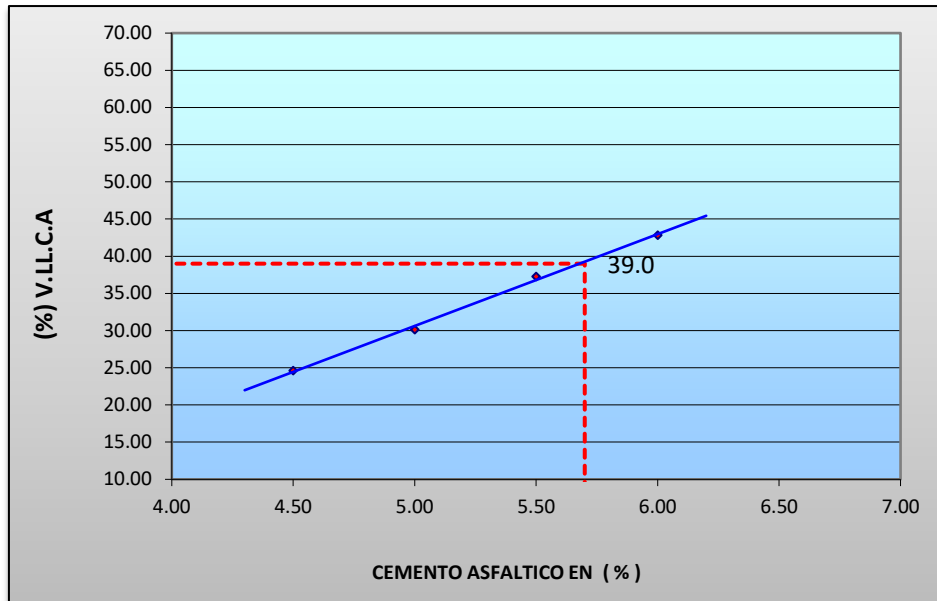
**Figura 41.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 3% caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



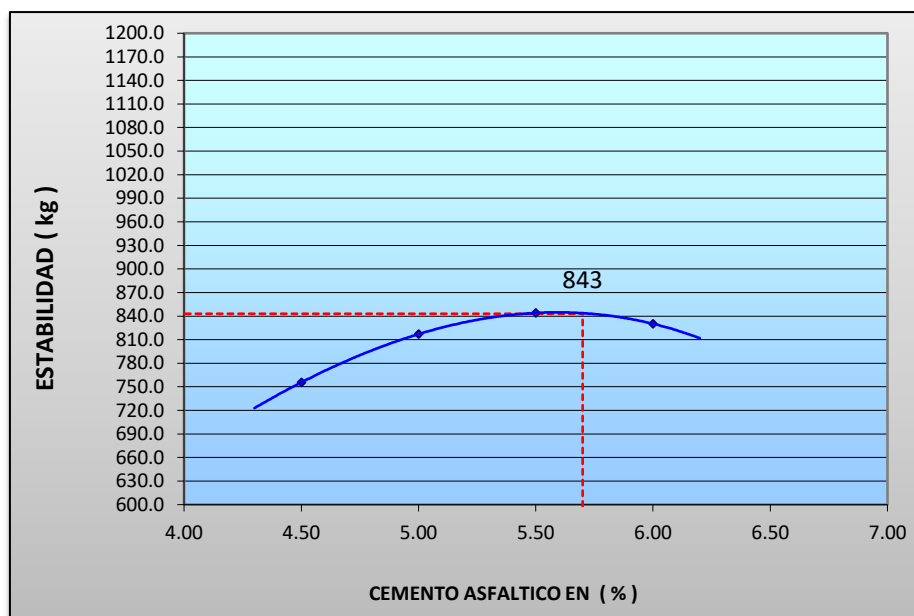
**Figura 42.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 3% de caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



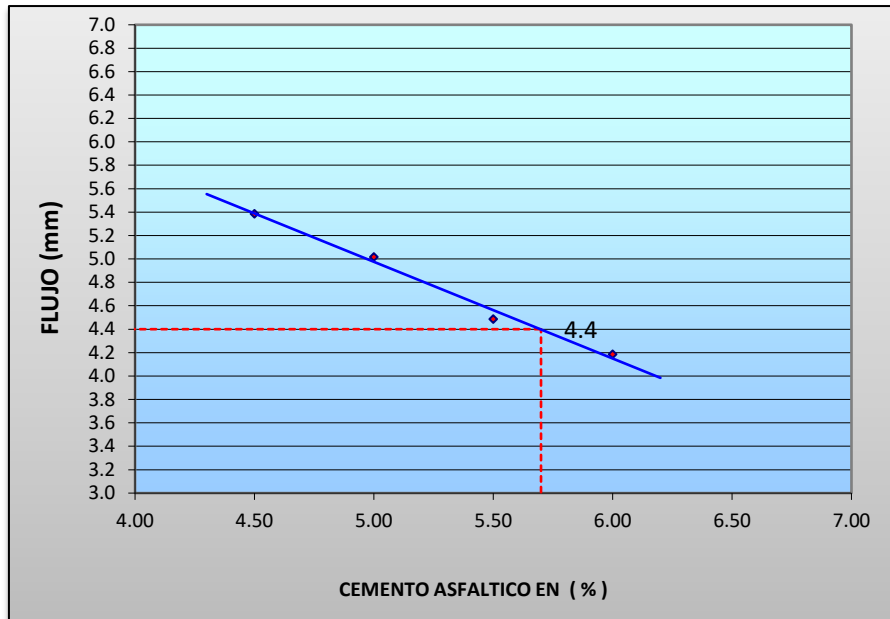
**Figura 43.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 3% de caucho granulado

Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



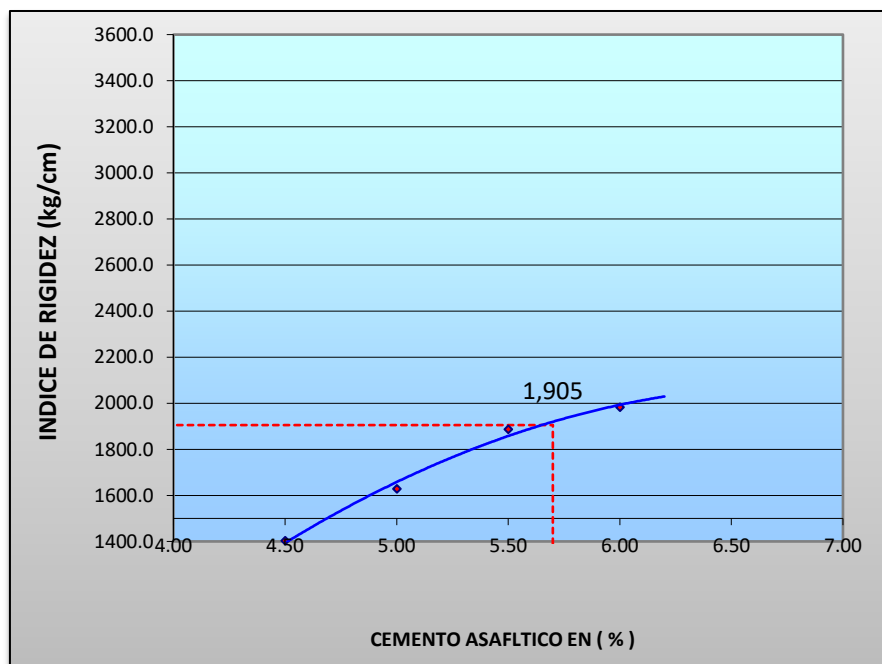
**Figura 44.** Estabilidad con el Método Marshall, con 3% de caucho granulado

Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 45.** Flujo con el Método Marshall con 3% de caucho granulado

Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 46.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 3% de caucho granulado

Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

**Tabla XX**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño modificado con 5% caucho granulado

% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
N° golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	15.59	14.41	13.12	11.98	3 – 5 %
VMA (%)	21.72	21.77	21.50	21.58	
VLCA (%)	28.2	33.8	39.0	44.5	70 – 80 %
Flujo (mm)	23.53	22.56	20.76	19.72	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	7.22	8.01	8.41	8.35	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	1232	1426	1627	1701	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando caucho triturado al 5%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.

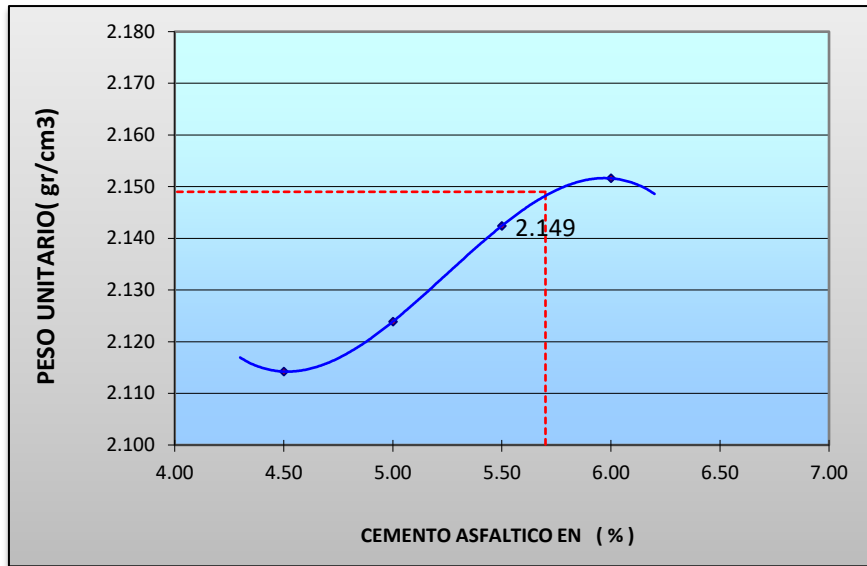
### Gráficos de energía de compactación con parámetros de diseño para una mezcla asfáltica con 5% caucho granulado

**Tabla XXI**

Dosificación de agregados

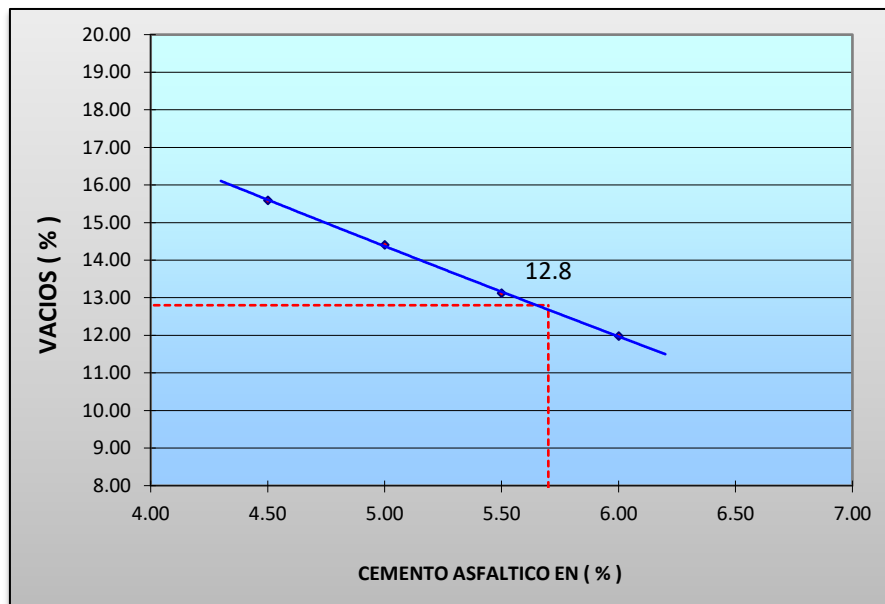
Piedra chancada	Arena natural	Arena chancada	Cemento	Caucho
<3/4"	<3/8"	<3/8"	Asfáltico	granulado
40.0%	15.0%	38.0%	Pen 60-70 + 0.05% aditivo	5.0%

Nota: Porcentajes de materiales en el diseño de mezcla asfáltica modificada con caucho granulado al 5% de adición en sustitución del peso del agregado fino.



