

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO DE  
NEUMÁTICOS Y SU COMPARACIÓN TÉCNICA Y  
ECONÓMICA CON ASFALTOS CONVENCIONALES**

**PRESENTADO POR:**

**Bach.:**

**QUISPE ALANYA JUAN JHONATAN**

**Línea de Investigación Institucional:**

**Transportes y Urbanismo**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2020**

Ing. Rando Porras Olarte

**Asesor**

## **DEDICATORIA**

Dedico el siguiente trabajo primeramente a Dios, a mis padres por haberme formado como la persona que soy en la actualidad y a mis asesores, quienes por su intervención pude lograr culminar esta tesis.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padre, Juan Quispe Gonzales y a mi madre Angélica Alanya Jaucha. Quienes son los principales pilares en mi formación y en mi vida, que a lo largo de sus vidas entregaron todo verme crecer, con apoyo moral y económico.

A mi universidad por brindarme mi formación académica.

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Rubén Tapia Silguera

Presidente

---

Mg. Jesús Idén Cárdenas Capcha

---

Ing. Vladimir Ordoñez Camposano

---

Ing. Christian Mallaupoma Reyes

---

Mg. Miguel Ángel Carlos Canales

Secretario docente

# INDICE:

ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPÍTULO I .....	21
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	21
1.1. Planteamiento de la investigación.....	21
1.2. Formulación y sistematización del problema .....	29
1.2.1. Problema general .....	29
1.2.2. Problemas específicos .....	29
1.3. Justificación .....	30
1.3.1. Social .....	30
1.3.2. Teórica.....	30
1.3.3. Metodológica .....	31
1.4. Delimitación del problema .....	31
1.4.1. Delimitación espacial.....	31
1.4.2. Delimitación temporal.....	32
1.4.3. Delimitación económica .....	32
1.5. Limitaciones .....	32
1.6. Objetivos .....	33
1.6.1. Objetivo general .....	33
1.6.2. Objetivos específicos .....	33
CAPITULO II .....	34
MARCO TEÓRICO.....	34
2.1. Antecedentes .....	34
1.1.1. Antecedentes internacionales .....	34
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	38
2.2. Marco conceptual.....	46
2.2.1. Mezclas asfálticas en caliente.....	46
2.2.2. Asfaltos modificados .....	51
2.2.3. Aplicación de granos de caucho en las mezclas.....	56
2.2.4. Características de las mezclas asfálticas en caliente modificado con caucho	59

2.3.	Definición de términos .....	63
2.4.	Hipótesis.....	64
2.4.1.	Hipótesis general .....	64
2.4.2.	Hipótesis específicos.....	65
2.5.	Variables.....	65
2.5.1.	Definición conceptual de las variables.....	65
2.5.2.	Definición operacional de la variable.....	66
2.5.3.	Operacionalización de la variable .....	67
CAPITULO III .....		68
METODOLOGIA .....		68
3.1.	Método de investigación .....	68
3.1.1.	Método general .....	68
3.2.	Tipo de investigación .....	68
3.3.	Nivel de investigación.....	68
3.4.	Diseño de investigación.....	69
3.5.	Población y muestra .....	69
3.5.1.	Población .....	69
3.5.2.	Muestra .....	69
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	70
3.6.1.	Técnica .....	70
3.7.	Procedimientos de la información.....	84
CAPITULO IV .....		86
RESULTADOS .....		86
4.1.	Asfalto convencional en mezclas en caliente: .....	86
4.1.1.	Granulometría de los agregados: .....	87
4.1.2.	Combinación de agregados .....	90
4.1.3.	Ensayo de agregado fino .....	93
4.1.3.1.	Absorción.....	94
4.1.3.2.	Durabilidad .....	94
4.1.3.3.	Equivalente de arena .....	95
4.1.3.4.	Sales solubles.....	96
4.1.4.	Ensayo de agregado grueso .....	96
4.1.4.1.	Absorción.....	97
4.1.4.2.	Durabilidad .....	97

4.1.4.3.	Sales solubles.....	98
4.1.4.4.	Partículas chatas alargadas.....	99
4.1.4.5.	Caras fracturadas.....	100
4.2.	Uso del caucho en el asfalto.....	100
4.3.	Asfalto modificado con caucho de vehículos pesados.....	104
4.4.	Asfalto modificado con caucho de vehículos ligeros.....	112
4.5.	Contrastación de hipótesis.....	120
4.5.1.	Prueba t de student costo de ejecución.....	180
CAPITULO V.....		201
DISCUSIONES Y RESULTADOS.....		201
CONCLUSIONES.....		204
RECOMENDACIONES.....		205
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		206
ANEXOS.....		209



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diagnostico vehicular del año 2005 con un registro de 7470 vehículos del transporte público, disgregado en 6387 vehículos para el transporte urbano e interurbano - el resto para el transporte interprovincial y nacional.....	25
Tabla 2. Capacidad del transporte interprovincial de Huancayo .....	25
Tabla 3. Capacidad de vehículos del transporte nacional de Huancayo .....	26
Tabla 4. Crecimiento del 5.5% del parque automotor en Huancayo y el crecimiento en las regiones con más cantidad de vehículos a nivel nacional.....	26
Tabla 5. Crecimiento vehicular del servicio público en la Región Junín y en la Provincia de Huancayo .....	27
Tabla 6. Crecimiento vehicular particular de la Provincia de Huancayo para el 2019 .....	27
Tabla 7. Total, de vehículos pronosticado que transitarán para el año 2019 .....	27
Tabla 8. Neumáticos en desuso de vehículos de servicio público y privado desde al año 2010 hasta el año 2020.....	28
Tabla 9. Operacionalización de las variables: asfalto con caucho reciclado de neumáticos de vehículos pesados y ligeros .....	67
Tabla 10. Granulometría de grava a usar.....	87
Tabla 11. Granulometría de arena chancada a usar. ....	88
Tabla 12. Granulometría de arena zarandeada a usar.....	89
Tabla 13. Cuadro de gradación.....	90
Tabla 14. Cuadro de combinación de agregados.....	91
Tabla 15. Cuadro de requerimiento para los agregados finos.....	92
Tabla 16. Cuadro de requerimiento para los agregados gruesos. ....	93
Tabla 17. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado fino.....	94
Tabla 18. Ensayo de durabilidad al Sulfato de magnesio.....	94
Tabla 19. Ensayo de equivalencia de arena. ....	95
Tabla 20. Ensayo de sales solubles. ....	96
Tabla 21. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso .....	97
Tabla 22. Ensayo de durabilidad al Sulfato de magnesio.....	97
Tabla 23. Ensayo de sales solubles. ....	98
Tabla 24. Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso .....	99
Tabla 25. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas con una cara fracturada a más.....	99
Tabla 26. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas con dos a más caras fracturadas. ....	100
Tabla 27. Peso de los diversos neumáticos comunes usados en el mercado automotor encontrados en Huancayo .....	101
Tabla 28. Composición química y estructural de un neumático .....	101
Tabla 29. Cálculo para el uso del caucho molido de neumáticos usados.....	102
Tabla 30. Cálculo realizado de la cantidad de caucho por porcentaje líquido asfáltico .....	103
Tabla 31. Cantidad en kg. De caucho por tipo de neumático .....	103
Tabla 32. Contenido químico y estructural de un neumático de vehículos pesado.....	104
Tabla 33. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 5.5% de L.A.....	104
Tabla 34. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 6.0% de L.A.....	106

Tabla 35. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 6.5% de L.A.....	107
Tabla 36. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 5.5% de L.A.....	108
Tabla 37. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 6.0% de L.A.....	109
Tabla 38. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 6.5% de L.A.....	111
Tabla 39. Contenido químico y estructural de un neumático de vehículos ligeros.....	112
Tabla 40. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 5.5% de L.A.....	112
Tabla 41. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 6% de L.A.....	113
Tabla 42. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 6.5% de L.A.....	115
Tabla 43. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 5.5% de L.A.....	116
Tabla 44. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 6% de L.A.....	117
Tabla 45. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 6.5% de L.A.....	119
Tabla 46. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	122
Tabla 47. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	125
Tabla 48. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	127
Tabla 49. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	130
Tabla 50. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	132
Tabla 51. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	135
Tabla 52. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	137
Tabla 53. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	140
Tabla 54. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	142
Tabla 55. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	145

Tabla 56. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	147
Tabla 57. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	150
Tabla 58. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	152
Tabla 59. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	155
Tabla 60. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	157
Tabla 61. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas. ....	160
Tabla 62. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	162
Tabla 63. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	165
Tabla 64. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	167
Tabla 65. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	170
Tabla 66. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	172
Tabla 67. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	175
Tabla 68. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	177
Tabla 69. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho .....	180
Tabla 70. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	181
Tabla 71. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	182
Tabla 72. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	183
Tabla 73. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	184

Tabla 74. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	185
Tabla 75. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	185
Tabla 76. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	186
Tabla 77. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	187
Tabla 78. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	188
Tabla 79. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	189
Tabla 80. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	190
Tabla 81. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	190
Tabla 82. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	191
Tabla 83. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	192
Tabla 84. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	193
Tabla 85. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	193
Tabla 86. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	194
Tabla 87. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. ....	195
Tabla 88. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	196

Tabla 89. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. .....	196
Tabla 90. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	197
Tabla 91. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. .....	198
Tabla 92. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.....	199
Tabla 93. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho. .....	199

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Neumático desechado en el Jr. Santa Isabel - El Tambo .....	23
Figura 2. Neumático desechado en el Jr. Cisneros – Huancayo .....	24
Figura 3. Neumático desechado en el Jr. Comuneros – Huancayo .....	24
Figura 4. Desecho de diferentes tipos de neumáticos - El Edén .....	24
Figura 5. Barra estadística del crecimiento del parque automotor en 4 regiones del Perú para el 2019 .....	26
Figura 6. Mapa político del Perú.....	31
Figura 7. Mapa de la Región Junín.....	31
Figura 8. Mapa de la Provincia de Huancayo.....	32
Figura 9. Agregados a tamizar .....	73
Figura 10. Tamices a usar para el ensayo .....	73
Figura 11. Molienda de vehículos pesados y ligeros.....	73
Figura 12. Muestras tamizadas para el siguiente ensayo .....	73
Figura 13. Balanza mecánica. ....	77
Figura 14. Máquina Marshall.....	77
Figura 15. Extractor de briquetas. ....	77
Figura 16. Pedestal y martillo de compactación .....	77
Figura 17. Máquina baño maría .....	78
Figura 18. Moldes para briquetas.....	78
Figura 19. Calentado de materiales zarandeados.....	78
Figura 20. Añadidura del líquido asfáltico .....	78
Figura 21. Toma de temperatura.....	79
Figura 22. Compactación del material.....	79
Figura 23. Enfriamiento de briquetas .....	79
Figura 24. Extracción de briquetas. ....	79
Figura 25. Señalización de las diferentes briquetas realizadas por porcentajes. ....	80
Figura 26. pesado en agua de briquetas.....	80
Figura 27. pesado en seco de briquetas. ....	80
Figura 28. Colocación de briquetas en baño maría .....	81
Figura 29. Colocación de briquetas para ensayo Marshall .....	81
Figura 30. Etiquetado de las briquetas. ....	83
Figura 31. Pesado de las briquetas a ensayar.....	83
Figura 32. Colocado de briquetas a ensayar .....	83
Figura 33. Pesado de briquetas ensayadas.....	83
Figura 34. Las diferentes briquetas ensayadas de convencionales y modificadas según su porcentaje de contenido de líquido asfáltico y contenido de molienda de caucho de vehículos pesados y ligeros .....	84
Figura 35. Curva granulométrica. ....	88
Figura 36. Curva granulométrica. ....	89
Figura 37. Curva granulométrica. ....	90
Figura 38. Curva granulométrica de combinación de agregados.....	92
Figura 39. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.....	105
Figura 40. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.....	106

Figura 41. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.....	107
Figura 42. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.....	109
Figura 43. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.....	110
Figura 44. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.....	111
Figura 45. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.....	113
Figura 46. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.....	114
Figura 47. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.....	115
Figura 48. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.....	117
Figura 49. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.....	118
Figura 50. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.....	119

## RESUMEN

El problema general de la presente investigación fue ¿Cuál es el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos en comparación con el asfalto convencional?, el objetivo general fue “Determinar el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos en comparación con el asfalto convencional”, la hipótesis general fue La aplicación del asfalto modificado con caucho de neumáticos mejora las propiedades mecánicas y de resistencia del asfalto convencional, así como, reduce su costo.

La metodología de investigación fue científica, el tipo fue aplicado, el nivel fue explicativo, la población estuvo conformado por 45 briquetas de ensayo, la muestra fue no probabilístico.

Se llegó a la conclusión principal fue: El resultado es favorable con respecto a la mejora en las propiedades físicas y mecánicas, a la vez el uso de estos desechos de neumáticos reducirá el gran impacto ambiental que este material afecta a nuestra región.

**Palabras claves:** Asfalto modificado, Caucho de neumáticos y Asfalto convencional.



## **ABSTRACT**

The general problem of the present investigation was: What is the result of applying asphalt modified with tire rubber compared to conventional asphalt? The general objective was “To determine the result of applying asphalt modified with tire rubber compared to the asphalt conventional”, the general hypothesis was The application of modified asphalt with tires improves the mechanical properties and resistance of conventional asphalt, as well as reduces its cost.

The research methodology was scientific, the type was applied, the level was explanatory, the population was made up of 45 test briquettes, the sample was non-probabilistic.

The main conclusion was reached: rubber from light vehicles improves mechanical physical properties and durability by adding 5.5% asphalt liquid and .025% ground rubber.

**Keywords:** Modified Asphalt, Tire Rubber and Conventional Asphalt.

## INTRODUCCIÓN

Las carreteras, pistas, caminos entre otros hechos con pavimento flexible están conformados por un paquete estructural, teniendo como su última capa la carpeta asfáltica, el cual se obtiene al incorporar el cemento asfáltico con una mezcla de agregados pétreos granulares previamente seleccionada. Estas combinaciones son conocidas como mezclas asfálticas que se clasifican en mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas en frío. En nuestro país la cantidad de vías locales, departamentales y nacionales se encuentran en mal estado, esto se da debido a que los pavimentos no están cumpliendo ciertos estándares de calidad y otras por que trabajan en condiciones de diseño desfavorable, por consiguiente termina fallando prematuramente sin cumplir el periodo por el cual fue diseñada, para solucionar estos problemas se realizaron diversas investigaciones que buscan mejorar las propiedades de las mezclas asfálticas, adicionando modificadores de asfalto al diseño de mezcla los cuales mejoran las propiedades de estabilidad y durabilidad. En el proceso de las investigaciones se plantearon soluciones técnicas para que el comportamiento del asfalto mejore; que además de cumplir los requerimientos técnicos, también aporta en la mitigación de impactos y sea amigable con el medio ambiente incorporando a su composición materiales reciclados, como lo pueden ser: cauchos, cueros, plásticos, escoria, PVC, vidrios, entre otros. (Clavijo Rey, 2014)

Los caminos de la red vial nacional (RVN) se encuentran pavimentadas a un 66.9%, los caminos de la Red Vial Departamental (RVD) están a 10.1% y el 99.0% de la Red Vial Vecinal (RVV) no está asfaltada (Centro Empresarial de Perú cámaras, 2017), En la Provincia de Huancayo el principal problema, que se observa son los

deficientes diseños convencionales de mezcla asfáltica encontrando fallas estructurales como: fisuras longitudinales, fisuras transversales, exudación, ahuellamiento; son diferentes los factores que intervienen como: el mal diseño del asfalto, los materiales no cumplen con las especificaciones técnicas, el mal colocado de la carpeta asfáltica, entre otras; por ello existe la necesidad de tener mucha consideración en realizar los análisis respectivos para realizar el diseño respectivo haciendo uso de nuevos elementos que permitan obtener resultados diferentes en el tiempo.

Por lo tanto, la investigación se orienta al diseño de asfaltos modificados con caucho de neumáticos y su comparación técnica y económica con los asfaltos convencionales

Esta investigación está estructurada en 5 capítulos:

Capítulo I El Planteamiento de investigación: Planteamiento del problema, formulación y sistematización del problema, problema general, problemas específicos, justificación, practica o social, científica o teórica, metodológica, delimitaciones, espacial, temporal, económica, limitaciones, objetivos, objetivo general, objetivos específicos.

Capítulo II Marco Teórico: Antecedentes de la investigación, antecedentes internacionales, antecedentes nacionales, marco conceptual, definición de términos, hipótesis, variables, definición conceptual de la variable, definición operacional de la variable, operacionalización de la variable.

Capítulo III Metodología: Metodología de investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procesamiento de la información, técnicas y análisis de datos.

Capítulo IV Resultados: Se presentan los análisis, ensayos, resúmenes y análisis técnico y económico.

Capítulo V Discusión de Resultados: Se analiza los resultados técnicos y económicos.

Finalmente se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

Bach: JUAN JHONATAN QUISPE ALANYA.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento de la investigación

Hoy en día existen condiciones en las cuales, las mezclas asfálticas convencionales no son idóneas para resistir la acción conjunta del tráfico de vehículos y las acciones del clima, por ende, es necesario desarrollar nuevas mezclas asfálticas más resistentes, mejorando sus propiedades mecánicas, haciendo realce en la durabilidad, el ahuellamiento y la fatiga. Asimismo, la mezcla asfáltica convencional es sensible a la temperatura, por ser un material visco elástico, el cual presenta variación perenne en sus características según la condición de temperatura: es rígido cuando la temperatura desciende y es fluida cuando asciende la temperatura. La primordial característica al utilizar elementos que modifican el cemento asfáltico, es garantizar propiedades no encontradas en los asfaltos producidos con la tecnología convencional, especialmente las que tienen que ver con la gradiente térmica.

Para definir la problemática internacional con respecto a la nación de Ecuador, según Maila menciona al respecto:

En la ciudad de Quito existe un gran deterioro de las principales vías de acceso y avenidas, debido a que en la construcción de las mismas se utiliza mezclas asfálticas convencionales, y a la falta de investigación para encontrar técnicas adecuadas que mejoren las propiedades físico/mecánicas de las mezclas asfálticas. Si bien es cierto el cemento

asfáltico ha sido el insumo principal en todas las tecnologías tales como son en caliente, en frío, en asfaltos emulsionados, es el elemento principal ante este panorama una de las técnicas actuales que se está utilizando en países como Chile, Argentina ,Brasil, consiste en perfeccionar el cemento asfáltico con polímeros 1con la finalidad de mejorar ciertos aspectos tales como susceptibilidad térmica, comportamiento elástico resistencia a la fisuración por fatiga y resistencia al envejecimiento. Actualmente en la localidad se están realizando investigaciones para conseguir aplicar este tipo de técnicas ya que dispone de todos los recursos necesarios para su obtención e implementación en los proyectos viales de nuestro país. Debido a la gran cantidad de problemas existentes en las obras viales, que el ingeniero diseñador de mezclas asfálticas debe minimizar, las capas asfálticas deben aumentar la durabilidad y evitar el deterioro del pavimento. (2013, p.2).