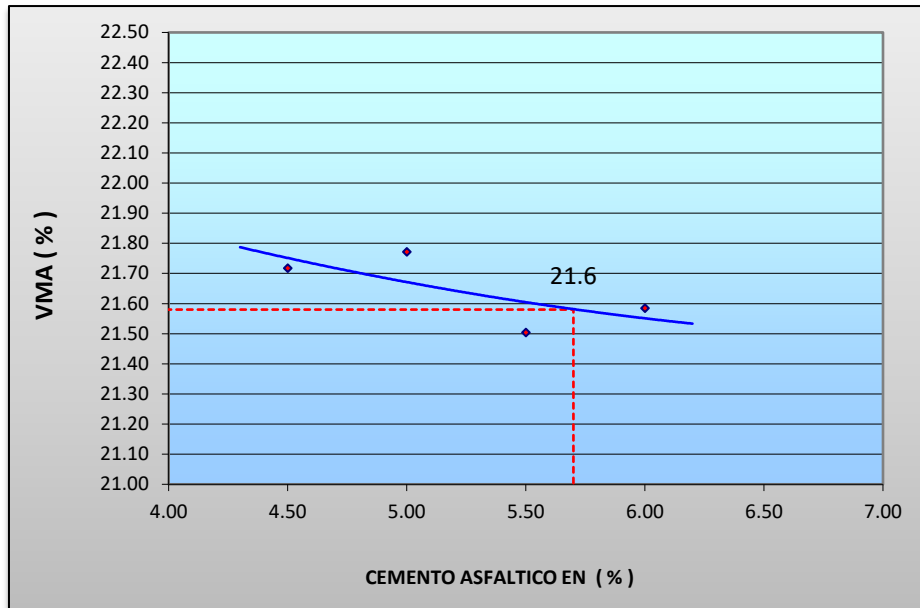
**Figura 47.** Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 5% caucho granulado

Nota: Gráfico de peso unitario en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 5% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



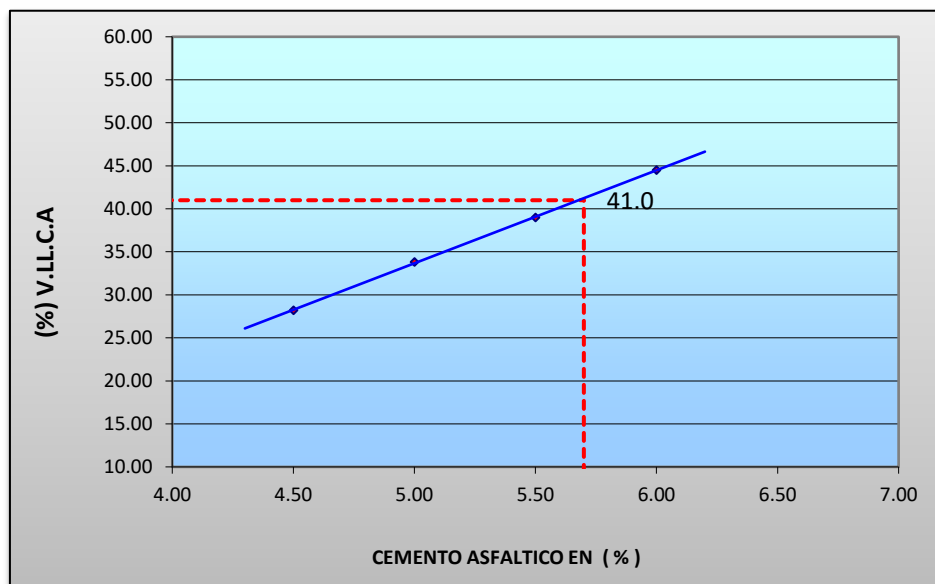
**Figura 48.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 5% caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 5% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



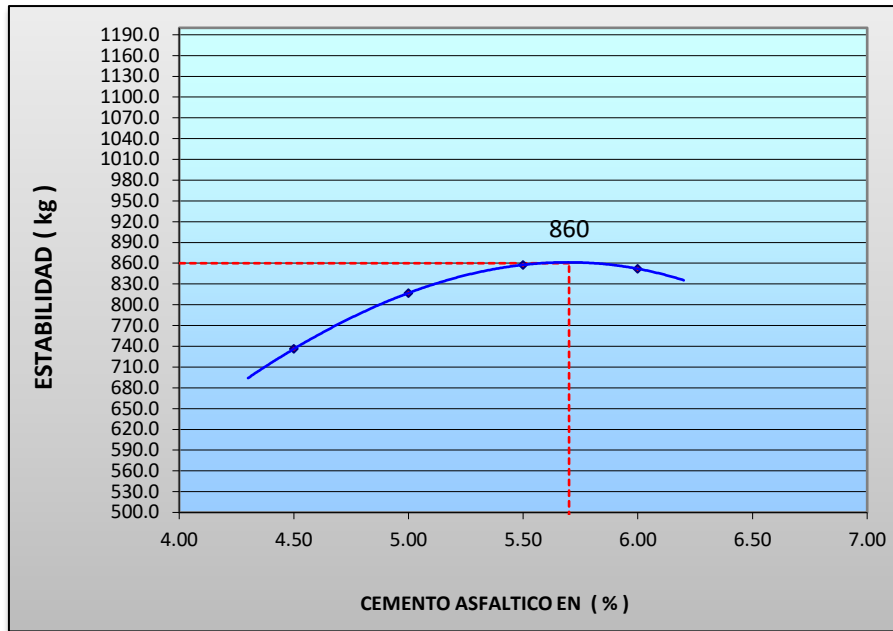
**Figura 49.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 5% de caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 5% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



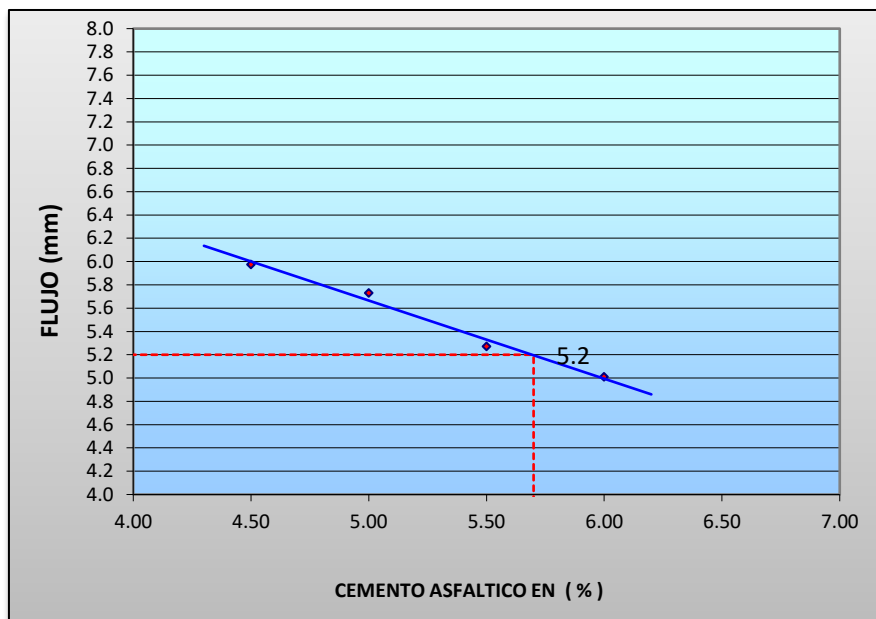
**Figura 50.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 5% de caucho granulado

Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 5% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 51.** Estabilidad con el Método Marshall, con 5% de caucho granulado

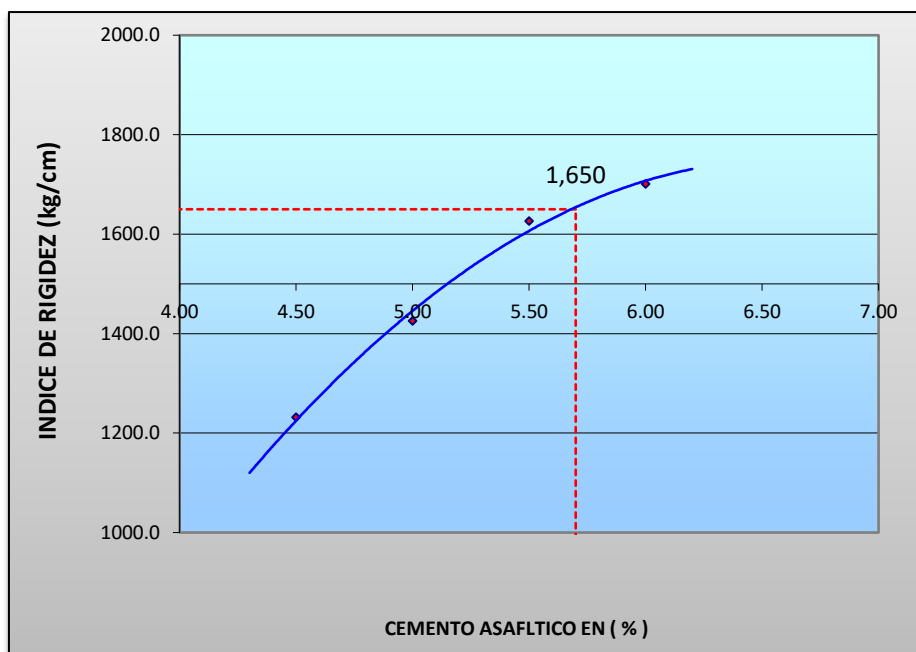
Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 5% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 52.** Flujo con el Método Marshall con 5% de caucho granulado

Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño con 5% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.





**Figura 53.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 5% de caucho triturado  
 Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 5% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

**Tabla XXII**

Resumen de resultados de gráficos con el método Marshall al 5% de caucho granulado

Ítem	Valor	Especificaciones
Óptimo contenido c.a (%)	5.7	-
Peso unitario (gr/ cm <sup>3</sup> )	2.149	-
Vacíos (%)	12.8	3 - 5
V.m.a (%)	21.58	Min 14
Flujo (mm)	5.2	2 - 4
Estabilidad (kg)	860	Min 815
Índice de rigidez (kg/cm)	1650	1700 – 4000
% Vacíos llenados con c.a.	41	-

Nota: Resultados obtenidos de los gráficos mostrados de los ensayos con el Método Marshall, para un diseño con 5% de caucho granulado.

**Tabla XXIII**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño modificado con caucho al 7%

% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
Nº golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	16.99	15.76	14.05	12.87	3 – 5 %
VMA (%)	23.64	23.41	23.13	23.02	
VLCA (%)	28.1	32.7	39.2	44.1	70 – 80 %
Flujo (mm)	24.11	19.65	18.24	17.13	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	6.98	7.59	8.06	8.54	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	1163	1553	1781	2006	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando caucho triturado al 7%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.

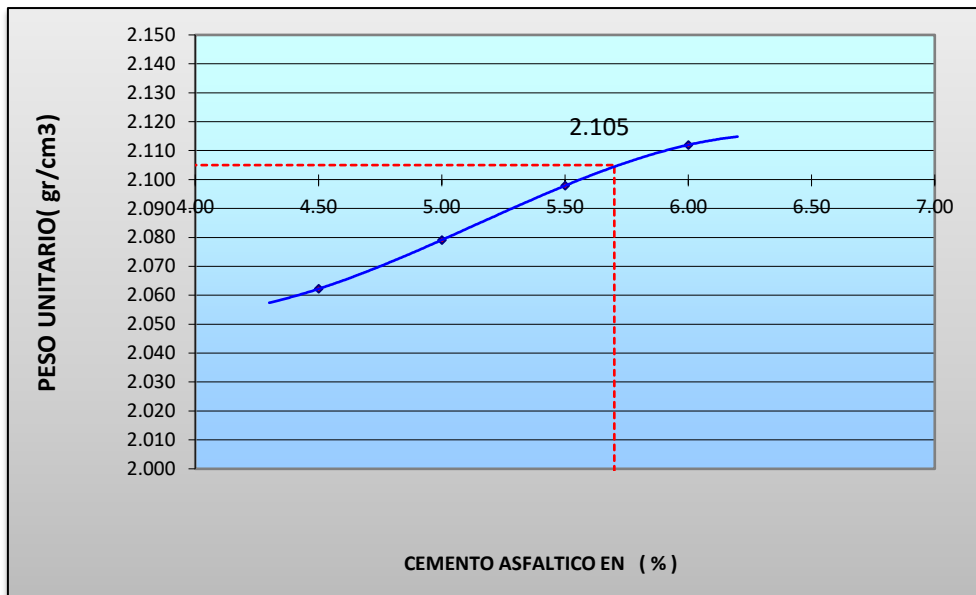
**Gráficos de energía de compactación con parámetros de diseño para una mezcla asfáltica con 7% caucho granulado**

**Tabla XXIV**

Dosificación de agregados

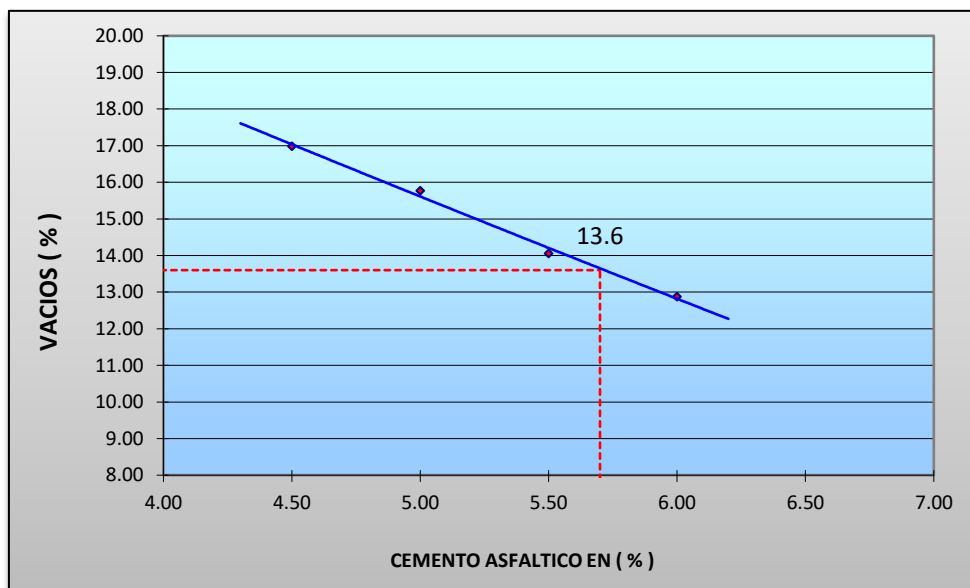
Piedra chancada <3/4"	Arena natural <3/8"	Arena chancada < 3/8"	Cem. Asfáltico	Caucho picado
40.0%	13.0%	38.0%	Pen 60-70 + 0.05% aditivo	7.0%

Nota: Cantidad de materiales usados en porcentajes para diseño de mezcla asfáltica con 7% de caucho granulado.



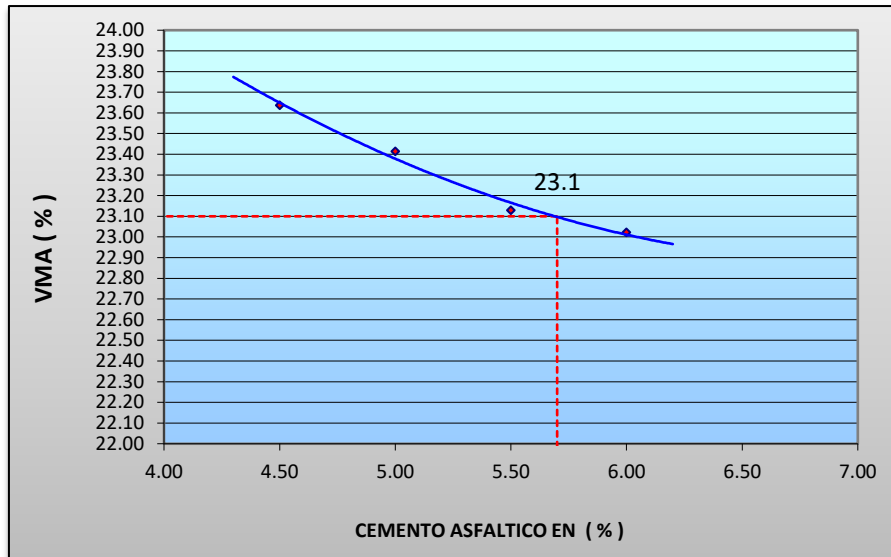
**Figura 54.** Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 7% caucho granulado

Nota: Gráfico de peso unitario en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 7% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



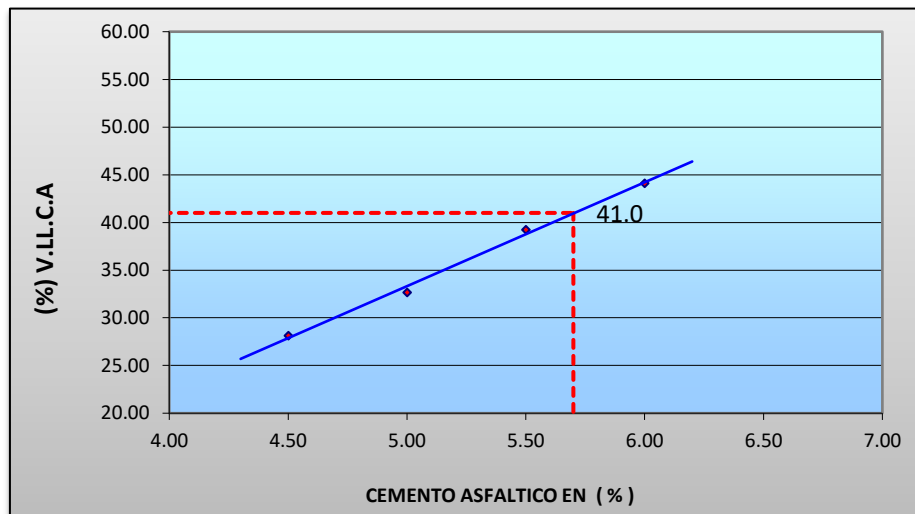
**Figura 55.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 7% caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 7% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



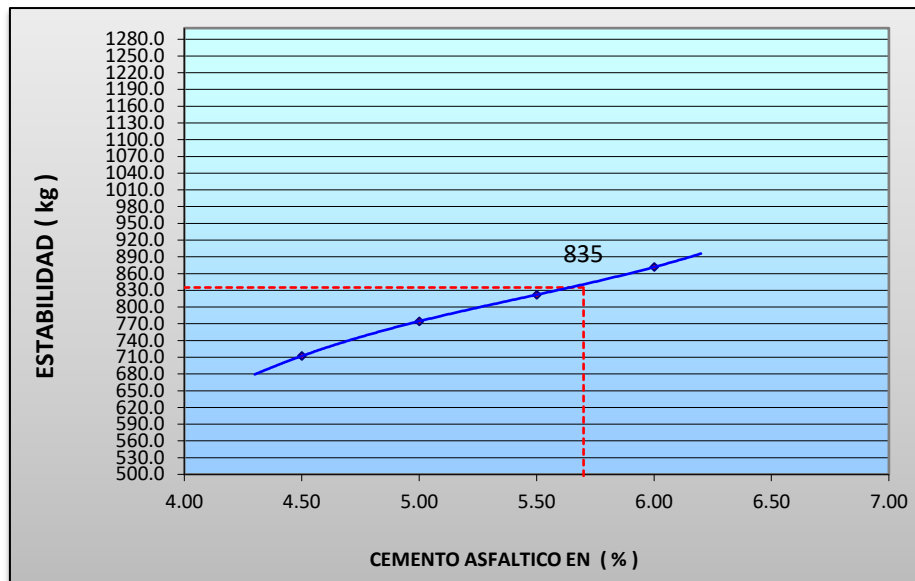
**Figura 56.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 7% de caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 7% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