De igual manera existe una problemática en la región de Puno como se menciona a continuación: La contaminación provocada por residuos sólidos, en especial formada por las llantas usadas de vehículos es un problema al cual no se le ha dado un uso adecuado dentro de la problemática ambiental que actualmente afecta al país. (Carrizales, 2015, p.12)

En la actualidad en nuestra nación existe una gran problemática con respecto a los residuos sólidos y la región Junín y en su capital Huancayo también es una problemática, en la cual se elimina residuos de las viviendas, pero no se hace un manejo de los residuos sólidos como son las llantas desechadas de los vehículos sean ligeros o pesados, las cuales son arrojadas a ríos, bosques, calles, etcétera como se ven en las figuras siguientes:



*Figura 1. Neumático desechado en el Jr. Santa Isabel - El Tambo*



*Figura 2. Neumático desechado en el Jr. Cisneros – Huancayo*



*Figura 3. Neumático desechado en el Jr. Comuneros – Huancayo*



*Figura 4. Desecho de diferentes tipos de neumáticos - El Edén*



A esto se suma el gran crecimiento del parque automotor en nuestra ciudad está en ascenso, tanto en el servicio privado como el servicio público con un ascenso del 5.5% de aumento según la Oficina de Gerencia de Transporte de la MPH y los cuales se reflejan en las siguientes tablas:

Tabla 1. Diagnostico vehicular del año 2005 con un registro de 7470 vehículos del transporte público, disgregado en 6387 vehículos para el transporte urbano e interurbano - el resto para el transporte interprovincial y nacional

DENOMINACIÓN	SERVICIO DE TRANSPORTE DE AMBITO MUNICIPAL PROV. HUANCAYO							
	SERVICIO DE TRANSPORTE URBANO E INTERURBANO							
	OMNIB.	CAMIONET. RURAL	AUTO COLEC.	PARCIAL	TAXI ESPECIAL		PARCIAL	TOTAL HYO.
EMPR.					IND.			
UNIDAD	507	1553	1215	3275	1255	1857	3112	6387
EMPRESAS	9	35	21	65	30	1857	1887	1952

Fuente: Gerencia de transporte MPH.

Tabla 2. Capacidad del transporte interprovincial de Huancayo.

DENOMINACIÓN	SERVICIO DE TRANSPORTE DE AMBITO DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES			
	SERVICIO DE TRANSPORTE INTERPROVINCIAL - JUNIN			
	AUTOS	OMNIBUS	TURISMO	TOTAL
UNIDAD	206	375	8	589
EMPRESAS	51	43	8	102

Fuente: Gerencia de transporte MPH.

Tabla 3. Capacidad de vehículos del transporte nacional de Huancayo

DENOMINACIÓN	SERVICIO DE TRANSPORTE DE AMBITO DIRECCION REGIONAL DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES		
	SERVICIO DE TRANSPORTE NACIONAL – JUNIN		
	AUTOS	OMNIBUS	TOTAL
UNIDAD	45	449	494
EMORESAS	45	32	77

Fuente: Gerencia de transporte MPH.

Tabla 4. Crecimiento del 5.5% del parque automotor en Huancayo y el crecimiento en las regiones con más cantidad de vehículos a nivel nacional.

AÑO	2004	2005	2017	2018	2019
LIMA	854,549	877,622	1'177,569	1'200,641	1'223,714
AREQUIPA	78,033	81,544	108,934	111,041	113,148
JUNIN	45,713	48,227	64,272	65,507	66,741
LA LIBERTAD	43,338	45,028	60,240	61,410	62,580

Fuente: Elaboración propia.

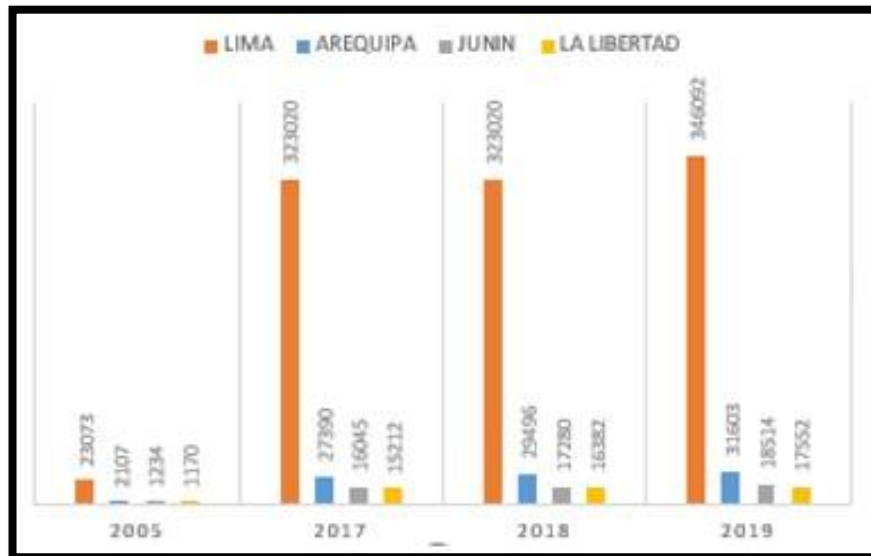


Figura 5. Barra estadística del crecimiento del parque automotor en 4 regiones del Perú para el 2019.

Tabla 5. Crecimiento vehicular del servicio público en la Región Junín y en la Provincia de Huancayo.

<b>AÑO</b>	<b>2005</b>	<b>2019</b>
<b>JUNIN</b>	48227	66741
<b>HUANCAYO</b>	7470	10338

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Crecimiento vehicular particular de la Provincia de Huancayo para el 2019.

<b>VEH. PRIVADOS</b>		
<b>HUANCAYO</b>	88/1000hab.	33353/378203 hab.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Total, de vehículos pronosticado que transitarán para el año 2019.

<b>TOTAL DE VEHICULOS EN HUANCAYO</b>	
VEH. SERV. PUBLICO	10338
VEH. SERV. PRIVADO	33353
<b>TOTAL</b>	<b>43691</b>

Fuente: Elaboración propia.

Al observar el creciente ingreso del parque automotor de la ciudad de Huancayo, pronosticado desde al año 2005 hacia adelante, no se toma en cuenta la gran cantidad de desechos de neumáticos que ello implica, ya que en nuestra región no se toma en cuenta con un control del desecho de estos neumáticos que según la empresa de neumáticos Michelin dice: que se debe realizar al menos una vez al año de los 5

años desde el montaje y a partir de los 8 años desde la fabricación, de igual manera Michelin establece de forma general que la edad límite de un neumático es de 10 años partir de su montaje y uso en el vehículo, este límite puede variar según el modelo, dimensión y utilización. Tomado de la Documentación Técnica Michelin: Neumáticos (2013, p.9).

Por ellos se tomó este dato y se hizo un cálculo promedio de los neumáticos en desuso en la ciudad de Huancayo como se muestra a continuación:

*Tabla 8. Neumáticos en desuso de vehículos de servicio público y privado desde al año 2010 hasta el año 2020.*

<b>AÑO 2010</b>	
<b>VEHICULOS</b>	<b>NEUMATICOS</b>
8618	43,090
35073	175,365
43691	
<b>TOTAL</b>	<b>218,455</b>

Fuente: Elaboración propia.

La capacidad total sacada fue de unos 218,455 neumáticos según la tabla N° 8, de las cuales más de 60% son llevadas a las llanterías de nuestra ciudad para el uso del rencauchado y un 40% desechadas por calles, ríos, botaderos etc.

De igual manera los neumáticos son considerados como desechos altamente tóxicos al contener gran cantidad de óxidos en su composición, por lo cual es necesario ponerle mucho interés en reciclar este material, ya que su desecho desproporcionado crea un gran impacto ambiental en el aire, agua y en el suelo.

Por lo cual la finalidad del estudio por las características del asfalto modificado con caucho al desarrollo de mezcla se acondiciona a nuestra necesidad para desarrollar esta presente investigación, por lo tanto, el estudio pretende determinar la diferencia técnica y económica entre asfalto modificado con caucho de neumáticos tanto ligeros como pesados y asfaltos convencionales.

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuál es el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos en comparación con el asfalto convencional?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Qué resultado se obtiene al aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados en comparación con el asfalto convencional?
- ¿Cuál sería el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos en comparación con el asfalto convencional?

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Social**

Dicha investigación fue desarrollada debido a la gran demanda de creación de asfalto en los sectores de la ciudad de Huancayo, y al ser de alto tránsito vehicular tanto pesado como liviano, y la deficiencia de autoridades que no dan mantenimiento de las tales, se vio la opción de añadir caucho molido a fin de que su mantenimiento sea más tardío, con un asfalto de mejor calidad y obras de mejor calidad de esta manera beneficiara a la sociedad y de esta manera mantener las carreteras mayor tiempo sin mantenimiento rutinario, de esa manera crear más carreteras en los sectores donde aún existen trochas carrosables.

#### **1.3.2. Teórica**

La investigación se enmarcar dentro de la tecnología y las normas técnicas peruanas construcción respectiva, el aporte justificativo es buscar nuevos materiales para el diseño mezcla asfáltica en caliente (MAC), incorporando caucho molido de llantas de vehículos pesados y vehículos ligeros, al 0.25% y 0.5%, a fin de mejorar el comportamiento del asfalto en la ciudad de Huancayo.

### 1.3.3. Metodológica

Mediante la presente investigación se ha implementado una nueva metodología para el uso del caucho proveniente de neumáticos de vehículos pesados y ligeros para las mezclas asfálticas en caliente.

## 1.4. Delimitación del problema

### 1.4.1. Delimitación espacial

El estudio delimita espacialmente al departamento de Junín, Provincia de Huancayo.



Figura 6. Mapa político del Perú

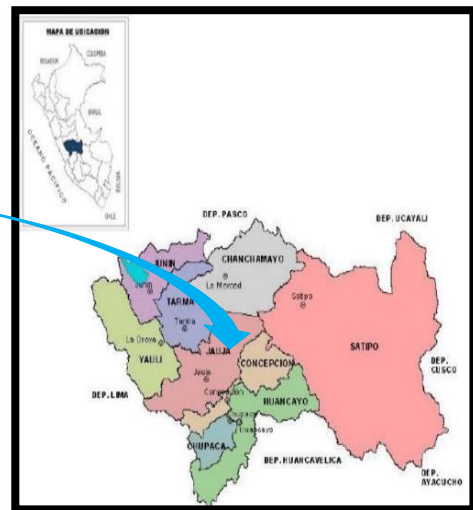


Figura 7. Mapa de la Región Junín

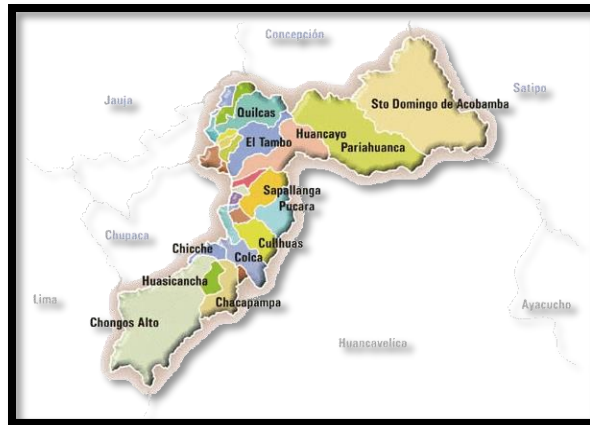


Figura 8. Mapa de la Provincia de Huancayo.

#### 1.4.2. Delimitación temporal

La presente investigación se llevó a cabo en el periodo de marzo a diciembre del año 2019.

#### 1.4.3. Delimitación económica

Los costos realizados para esta investigación fueron asumidos en su totalidad por el investigador.

#### 1.5. Limitaciones

Para la obtención del caucho de vehículos pesados con respecto a su reducción para la preparación del asfalto, no existe en la ciudad de Huancayo una industria para dicho fin, por lo tanto, se tuvo que realizar de manera manual con instrumentos propios.



## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos en comparación con el asfalto convencional.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Analizar el resultado que se obtiene al aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados en comparación con el asfalto convencional.
- Evaluar el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos en comparación con el asfalto convencional.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **1.1.1. Antecedentes internacionales**

Revista Politécnica (Ed) (2015). Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores. Ecuador: Edición Vol. 36 N°3.

Campaña, Gáleas y Guerrero (2015), Realizan un estudio de las mezclas asfálticas modificadas incorporando polvo de caucho donde se obtienen pavimentos con mejores propiedades de durabilidad, mayor vida útil y se reducen los costos en general, asimismo hacen referencia a los dos tipos de procesos seco y húmedo con finalidad de obtener asfalto modificado con polvo de caucho proveniente de los neumáticos fuera de uso. De igual manera los diseños se realizan con el Marshall evidenciando los beneficios para este tipo de mezcla asfáltica modificada. Para la mezcla asfáltica incorporado polvo de caucho por el proceso húmedo se obtuvieron tres mezclas con 10, 15 y 20 wt % de polvo de caucho en relación al bitumen. Para la mezcla seca se añadió 1, 2 y 3 wt % de polvo de caucho en relación al agregado asfáltico.

Navarro, (2013). Tesis: “Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuera de uso (nfu) mediante vía seca”. Universidad de Chile. Tesis para optar Título de Ingeniero Civil. Chile. Cuyo objetivo principal fue el siguiente:

El objetivo principal de esta memoria es la confección y seguimiento de los dos primeros tramos de prueba con carpetas fabricadas con mezclas asfálticas en caliente con adición de polvo de caucho de neumáticos fuera de uso (NFU) por vía seca. El polvo de caucho ocupado, pertenece a una planta nacional de reciclaje de neumáticos desechados.

Estos tramos de prueba, permitirán verificar y mejorar el actual proyecto de Especificación Técnica para el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, que pretende normar los trabajos de construcción de las 5 capas de rodadura constituidas con estas mezclas asfálticas, y además complementarlo, estableciendo los procedimientos y criterios para la evaluación de su calidad, una vez que sean puestas en servicio (controles receptivos y criterios de aceptación y rechazo).

Y finalmente el investigador de igual manera llegó a las siguientes conclusiones:

1. Realiza un estudio donde contempla la confección y el seguimiento de dos Tramos de Prueba, a realizarse por primera vez en el país, con mezclas asfálticas en caliente modificadas con polvo de caucho obtenido de neumáticos fuera de uso (NFU). El caucho es incorporado a la mezcla por vía seca; combinada con el agregado fino y su origen es de una planta nacional de reciclaje. Con estos tramos se pretende caracterizar las mezclas asfálticas modificadas por vía seca, lo que permitirá proponer normativas de confección y colocación para la Dirección de Vialidad, especialmente dentro del Manual de Carreteras.

2. Finalmente, el Tesista obtiene los resultados, donde la utilización del polvo de caucho como agregado fino para pavimentos asfálticos se plantea como una solución ambiental factible como un valor agregado adicional al caucho de NFU y que permitiendo una económica más rentable que los asfaltos con polímero y a un precio relativamente competitivo, aportar ventajas en la vida útil de la carretera. En efecto, respecto a las mezclas asfálticas convencionales, se obtiene una mayor resistencia a los cambios térmicos, a la disgregación (menor susceptibilidad a la humedad), al ahuellamiento y al envejecimiento. Además, como capa superficial provee al pavimento de una mayor capacidad estructural y de una mayor resistencia al deslizamiento (Navarro, 2013).

Rodríguez, (2005). En su trabajo de investigación: “Mejora de una mezcla asfáltica drenante con adición de caucho e icopor”. Pontificia

Universidad Javeriana. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Bogotá  
– Colombia. Llego a las siguientes conclusiones:

1. Hoy en día la contaminación de restos no biodegradables, la escasez del asfalto debido a la disminución de reservas petroleras del mundo y la búsqueda de nuevos materiales que den una alternativa al manejo ambiental y económico de las mezclas asfálticas drenantes, ha puesto a los investigadores en la tarea de modificar las mezclas con el ánimo de dar respuesta solicitadas por el tráfico, respecto a la resistencia y la durabilidad de un pavimento.

2. La modificación de las mezclas asfálticas convencionales, es una técnica utilizada desde hace más de 20 años para la utilización efectiva de asfaltos en la pavimentación. Dichas técnicas consisten en la incorporación de polímeros a las mezclas asfálticas convencionales con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tráfico de vehículos, buscando eliminar las deformaciones permanentes (Ahuellamientos) de las mezclas que componen las capas de rodadura, aumentando su rigidez, además eliminar el fisuramiento por efecto térmico y por fatiga incrementando su elasticidad (Rodríguez, 2005).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Fajardo, y Vergaray (2014). En su trabajo de investigación: “Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas”. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad de San Martín de Porres. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Lima – Perú. Llegaron a las siguientes conclusiones:

1. Promueve la investigación del polvo de caucho mediante la incorporación por vía seca a fin de que dicho polvo de caucho ingrese como un agregado fino en la mezcla asfáltica, por ello se da un uso a los neumáticos desechos y se mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

2. Los tesisistas hacen mención que tienen dificultades en el desarrollo de su investigación por no contar con información o antecedentes nacionales como internacionales para la caracterización de los materiales a emplear en el desarrollo de las características de las mezclas asfálticas modificadas con polvo de neumáticos fuera de uso. (Fajardo, Vergaray, 2014).

3. Asimismo, en su investigación se plantean como objetivo principal identificar la metodología para la mejora del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas, donde adicionan el polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso en el agregado fino, donde la mezcla se desarrolló por el proceso vía seca (Fajardo, Vergaray, 2014).

4. En consecuencia, su investigación coopera con la problemática de la contaminación ambiental siendo uno de los focos contaminantes los neumáticos fuera de uso, puesto que al terminar su vida útil se convierten de residuos difíciles de eliminar (Fajardo, Vergaray, 2014).

Huamán, (2011). En su trabajo de investigación: “La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú”. Facultad de Ingeniería Civil – Sección de Postgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis para optar el grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería de Transportes. Lima – Perú. Del cual su objetivo principal fue:

El efectuar un estudio bibliográfico extensivo sobre los mecanismos que originan la deformación permanente en los pavimentos asfálticos, discutiendo las causas que las producen, y presentando los equipos de laboratorio y de campo especializados utilizados para evaluar este problema.

Y llegó a las siguientes conclusiones:

1. Del mismo modo el Tesista menciona que la envergadura de las obras viales se encuentra en las carreteras interoceánicas que atraviesan transversalmente nuestro territorio peruano. La carretera interoceánica Sur, parte de límites con Brasil terminando en puertos marítimos del Océano Pacífico; interconectando de esta manera pueblos del Perú y permitiendo

que Brasil tenga salida al mar hacia los mercados orientales (Huamán, 2011).

2. De igual manera el Tesista menciona que ante esta realidad existen necesidades de mejorar la calidad de la tecnología de los pavimentos en nuestro Perú a fin de lograr alcanzar mayor vida útil en los pavimentos asfálticos, además su investigación sostiene que las deformaciones permanentes son fallas de un deterioro prematura del pavimento; asimismo, el tesista llega a conceptualizar las deformaciones permanentes con sus diferentes formas que se presentan en las capas de la estructura del pavimento incluyendo la subrasante, generando así tanto fallas funcionales como estructurales, además da más aportes sobre los tipos de cemento asfáltico y generalmente sobre el comportamiento reológico de las mezclas asfálticas (Huamán, 2011).