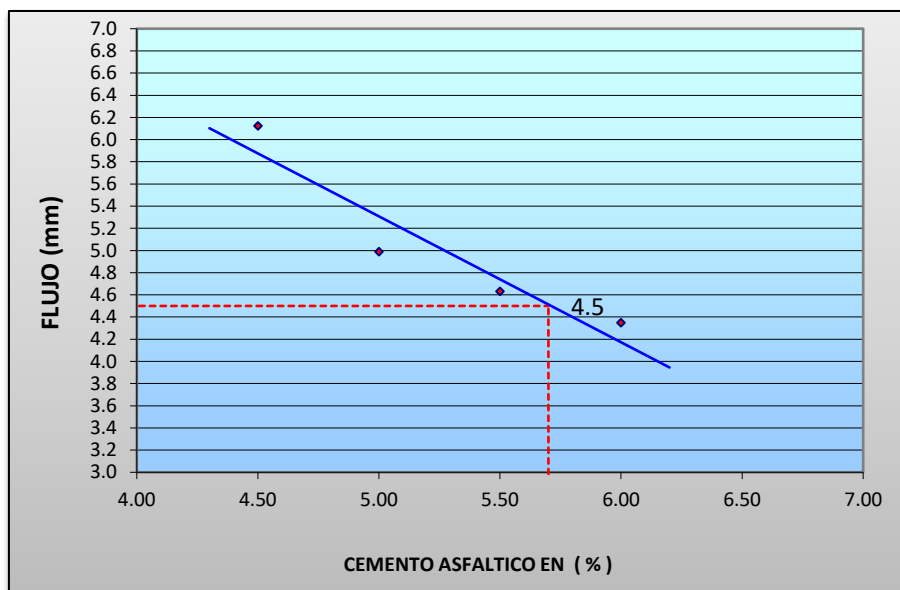
**Figura 57.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 7% de caucho granulado

Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 7% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



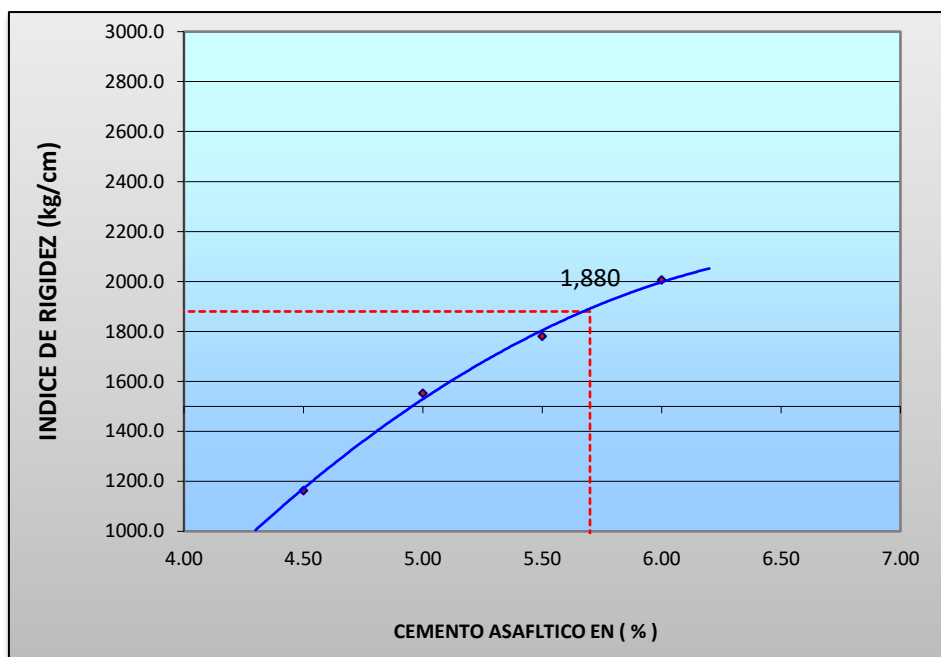
**Figura 58.** Estabilidad con el Método Marshall, con 7% de caucho granulado

Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 7% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 59.** Flujo con el Método Marshall con 7% de caucho granulado

Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño con 7% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 60.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 7% de caucho granulado

Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 7% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

**Tabla XXV**

Resumen de resultados de gráficos con el método Marshall al 7% de caucho granulado

Ítem	Valor	Especificaciones
Óptimo contenido c.a (%)	5.7	-
Peso unitario (gr/ cm <sup>3</sup> )	2.105	-
Vacíos (%)	13.6	3 - 5
V.m.a (%)	23.10	Min 14
Flujo (mm)	4.5	2 - 4
Estabilidad (kg)	835	Min 815
Índice de rigidez (kg/cm)	1880	1700 – 4000
% Vacíos llenados con c.a.	41	-

Nota: Resultados obtenidos de los gráficos de ensayos realizados con el método Marshall para un diseño modificado con 7% de caucho granulado.

**Tabla XXVI**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño modificado con 10% caucho granulado

% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	Especificaciones
					Técnicas
Nº golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	18.14	16.72	15.78	14.26	3 – 5 %
VMA (%)	25.15	24.95	25.05	24.97	
VLCA (%)	27.9	33.0	37.0	42.9	70 – 80 %
Flujo (mm)	22.32	21.18	19.21	19.21	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	6.27	6.57	6.92	7.58	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	1128	1245	1447	1583	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando caucho granulado al 10%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.

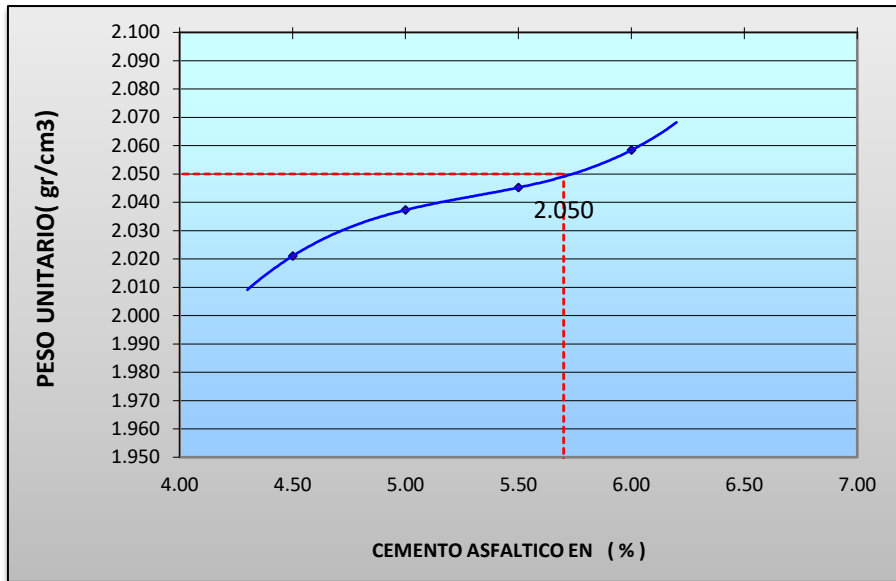
### **Gráficos de energía de compactación con parámetros de diseño para una mezcla asfáltica con 10% caucho granulado**

**Tabla XXVII**

Dosificación de agregados

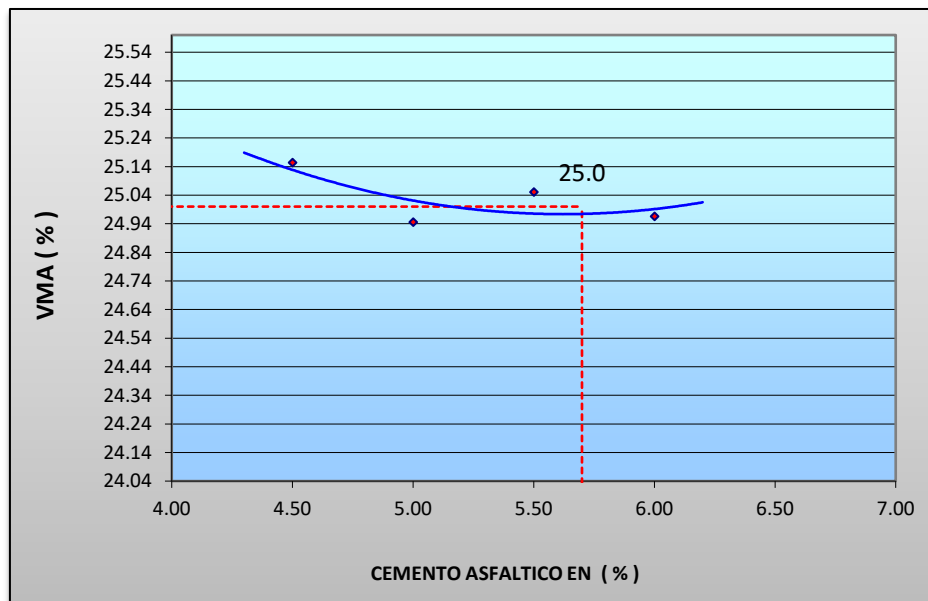
Piedra chancada <3/4"	Arena natural <3/8"	Arena chancada < 3/8"	Cem. Asfáltico	Caucho picado
40.0%	10.0%	38.0%	Pen 60-70 + 0.05% aditivo	10.0%

Nota: Cantidad de materiales usados en porcentajes para diseño de mezcla asfáltica con 10% de caucho granulado.



**Figura 61.** Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 10% caucho granulado

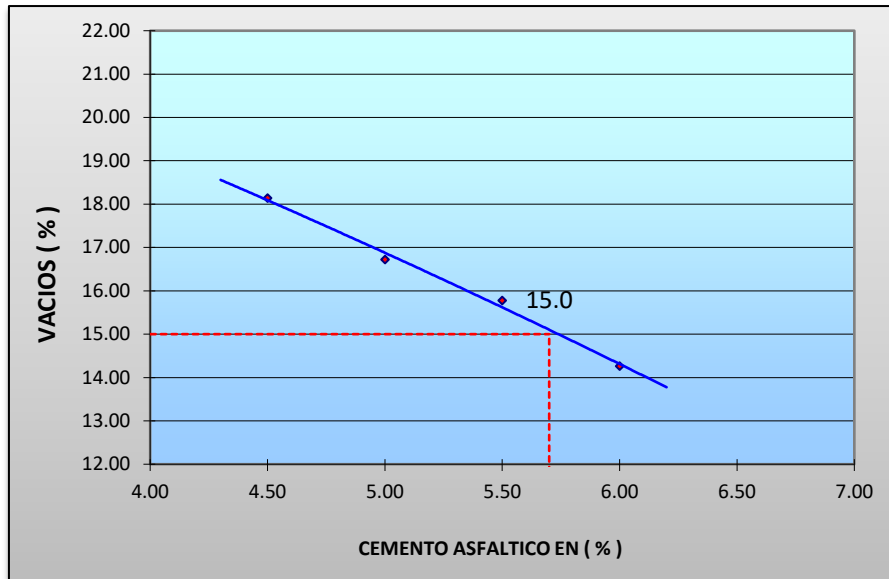
Nota: Gráfico de peso unitario en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 10% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 62.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 10% caucho granulado

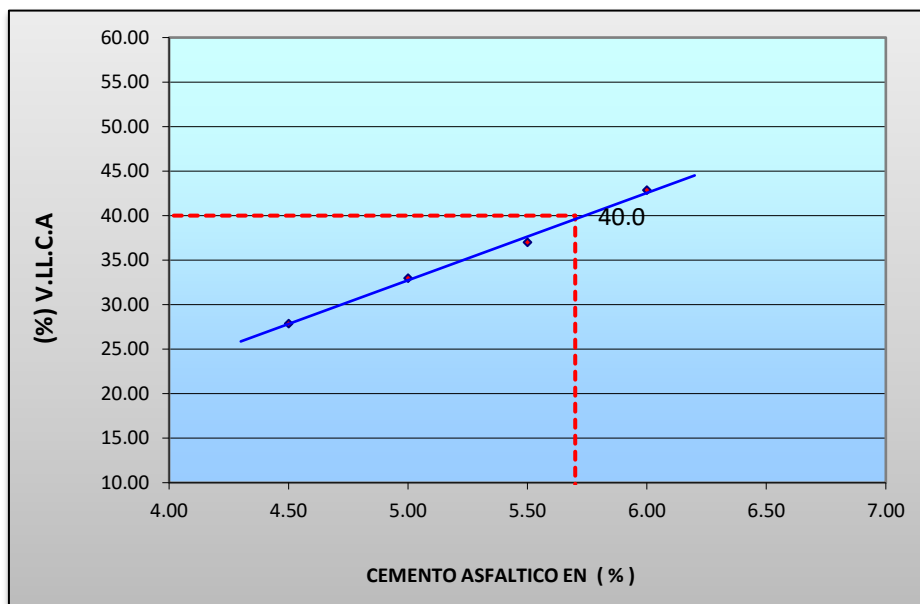
Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 10% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.





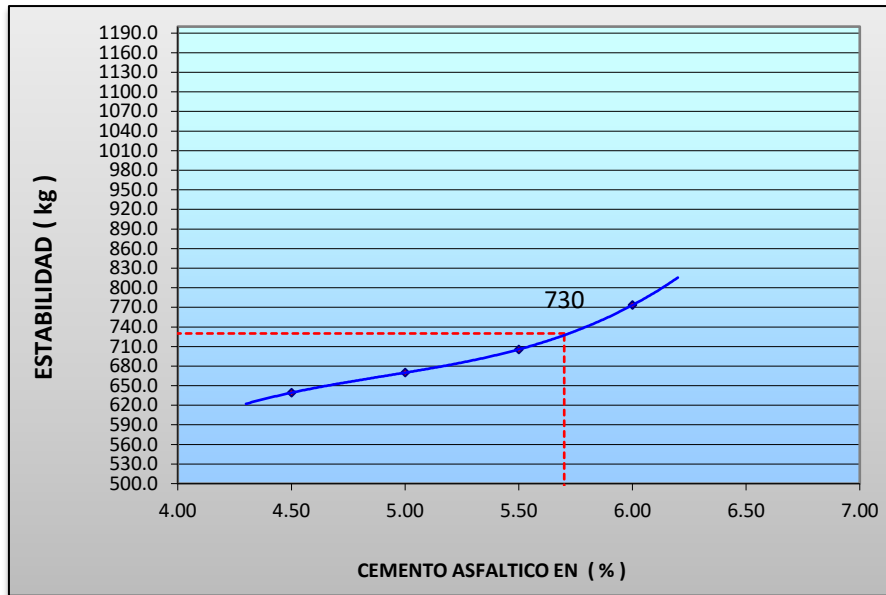
**Figura 63.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 10% de caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 10% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

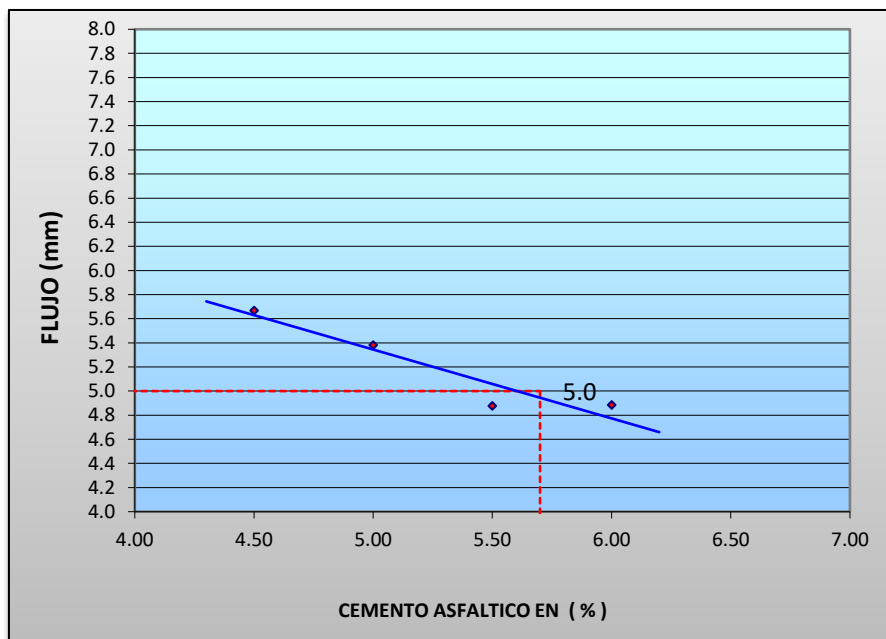


**Figura 64.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 10% de caucho granulado

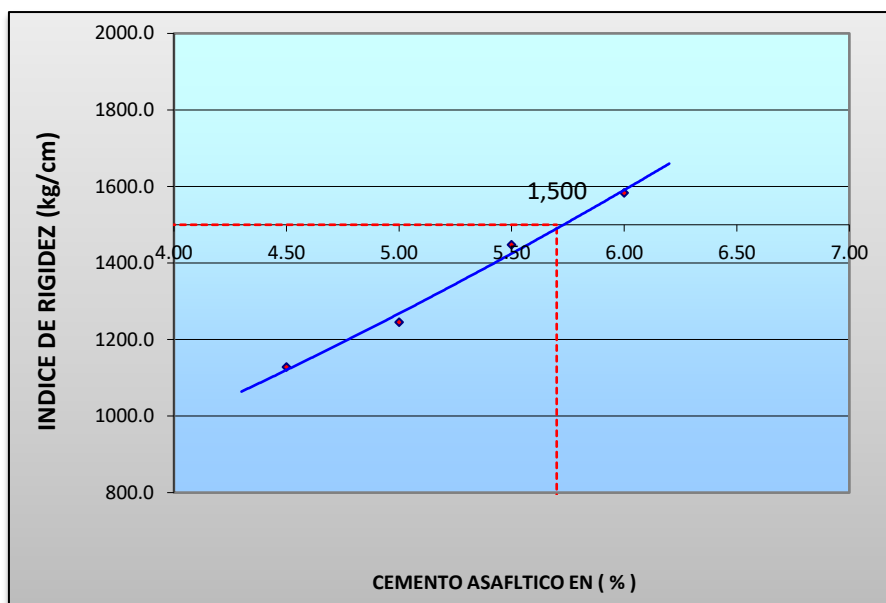
Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 10% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 65.** Estabilidad con el Método Marshall, con 10% de caucho granulado  
 Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 10% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 66.** Flujo con el Método Marshall con 10% de caucho granulado  
 Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño con 10% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 67.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 10% de caucho granulado

Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 10% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

**Tabla XXVIII**

Resumen de resultados de gráficos con el método Marshall al 10% de caucho granulado

Ítem	Valor	Especificaciones
Óptimo contenido c.a (%)	5.7	-
Peso unitario (gr/ cm <sup>3</sup> )	2.050	-
Vacíos (%)	15.0	3 - 5
V.m.a (%)	25.0	Min 14
Flujo (mm)	5.0	2 - 4
Estabilidad (kg)	730	Min 815
Índice de rigidez (kg/cm)	1500	1700 – 4000
% Vacíos llenados con c.a.	40.0	-

Nota: Los valores presentados son el resultado de los gráficos de una mezcla asfáltica con caucho granulado al 10%.

**Tabla XXIX**

Resultados óptimos de ensayos de mezcla asfáltica

<b>Vidrio molido</b>	<b>0%</b>	<b>3%</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>	<b>Especificaciones</b>
<b>% C.A.</b>	<b>5.75</b>	<b>5.80</b>	<b>5.80</b>	<b>5.70</b>	<b>5.80</b>	<b>Técnicas</b>
Nº golpes	35	35	35	35	35	
Vacíos (%)	4.15	4.92	4.3	4.37	3.48	3 – 5 %
VMA (%)	16.06	16.08	16.11	15.90	16.88	14%
VLCA (%)	74.17	69.41	73.36	72.50	79.38	70 – 80 %
Flujo (mm)	13.41	13.46	13.70	14.72	13.74	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	11.81	12.21	12.74	12.94	14.36	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	3534	3648	3663	3538	4197	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando vidrio molido, óptimo de incorporación es al 7%, con los parámetros del manual de carreteras, especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.

**Tabla XXX**

Resultados óptimos de ensayos de mezcla asfáltica incorporando caucho granulado

<b>Caucho triturado</b>	<b>3%</b>	<b>5%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>	<b>Especificaciones</b>
<b>% C.A.</b>	<b>5.70</b>	<b>5.70</b>	<b>5.70</b>	<b>5.70</b>	<b>Técnicas</b>
Nº golpes	35	35	35	35	
Vacíos (%)	5.34	7.17	9.33	11.82	3 – 5 %
VMA (%)	18.48	21.22	23.27	25.36	14%
VLCA (%)	71.09	66.22	59.92	53.38	70 – 80 %
Flujo (mm)	16.81	18.03	18.39	18.0	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	8.43	8.57	8.54	7.03	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	2023	1911	1875	1567	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos Método Marshall incorporando caucho triturado al 3%, con los parámetros del manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013.