Carrizales (2015). En su trabajo de investigación: “Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles”. Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad de Nacional del Altiplano. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Puno – Perú. Del cual su objetivo principal fue.

El análisis de la mezcla asfáltica modificada con material reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos flexibles.



De igual manera su hipótesis principal fue:

Al diseñar mezcla asfáltica modificada con material reciclado de llanta. Mejora del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente modificado, a partir de la incorporación del caucho reciclado de llantas.

Y llegó a las siguientes conclusiones:

La mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado de llanta no presenta mejoras en el comportamiento físico - mecánicas en ninguno de los distintos diseños realizados con caucho reciclado de llanta que se hizo en el laboratorio, ya que los valores obtenidos por el ensayo Marshall están por debajo de la mezcla asfáltica convencional y las especificaciones normativas a la cual nos regimos.

De acuerdo al análisis hecho en 4.1.1 sección A, de los valores obtenidos y mostrados en la tabla 36, están por debajo de lo que las especificaciones normativas nos piden.

En la mezcla de los agregados, usando el caucho reciclado de llanta como un agregado más en dicha mezcla, nos cumple con los rangos establecidos por el MTC, sin embargo, al momento de los resultados del ensayo Marshall, los valores están por debajo de los parámetros establecidos.

El flujo del Diseño Asfáltico Modificado es mayor q el flujo del Diseño Asfáltico Convencional e incluso que las normas establecidas. Esto no mejora la flexibilidad y elasticidad ante los cambios de temperatura que se

producen en nuestra zona, llegaría a producirse más casos de ahuellamiento en las carreteras.

La estabilidad de los asfaltos modificados con caucho reciclado de llanta está por debajo del Asfáltico Convencional e incluso que las normas establecidas. Esta disminución de la estabilidad, aumenta las fallas por fatiga que se produce en las vías asfaltadas debido a la baja estabilidad del asfalto.

La utilización de caucho reciclado de llanta en el uso de mezclas asfálticas o en cualquier otro uso reducirá la contaminación ambiental, ya que la reutilización del caucho no producirá efectos contaminantes como lo hacen al ser quemados, proliferación de insectos, etc.

Los neumáticos no son materiales, los cuales se puedan volver a su forma original.

Tueros, (2017) En su trabajo de investigación: “Incorporación de polvo de caucho en mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016”, para optar el título profesional de ingeniero civil - Huancayo – Perú. Llego a las siguientes conclusiones:

1. La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016; puesto que, la

incorporación de polvo de caucho influye en 85%, 87% y 97% los valores de Estabilidad, flujo e índice de rigidez de la mezcla asfáltica convencional respectivamente.

La incorporación de polvo de caucho influye en un 57% en la mezcla asfáltica convencional para la mejora de la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho frente al valor de desgaste reporta un valor de correlación 0.566.

2. La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional disminuye la deformación plástica en la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho diferencia significativamente en 66.67% los valores de depresión de ahuellamiento. Debido a los valores altos de correlación de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis.

Lapa, (2008) en su trabajo de investigación: Estabilización de bases granulares con fibras de caucho reciclado tallado. Para optar el título profesional de ingeniero civil. Facultad de ingeniería – escuela profesional de Ingeniería civil. Huancayo – Perú. Llego a las siguientes conclusiones:

1. Se concluye que la fibra de caucho tallado tiene influencia en las propiedades mecánicas de la base granular tanto en la máxima densidad seca (MDS), optimo contenido de humedad (OCH) y CBR; se observó que

estos valores aumentaron en 1.36%, 9.46% y 39.89% respectivamente a MDS, OCH y CBR con respecto al material granular sin adición alguna, esto se logró cuando se adiciono 1.5% de caucho reciclado tallado.

2. La estabilización de suelos (Material granular) siempre está enfocado a encontrar una solución técnica y económica en carreteras, por ende, la utilización de este material reciclado es aplicable, ya que se obtiene una mejora en el material granular en un 39.89%, teniendo en cuenta el valor CBR. Por lo cual podemos concluir la estabilización con fibra de caucho reciclado tallado ofrece muchas ventajas (Costo, protección del medio ambiente, fácil obtención) en la estabilización de suelos frente a la utilización de otros métodos y materiales. Para la obtención de este material no es necesario equipos sofisticados ya que se puede obtener de manera manual como se hizo en el presente trabajo de investigación y por lo cual se podrá utilizar en lugares remotos y con bajos recursos económicos.

3. Al adicionar caucho reciclado al material granular de base granular este influye considerablemente resistencia (39.89%) en comparación con la resistencia que presentaba la muestra patrón sin adición de esta fibra; como se observa en la figura 122 y en la tabla 9 esto ocurre cuando se adiciona 1.5% de fibra de caucho reciclado tallado, pero consiguiente, los ensayos en laboratorio demuestran que al ir adicionando continuamente más porcentaje (%) de caucho, llega a su máximo CBR en 1.5% a 125.3 en promedio de adición de fibra de caucho tallado el cual es el tope, pero al seguir adicionando 2%, 2.5%, 3%, 3.5% y 4% se observa que empieza a

descender hasta obtenerse valores menores al del material en estado natural cuando se adiciona cantidades mayores a 4% de caucho reciclado tallado.

Los valores de 2.379, 2.381 y 2.377 los cuales son máximas densidades secas ensayadas por proctor modificado se obtiene al añadir 1.5% de fibra de caucho tallado al material granular como se observa en la tabla 9 lo cual concuerda con los valores máximos de CBR obtenidos. El contenido óptimo de humedad aumenta mientras más se añade la fibra de caucho hasta un tope en la adición de 1.5% de fibra de caucho para luego descender. El máximo valor obtenido de CBR al 100% a 0.1” de penetración representa una mejora de un 39.89% con respecto al material en estado natural.

5. Se observó que el coeficiente estructural del material aumento con respecto a la dosificación optima de caucho reciclado tallado, se obtuvo que con un CBR de 89.58%, el cual es el material sin adición, se obtuvo un coeficiente de 0.1415 y con un CBR de 125.26% el cual se obtiene con 1.5% de caucho reciclado tallado se obtuvo un coeficiente estructural de 0.156, lo cual se concluye que el CBR si influye en el coeficiente estructural.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Mezclas asfálticas en caliente**

Según (Ramírez, 2006). La mezcla asfáltica en caliente lo compone un material pétreo recubierto con una película de asfalto, uniformemente mezclados, en proporciones previamente especificadas. Las cantidades relativas de estos materiales, determinan las propiedades y características de la mezcla. (p. 5).

Según Ramírez, define y sostiene al respecto:

Las mezclas asfálticas pueden fabricarse en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras. Se denominan “mezclas en caliente”, pues para lograr que los pétreos se combinen homogéneamente con el cemento asfáltico, ambos componentes llegan sobre los 100°C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla. El desarrollo de mezclado se realiza en una Planta Asfáltica, y luego se transporta la mezcla al lugar donde se pavimentará y se coloca por medio de una pavimentadora, asegurándose que la superficie se encuentre preparada correctamente. Una vez extendida, se somete a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades resistentes al desgaste producido por el paso de los vehículos, y a su vez, pueda traspasar la sollicitación del

peso de ellos hacia las capas más profundas, absorbiendo una parte de esta sollicitación. (2006, p.5).

#### **A) Procedimiento constructivo de mezcla asfáltica en planta**

Según Cárdenas y Fuentes mencionan que:

En la planta de concreto asfáltico se deberá tener el material pétreo del diámetro adecuado (menor de una pulgada) que de preferencia deberá estar triturado y cumplir con las especificaciones. Este material se eleva a un cilindro de calentamiento y secado hasta llegar a una temperatura de 160 a 175° C, de ahí se pasa a la unidad de mezclado donde se criba para alimentar 3 ó 4 tolvas con material de diferente tamaño, se pesa la cantidad de material necesaria de pétreo y se depositan en las cajas mezcladoras donde se le provee de cemento asfáltico, el cual deberá estar a una temperatura de 130 a 150° C, se recomienda no exceder estos valores para evitar que se pierdan propiedades, se realiza la mezcla hasta su homogenización y ésta se vacía a los vehículos a una temperatura de entre 120 y 130° C, de preferencia esta

mezcla se cubre con una lona para evitar se enfríe en el trayecto. (2014 p. 15)

## **B) Propiedades deseadas en la mezcla asfáltica en caliente**

Según Cárdenas y Fuentes (2014, p. 15), las buenas Mezclas Asfálticas en Caliente, son aquellas que se diseñan, elaboran y colocan, cuidando que se adquieran propiedades que garanticen la obtención de pavimentos y Mantenimientos funcionales y durables. Estas propiedades son:

- a) Estabilidad: Según Cárdenas y Fuentes (2014, p. 15) es la resistencia al desplazamiento y a la deformación que están sujetas a las cargas de tráfico. La estabilidad va depender directamente de la fricción y la cohesión interna en la mezcla.
- b) Durabilidad: Según Cárdenas y Fuentes (2014, p. 15), es la habilidad de una carpeta de asfalto, para soportar factores como la descomposición del agregado, cambios en las características del asfalto y la separación de las películas de asfalto. Esta propiedad se mejora de tres formas:
  - Usando la mayor cantidad posible de asfalto.
  - Usando una gradación compacta de agregado resistente a la separación.



- Diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

c) Impermeabilidad: Según Cárdenas y Fuentes mencionan que:

Es la resistencia al paso del aire y agua hacia la parte interna del pavimento. Está relacionada directamente con el contenido de vacíos de la mezcla compactada. Asimismo, la impermeabilidad es fundamental para la durabilidad de las mezclas compactadas, de igual forma la impermeabilización es usada en el proceso constructivo de carreteras donde deben tener cierto grado de permeabilidad. (2014, p. 16).

d) Trabajabilidad: Según Cárdenas y Fuentes, (2014, p. 16), es la simplicidad con la que se trabaja una mezcla asfáltica para ser colocada y compactada.

e) Flexibilidad: Según Cárdenas y Fuentes (2014, p. 16), es la facilidad de acoplarse un pavimento asfáltico sin necesidad de agrietarse a movimientos y asentamientos de la subrasante.

f) Resistencia a la Fatiga: Según Cárdenas y Fuentes mencionan que:

Es la resistencia a la flexión continua bajo las cargas constantes del tráfico de vehículo. Se conoce por

medio de los estudios realizados a diferentes carpetas asfálticas, que los vacíos y la viscosidad del asfalto, tienen un efecto considerable en la resistencia a la fatiga. (2014, p. 17).

g) Resistencia al deslizamiento: Según Cárdenas y Fuentes (2014, p. 17), es la resistencia de la superficie del pavimento al minimizar el deslizamiento de las llantas de los diferentes vehículos, especialmente cuando la superficie está cubierta por agua.

### **C. Criterios a consideraciones para el diseño de mezcla.**

Según Cárdenas y Fuentes mencionan que:

El espesor de la película de asfalto alrededor del agregado, tiene una influencia determinante en la estabilidad y durabilidad. Mientras más delgada es dicha película, menor será la estabilidad. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el agregado, pasando por un óptimo y luego hace un efecto lubricador. La cohesión entre pétreos, varía con el tiempo al perder el asfalto su poder ligante y flexibilidad al oxidarse. El aporte del material pétreo a la estabilidad, lo efectúa a través de su fricción interna y ésta a su vez, es función del tamaño del agregado y de la rugosidad de

sus caras. La falta de estabilidad proporcionada por los agregados, puede ser suplida en parte, usando un asfalto de menor penetración. (2014, p. 17).

Según Cárdenas y Fuentes mencionan que:

El diseño debe encontrar el mejor balance entre estabilidad y durabilidad, porque el objetivo de esto, es obtener la mezcla más económica. Esquemáticamente se observa que, para obtener una mezcla final con las propiedades y calidad esperada, se tiene que supervisar el cumplimiento de las propiedades básicas de todos los materiales que conformarán la mezcla. (2014, p. 17).

### **2.2.2. Asfaltos modificados**

Según Ramírez menciona que:

En nuestro medio hay condiciones en las cuales, las mezclas asfálticas convencionales no son idóneos de resistir la acción conjunta del tráfico de vehículos y las acciones del clima, por ello, se necesita implementar nuevos diseños de mezclas asfálticas más resistentes, mejorando sus propiedades mecánicas, haciendo realce en la durabilidad, el ahuellamiento y la fatiga. (2006, p. 11).

Según Ramírez menciona que:

La mezcla asfáltica convencional es sensible a la temperatura, por ser un material visco elástico, el cual presenta variación perenne en sus características según la condición de temperatura: es rígido cuando la temperatura desciende y es fluida cuando asciende la temperatura. La primordial característica al utilizar elementos que modifican el cemento asfáltico, es garantizar propiedades no encontradas en los asfaltos producidos con la tecnología convencional, especialmente las que tienen que ver con la gradiente térmica. (2006, p. 11).

Según Ramírez menciona que:

La rentabilidad o aprovechamiento que se pueden conseguir al modificar el asfalto son:

- Incrementar la durabilidad del pavimento.
- Disminuir la sensibilidad térmica, de modo que se incremente la rigidez a una temperatura alta de servicio, obteniendo la resistencia de las mezclas a la deformación permanente y, por otro lado, se disminuya la fragilidad del asfalto expuesto a temperaturas bajas, cuidando así la fisuración térmica

- Incrementar la resistencia a fatiga de las mezclas.
- Acrecentar la adhesión del asfalto con los agregados pétreos.
- Incrementar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados.
- Disminuir el envejecimiento en servicio, ampliando la vida útil de las mezclas asfálticas, ya que se mantienen las ventajas iniciales. (2006, p. 11).

Según Ramírez menciona que:

Esencialmente la adición de polímeros en las mezclas asfálticas convencionales ha conseguido mejorar sus características, como disminuir la deformabilidad y mayor resistencia a solitud del tránsito. Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse al interactuar con el betún asfáltico. (2006, p. 11).

Según Ramírez (2006, p. 11). Los polímeros más utilizados son los plastómeros EVA (etileno acetato de vinilo), los elastómeros SBS (estireno-butadieno-estireno) y el caucho molido.

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. Está plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales, aun con los grados más duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se corren el riesgo de fisuraciones por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Con ciertas mezclas abiertas, alternativa generada por razones de confort y seguridad, con los ligantes convencionales no se alcanzaría una resistencia mecánica suficiente a causa de una insuficiente cohesión y adhesividad, lo que unido al bajo contenido de ligante de estas mezclas podría redundar en una disminución en su durabilidad. Del mismo modo,

las nuevas capas superficiales delgadas serian menos durables cuando se vean sometidas a altas intensidades de tránsito.

Ante las situaciones mencionadas, además de apelar a nuevas tecnologías constructivas y del resto de los materiales (áridos), una solución evidente fue mejorar algunas características de los asfaltos para lograr un mejor comportamiento de los pavimentos. Ello dio origen a nuevos asfaltos que genéricamente fueron denominados "Asfaltos Modificados".

Existen entonces asfaltos modificados por:

- Elastómeros
- Plastómeros
- otros
- Otros

Además de los Asfaltos Modificados con polímeros, algunos países emplean asfaltos especiales y multigrados, comúnmente denominados alto índice. Los polímeros del tipo SBS son, por lejos, los más utilizados siguiéndole en las preferencias los plastómeros del tipo EVA. El uso de asfaltos especiales o de alto índice no ha alcanzado hasta el momento el mismo crecimiento que los asfaltos modificados con polímeros, pero se observan buenas perspectivas de crecimiento. Una crítica generalizada es que se ha enfatizado mostrar las ventajas técnicas de los asfaltos

modificados, pero se han realizado pocos estudios que tengan en cuenta la relación costo-beneficio. E-Asfalto. 01 de octubre del 2005.19 dediciembre del 2019. Disponible en: <http://www.e-asfalto.com/modificados/modificados.htm>

### **2.2.3. Aplicación de granos de caucho en las mezclas**

Según Díaz menciona que:

El GCR (Grano de Caucho Reciclado) es un material obtenido de las llantas en desuso de los vehículos automotores, que por lo general tiene un destino no muy controlado ambientalmente, rellenos sanitarios, plantas térmicas, basureros a cielo abierto, entre otros, que generan un daño ambiental importante. Se obtiene mediante procesos de molienda de llantas usadas, disminuido en tamaño, este material es utilizado en diferentes obras de ingeniería civil, como lo son en rellenos de terraplenes, materiales de contención, pisos de parques, como modificador en las mezclas asfálticas, entre otros. En las diferentes revisiones bibliográficas realizadas en esta investigación se encontró que el grano de caucho se ablanda y se expande a medida que va reaccionando con el asfalto. La adición de éste a las



mezclas produce un bitumen más espeso, lo cual tiene que ver con que se presente mayor resistencia al envejecimiento y a la oxidación. (2017, p. 21)

Según Ramírez menciona que:

Para utilizar el polvo de caucho provenientes de los neumáticos fuera de uso y adicionarlo en la mezcla asfáltica existen tres formas diferentes de obtener mediante el proceso vía húmeda, vía sea y proceso en refinería. (2006, p. 18).

Según Ramírez menciona que:

Mediante el Proceso Húmedo, el caucho proveniente de los neumáticos fuera de uso interviene modificando principalmente el cemento asfáltico, asimismo, mediante el Proceso Seco, el caucho proveniente de neumáticos fuera de uso es adicionado como una porción de agregado fino. Ahora en el Proceso en Refinería, la mezcla del caucho con el cemento asfáltico se ejecuta necesariamente en la planta productora de asfalto, para que posteriormente sea transportado a obra en donde se mezclara con los agregados

para producir la mezcla asfáltica. Cada proceso es ejecutado dependiendo de la necesidad y del producto que se quiera obtener. (2006, p. 18).

Añadir el grano de caucho molido provenientes de neumáticos de vehículos nos ayuda a contribuir en la solución ambiental que ocasiona el almacenamiento de estas llantas usadas o los gases perjudiciales que se producen al desecho por quema de estas, de igual forma aporta al pavimento menor reflexión de fisuras como capas de refuerzo en trabajos de rehabilitación y mejoramiento, ayuda a aumentar la durabilidad de estas mezclas, presentada en mayores módulos de elasticidad y mayor resistencia a la fatiga, y presentan mejor resistencia al ahuellamiento, debido a las cargas del tránsito y las condiciones climáticas de la zona, por lo cual se requiere un menor mantenimiento en el periodo de servicio, lo cual incide en la relación costo beneficio. Calameo. 19 de junio del 2019. 19 de diciembre del 2019. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/005313123a89c3592c3d8>.

Según Correa mencionó que:

Están compuestas por tres productos básicamente: caucho natural y sintético, acero y fibra textil. Este caucho que se utiliza en la producción de las llantas está compuesto por un grupo de polímeros (compuestos químicos con un

elevado peso molecular) como lo son el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común que es el estireno-butadieno, todos usados en hidrocarburos. Los polímeros son utilizados para la modificación de las mezclas asfálticas en busca de mejorar sus propiedades y así cumplir con los requerimientos para un proyecto de calidad, en donde se pretende principalmente optimizar la elasticidad y flexibilidad, la consistencia y la durabilidad para evitar que una mezcla asfáltica presente fisuramiento, deformaciones o que tenga desprendimientos. La implementación de asfaltos modificados con polímero es una técnica que involucra bondades notorias en las mezclas asfálticas diseñadas, entregando a los pavimentos un mejor desempeño una vez se somete al efecto del tránsito y condiciones climáticas. (2018, p. 17).