**Tabla XXXI**

Resultados de ensayos de mezcla asfáltica diseño con 7% vidrio y 3% caucho triturado

% C.A.	4.5	5.0	5.5	6.0	5.75	Especificaciones
						Técnicas
N° golpes	35	35	35	35	35	
Vacios (%)	9.23	7.24	4.27	3.44	3.6	3 – 5 %
VMA (%)	23.32	22.62	21.17	21.48	21.38	
VLCA (%)	60.4	68.0	79.8	84.0	83.17	70 – 80 %
Flujo (mm)	16.46	15.51	14.65	12.72	15.21	Entre 8 - 20
Estabilidad corregida (kN)	9.483	11.16	11.69	11.67	11.90	Mín. 4.53 kN
Índice de Rigidez (kg/cm <sup>2</sup> )	2314	2885	3206	3681	3144	1700 - 4000

Nota: Resultados de ensayos con Método Marshall, diseño de mezcla modificada con la incorporación de 7% de vidrio molido y 3% caucho granulado, para tránsito liviano, con los parámetros del MTC.

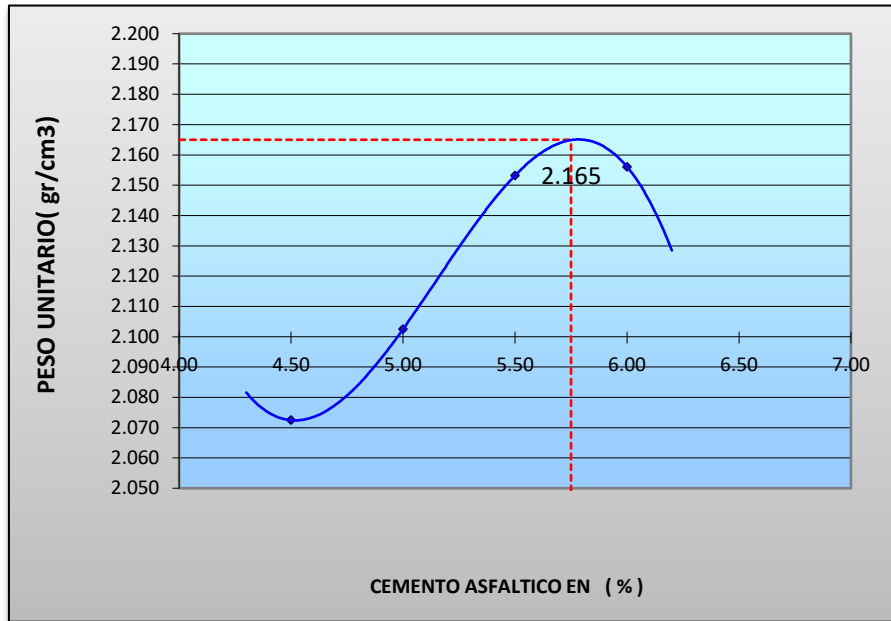
**Gráficos de energía de compactación con parámetros de diseño para una mezcla asfáltica con 7% de vidrio molido y 3% caucho granulado**

**Tabla XXXII**

Dosificación de agregados

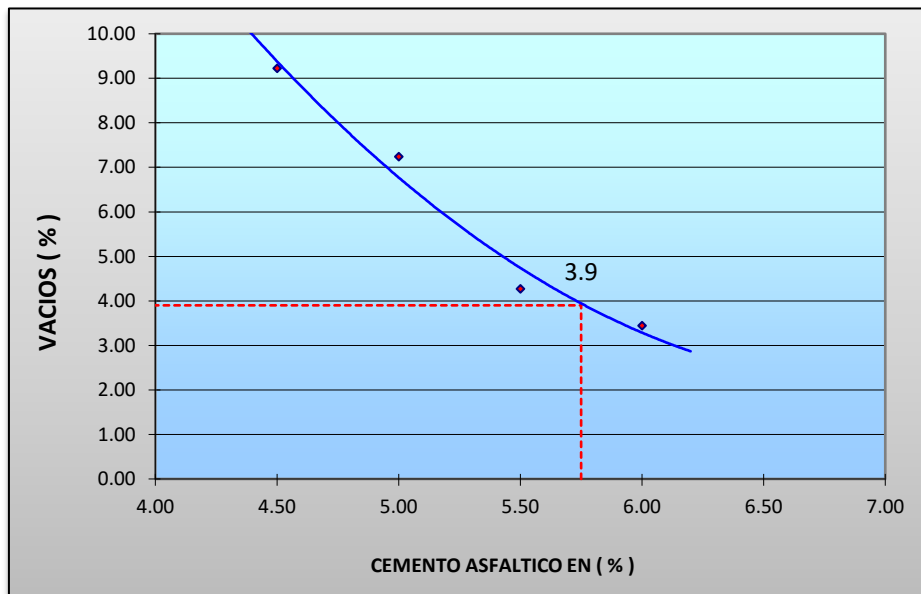
Piedra chancada <3/4"	Arena natural <3/8"	Arena chancada < 3/8"	Cem. Asfáltico	CGR y VM
40.0%	13.0%	35.0%	Pen 60-70 + 0.05% aditivo	10.0%

Nota: Cantidad de materiales usados en porcentajes para diseño de mezcla asfáltica con 10% de caucho granulado.



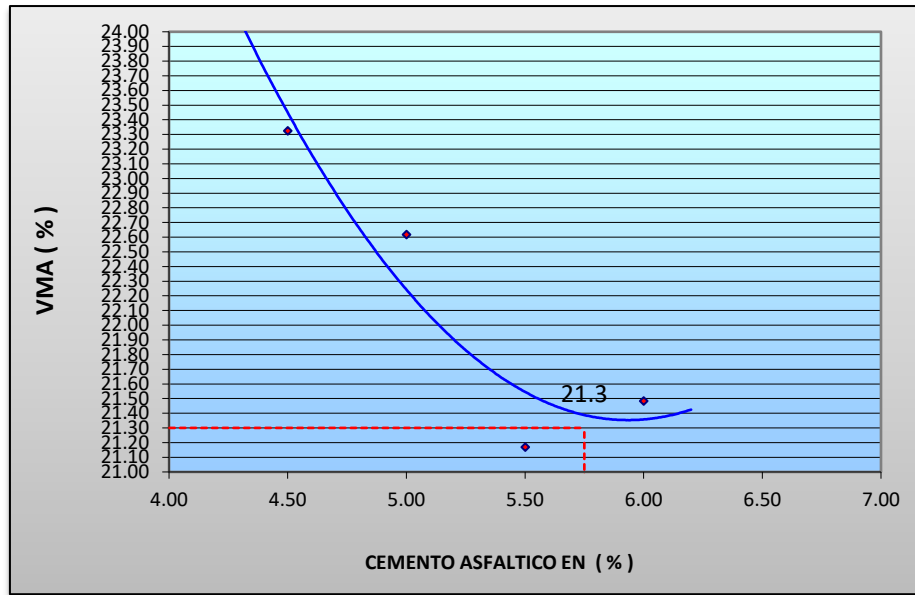
**Figura 68.** Peso unitario de la mezcla asfáltica, con 3% caucho granulado

Nota: Gráfico de peso unitario en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



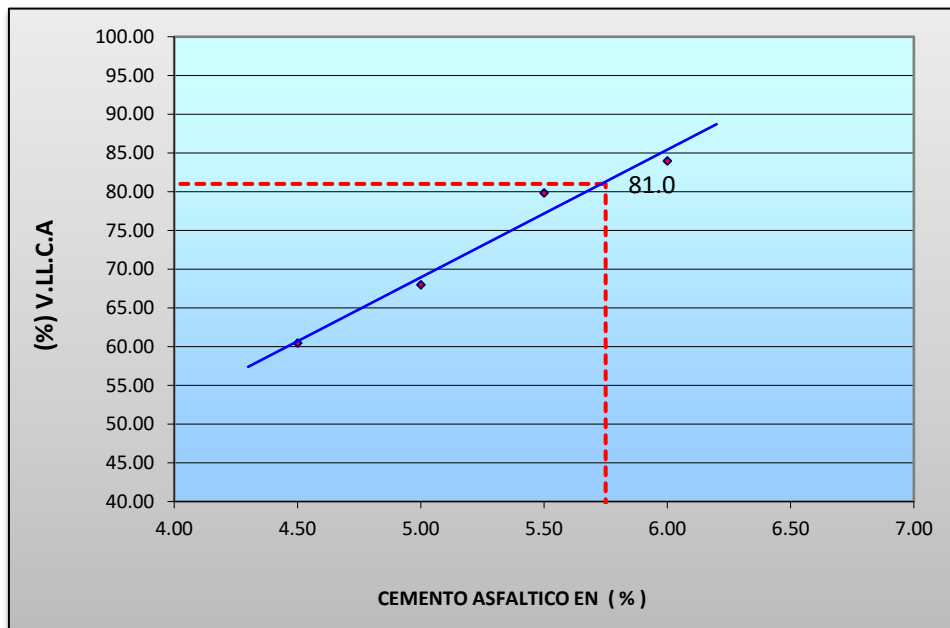
**Figura 69.** Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica, con 3% caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos para un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



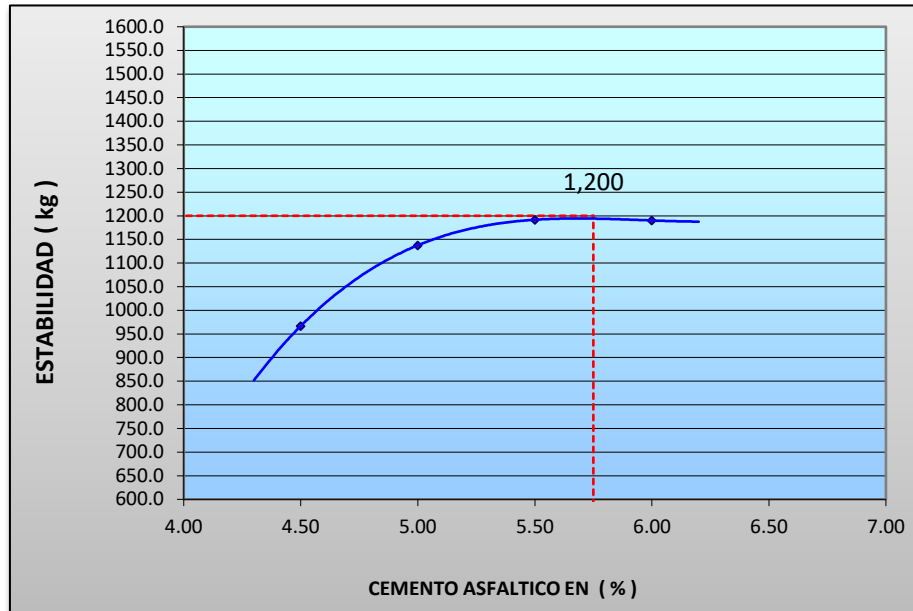
**Figura 70.** Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con 3% de caucho granulado

Nota: Gráfico de porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



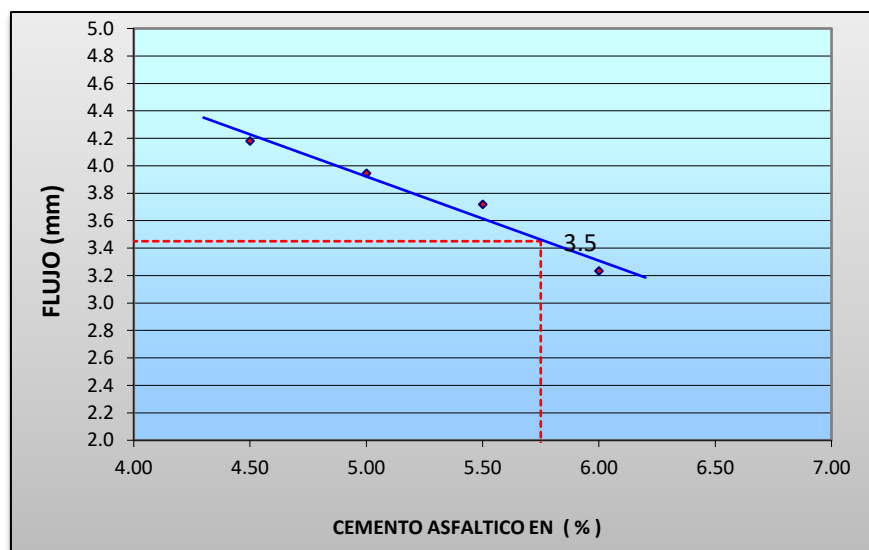
**Figura 71.** Porcentaje de vacíos llenos de cemento asfáltico, con 3% de caucho granulado

Nota: Gráfico de % vacíos llenos de cemento asfáltico vacíos en la mezcla asfáltica para un diseño modificado con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para transito liviano.



**Figura 72.** Estabilidad con el Método Marshall, con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado.

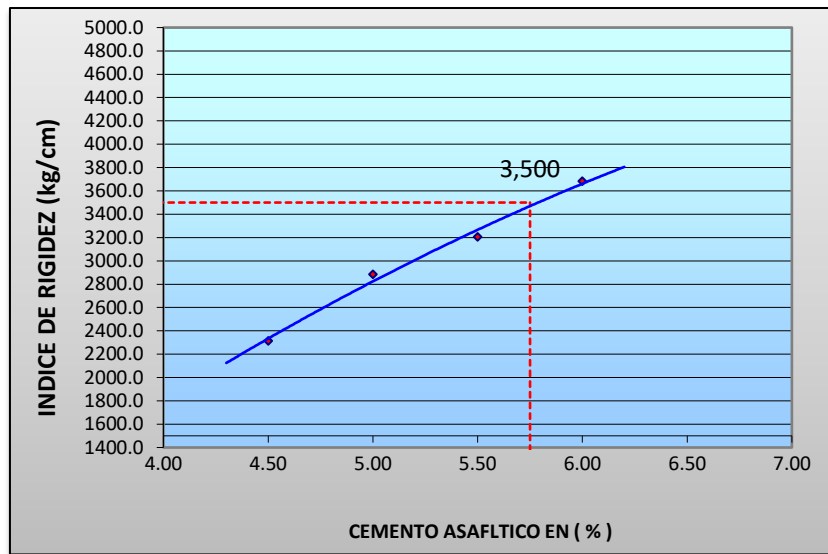
Nota: Gráfico de Estabilidad Marshall, para tránsito liviano en un diseño modificado con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 73.** Flujo con el Método Marshall con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado



Nota: Gráfico del Flujo con el Método Marshall para un diseño modificado con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.



**Figura 74.** Índice de rigidez con el Método Marshall con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado.

Nota: Gráfico del Índice de rigidez con el Método Marshall para un diseño modificado con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado, con los parámetros del MTC, para tránsito liviano.

**Tabla XXXIII**

Resultados de verificación de cemento asfáltico incorporando 7% VM y 3% de CGR

<b>Ítem</b>	<b>Valor</b>	<b>Especificaciones</b>
Óptimo contenido C.A. (%)	5.75	
Peso unitario (gr/ cm <sup>3</sup> )	2.165	
Vacíos (%)	3.9	3 – 5
VMA (%)	21.30	Min 14
Flujo (mm)	13.58	8 - 20
Estabilidad (kN)	11.77	Min 4.53 kN
Índice de rigidez (kg/cm)	3500	1700 – 4000
VLCA (%)	81.00	70 - 80

Nota: Los valores presentados son el resultado de los gráficos de una mezcla asfáltica con 7% de vidrio molido y 3% de caucho granulado.

### **3.2. Discusión de resultados**

Culminando con los resultados obtenidos en laboratorio se discutirá con la información de otros autores, por lo tanto, tenemos:

#### **3.2.1. Discusión 1**

En relación a las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con el método Marshall adicionando vidrio molido, sustituyendo al agregado fino, se identificó que su estabilidad mejora en 1615 kg. - 900 y su índice de rigidez 489 kg/mm. para [21] respecto a los parámetros indicados en su investigación con un porcentaje óptimo del 0.25%, en esta investigación el porcentaje óptimo es al 7% de VM con una estabilidad de 1330 kg. – 815 kg., su índice de rigidez fue de 3880 kg/cm, para [22] su estabilidad Marshall en porcentajes de adición del 7% tiene 14.93 kN, por lo tanto, se comprobó que el VM si es un material que si mejora sus propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

#### **3.2.2. Discusión 2**

En relación a las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con el método

Marshall adicionando caucho granulado triturado, sustituyendo al agregado fino, se identificó que su estabilidad Marshall mejora a mayor adición de caucho en porcentajes de 7.5% y 10% se obtuvo una estabilidad de 6 MPa y 8.5 MPa para [29]; en esta investigación el porcentaje óptimo es al 3% de CGR con una estabilidad de 11.81 kN - 4.53 kN., por lo tanto, se comprobó que el CGR si es un material que si mejora sus propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

### **3.2.3. Discusión 3**

En relación a las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con el método Marshall en combinación de los porcentajes óptimos de VM y CGR, sustituyendo al agregado fino, se identificó que su estabilidad Marshall mejora en 11.90 kN – 4.53 kN y su flujo 15 .21 mm de entre 8 mm. – 20 mm., estando en los parámetros de tránsito liviano, de la misma manera que [29] y [22] cumplen con los parámetros indicados en su investigación.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

Realizándose los ensayos para una mezcla asfáltica, de su diseño patrón y sus mezclas modificadas, se determinó sus propiedades con el método Marshall, se concluye:

- Se logró determinar las propiedades de los agregados, cumpliendo los parámetros que establece el MTC, y de esta manera se puede realizar una mezcla asfáltica, con agregados de calidad, sus resultados especificados en el capítulo anterior nos muestran, que los agregados de vidrio y de caucho también están cumpliendo estos parámetros.
- Para un diseño de mezcla asfáltica convencional se determinó un contenido de cemento asfáltico óptimo del 5.7%, para un MAC 2, con PEN 60-70, con un % vacíos de 4.15%, un flujo 13.41 mm., la estabilidad es 11.81 kN, y un índice de rigidez 3534, estando en el rango de las especificaciones del MTC, para tránsito liviano.
- Los porcentajes óptimos de incorporación cumplen los parámetros del MTC en sus ensayos con el método Marshall, en vidrio se logró determinar que es al 7% y en caucho triturados al 3%, respectivamente.
- Los ensayos con el Método Marshall para el vidrio al 7%, determino un contenido óptimo de asfalto 5.7%, su % de vacíos de 4.7%, su estabilidad 12.94 kN, su flujo 14.72 mm., el índice de rigidez 3538, estando en los parámetros especificados en el MTC; el caucho al 3% con un óptimo de asfalto de 5.7%, determino un % vacíos de 5.34%, estabilidad 8.43 kN, flujo 16.81 mm. y un índice de rigidez de 2023, el % vacíos no cumple con los parámetros del MTC, pero es el más próximo de los otros porcentajes de caucho incorporado, los otros ensayos si cumplen sus parámetros del MTC.
- La combinación de ambos porcentajes en sus porcentajes óptimos permite observar que sus propiedades con un 5.75% de cemento asfáltico, tiene un % vacíos del 3.6%,

un flujo de 25.2 mm., una estabilidad 11.91 kN e índice de rigidez de 3144, cumpliendo los parámetros del MTC, pero el flujo sobrepasa el rango especificado en el MTC, para tránsito liviano.

- El reemplazo de vidrio molido cumple los parámetros del MTC, en sus porcentajes incorporados, el remplazo de caucho granulado solo cumple los parámetros al 3%; la combinación de ambos cumple todos los ensayos, pero el flujo es mayor al recomendado para tránsito liviano.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda el análisis de los agregados que se van a usar en el diseño de mezcla asfáltica, ya que sus características varían de las canteras donde se recolectan estos materiales.
- El diseño de mezcla asfáltica se debe realizar cumpliendo los parámetros del MTC.
- Se recomienda usar el vidrio molido en los porcentajes indicados de manera independiente en el diseño de mezcla asfáltica, y el caucho granulado solo al 3%; porque cumplen con los parámetros estipulados el MTC para tránsito liviano.
- Se recomienda usar el caucho granulado en combinación del vidrio molido u otros agregados reciclados, pero en porcentajes menores a los ensayados.