#### **2.2.4. Características de las mezclas asfálticas en caliente modificado con caucho**

Según Ramírez menciona que:

Como se ha visto, existen diferentes tecnologías al adicionar el caucho de neumáticos fuera de uso en la mezcla asfáltica, asimismo presentan ciertas ventajas que son

favorables para ambos casos. Entre estas ventajas, se halla el perfeccionamiento a la resistencia a las deformaciones plásticas. (2006, p. 29).

Según Ramírez (2006, p. 29), se puede mencionar en términos sencillos, que cuanto más caucho se adiciona, es mayor el contenido del cemento asfáltico en la mezcla asfáltica y se incrementa la resistencia a la fatiga y a la reflexión de grietas.

Según Ramírez mencionó que:

El primordial beneficio que se obtiene usando asfalto con caucho como ligante modificado mediante el proceso de vía húmeda, está la reducción de la susceptibilidad térmica, asimismo mejora su comportamiento a la fatiga y el envejecimiento producto de los altos contenidos de ligante asfalto adicionado caucho (entre 6.5 y 7.5% con respecto a los agregados), sin que se perjudique la resistencia a las deformaciones plásticas. Por ello se debe de mencionar que al adicionar el caucho como modificador del ligante, incrementa la viscosidad, permitiendo incrementar flexibilidad a bajas temperaturas y mejor estabilidad a altas. (2006, p. 29).

Según Ramírez mencionó que:

Las desventajas del proceso por Vía Húmeda, se debe que, al poseer un alto costo inicial, debido que es fundamentalmente incrementar equipos especiales en dicho proceso para la producción y el respectivo mezclado del ligante conjuntamente con el polvo de caucho. Es así que al incrementar la viscosidad produciríamos dificultades en la colocación y compactación es por eso que se requieren mayores temperaturas de mezclado y de compactación. (2006, p. 29).

Según Ramírez mencionó que:

En el proceso por vía seca, la interacción entre el polvo de caucho y el cemento asfáltico disminuye para el ligante asfalto y polvo de caucho resultados que se tienen por vía húmeda, si se halla la temperatura y tiempo de digestión especificada, se tendrá propiedades semejantes en ambas mezclas. (2006, p. 29).

Según Ramírez mencionó que:

El uso de particular de granulometría gruesa de caucho como un agregado en la mezcla asfáltica podría aumentar el desempeño de la misma mezcla. La granulometría de caucho queda a simple vista en las superficies del pavimento, necesariamente tiene una función fundamental de evitar que los neumáticos de los vehículos se deslicen sobre el pavimento, ofreciendo un mejor agarre, y las que quedan dentro del cuerpo de la mezcla ayudan a retardar el fisuramiento de ésta, por absorción de los esfuerzos, obstaculizando la propagación de la fisura. (2006, p. 29).

REVISTA Dialnet. España, 13 (1). Enero 2009. ISSN: 0123-2126, menciona que: Desde hace más de 30 años en la elaboración de pavimentos flexibles se han empleado asfaltos modificados, obtenidos por adición de polímeros tipo elastómero y plastómero. Sin embargo, el elevado costo de los modificadores ha hecho que su empleo no se haya masificado como debiera; entre tanto, no se ha encontrado un método satisfactorio de disposición final para los grandes volúmenes de residuos poliméricos generados por el consumo de productos desechables. Este trabajo presenta la posibilidad de obtener una mezcla asfalto-polímero estable que, además de disminuir costos, tenga mejores características

fisicoquímicas que el asfalto convencional proveniente del Complejo Industrial de Barrancabermeja (Colombia), usando asfalto de la refinería de Barrancabermeja (CIB), al igual que ripio de llanta e incorporación proveniente de vasos desechables, como modificadores. El asfalto se modificó empleando el dispersor de asfaltos del Laboratorio de Pavimentos de la Universidad de La Salle. La caracterización fisicoquímica se realizó de acuerdo con las normas vigentes e incluyó los ensayos de penetración, ductilidad, punto de ablandamiento, punto de inflamación, punto de combustión, ductilidad, envejecimiento, curva reológica, solubilidad y estabilidad al almacenamiento. Para establecer la composición y compatibilidad de las mezclas asfalto-polímero se separó el asfalto en cuatro fracciones, según las especificaciones del método SARA y el análisis morfológico y micromorfológico del bitumen convencional y modificado. Los resultados indican que se logró una mezcla asfalto-polímero compatible y estable, que conserva la relación maltenos-asfaltenos del asfalto original y con características fisicoquímicas que permiten predecir un adecuado desempeño cuando se emplee en mezclas asfálticas para pavimentación.

### **2.3. Definición de términos**

- **Elastómero:** Los elastómeros son aquellos tipos de compuestos que incluyen no metales en su composición y que muestran un comportamiento elástico. El

término, que proviene de polímero elástico, a veces se intercambia con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados.

- **Plastómero:** Traducción del inglés-Un plastómero es un material polimérico que combina las cualidades de los elastómeros y los plásticos, como las propiedades similares al caucho con la capacidad de procesamiento del plástico. Como tal, la palabra plastómero es un acrónimo de las palabras plástico y elastómero.
- **Polisopreno:** El polisopreno es un nombre colectivo para los polímeros que se producen por polimerización de isopreno. El cis-1,4-polisopreno, también llamado caucho de isopreno, es un ingrediente importante del caucho natural.
- **Polibutadieno:** El polibutadieno es un elastómero o caucho sintético que se obtiene mediante la polimerización de 1,3-Butadieno. La molécula de butadieno puede polimerizar de tres maneras diferentes, originando tres isómeros llamados cis, trans y vinilo.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La aplicación del asfalto modificado con caucho de neumáticos mejora las propiedades mecánicas y de resistencia del asfalto convencional, así como, reduce su costo.



#### **2.4.2. Hipótesis específicos**

- Al aplicarse el asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados se mejora en algunos casos la durabilidad a la diferencia del asfalto convencional.
- Mediante la aplicación de asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos mejora en algunos casos las propiedades físicas y de durabilidad del asfalto, en comparación con el asfalto convencional.

#### **2.5. Variables**

##### **Primera Variable (Independiente): (X)**

Asfalto modificado con caucho de neumáticos

##### **Segunda Variable (Dependiente): (Y)**

Asfaltos convencionales

##### **2.5.1. Definición conceptual de las variables**

**V1.** Tueros (2017) precisa que, las mezclas asfálticas modificadas con caucho, aportan estructural y funcionalmente a la carpeta de rodadura de un pavimento flexible, generando la disminución a la deformación por ahuellamiento y de igual manera mejora la estabilidad, flujo, rigidez y durabilidad, disminuyendo la deformación plástica.

**V2.** Tueros (2017) menciona que en la actualidad existen condiciones en las cuales, las mezclas asfálticas convencionales en caliente no son idóneos para resistir toda la acción grupal del tráfico de vehículos y de igual manera hace mención a las acciones del clima, por lo tanto, es recomendable desarrollar nuevas mezclas asfálticas más resistentes, mejorando sus propiedades mecánicas, haciendo realce en la durabilidad, el ahuellamiento y la fatiga.

#### **2.5.2. Definición operacional de la variable**

**Variable independiente (X): Asfalto modificado de neumáticos.** – Se llegó a considerar el uso en porcentajes de 0.5% y 0.25% de caucho molido provenientes de vehículos ligeros y vehículos pesados respectivamente con una dosificación de 5.5%, 6% y 6.5% de líquido asfáltico para cada uno.

**Variable dependiente (Y):** Se realizó los ensayos de dicha prueba en un laboratorio de suelos y asfalto, para poder realizar las comparaciones y partir de la base de este ensayo.

### 2.5.3. Operacionalización de la variable

Tabla 9. Operacionalización de las variables: asfalto con caucho reciclado de neumáticos de vehículos pesados y ligeros.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES (FACTORES)	INDICADORES (DEFINICION CONCEPTUAL)
ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO DE NEUMATICOS	Tueros (2017) precisa que, las mezclas asfálticas modificadas con caucho, aportan estructural y funcionalmente a la carpeta de rodadura de un pavimento flexible, generando la disminución a la deformación por ahuellamiento y de igual manera mejora la estabilidad, flujo, rigidez y durabilidad, disminuyendo la deformación plástica.	Asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados	Contenido asfáltico
			Concentración de caucho
			Proporción de molienda
			Gradación de la molienda
		Asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos	Contenido asfáltico
			Concentración de caucho
			Proporción de molienda
			Gradación de la molienda
ASFALTOS CONVENCIONALES	Tueros (2017) menciona que en la actualidad existen condiciones en las cuales, las mezclas asfálticas convencionales en caliente no son idóneos para resistir toda la acción grupal del tráfico de vehículos y de igual manera hace mención a las acciones del clima, por lo tanto, es recomendable desarrollar nuevas mezclas asfálticas más resistentes, mejorando sus propiedades mecánicas, haciendo realce en la durabilidad, el ahuellamiento y la fatiga.	Mezcla asfáltica en caliente	Estabilidad
			Durabilidad
			Impermeabilidad
			Trabajabilidad
			Flexibilidad
			Resistencia a la fatiga
			Resistencia al deslizamiento

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1. Método de investigación**

##### **3.1.1. Método general**

El método general del estudio fue el método científico ya que se menciona lo siguiente: El método científico es la estrategia de la investigación científica, afecta a todo el proceso de investigación, es autónomo del tema que se ensaya. Sabino (2008, p. 19).

#### **3.2. Tipo de investigación**

En función al marco teórico fue aplicado según la REVISTA Dialnet. España, 3 (1). Enero 2014. ISSN: 1390-9592, menciona que: La investigación aplicada busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo. Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto

#### **3.3. Nivel de investigación**

El nivel que se uso fue el explicativo o correlacional según Hernández (2014), ya que menciona lo siguiente: “La finalidad es conocer la relación o grado de

asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto específico.” (p. 98).

### **3.4. Diseño de investigación**

- Según el propósito del estudio fue Cuasi – Experimental según Hernández (2014) que mencionó lo siguiente: “Los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están conformados antes del experimento”. (p. 151).

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población está conformada por 45.00 briquetas de muestras de mezclas asfálticas, con las siguientes proporciones, primer grupo: MAC convencional con 5.5%, 6% y 6.5% de líquido asfáltico; asimismo, segundo y tercer grupo: MAC modificado con 0.25% y 0.5 % de molienda de caucho proveniente de vehículos ligeros, finalmente, cuarto y quinto grupo: MAC 2 modificado con 0.25% y 0.5 % de molienda de caucho proveniente de vehículos pesados.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra fue censal y determinada según el tipo de muestreo no probabilístico dirigido, por lo que considera toda la población.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnica**

##### **a) Observación directa**

Para este tipo de técnica se usó la observación directa porque según Tamayo (2007, p. 193), “es aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante su propia observación”.

Esta técnica fue realizada para lograr ubicar el lugar del desarrollo de esta investigación, ante ello se optó por realizar un ensayo que globalice a la ciudad de Huancayo, ya que en esta es donde acontece grandes problemas en el asfaltado y su deterioro rápido en sus distintas calles como son: grietas, piel de cocodrilo, ahuellamientos, etcétera. Esto en referencia a los diferentes sectores de la zona.

##### **b) Análisis de documentos**

Los documentos que se llegó a usar fueron desde el inicio para poder enriquecer esta investigación es:

- Revisiones bibliográficas
- Libros y revistas

Por la cuales se llegó a profundizar en cuanto al conocimiento científico y temático con respecto a los investigadores.

**c) Pruebas estandarizadas**

Dichas pruebas llegaron a servir para poder medir las diferentes propiedades del asfalto a usar en diferentes porcentajes de líquido asfáltico con el que se trabajó y de igual manera a estos porcentajes se le añadió caucho molido de vehículos ligeros y pesados en diferentes proporciones, como son 0.50% y 0.25% respectivamente, el cual se realizó en un laboratorio con certificación y bajo la NTP (Norma Técnica Peruana), de igual manera el ASTM para otros ensayos y métodos de ensayos según el MTC como se detalla a continuación:

**NTP 400.012:2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global**

**- Alcance:**

La presente Norma Técnica Peruana establece el método para la determinación de la distribución por tamaño de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado.

**- Equipos y/o instrumentos:**

- ✓ 01 balanza de 0.01 gramo de precisión
- ✓ 01 balanza de 0.1% de sensibilidad
- ✓ 01 juego de Tamices de 1", ¾", ½", 3/8", N° 4, N°10, N°40, N°80 y N°200
- ✓ 01 horno para secado con un rango de temperatura de 110° C ± 5 °C.

- **Procedimiento:**

El procedimiento consistió en preparar unas tres muestras de diferentes agregados como fueron de arena zarandada un aproximado de 1500 gramos, de arena chancada un aproximado de 1700 gramos y de grava un aproximado de 3700 gramos de material, para dicha preparación de antemano se realizó su cuarteo correspondiente para cada uno respectivamente, se realizó el secado de la muestra, como solicita la norma, posterior a ello se pesó una tara y en ella se incorporó el material seleccionado para poder pesarlo conjuntamente, luego de haber realizado todo ello se procedió a tamizar cada material correspondiente, haciendo movimientos circulares y de manera constante, después de todo ello se procedió a pesar el material retenido en cada tamiz y finalmente se calculó los porcentajes retenidos y porcentajes que pasan correspondiente a cada tamiz.

De igual manera se realizó el tamizado del caucho previamente molido procedentes de vehículos pesados y vehículos ligeros.





Figura 9. Agregados a tamizar



Figura 10. Tamices a usar para el ensayo.



Figura 11. Molienda de vehículos pesados y ligeros.



Figura 12. Muestras tamizadas para el siguiente ensayo.

En las figuras anteriores se pueden apreciar, la obtención de los materiales tamizados y la molienda del caucho de vehículos pesados y ligeros con los cuales se hizo los ensayos para esta investigación.

#### **ASTM D (1595) – MTC E-504. Ensayo Marshall**

##### **- Alcance:**

Esta norma nos describe el proceso que se debe seguir para determinar la densidad de Bulk y el porcentaje de vacíos para cada serie de muestras asfálticas, mediante el cálculo y análisis de los diferentes pesos y volúmenes.

De igual manera nos ayuda a poder determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas para el pavimento.

##### **- Equipos y/o instrumentos:**

- ✓ 01 balanza digital de 0.01 gramo de precisión.
- ✓ 01 balanza mecánica de 0.01 gramo de precisión.
- ✓ 01 cocina a gas
- ✓ 15 bowls de acero quirúrgico
- ✓ 01 tetera de metal
- ✓ 46 moldes con collar y una placa base el molde debe de tener un diámetro interior de  $101.6 \pm 0.1\text{mm}$  y de una altura de 80mm.
- ✓ 01 extractor con un disco desplazador de 100mm.
- ✓ 01 martillo de compactación con una base circular de 100mm.
- ✓ 01 pedestal de compactación con base de madera de 205 x 205 x 455mm cubierto con una placa de acero.

- ✓ 01 sujetador de molde.
- ✓ 01 mordaza.
- ✓ 01 maquina Marshall.
- ✓ 01 equipo de baño maria con 1500mm de profundidad y de un rango de  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ 01 termómetro digital con un rango de  $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

- **Procedimiento:**

El procedimiento para este ensayo consiste primero es en calentar los agregados pétreos previamente pesados, con la ayuda de un bowl de metal en la cocina, previamente separado para cada tipo de porcentaje de líquido asfáltico y para cada tipo de porcentaje de molienda de caucho reciclado de vehículos ligeros y pesados a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ , a la misma vez se hace calentar el líquido asfáltico en una tetera a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$ .

Una vez que los materiales estén calentados se retira y se mezclan en conjunto hasta llegar a  $120^{\circ}\text{C}$ , estos para los convencionales, pero para los que se les añadirá el caucho molido se reducirá la temperatura a  $75^{\circ}\text{C}$  el material para que no se disuelva con el material, sino que se una como un agregado más.

Luego se procede a llenar a los moldes de Marshall poniendo como base un papel filtro, y luego se rellena con el material y se tapa con otro papel filtro, luego se procede a colocar en el pedestal de madera y se sujeta con el sujetador de molde, y se golpea la cara superior con el

martillo de compactación 75 veces luego se retira el molde y se voltea, de la misma manera se hace esto con la cara inferior se golpea 75 veces en ambas caras y se deja reposando hasta que enfríe por un periodo de 30 minutos, de esa manera se hace con todas las muestras tamizadas así como los convencionales como los modificados con caucho.

Una vez frío se lleva a desmoldar con la ayuda del extractor y se ponen a señalizarlos cada uno con sus respectivos porcentajes y tipos.

Una vez señalizados se les lleva a pesar en seco cada briqueta o espécimen para luego llevarlo a hacer el ensayo de peso sumergido, se

ata los especímenes a usar y colocan en el borde de la balanza mecánica y se deja caer en la bandeja de agua para hallar su peso sumergido.

Se recopila todos los datos y luego se procede a llevar las briquetas al ensayo de baño maría, en el cual se coloca los especímenes durante 30 minutos a una temperatura constante de  $60^{\circ}\text{C}$ , una vez pasado ese tiempo se saca el material y se le lleva a secar superficialmente por unos segundos y con la misma se lleva al equipo Marshall, con la ayuda de una mordaza se coloca el espécimen y se da el uso del equipo para tomar los datos.



Figura 14. Máquina Marshall.



Figura 13. Balanza mecánica.



Figura 15. Extractor de briquetas.



Figura 16. Pedestal y martillo de compactación.



*Figura 17. Máquina baño maría.*



*Figura 18. Moldes para briquetas.*



*Figura 19. Calentado de materiales zarandeados.*



*Figura 20. Añadidura del líquido asfáltico.*



Figura 21. Toma de temperatura.



Figura 22. Compactación del material.



Figura 23. Enfriamiento de briquetas.



Figura 24. Extracción de briquetas.



Figura 25. Señalización de las diferentes briquetas realizadas por porcentajes.



Figura 27. pesado en seco de briquetas.



Figura 26. pesado en agua de briquetas.





Figura 28. Colocación de briquetas en baño maría.



Figura 29. Colocación de briquetas para ensayo Marshall.

En las figuras anteriores se detalló el proceso que se llevó a cabo para realizar el ensayo Marshall para hallar la resistencia de las briquetas de los diferentes porcentajes que se usó en la incorporación de caucho de vehículo pisado y vehículo ligero con razón de un asfalto convencional.