## REFERENCIAS

- [1] D. Chen, J. Wu, Y. Wang , B. Su and Y. Liu, "High-speed tribology behaviors of aircraft tire tread rubber in contact with pavement," *Wear*, Vols. 486-487, p. 204071, 2021.
- [2] C. Plati and B. Cliatt, "Building Sustainable Pavements: Investigating the Effectiveness of Recycled Tire Rubber as a Modifier in Asphalt Mixtures," *Energies*, vol. 14, no. 21, p. 7099, 2021.
- [3] X. Zhang, C. Han, J. Yang, X. Xu and F. Zhang, "Evaluating the Rheological Properties of High-Modulus Asphalt Binders Modified with Rubber Polymer Composite Modifier," *Materials*, vol. 14, p. 7727, 2021.
- [4] S. Yang, S. Sun, L. Qin and . Q. Li, "Microstructure and Meso-Mechanical Properties of Asphalt Mixture Modified by Rubber Powder under a Multi-Scale Effect," *Coatings*, vol. 11, no. 11, p. 1321, 2021.
- [5] D. Yinfei, D. Mingxin, D. Haibin, D. Deyi, C. Peifeng and M. Cong, "Incorporating hollow glass microsphere to cool asphalt pavement: Preliminary evaluation of asphalt mastic," *Construction and Building Materials*, vol. 244, p. 118380, 2020.
- [6] W. Gui, L. Liang, L. Wang, X. Gao and F. Zhang, "Performance evaluation of warm-mixed crumb rubber modified asphalt based on rheological characteristics," *Construction and Building Materials*, vol. 285, p. 122881, 2021.
- [7] H. Yu, G. Deng, Z. Zhang, M. Zhu, M. Gong and M. Oeser, "Workability of rubberized asphalt from a perspective of particle effect," *Investigación de Transporte Parte D: Transporte y Medio Ambiente*, vol. 91, p. 102712, 2021.
- [8] D. Paul, M. Suresh and M. Pal, "Utilization of fly ash and glass powder as fillers in steel slag asphalt mixtures," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 15, p. e00672, 2021.
- [9] A. Khater, D. Luo, M. Abdelsalam, J. Ma and M. Ghazy, "Comparative Life Cycle Assessment of Asphalt Mixtures Using Composite Admixtures of Lignin and Glass Fibers," *Materials*, vol. 14, no. 21, p. 6589, 2021.
- [10] B. Zhou, J. Zhang, J. Pei, R. Li and Z. Zhang, "Design and evaluation of high–luminance porous asphalt mixtures based on wasted glass for sponge city," *Construction and Building Materials*, vol. 273, p. 121696, 2021.
- [11] L. A. Alvarez and E. T. Carrera, "Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica," Repositorio: UPAO-Institucional, Trujillo, 2017.
- [12] F. Goicochea , "Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017," Repositorio: UNTRM-Institucional, Chachapoyas, 2019.
- [13] J. E. Cordova , "Propiedades mecánicas de un pavimento flexible sustituyendo al agregado fino por el 12% de vidrio molido en avenida Jorge Chávez – Coishco," Repositorio: UCV-Institucional, Lima, 2021.
- [14] A. E. Castillo and A. J. Chávarri, "Diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho reciclado en Lima, 2020," Repositorio: UCV-Institucional, Lima, 2020.
- [15] A. J. Ponce, "Aplicación de fibras de vidrio en el diseño de mezcla asfáltica en caliente para rehabilitar pavimentos flexibles en Juliaca, 2021," Repositorio: UCV-Institucional, Lima, 2021.
- [16] B. N. Bravo and J. L. Montalvo, "Desarrollo de una mezcla asfáltica en caliente con adición de caucho: caracterización del nuevo material," Repositorio: USS-Institucional, Pimentel, 2019.

- [17] F. K. Quipusco and D. V. Villegas, "Efectos de sustituir agregado grueso convencional por siderúrgico en las propiedades físico-mecánicas de mezclas asfálticas en caliente," Repositorio: USS-Institucional, Pimentel, 2019.
- [18] L. O. Calva, "Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente incorporando escoria de acero," Repositorio: USS-Institucional, Pimentel, 2020.
- [19] R. Ghabchi , A. Arshadi , M. Zaman and F. March , "Technical Challenges of Utilizing Ground Tire Rubber in Asphalt Pavements in the United States," *Materials*, vol. 14, no. 16, p. 4482, 2021.
- [20] A. Farina, M. E. Kutay and M. Lanotte, "Laboratory and field performance investigation of pre-swollen crumb rubber modified asphalt mixtures," *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 513-518, 2021.
- [21] M. S. Eisa, M. E. Basiouny and M. I. Dalooob, "Effect of adding glass fiber on the properties of asphalt mix," *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 14, no. 4, pp. 403-409, 2021.
- [22] J. Choudhary, B. Kumar and A. Gupta, "Utilization of Waste Glass Powder and Glass Composite Fillers in Asphalt Pavements," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, p. 3235223, 2021.
- [23] M. Enieb, A. Diab and X. Yang, "Short- and long-term properties of glass fiber reinforced asphalt mixtures," *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 22, no. 1, pp. 64-76, 2019.
- [24] Y. Liu, Z. Zhang, L. Tan, Y. Xu , C. Wang, P. Liu, H. Yu and M. Oeser, "Laboratory evaluation of emulsified asphalt reinforced with glass fiber treated with different methods," *Journal of Cleaner Production*, vol. 274, p. 123116, 2020.
- [25] J. Melendrez and W. A. Pinedo, "Efecto del vidrio molido reciclado en la elaboración de mezcla asfáltica en caliente, utilizando agregados de la cantera La Soledad," Repositorio: UCV-Institucional, Trujillo, 2020.
- [26] J. Torres, "Uso del vidrio reciclado en el diseño de mezcla asfáltica para la Av. Chulucanas entre Av. Sánchez Cerro y Av. Principal de Santa Margarita- Piura, 2018," Repositorio: UCV-Institucional, Piura, 2019.
- [27] A. N. Robles, "Comportamiento de la mezcla asfáltica agregando caucho reciclado en pavimentos flexibles, Ate, Lima-Perú, 2018," Repositorio: UCV-Institucional, Lima, 2018.
- [28] S. S. Salazar, "Incorporación de caucho reciclado en las mezclas asfálticas para mejorar pavimentos flexibles en la Ciudad de Lima, Perú 2019," Repositorio: UCV-Institucional, Lima, 2019.
- [29] H. M. Sánchez, "Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura," Repositorio: PIRHUA-Institucional, Piura, 2021.
- [30] H. A. Rondón Quintana and F. A. Reyes Lezcano, Pavimentos materiales, construcción y diseño, vol. 263, Bogotá: ECOE, 2015, p. 258.
- [31] A. Montesa Fonseca, Ingeniería de Pavimentos (Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías), 3era ed., Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2010, p. 496.
- [32] F. A. Reyes Lizcano, Diseño racional de pavimentos, vol. 35, 2004, p. 584.
- [33] T. Nick, Principles of Pavement Engineering, 2da ed., vol. 374, 2008, p. 374.
- [34] J. J. Trujillo Cebrián, Ejecución de pavimentos de hormigón impreso. EOCB0209, 1era ed., Málaga: IC, 2013, p. 399.
- [35] J. A. Fernández del Campo, Pavimentos bituminosos en frío, Barcelona, 2012, p. 384.
- [36] H. A. Rondon Quintana and R. L. F. Alberto, Pavimentos Flexibles, 2011, p. 184.
- [37] J. Valle Gonzales, EL LIBRO DE ASFALTO + TOPO, Madrid: Mileno, 2013, p. 222.

- [38] R. R. Badillo Juárez, *Fundamento de Mecanica de Suelos*, Limusa, 2005, p. 629.
- [39] C. Villalaz, *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, Monterrey: Limusa, 2008, p. 652.
- [40] B. Bravo and J. Montalvo, Artists, *Desarrollo de una mezcla asfáltica de caucho: Caracterización del nuevo material*. [Art]. Universidad Señor de Sipán, 2019.
- [41] W. Gutiérrez Lázares, Wilfredo, 1era ed., Lima: MARCOMBO, S.L., 2021, p. 155.
- [42] ASTM D 1559 and AASHTO T225, "ASTM D 1559 AASHTO T 225 DISEÑO DE MEZCLAS METODO MARSHALL E INTERPRETACION DE RESULTADOS.," 2020.
- [43] A. P. Gonzáles Prada, *Guía para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos interiores* ., 1era ed., Madrid: Ideaspropia, 2013, p. 45.
- [44] J. Elva Hurtado, *Diseño de Cimentaciones*, Bogotá: ICG, 2014, p. 227.
- [45] Chaira and E. Mawardi, "Utilization of palm shells fly ash as filler on the mixture of Asphalt Concrete Wearing Course (AC–WC)," *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 325, pp. 1-8, 2019.
- [46] D. Braja M., *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica*, 4ta ed., 2010, p. 204.
- [47] M. E. Silvera Lima, C. H. Contreras Martínez y D. P. Mamani Vilcatoma, «Reducción de la deformación permanente en pavimentos diseñados con mezclas asfálticas en caliente a través de la incorporación de polvo de caucho proveniente de neumáticos usados,» *Repositorio Académico - UPC*, 2019.
- [48] J. Cuevas, D. E. González-Santamaría, C. García-Delgado, A. Ruiz, A. Garralón, A. I. Ruiz, R. Fernández, E. Eymar and R. Jiménez-Ballesta, "Impact of a tire fire accident on soil pollution and the use of clay minerals as natural geo-indicators," *Environmental Geochemistry and Health*, vol. 42, no. 7, pp. 2147-2161, 2020.
- [49] H. J. Hassan and H. Z. Hussein, "Properties of modified asphalt mixtures with additives of fillers materials.," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 737, p. 1.13, 2020.
- [50] M. Farfán y E. Leonardo, «Caucho reciclado en la resistencia a la compresión y flexión de concreto modificado con aditivo plastificante,» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 33, nº 3, pp. 241-250, 2018.
- [51] M. Shahjalal, K. Islam, J. Rahman , K. S. Ahmed , M. R. Karim and A. M. Billah, "Flexural response of fiber reinforced concrete beams with waste tires rubber and recycled aggregate," *Journal of Cleaner Production*, vol. 278, 2021.
- [52] M. Borja Suárez , «Metodología de la investigación científica para ingenieros,» Chiclayo, 2016.
- [53] C. M. Arispe Alburqueque , J. S. Yangali Vicente, M. A. Guerrero Bejarano, O. Rivera Lozada de Bonilla, L. A. Acuña Gambia and C. Arellana Sacramento , *La Investigación Científica*, Guayaquil: Departamento de Investigación y Postgrados Universidad Internacional del Ecuador, 2020, p. 131.
- [54] S. Carrasco, *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*, Lima: SAN MARCOS E I R LTDA, 2019, p. 476.
- [55] C. I. Muñoz, *Metodologia de la investigación*, Mexico: Editorial Progreso S.A de C.V, 2015.
- [56] G. Baena, *Metodologia de Investigación*, 3era edición ed., Mexico: Grupo editorial patria, 2017.
- [57] E. D. Cabezas, D. Andrade and J. Torres, *Introducción a la metodología de la investigación científica*, 1era edición ed., Sangolquí: Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018.
- [58] E. E. Gallardo, *Metodología de la Investigación: manual autoformativo interactivo*, Huancayo: Universidad Continental, 2017.



[59] S. Gomez, Metodología de la investigación, Tlalnepantla: Red Tercer Milenio S.C., 2012.

## ANEXOS

### PANEL FOTOGRÁFICO

#### VISITA DE CANTERAS Y EXTRACCIÓN DE MATERIALES – CANTERA



#### ELABORACIÓN DE ENSAYOS DE LOS MATERIALES PÉTREOS





## ELABORACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA CON EL MÉTODO MARSHALL CON INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO





**ELABORACIÓN DE BRIQUETAS CONVENCIONALES, CON CAUCHO GRANULADO RECICLADO Y CON VIDRIO MOLIDO**





## ENSAYOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CON EL MÉTODO MARSHALL