### **MTC E-515. Ensayo Cántabro Método Máquina Los Ángeles**

#### **- Alcance:**

La presente Norma según el MTC nos sirve para poder determinar el valor de pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleado la máquina de Los ángeles, se aplican en mezclas en caliente, a las

mezclas porosas o de granulometría abierta, en el cual permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

- **Equipos y/o instrumentos:**

- ✓ 12 esferas de metal
- ✓ 01 balanza de 0.1% de sensibilidad
- ✓ 01 Máquina de abrasión los ángeles

- **Procedimiento:**

Para este ensayo primeramente se pone a pesar las briquetas a usarse, para su peso antes del desgaste, luego se coloca las 12 esferas en la máquina de abrasión los ángeles, seguido de ello se coloca una briketa para su ensayo, se coloca el tiempo en la máquina que serán en este caso 300 vueltas, de esa manera se realiza con cada briketa a ensayar por sus diferentes porcentajes de líquido asfáltico y porcentajes de la adición de molienda de caucho provenientes de vehículos ligeros y vehículos pesados, como de igual manera los convencionales.



Figura 31. Pesado de las briquetas a ensayar.



Figura 30. Etiquetado de las briquetas.



Figura 32. Colocado de briquetas a ensayar.



Figura 33. Pesado de briquetas ensayadas.



*Figura 34. Las diferentes briquetas ensayadas de convencionales y modificadas según su porcentaje de contenido de líquido asfáltico y contenido de molienda de caucho de vehículos pesados y ligeros.*

En las figuras anteriores se detalló el proceso del ensayo Abrasión los Ángeles, para poder hallar la resistencia de un asfalto convencional y un asfalto modificado con caucho.

### **3.7. Procedimientos de la información**

Dicho procesamiento de la información en la etapa de laboratorio fue mediante las especificaciones de cada ensayo de laboratorio, mencionados en las normas vigentes como la Norma Técnica Peruna, ASTM, ASHTOO 93 y el manual de ensayos de laboratorio del MTC, todo ello fue presentado mediante tablas y gráficos correspondientes, para un mayor entendimiento e interpretación de los resultados en los programas Microsoft Excel y SPSS.

### **3.8. Técnicas y análisis de datos**

Las pruebas estadísticas realizadas en su aplicación fueron a nivel descriptivo – comparativo, para este nivel se usó la observación como parte principal de la investigación para describir los sucesos, esta información producto de la observación fueron recopilados en tablas y gráficas para su procesamiento, se utilizó el t de student, porque permite examinar la comparación entre muestras independientes mediante las probabilidades.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

En este trabajo de investigación se llevó a cabo en el laboratorio “CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ SCRL” – Elaboración de Proyectos – Ejecución de obras – Control y calidad en Mecánica de Suelos, ubicado en Av. Oriente N° 772 – Concepción – Junín, donde se llevó a cabo un total de 45 especímenes de asfalto como muestra para el ensayo Marshall y el uso de caucho molido de dos tipos, uno con caucho molido de vehículos ligeros y el segundo con caucho molido de vehículos pesado, ambos pasantes de la malla N° 10 .

Se tomó estas muestras para el uso en las pistas de la ciudad de Huancayo y alrededores, de igual manera estos ensayos fueron revisados tanto por mis asesores como por un especialista en asfalto Ing. Jesús Idén, Cárdenas Capcha.

#### **4.1. Asfalto convencional en mezclas en caliente:**

Para el desarrollo de nuestra elección del tipo de mezcla para el ensayo Marshall se tuvo que desarrollar diferentes ensayos y parámetros a tomar en cuenta como se muestran en las siguientes figuras y tablas:

#### 4.1.1. Granulometría de los agregados:

Según las especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013 nos muestra la gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC), que el uso granulométrico se debe encontrar dentro de los parámetros establecidos, de igual manera podría emplearse las gradaciones que menciona la ASTM D 3515 y en el instituto del asfalto.

Tabla 10. Granulometría de grava a usar.

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>							
<b>GRANULOMETRIA DE GRAVA</b>				<b>PESO INICIAL</b>	:	3640.0 g.	
				<b>MUESTRA</b>	:	M-1	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.00		
1/2 "	12.500	1580.5	43.42	43.42	56.58		
3/8"	9.500	1335.0	36.68	80.10	19.90		
Nº 4	4.750	720.0	19.78	99.88	0.12		
Nº 10	2.000	3.5	0.10	99.97	0.03		
Nº 40	0.425	1.0	0.03	100.0	0.0		
Nº 80	0.180	0.0	0.0	100.0	0.0		
Nº 200	0.075	0.0	0.0	100.0	0.0		
< Nº 200	FONDO	0.0	0.0	100.0			

Fuente: Elaboración propia.

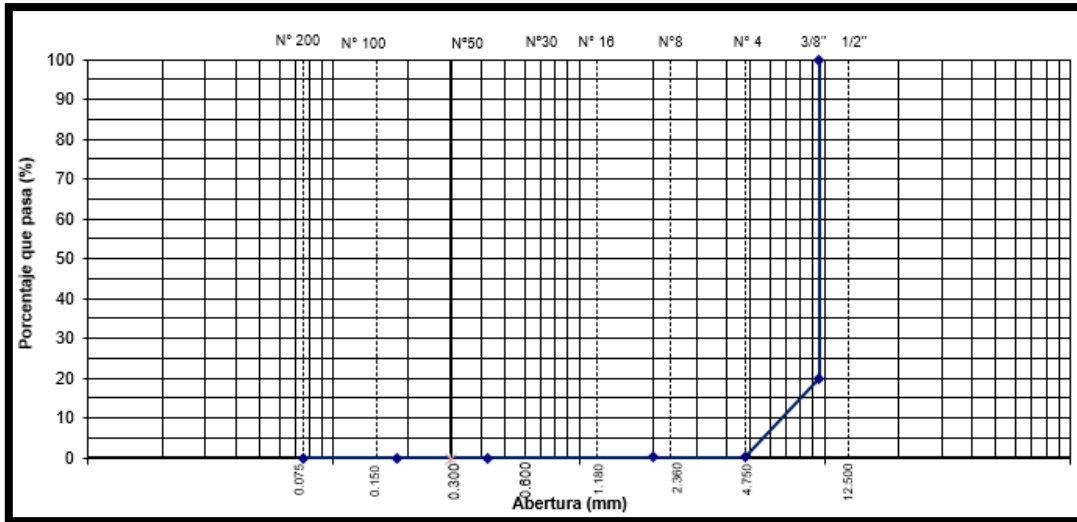


Figura 35. Curva granulométrica.

En los datos que se muestran según la tabla 10, se puede apreciar que la grava a usar es menor a  $\frac{3}{4}$ ".

Tabla 11. Granulometría de arena chancada a usar.

DATOS DE LA MUESTRA							
GRANULOMETRIA DE ARENA CHANCADA				PESO INICIAL	:	1635.0 g.	
				MUESTRA	:	M-2	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
$\frac{3}{4}$ "	19.050	0.0	0.0	0.0	100.00		
$\frac{1}{2}$ "	12.500	0.0	0.00	0.00	100.00		
$\frac{3}{8}$ "	9.500	0.0	0.00	0.00	100.00		
N° 4	4.750	243.0	14.86	14.86	85.14		
N° 10	2.000	400.0	24.46	39.33	60.67		
N° 40	0.425	528.0	32.29	71.6	28.38		
N° 80	0.180	241.5	14.8	86.4	13.61		
N° 200	0.075	80.0	4.9	91.3	8.72		
< N° 200	FONDO	142.5	8.7	100.0	0.00		

Fuente: Elaboración propia.



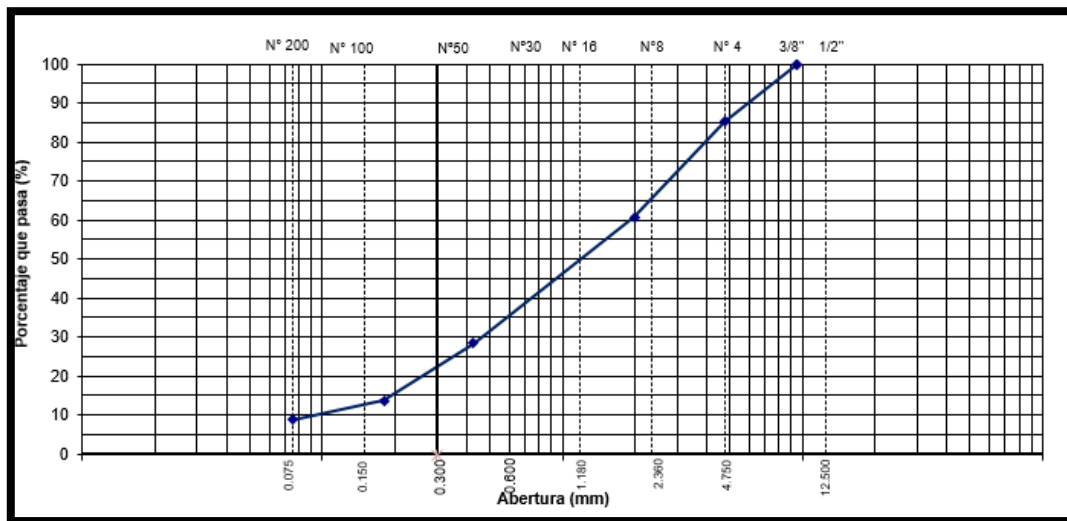


Figura 36. Curva granulométrica.

En la tabla 11 se observa la granulometría de la arena chancada donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 32.29% y un pasante de la malla N° 200 de 8.7%.

Tabla 12. Granulometría de arena zarandeada a usar.

DATOS DE LA MUESTRA							
GRANULOMETRIA DE ARENA ZARANDEADA					PESO INICIAL	:	1435.0 g.
					MUESTRA	:	M-3
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.00		
1/2 "	12.500	0.0	0.00	0.00	100.00		
3/8"	9.500	0.0	0.00	0.00	100.00		
Nº 4	4.750	0.0	0.00	0.00	100.00		
Nº 10	2.000	372.0	25.92	25.92	74.08		
Nº 40	0.425	483.0	33.66	59.6	40.42		
Nº 80	0.180	431.0	30.0	89.6	10.38		
Nº 200	0.075	42.0	2.9	92.5	7.46		
< Nº 200	FONDO	107.0	7.5	100.0	0.00		

Fuente: Elaboración propia.

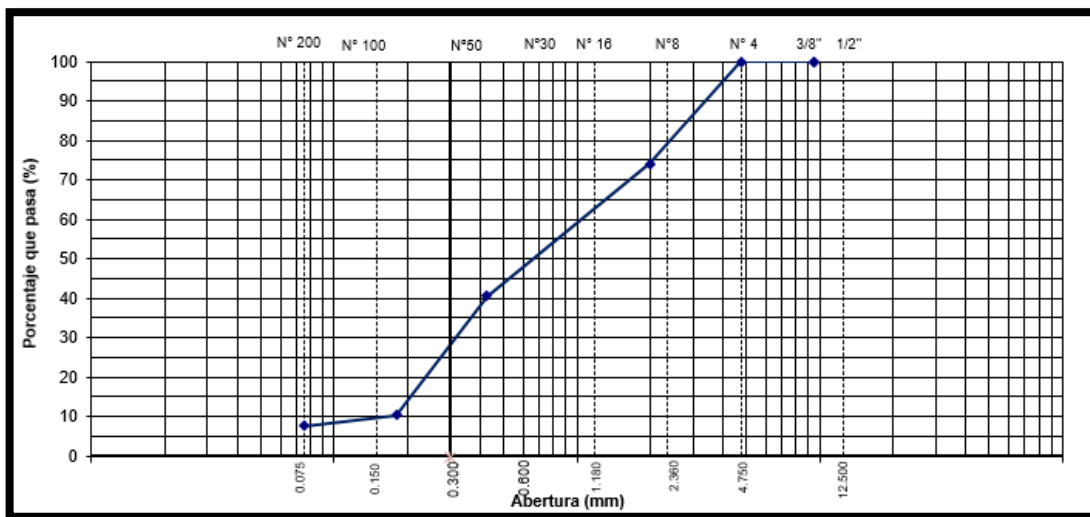


Figura 37. Curva granulométrica.

En la tabla 12 se observa la granulometría de la arena zarandeada donde el tamiz N° 40 tiene el mayor porcentaje retenido con un 33.66% y un pasante de la malla N° 200 de 7.5%.

#### 4.1.2. Combinación de agregados:

Una vez obtenido la granulometría de los agregados a usar se llegó a la conclusión que por el tipo de gradación el tamaño máximo nominal es el de 1/2" por lo cual se usó el MAC – 2 como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Cuadro de gradación.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80 - 100	100	
12,5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100

4,75 mm (N.º 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N.º 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 µm (N.º 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 µm (N.º 80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75 µm (N.º 200)	4 - 8	4 - 8	5 - 10

Fuente: Manual de carreteras EG – 2013.

Al obtener la gradación de los materiales ya realizo una combinación de agregados para obtener un mejor resultado como se muestra a continuación:

Tabla 14. Cuadro de combinación de agregados.

Abertura Malla	AASHTO T-27 (mm)	Granulometría de los Agregados					Especificación MAC -2	
		GRAVA	ARENA	ARENA	% Combinado	que pasa	MIN	MAX
		CHANCADA	CHANCADA	ZARANDEADA				
1"	25.400	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>		<b>100.0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
3/4"	19.000	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>		<b>100.00</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
1/2"	12.500	<b>56.58</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>		<b>86.97</b>	<b>80</b>	<b>100</b>
3/8"	9.500	<b>19.90</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>		<b>75.97</b>	<b>70</b>	<b>88</b>
Nº 4	4.750	<b>0.12</b>	<b>85.14</b>	<b>100.00</b>		<b>64.84</b>	<b>51</b>	<b>68</b>
Nº 10	2.000	<b>0.03</b>	<b>60.67</b>	<b>74.08</b>		<b>47.17</b>	<b>38</b>	<b>52</b>
Nº40	0.426	<b>0.00</b>	<b>28.38</b>	<b>40.42</b>		<b>24.08</b>	<b>17</b>	<b>28</b>
Nº 80	0.177	<b>0.00</b>	<b>13.61</b>	<b>10.38</b>		<b>8.40</b>	<b>8</b>	<b>17</b>
Nº 200	0.075	<b>0.00</b>	<b>8.72</b>	<b>7.46</b>		<b>5.66</b>	<b>4</b>	<b>8</b>

Fuente: Elaboración propia.

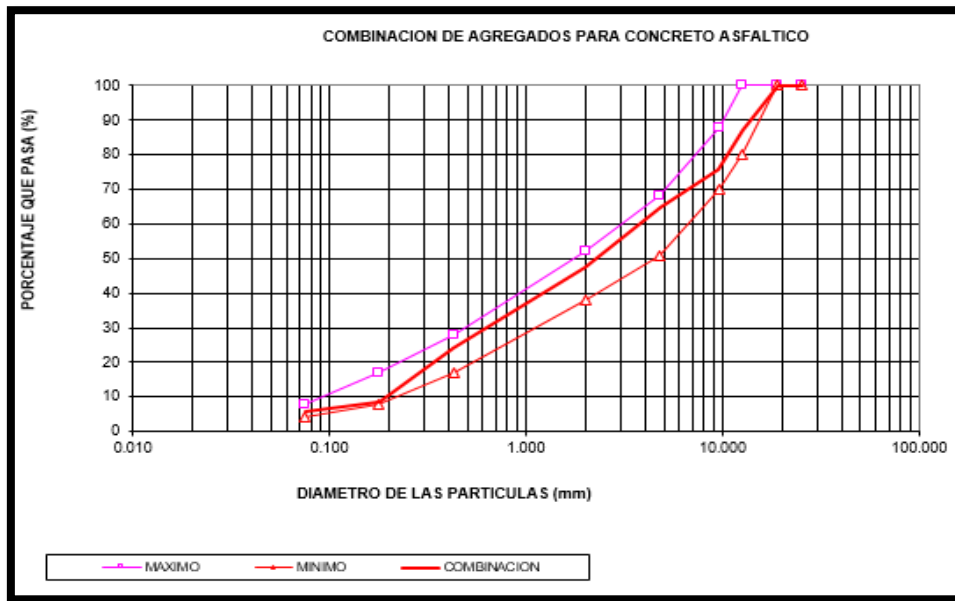


Figura 38. Curva granulométrica de combinación de agregados.

En la tabla 14, se observa la combinación práctica de los agregados y el aporte de cada uno de ellos al uso granulométrico requerido por lo establecido en el MAC - 2, donde el aporte de la grava chancada es de 30%, arena chancada es de 35%, arena zarandeada es de 35%.

Una vez obtenido nuestros resultados granulométricos y ser óptimos para su uso, se llevó a realizar a estos mismos, diversos ensayos como se muestran en la tabla 15 y tabla 16.

Tabla 15. Cuadro de requerimiento para los agregados finos.

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
DURABILIDAD (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209		18 % máx.
EQUIVALENTE DE ARENA	MTC E 214	60	70
SALES SOLUBLES	MTC E 219	0,5 % máx.	0,5 % máx.

INDICE DE DURABILIDAD	MTC E 214	35 % mín.	35 % mín.
ABSORCIÓN	MTC E 206	0,5 % máx.	0,5 % máx.

Fuente: Manual de carreteras EG – 2013.

Tabla 16. Cuadro de requerimiento para los agregados gruesos.

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
DURABILIDAD (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18 % máx.	15 % máx.
ABRACION LOS ANGELES	MTC E 207	40 % máx.	35 % máx.
ADHERENCIA	MTC E 517	95	95
INDICE DE DURABILIDAD	MTC E 214	35 % mín.	35 % mín.
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	ASTM 4791	10% máx.	10 % máx.
CARAS FRACTURADAS	MTC E 210	85/50	90/70
SALES SOLUBLES	MTC E 219	0,5 % máx.	0,5 % máx.
ABSORCIÓN	MTC E 206	1,0 % máx.	1,0 % máx.

Fuente: Manual de carreteras EG – 2013.

#### 4.1.3. Ensayo de agregado fino:

Estos ensayos se llevaron a cabo siguiendo los parámetros que se nos menciona en el manual de carreteras EG – 2013, como se observan en la tabla 15.

#### 4.1.3.1. Absorción:

Tabla 17. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado fino.

MUESTRA 2				
AGREGADO FINO				
N°	IDENTIFICACIÓN	M - 1	M - 2	PROMEDIO
A	Peso de material sat. Sup. (en aire)	250	250	
B	Peso del frasco + H2O	206.2	205.6	
C	Peso de frasco + H2O + Arena = A+B	456.2	455.6	
D	Peso del mat. H2O en el frasco	358	359	
E	Vol. De masa + Vol. De vacios = C-D	98.2	96.6	
F	Peso del material seco en estufa (105 °C)	246.8	246.5	
G	Volumen de masa = E-(A-F)	95	93.1	
	P. Esp. Bulk (base seca) = F/E	2.513	2.552	
	P. Esp. Bulk (base saturado) = A/E	2.546	2.588	
	P. Esp. Aparente (base seca) = F/G	2.598	2.648	
	% de Absorción = ((A-F)/F)x100	1.297	1.42	1.358
			Peso específico adoptado	2.567

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 17 se puede observar que el peso específico adoptado es de 1.358% de absorción de nuestro agregado el cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 15) donde es máx. 0.5% y si este supero ello será aceptado siempre en cuando su durabilidad este dentro del rango establecido, cuya durabilidad es óptima según nos muestra en la tabla 18.

#### 4.1.3.2. Durabilidad:

Tabla 18. Ensayo de durabilidad al Sulfato de magnesio.

TAMAÑO DE PARTICULA	GRANULOMETRÍA ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA		% PERDIDA TOTAL	PERDIDA MEDIA
		ANTES	DESPUES		
N° 8	21.11	233	215	7.73	1.63
N° 16	17.93	198	185	6.57	1.18

N° 30	19.02	210	192	8.57	1.63
N°50	16.12	178	165	7.3	1.18
AGREGADO FINO	25.82	285	265	7.02	1.81
Total	100	1104			<b>7.43</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 18 se puede observar que la durabilidad al sulfato de magnesio es de 7.43% para nuestro agregado el cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 15) cuyo porcentaje como máximo es de 18% para nuestra zona que es mayor a los 3000 msnm.

#### 4.1.3.3. Equivalente de arena:

Tabla 19. Ensayo de equivalencia de arena.

N°	DESCRIPCION	EQUIVALENTE DE ARENA		
		M-1	M-2	M-3
	TAMAÑO MAXIMO	4.75 mm	4.75 mm	4.75 mm
1	HORA ENTRADA A SATURACIÓN	10.1	10.12	10.14
2	SALIDA DE SATURACIÓN	10.2	10.22	10.24
3	HORA ENTRADA A DECANTACIÓN	10.22	10.24	10.24
4	SALIDA DE DECANTACIÓN	10.42	10.44	10.46
5	ALTURA MATERIAL FINO (PULG.)	5.2	5	5.2
6	ALTURA ARENA (PULG.)	3.5	3.6	3.6
7	EQUIV. ARENA	67.31	72	69.23
PROMEDIO DE EQUIV. ARENA (%)		<b>69.51</b>		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19 se puede observar que el promedio de equivalencia de arena que contiene nuestro agregado a usar, es de 69.51% el cual cumple con lo especificado en la norma del MTC

(Ver tabla 15) donde notaremos que como debe de tener un máx. 70% de pérdida, por nuestra zona que está a una altura mayor a los 3000 msnm.

#### 4.1.3.4. Sales solubles

Tabla 20. Ensayo de sales solubles.

RESULTADOS				
PIEDRA	CLORUROS CL ASTM D-3370;1999 NTP 339.177;2002 %	SULFATOS (SO4) ASTM E-225;2001 NTP 339.178;2002 %	SALES TOTALES %	PH MTC E-129 ASTM-4792
ARENA	0.0052	0.019	<b>0.0242</b>	6.98

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20 se puede observar que el PH que contiene nuestro agregado a usar, es de 0.024% el cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 15) donde notaremos que como debe de tener un máx. 0.5% de contenido de sales establecido para nuestra zona que está a una altura mayor a los 3000 msnm.

#### 4.1.4. Ensayo de agregado grueso:

Estos ensayos se llevaron a cabo siguiendo los parámetros que se nos menciona en el manual de carreteras EG – 2013, como se observan en la tabla 16.



#### 4.1.4.1. Absorción:

Tabla 21. Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso.

MUESTRA 1				
AGREGADO GRUESO				
N°	IDENTIFICACIÓN	M - 1	M - 2	PROMEDIO
A	Peso de material sat. Sup. (en aire)	980	950	
B	Peso de material sat. Sup. (en agua)	610	590	
C	Vol. Masa/Vol. Vacios = A-B	370	360	
D	Peso de mat. Seca en estufa (105 °C)	973	943	
E	Vol. Masa = C-(A-D)	363	353	
	P. Esp. Bulk (base seca) = D/C	1.63	2.619	
	P. Esp. Bulk (base saturado) = A/C	2.649	2.639	
	P. Esp. Aparente (base seca) = D/E	2.68	2.671	
	% de Absorción = ((A-D)/D)x100	0.719	0.742	0.731
		Peso específico adoptado		2.644

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 21 se puede observar que el peso específico adoptado es de 0.731% de absorción de nuestro agregado el cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 16) donde es máx. 1.0% establecido para las zonas mayores a 3000 msnm.

#### 4.1.4.2. Durabilidad:

Tabla 22. Ensayo de durabilidad al Sulfato de magnesio.

TAMAÑO DE PARTICULA	GRANULOMETRÍA ORIGINAL	PESO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA		% PERDIDA TOTAL	PERDIDA MEDIA
		ANTES	DESPUES		
3/4"	0	0	0	0	0
1/2"	33.96	712	685	3.79	1.29
3/8"	29.33	615	589	4.23	1.24

PIEDRA CHANCADA	35.44	743	710	4.44	1.57
	1.27	26.6	26	2.26	0.03
Total	100	2096.6			<b>4.13</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 se puede observar que la durabilidad al sulfato de magnesio es de 4.13% para nuestro agregado grueso el cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 16) cuyo porcentaje como máximo es de 15%.

#### 4.1.4.3. Sales solubles:

Tabla 23. Ensayo de sales solubles.

RESULTADOS				
PIEDRA	CLORUROS CL ASTM D- 3370;1999 NTP 339.177;2002 %	SULFATOS (SO4) ASTM E-225;2001 NTP 339.178;2002 %	SALES TOTALES %	PH MTC E-129 ASTM-4792
GRAVA	0.0079	0.024	<b>0.0319</b>	6.57

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 se puede observar que el PH que contiene nuestro agregado a usar, es de 0.0319% el cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 16) donde notaremos que como debe de tener un máx. 0.5% de contenido de sales establecido para nuestra zona que está a una altura mayor a los 3000 msnm.

#### 4.1.4.4. Partículas chatas alargadas:

Tabla 24. Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso.

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		Granulomet.		Peso de partículas de muestra	Peso partículas chatas/alargadas	% Partículas chatas/alargadas	Promedios ponderados
PASA T.	Retenido T.	PESO RET.	% RET.				
		A	B	(Pi)	Relación: espesor/longitud 1:3	E	
2"	1 1/2"	1850	22.12	C	D	E=100*D/C	A+D+E
1 1/2"	1"	2150	25.71	2150	125	5.81	156.53
1"	3/4"	1752	20.95	1752	75	4.28	100.23
3/4"	1/2"	1625	19.43	1625	65	4	88.43
1/2"	3/8"	985	11.78	985	20	2.03	33.81
3/8"	1/4"						
TOTAL:		8362	100	6512	285		<b>3.79</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 24 se puede observar que nuestro agregado contiene 3.79% de caras chatas y alargadas el cual cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 16).

#### 4.1.4.5. Caras fracturadas:

Tabla 25. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas con una cara fracturada a más.

CON UNA CARA DE FRACTURA A MAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		A (g)	B (g)	C (B/A)*100	D % PARCIAL	E (CxD)	Obs.
PASA T.	RETENIDO T.						
1 1/2"	1"	0	0	0	0	0	
1"	3/4"	425	410	96.5	11.6	1119.06	
3/4"	1/2"	298	285	95.6	10	956.38	
1/2"	3/8"	320	325	101.56	7.8	792.19	
Total:		1043	1020		29.4	2867.6	

$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$	<b>97.54%</b>
---	---------------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas con dos a más caras fracturadas.

CON DOS A MAS CARAS FRACTURAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		A (g)	B (g)	C (B/A)*100	D % PARCIAL	E (Cx D)	Obs.
PASA T.	RETENIDO T.						
1 1/2"	1"	565	550	97.3	12.1	1177.88	
1"	3/4"	325	310	95.4	11.6	1106.46	
3/4"	1/2"	255	240	94.1	10	941.18	
1/2"	3/8"	285	265	92.98	7.8	725.26	
Total:		1430	1365		41.5	3950.8	

$\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$	<b>95.20%</b>
---	---------------

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 25 y 26 se puede observar que nuestro agregado contiene 97.54% de una cara fracturada y 95.20% con dos caras fracturadas el cual nos da un 97/95 por lo tanto cumple con lo especificado en la norma del MTC (Ver tabla 16) que nos da como un mínimo de 90/70 como mínimo para las zonas mayores a los 3000 msnm.

#### 4.2. Uso del caucho en el asfalto:

El uso del caucho para nuestras muestras primero se realizó varios cálculos para poder ver cuán factible es usar este material como son sus procedencias, pesos entre otros como se muestra a continuación.

Tabla 27. Peso de los diversos neumáticos comunes usados en el mercado automotor encontrados en Huancayo.

<b>TIPO DE NEUMÁTICO</b>	<b>PESO MEDIO (KG/NEUMÁTICO)</b>
MOTOCICLETA (< 50cc)	0.84
MOTOCICLETA (> 50cc)	4.1
AUTOMOVIL	5.91
CAMIONETA	13.15
VEHÍCULO COMERCIAL	10.58
CAMIONES	52.67

Fuente: Elaboración propia.

Los pesos establecidos en la tabla 27 son pesos promedios que van dependiendo de la marca y número de aro de un vehículo motorizado en nuestra zona.

Tabla 28. Composición química y estructural de un neumático.

<b>Componentes</b>	<b>Tipo de vehículo</b>		<b>Función</b>
	<b>Vehículo ligero</b>	<b>Vehículo pesado</b>	
Caucho	41	41	Estructura – deformación
Negro de humo	28	28	mejora oxidación
Óxido de zinc	1.2	3.5	Catalizador
Materia textil	6	0	Esqueleto estructural
Acero	14	15	Esqueleto estructural
Azufre	1	2	Vulcanización
Otros	8.8	10.5	Juventud

Fuente: Elaboración propia.

El contenido de cada neumático presentado en la tabla 28 son las composiciones más comunes que presentan para el uso en las autopistas.

Al desarrollar los diversos ensayos a los agregados se desarrolló también el ensayo Marshall para el asfalto convencional posterior a ello se desarrolló el modificado con caucho del cual se realizó el cálculo para añadir a la mezcla

Convencional, para añadir al 5.5%, 6% y 6.5% de líquido asfáltico, tanto con caucho de vehículo ligero como de vehículo pesado como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 29. Cálculo para el uso del caucho molido de neumáticos usados.

<b>CÁLCULO DE PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAUCHO</b>						
<b>PESO DE BRIQUETA</b>	1200	1200	1200	1200	1200	1200
<b>% DE LIQUIDO ASFALTICO</b>	5.5%	6.0%	6.5%	5.5%	6.0%	6.5%
	1134	1128	1122	1134	1128	1122
1/2"	147.72	146.93	146.15	147.72	146.93	146.15
3/8"	124.77	124.11	123.45	124.77	124.11	123.45
N° 4	126.28	125.61	124.94	126.28	125.61	124.94
<b>SUMA A USAR</b>	398.77	396.65	394.54	398.77	396.65	394.54
<b>MENOS DE N° 4 (RESTA)</b>	735.23	731.35	727.46	735.23	731.35	727.46
<b>CAUCHO</b>	0.25%	0.25%	0.25%	0.50%	0.50%	0.50%
<b>% DE ASFALTO A USAR</b>	66	72	78	66	72	78
<b>ARENA CHANCADA</b>	367.62	365.68	363.73	367.62	365.68	363.73
<b>ARENA ZARANDEADA</b>	367.62	365.68	363.73	367.62	365.68	363.73
<b>CAUCHO A USAR</b>	2.84	2.82	2.81	5.67	5.64	5.61
<b>A. FINA A USAR</b>	732.40	728.53	724.66	729.56	725.71	721.85
<b>A. CHANCADA</b>	366.1975	364.265	362.3275	364.78	362.855	360.925
<b>A. ZARANDEADA</b>	366.1975	364.265	362.3275	364.78	362.855	360.925
<b>SUMA TOTAL A USAR</b>	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 29 se podrá apreciar el cálculo realizado para el uso del caucho molido el cual será en gramos, ello se añadirá y dependerá de dos factores, el primero por el porcentaje de líquido asfáltico a usar y el segundo por el porcentaje de caucho molido a usar.

Tabla 30. Cálculo realizado de la cantidad de caucho por porcentaje líquido asfáltico.

DETALLE	CÁLCULO DE PESOS DEL CAUCHO MOLIDO PARA M3					
	5.50%	6.00%	6.50%	5.50%	6.00%	6.50%
% DE LÍQUIDO ASFALTICO	5.50%	6.00%	6.50%	5.50%	6.00%	6.50%
CANTIDAD DE CAUCHO (KG.)	5.25	5.22	5.19	10.50	10.44	10.39

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 30 el cálculo para determinar el peso necesario para los diferentes porcentajes de líquido asfáltico, se desarrolló con respecto al peso y volumen de una briqueta que es de 1200 gr. Y de 540 cm<sup>3</sup> aproximadamente, de los cuales se sacó el promedio para usarse en m<sup>3</sup>.

Tabla 31. Cantidad en kg. De caucho por tipo de neumático.

TIPO DE NEUMÁTICO	PESO MEDIO (KG/NEUMÁTICO)	% DE CAUCHO	PESO DE CAUCHO (KG/NEUMÁTICO)
AUTOMOVIL	5.91	41%	2.4231
CAMIONETA	13.15	41%	5.3915
VEHÍCULO COMERCIAL	10.58	41%	4.3378
CAMIONES	52.67	41%	21.5947

Fuente: Elaboración propia.

Como se ve en la tabla 31 se nota la cantidad de caucho que se puede obtener por cada neumático desechado es un promedio, de los cuales pueden variar por el estado en que este el neumático, marca, tipo de aro y para el tipo de carretera por el cual va a trasladarse el vehículo.

#### 4.3. Asfalto modificado con caucho de vehículos pesados:

En las siguientes tablas y graficas se muestran los resultados obtenidos de los ensayos Marshall con respecto sus propiedades físicas y mecánicas para para las diversas muestras realizadas con respecto a un asfalto modificado.

Tabla 32. Contenido químico y estructural de un neumático de vehículos pesado.

Caucho natural	27%
Caucho natural	14%
Negro de humo	28%
Acero	14 - 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio:	45.4 Kg
Volumen	0.36 m3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 32 nos muestra el contenido en proporción de porcentajes de un neumático de vehículo pesado en general, ello puede variar por el tipo de uso.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 5.5% y 0.25% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 33. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 5.5% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	986.3	3.05	323.4	6.00	58.17
A. MODIFICADO AL 5.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	707.3	3.00	235.8	10.47	58.35

Fuente: Elaboración propia.



El asfalto modificado es un 28.28% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene 1.64% menos de flujo, a la vez su rigidez es 27.09% menor un convencional, sin embargo, su durabilidad aumenta en un 74.5% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 0.31%.

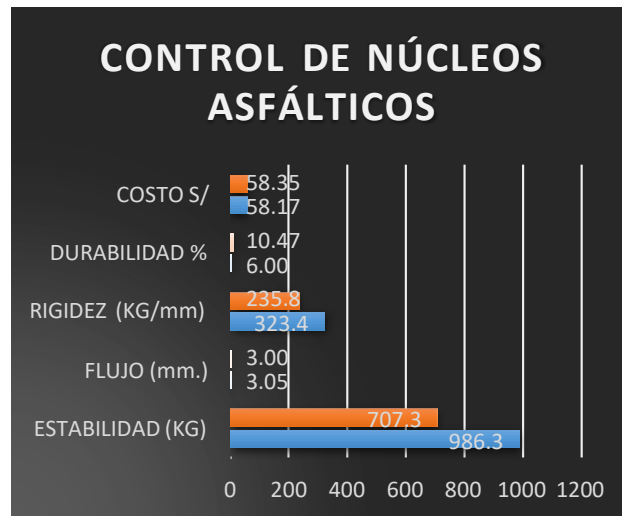


Figura 39. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.

En la tabla 33 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 5.5% de L.A. y la incorporación del 0.25% de caucho baja las propiedades físicas, pero mejora de un 6% de durabilidad a un 10.47%.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 6% y 0.25% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 34. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 6.0% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	966	3.3	292.7	5.8	58.5
A. MODIFICADO AL 6% LA + 0.25% de caucho (VP)	922.7	3.3	279.6	5.2	59.18

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 4.3% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma es de igual porcentaje con respecto al flujo, a la vez su rigidez es 4.48% menor un convencional, sin embargo, su durabilidad baja en un 10.34% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 1.16%.

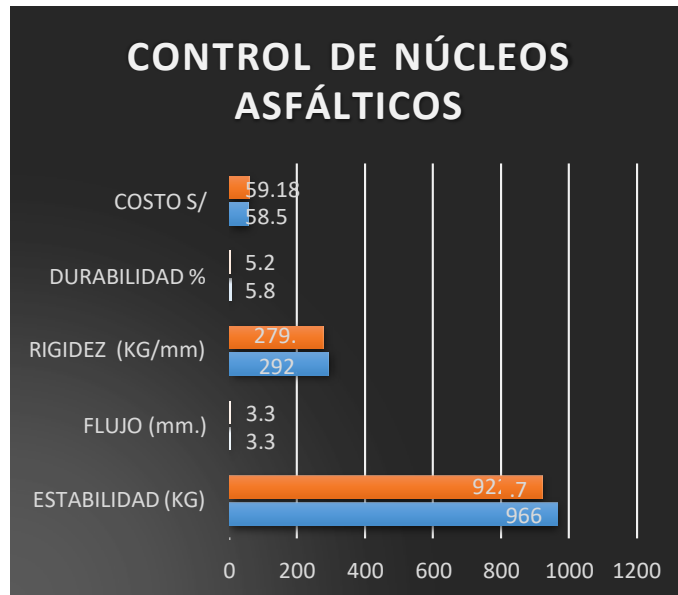


Figura 40. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.

En la tabla 34 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 6.0% de L.A. y la incorporación del 0.25% de caucho baja las propiedades físicas y de durabilidad.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificad al 6.5% y 0.25% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 35. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 6.5% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	869.3	3.9	224.11	5.6	59
A. MODIFICADO AL 6.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	676.7	3.7	183.2	2.1	59.58

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 22.16% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene 5.13% menos de flujo, a la vez su rigidez es 18.25% menor un convencional, sin embargo, su durabilidad también se reduce en un 62.5% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 0.98%.

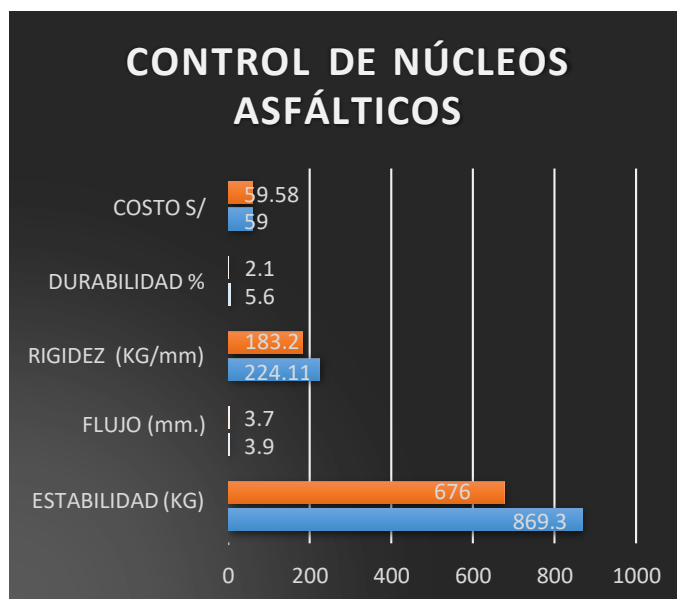


Figura 41. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.

En la tabla 35 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 6.5% de L.A. y la incorporación del 0.25% de caucho baja las propiedades físicas, de durabilidad y sube el precio.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 5.5% y 0.5% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 36. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 5.5% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	986.3	3.05	323.4	6.00	58.17
A. MODIFICADO AL 5.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	630.3	3.30	191	12.85	58.52

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 36.1% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene 8.20% mayor de flujo, a la vez su rigidez es 40.94% menor que un convencional, sin embargo, su durabilidad aumenta en un 114.17% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 0.60%.

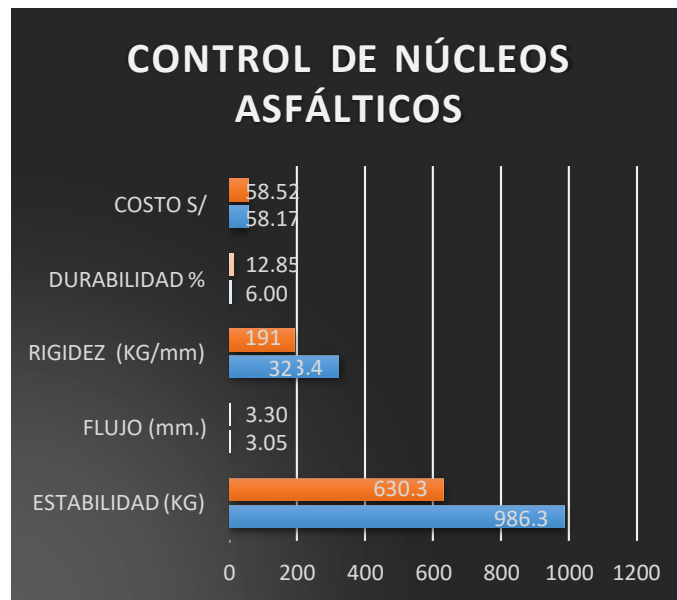


Figura 42. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.

En la tabla 36 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 5.5% de L.A. y la incorporación del 0.5% de caucho baja las propiedades físicas, pero mejora de un 6% de durabilidad a un 12.85%.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 6% y 0.5% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 37. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 6.0% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	966	3.3	292.7	5.8	58.5
A. MODIFICADO AL 6% LA + 0.5% de caucho (VP)	838.3	3.6	232.9	7.6	59.35

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 13.22% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene 9.09% mayor de flujo, a la vez su rigidez es 20.43% menor que un convencional, sin embargo, su durabilidad aumenta en un 31.03% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 1.45%.

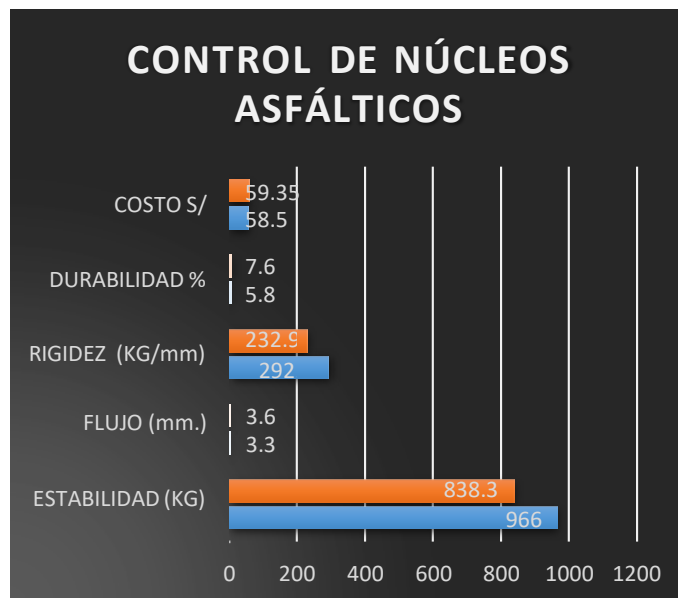


Figura 43. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.

En la tabla 37 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 6% de L.A. y la incorporación del 0.5% de caucho baja las propiedades físicas, pero mejora de un 5.8% de durabilidad a un 7.6%.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 6.5% y 0.5% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 38. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 6.5% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	869.3	3.9	224.11	5.6	59
A. MODIFICADO AL 6.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	647.3	3.8	170.35	3.5	59.75

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 25.54% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene 2.56% menor de flujo, a la vez su rigidez es 23.99% menor que un convencional, sin embargo, su durabilidad disminuye en un 37.50% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 1.27%.

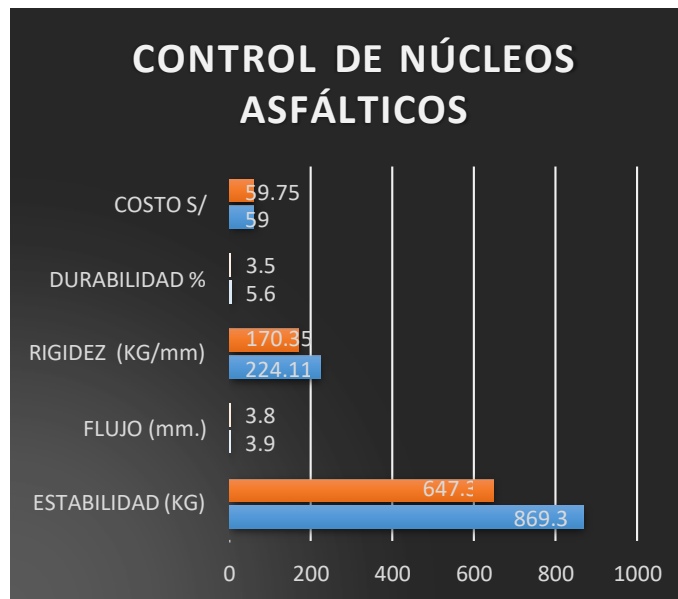


Figura 44. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.

En la tabla 38 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 6.5% de L.A. y la incorporación del 0.5% de caucho baja las propiedades físicas, de durabilidad y aumenta el costo de ejecución.

#### 4.4. Asfalto modificado con caucho de vehículos ligeros:

Tabla 39. Contenido químico y estructural de un neumático de vehículos ligeros.

Caucho natural	14%
Caucho natural	27%
Negro de humo	28%
Acero	14 - 15%
Fibra textil, suavisantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio:	8.6 Kg
Volumen	0.06 m3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 39 nos muestra el contenido en proporción de porcentajes de un neumático de vehículo ligero en general, ello puede variar por el tipo de uso.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 5.5% y 0.25% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 40. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 5.5% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	986.3	3.05	323.4	6.00	58.17
A. MODIFICADO AL 5.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	1010.3	3.00	336.8	10.8	58.65

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 2.43% mayor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene 1.64% menor de flujo, a la vez su rigidez es 4.14% mayor que un convencional, sin embargo, su durabilidad aumenta



en un 80% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 0.83%.

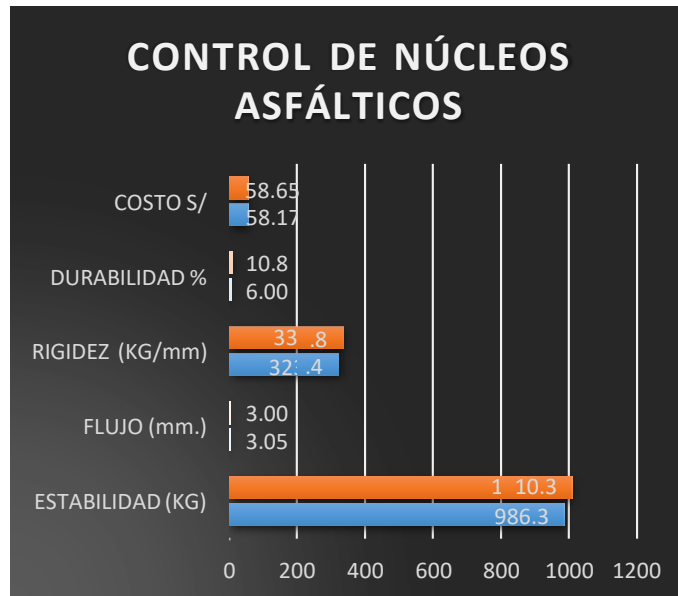


Figura 45. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.

En la tabla 40 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 5.5% de L.A. y la incorporación del 0.25% de caucho aumenta las propiedades físicas, de durabilidad y aumenta el costo de ejecución.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 6% y 0.25% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 41. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 6% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	966	3.3	292.7	5.8	58.5
A. MODIFICADO AL 6% LA + 0.25% de caucho (VL)	895.7	3.3	271.4	5.2	59.15

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 7.28% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene el mismo porcentaje con respecto al flujo, a la vez su rigidez es 7.28% mayor que un convencional, sin embargo, su durabilidad también disminuye en un 10.35% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 1.11%.

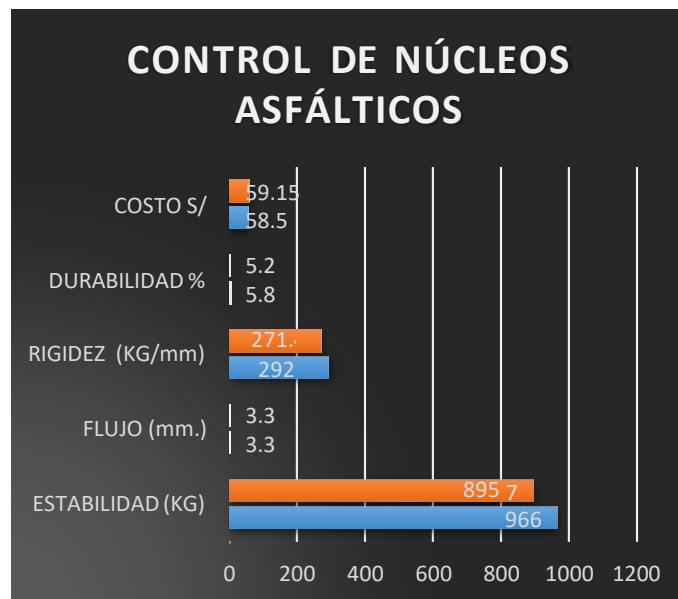


Figura 46. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.

En la tabla 41 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 6% de L.A. y la incorporación del 0.25% de caucho disminuye las propiedades físicas, de durabilidad y aumenta el costo de ejecución.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 6.5% y 0.25% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 42. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.25% de caucho molido y 6.5% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	869.3	3.9	224.11	5.6	59
A. MODIFICADO AL 6.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	680.7	3.9	174.5	3.6	59.55

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 21.70% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene el mismo porcentaje con respecto al flujo, a la vez su rigidez es 22.14% menor que un convencional, sin embargo, su durabilidad también disminuye en un 35.71% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 0.93%.

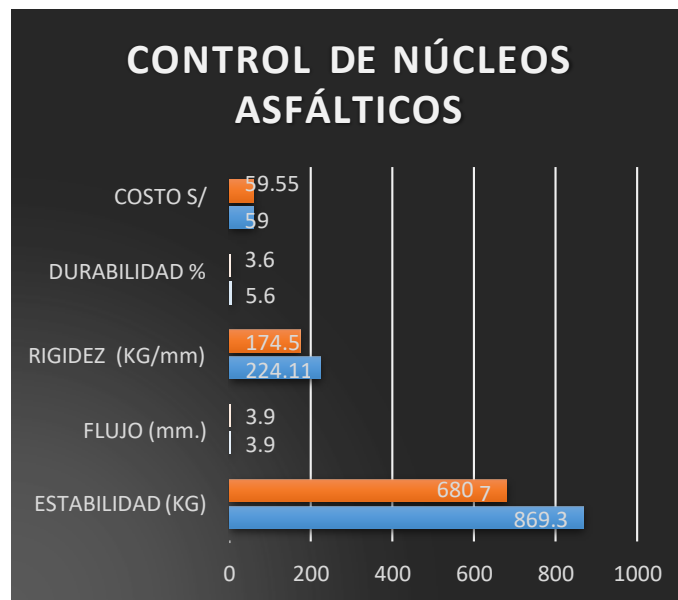


Figura 47. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.25% de caucho molido.

En la tabla 42 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 6.5% de L.A. y la incorporación del 0.25% de caucho disminuye las propiedades físicas, de durabilidad y aumenta el costo de ejecución.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 5.5% y 0.5% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 43. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 5.5% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	986.3	3.05	323.4	6.00	58.17
A. MODIFICADO AL 5.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	647	3.00	215.7	11.8	58.47

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 34.40% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene un 1.64% menor que un convencional con respecto al flujo, a la vez su rigidez es 33.30% menor que un convencional, sin embargo, su durabilidad aumenta en un 96.67% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 0.51%.

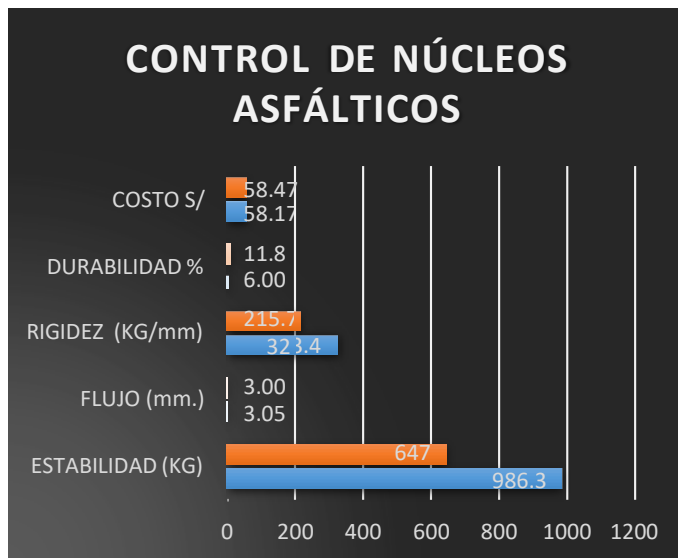


Figura 48. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.

En la tabla 43 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 5.5% de L.A. y la incorporación del 0.5% de caucho disminuye las propiedades físicas, aumenta la durabilidad de un 6% a un 11.8% y aumenta el costo de ejecución.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 6% y 0.5% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 44. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 6% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	966	3.3	292.7	5.8	58.5
A. MODIFICADO AL 6% LA + 0.5% de caucho (VL)	854	3.4	251.2	6.1	59.3

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 11.59% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene un 3.03% mayor flujo que un convencional, a la vez su rigidez es 14.18% menor que un convencional, sin embargo, su durabilidad aumenta en un 5.17% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 1.37%.

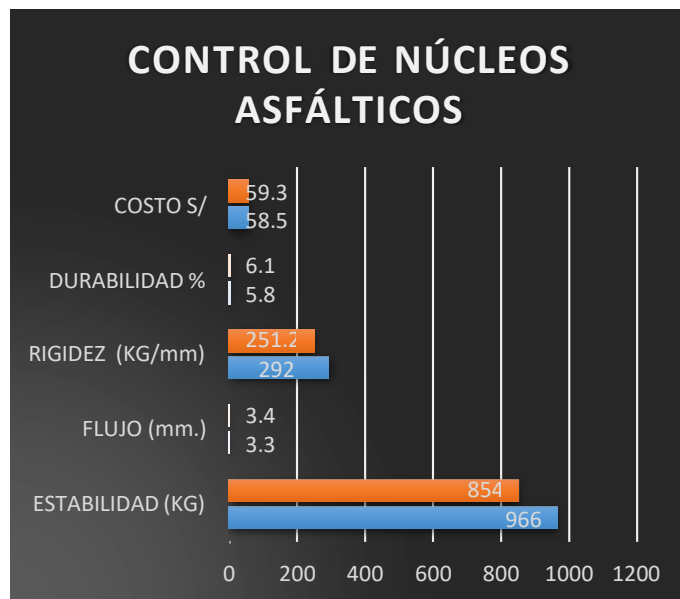


Figura 49. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.

En la tabla 44 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 6% de L.A. y la incorporación del 0.5% de caucho disminuye las propiedades físicas, pero aumenta las de durabilidad de un 5.8% a un 6.1% y aumenta el costo de ejecución.

A continuación, podremos apreciar el comparativo de asfalto modificado al 6.5% y 0.5% de líquido asfáltico con el control de contenido asfalto de la misma proporción con respecto a un asfalto convencional.

Tabla 45. Comparativo de un a. convencional y a. modificado al 0.5% de caucho molido y 6.5% de L.A.

COMPARACION DE ASFALTOS	CONTROL DE NUCLEOS ASFALTICOS				
	ESTABILIDAD (KG)	FLUJO (mm.)	RIGIDEZ (KG/mm)	DURABILIDAD %	COSTO S/
A. CONVENCIONAL	869.3	3.9	224.11	5.6	59
A. MODIFICADO AL 6.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	658.3	3.7	178.3	3.3	59.7

Fuente: Elaboración propia.

El asfalto modificado es un 24.27% menor que un asfalto convencional con respecto a la estabilidad, de igual forma tiene un 5.13% menor flujo que un convencional, a la vez su rigidez es 20.44% menor que un convencional, sin embargo, su durabilidad también disminuye en un 41.07% a diferencia de un convencional y con respecto al precio el asfalto modificado aumenta en un 1.19%.

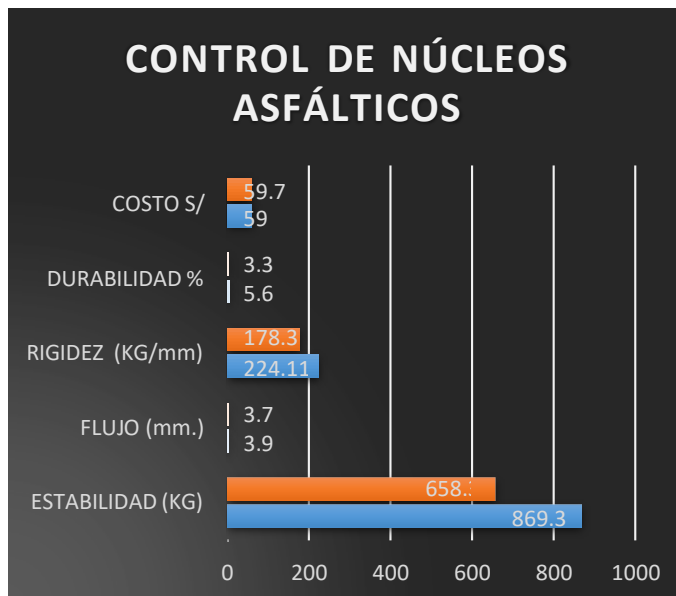


Figura 50. Cuadro estadístico comparativo de un convencional y uno modificado de 0.5% de caucho molido.

En la tabla 45 nos muestra que, a diferencia de un asfalto convencional, el asfalto modificado al 6.5% de L.A. y la incorporación del 0.5% de caucho disminuye las propiedades físicas, de durabilidad y aumenta el costo de ejecución.

#### **4.5. Contrastación de hipótesis:**

Con respecto a la problemática siguiente: ¿Qué resultado se obtiene al aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados en comparación con el asfalto convencional?, cuyo objetivo es determinar el contenido óptimo de asfalto y el porcentaje de caucho, se plantea la siguiente hipótesis alterna ( $H_1$ ) y nula ( $H_2$ ) respectivamente:

**H<sub>1</sub>:** Al aplicarse el asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados se mejora en algunos casos la durabilidad a la diferencia del asfalto convencional.

**H<sub>2</sub>:** Mediante la aplicación de asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos mejora en algunos casos las propiedades físicas y de durabilidad del asfalto, en comparación con el asfalto convencional.

Para lo cual, se realizó la prueba de hipótesis, aplicando el estadístico de T de Student para muestras independientes, en los siguientes casos.



➤ **Para el grupo control N.º 1 (5.5% de líquido asfáltico más 0.25% de caucho de vehículo ligero)**

En la tabla 46, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.11 y 80.51 kilogramos respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente la Estabilidad es de 709.67 y 18.48 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.0467 y 0.22 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente el Flujo es de 3.0 y 0.0 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye ligeramente al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente el de rigidez es de 236.56 y 6.16 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente la durabilidad es de 10.75 y 0.23 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, tal como se detalla en siguiente la siguiente tabla:

*Tabla 46. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	709.6667	18.47521	10.66667
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	3.0000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	236.5567	6.16033	3.55667
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	10.7500	.22539	.13013

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en el tabla N°47, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 6.59 y 11.027, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 0.354 y 0.634, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.730 y 0.544 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 3.419 y 5.997, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.007 y 0.000 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de -28.058 y -30.813, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 47. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	7.784	.019	6.590	10	.000	318.44444	48.32002	210.7807	426.108
	No se asumen varianzas iguales			11.027	9.754	.000	318.44444	28.87783	253.8797	383.009
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	.354	10	.730	.04667	.13169	-.24676	.340
	No se asumen varianzas iguales			.634	8.000	.544	.04667	.07362	-.12309	.216
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	8.826	.014	3.419	10	.007	104.06000	30.43542	36.2457	171.874
	No se asumen varianzas iguales			5.997	8.651	.000	104.06000	17.35134	64.5655	143.555
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	.252	.627	-28.058	10	.000	-4.86333	.17333	-5.2495	-4.4771
	No se asumen varianzas iguales			-30.813	4.101	.000	-4.86333	.15783	-5.2973	-4.4293

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

➤ **Para el grupo control N.º 2 (6% de líquido asfáltico más 0.25% de caucho de vehículo ligero)**

En la tabla 48, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en

mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente la Estabilidad es de 895.667 y 19.63 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.0467 y 0.22 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente el Flujo es de 3.3 y 0.0 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente el de rigidez es de 271.417 y 5.95 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (6% LA + 0.25% de caucho de VL), específicamente la durabilidad es de 5.20 y 0.37 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye ligeramente al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 48. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Estadísticas de grupo					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	895.6667	19.62991	11.33333
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	3.3000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	271.4167	5.94671	3.43333
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	5.2033	.36556	.21106

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 49, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica

Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 2.739 y 4.547, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.021 y 0.001 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de -1.924 y -3.441, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.083 y 0.009 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 2.274 y 3.994,



se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.046 y 0.003 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 3.533 y 2.982, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.005 y 0.065 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 49. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	7.527	.021	2.739	10	.021	132.44444	48.36048	24.6906	240.1983
	No se asumen varianzas iguales			4.547	9.854	.001	132.44444	29.13067	67.4070	197.4819
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	-1.924	10	.083	-.25333	.13169	-.5468	.04009
	No se asumen varianzas iguales			-3.441	8.000	.009	-.25333	.07362	-.4231	-.0836
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	8.903	.014	2.274	10	.046	69.20000	30.43164	1.3941	137.0059
	No se asumen varianzas iguales			3.994	8.610	.003	69.20000	17.32648	29.7323	108.6677
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	.118	.739	3.533	10	.005	.68333	.19341	.2524	1.1143
	No se asumen varianzas iguales			2.982	2.758	.065	.68333	.22918	-.0835	1.4501

. Fuente: Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

➤ **Para el grupo control N.º 3 (6.5% de líquido asfáltico más 0.25% de caucho de vehículo ligero)**

En la tabla 50, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente la Estabilidad es de 680.667 y 42.253 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente el Flujo es de 3.90 y 0.17 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), específicamente el de rigidez es de 174.50 y 6.65 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la

mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (6.5% LA + 0.25% de caucho de VL), específicamente la durabilidad es de 3.64 y 0.19 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 50. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Estadísticas de grupo					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	680.6667	42.25321	24.39490
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	3.9000	.17321	.10000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	174.5033	6.64943	3.83905
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	3.6433	.19399	.11200

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 51, se detalla el estadístico T de Student

para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 7.001 y 9.580, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de -6.033 y -6.872, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.000 y 0.002 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas

Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 5.456 y 9.540, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VL**), cuyo valor es de 13.202 y 15.660, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 51. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	3.657	.085	7.001	10	.000	347.44444	49.63044	236.8609	458.0280
	No se asumen varianzas iguales			9.580	7.151	.000	347.44444	36.26655	262.0539	432.8350
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	.241	.634	-6.033	10	.000	-.85333	.14145	-1.1685	-.5381
	No se asumen varianzas iguales			-6.872	4.430	.002	-.85333	.12418	-1.1853	-.5213
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	8.792	.014	5.456	10	.000	166.11333	30.44457	98.2786	233.9481
	No se asumen varianzas iguales			9.540	8.747	.000	166.11333	17.41142	126.5517	205.6750
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	.631	.446	13.202	10	.000	2.24333	.16992	1.8647	2.6220
	No se asumen varianzas iguales			15.660	4.861	.000	2.24333	.14326	1.8719	2.6148

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

➤ **Para el grupo control N.º 4 (5.5% de líquido asfáltico más 0.25% de caucho de vehículo pesado)**

En la tabla 52, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en

mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente la Estabilidad es de 707.33 y 11.93 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente el Flujo es de 3 y 0.0 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye ligeramente al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente el de rigidez es de 235.78 y 3.97 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.



También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (5.5% LA + 0.25% de caucho de VP), específicamente la durabilidad es de 10.47 y 0.27 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta considerablemente al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 52. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Estadísticas de grupo					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	707.3333	11.93035	6.88799
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	3.0000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	235.7767	3.97488	2.29490
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	10.4667	.27429	.15836

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 53, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica

Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 6.664 y 11.578, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 0.354 y 0.634, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.73 y 0.544 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 3.448 y 6.118,

se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.006 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de -25.517 y -25.191, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 53. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	9.340	.012	6.664	10	.000	320.77778	48.13664	213.5227	428.0329
	No se asumen varianzas iguales			11.578	8.934	.000	320.77778	27.70552	258.0326	383.5230
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	.354	10	.730	.04667	.13169	-.2468	.3401
	No se asumen varianzas iguales			.634	8.000	.544	.04667	.07362	-.1231	.2164
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	9.634	.011	3.448	10	.006	104.84000	30.40306	37.0978	172.5822
	No se asumen varianzas iguales			6.118	8.284	.000	104.84000	17.13726	65.5558	144.1242
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	.004	.954	-25.517	10	.000	-4.58000	.17949	-4.9799	-4.1801
	No se asumen varianzas iguales			-25.191	3.389	.000	-4.58000	.18181	-5.1228	-4.0372

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

- **Para el grupo control N.º 5 (6% de líquido asfáltico más 0.25% de caucho de vehículo pesado)**

En la tabla 54, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6 % LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente la Estabilidad es de 922.667 y 19.732 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye ligeramente al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente el Flujo es de 3.3 y 0.0 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente el de rigidez es de 279.59 y 5.97 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente la durabilidad es de 5.20 y 0.11 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 54. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	922.6667	19.73153	11.39200
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	3.3000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	279.5967	5.97791	3.45135
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	5.2033	.10693	.06173

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 55, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de

2.18 y 3.62, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.054 y 0.005 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de -1.924 y -3.441, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.083 y 0.009 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 2.005 y 3.52, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.073 y

0.007 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 4.194 y 6.284, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.002 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.



Tabla 55. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	7.520	.021	2.180	10	.054	105.44444	48.36415	-2.3176	213.2065
	No se asumen varianzas iguales			3.617	9.862	.005	105.44444	29.15354	40.3629	170.5260
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	-1.924	10	.083	-.25333	.13169	-.5468	.0401
	No se asumen varianzas iguales			-3.441	8.000	.009	-.25333	.07362	-.4231	-.0836
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	8.901	.014	2.005	10	.073	61.02000	30.43219	-6.7871	128.8271
	No se asumen varianzas iguales			3.521	8.616	.007	61.02000	17.33006	21.5485	100.4915
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	2.731	.129	4.194	10	.002	.68333	.16293	.3203	1.0464
	No se asumen varianzas iguales			6.294	9.133	.000	.68333	.10858	.4383	.9284

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

➤ **Para el grupo control N.º 6 (6.5% de líquido asfáltico más 0.25% de caucho de vehículo pesado)**

En la tabla 56, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5 % LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente la Estabilidad es de 676.667 y 27.227 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente el Flujo es de 3.7 y 0.17 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), específicamente el de rigidez es de 183.22 y 13.01 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la

mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (6.5% LA + 0.25% de caucho de VP), específicamente la durabilidad es de 2.11 y 0.05 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 56. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Estadísticas de grupo					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	676.6667	27.22744	15.71977
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	3.7000	.17321	.10000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	183.2267	13.00593	7.50898
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	2.1167	.05033	.02906

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 57, se detalla el estadístico T de Student

para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 7.219 y 11.3, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de -4.619 y -5.261, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.005 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas

Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 5.139 y 8.476, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 23.492 y 40.138, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 57. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	6.019	.034	7.219	10	.000	351.44444	48.68655	242.9641	459.9248
	No se asumen varianzas iguales			11.300	9.811	.000	351.44444	31.10084	281.9664	420.9225
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	.241	.634	-4.619	10	.001	-.65333	.14145	-.9685	-.3382
	No se asumen varianzas iguales			-5.261	4.430	.005	-.65333	.12418	-.9853	-.3214
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	6.889	.025	5.139	10	.000	157.39000	30.62642	89.1501	225.6299
	No se asumen varianzas iguales			8.476	9.918	.000	157.39000	18.56890	115.9692	198.8108
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	4.754	.054	23.492	10	.000	3.77000	.16048	3.4124	4.1276
	No se asumen varianzas iguales			40.138	9.364	.000	3.77000	.09393	3.5588	3.9812

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

➤ **Para el grupo control N.º 7 (5.5% de líquido asfáltico más 0.5% de caucho de vehículo ligero)**

En la tabla 58, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5 % LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente la Estabilidad es de 647 y 18.73 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente el Flujo es de 3 y 0.0 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente el de rigidez es de 215.67 y 6.245 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la

mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente la durabilidad es de 11.80 y 0.068 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículoligero, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 58. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	647.0000	18.73499	10.81665
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	3.0000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	215.6700	6.24500	3.60555
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	11.8033	.06807	.03930

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 59, se detalla el estadístico T de Student



para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de 7.886 y 13.172, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa.

En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de 0.354 y 0.634, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.730 y 0.544 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas

Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de 4.105 y 7.197, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.002 y 0.000 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de -36.735 y -60.633, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 59. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes									
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior	
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	7.813	.019	7.886	10	.000	381.11111	48.32891	273.4276	488.7946	
	No se asumen varianzas iguales			13.172	9.778	.000	381.11111	28.93357	316.4444	445.7779	
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	.354	10	.730	.04667	.13169	-.2468	.3401	
	No se asumen varianzas iguales			.634	8.000	.544	.04667	.07362	-.1231	.2164	
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	8.851	.014	4.105	10	.002	124.94667	30.43695	57.1289	192.7644	
	No se asumen varianzas iguales			7.197	8.667	.000	124.94667	17.36143	85.4412	164.4522	
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	3.967	.074	-36.735	10	.000	-5.91667	.16106	-6.2755	-5.5578	
	No se asumen varianzas iguales			-60.633	9.911	.000	-5.91667	.09758	-6.1344	-5.6990	

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

- **Para el grupo control N.º 8 (6% de líquido asfáltico más 0.5% de caucho de vehículo ligero)**

En la tabla 60, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente la Estabilidad es de 854 y 32.60 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.0467 y 0.22 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente el Flujo es de 3.4 y 0.0 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente el de rigidez es de 251.177 y 9.59 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente la durabilidad es de 6.14 y 0.24 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 60. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	854.0000	32.60368	18.82374
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	3.4000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	251.1767	9.59079	5.53724
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	6.1400	.24021	.13868

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 61, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica

Modificado con Caucho (**6% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de 3.555 y 5.312, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.005 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de -2.683 y -4.80, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.023 y 0.001 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de 2.931 y 5.007,

se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.015 y 0.001 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de -1.447 y -1.536, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.179 y 0.202 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 61. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	5.273	.045	3.555	10	.005	174.11111	48.97931	64.9784	283.2438
	No se asumen varianzas iguales			5.312	9.048	.000	174.11111	32.77933	100.0187	248.2036
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	-2.683	10	.023	-.35333	.13169	-.6468	-.0599
	No se asumen varianzas iguales			-4.800	8.000	.001	-.35333	.07362	-.5231	-.1836
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	7.882	.019	2.931	10	.015	89.44000	30.51422	21.4501	157.4299
	No se asumen varianzas iguales			5.007	9.368	.001	89.44000	17.86282	49.2721	129.6079
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	.173	.686	-1.447	10	.179	-.25333	.17509	-.6435	.1368
	No se asumen varianzas iguales			-1.536	3.838	.202	-.25333	.16496	-.7191	.2124

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

➤ **Para el grupo control N.º 9 (6.5% de líquido asfáltico más 0.5% de caucho de vehículo ligero)**

En la tabla 62, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en



mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente la Estabilidad es de 658.33 y 50.33 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente el Flujo es de 3.90 y 0.17 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente el de rigidez es de 178.25 y 16.64 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), específicamente la durabilidad es de 3.29 y 0.075 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 62. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	658.3333	50.33223	29.05933
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	3.7000	.17321	.10000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	178.2467	16.63704	9.60540
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	3.2967	.07506	.04333

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 63, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica

Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de 7.352 y 9.348, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de -4.619 y -5.261, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.001 y 0.005 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de 5.275 y 8.322,

se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VL**), cuyo valor es de 16.053 y 26.089, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo ligero, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 63. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	2.568	.140	7.352	10	.000	369.77778	50.29582	257.7117	481.8438
	No se asumen varianzas iguales			9.348	5.810	.000	369.77778	39.55497	272.2158	467.3398
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	.241	.634	-4.619	10	.001	-.65333	.14145	-.9685	-.3382
	No se asumen varianzas iguales			-5.261	4.430	.005	-.65333	.12418	-.9853	-.3214
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	5.482	.041	5.275	10	.000	162.37000	30.78222	93.7829	230.9571
	No se asumen varianzas iguales			8.322	9.889	.000	162.37000	19.51110	118.8304	205.9096
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	3.916	.076	16.053	10	.000	2.59000	.16134	2.2305	2.9495
	No se asumen varianzas iguales			26.089	9.994	.000	2.59000	.09928	2.3688	2.8112

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

➤ **Para el grupo control N.º 10 (5.5% de líquido asfáltico más 0.5% de caucho de vehículo pesado)**

En la tabla 64, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente la Estabilidad es de 630.33 y 18.18 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente el Flujo es de 3.3 y 0.0 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente el de rigidez es de 191.01 y 5.50 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente la durabilidad es de 12.85 y 0.48 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta considerablemente al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 64. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	630.3333	18.17507	10.49338
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	3.3000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	191.0100	5.50534	3.17851
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	12.8567	.48232	.27847

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 65, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica

Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), cuyo valor es de 8.234 y 13.805, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), cuyo valor es de -1.924 y -3.441, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.83 y 0.009 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), cuyo valor es de 4.917 y 8.659,



se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.001 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**5.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), cuyo valor es de -32.425 y -23834, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.001 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 5.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 65. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	7.944	.018	8.234	10	.000	397.77778	48.30990	290.1366	505.4190
	No se asumen varianzas iguales			13.805	9.724	.000	397.77778	28.81427	333.3278	462.2278
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	-1.924	10	.083	-.25333	.13169	-.5468	.0401
	No se asumen varianzas iguales			-3.441	8.000	.009	-.25333	.07362	-.4231	-.0836
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	9.115	.013	4.917	10	.001	149.60667	30.42426	81.8172	217.3961
	No se asumen varianzas iguales			8.659	8.528	.000	149.60667	17.27779	110.1896	189.0237
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	1.561	.240	-32.425	10	.000	-6.97000	.21496	-7.4490	-6.4910
	No se asumen varianzas iguales			-23.834	2.426	.001	-6.97000	.29244	-8.0385	-5.9015

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

- **Para el grupo control N.º 11 (6% de líquido asfáltico más 0.5% de caucho de vehículo pesado)**

En la tabla 66, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6 % LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente la Estabilidad es de 838.33 y 22.72 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye ligeramente al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente el Flujo es de 3.6 y 0.0 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente el de rigidez es de 232.87 y 6.31 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.

También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente la durabilidad es de 7.59 y 0.30 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 66. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	838.3333	22.72297	13.11911
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	3.6000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	232.8700	6.31212	3.64430
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	7.5967	.30089	.17372

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 67, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica

Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 2.18 y 3.62, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.054 y 0.005 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de -1.924 y -3.441, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.083 y 0.009 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 2.005 y 3.52, se

verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.073 y 0.007 respectivamente, valor mayor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia no es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica aumenta al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6% LA + 0.25% de caucho de VP**), cuyo valor es de 4.194 y 6.284, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.002 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6% de líquido asfáltico y 0.25% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 67. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	7.093	.024	3.914	10	.003	189.77778	48.48072	81.7560	297.7996
	No se asumen varianzas iguales			6.353	9.997	.000	189.77778	29.87076	123.2187	256.3368
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	-4.202	10	.002	-.55333	.13169	-.8468	-.2599
	No se asumen varianzas iguales			-7.516	8.000	.000	-.55333	.07362	-.7231	-.3836
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	8.910	.014	3.540	10	.005	107.74667	30.43819	39.9262	175.5672
	No se asumen varianzas iguales			6.203	8.680	.000	107.74667	17.36952	68.2322	147.2611
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	.028	.870	-9.332	10	.000	-1.71000	.18324	-2.1183	-1.3017
	No se asumen varianzas iguales			-8.754	3.142	.003	-1.71000	.19533	-2.3160	-1.1040

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

- **Para el grupo control N.º 12 (6.5% de líquido asfáltico más 0.5% de caucho de vehículo pesado)**

En la tabla 68, se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Estabilidad” es de 1,028.111 y 80.51 kilogramos

respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5 % LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente la Estabilidad es de 647.33 y 25.57 kilogramos, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Estabilidad” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.

Además, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Flujo” es de 3.046 y 0.220 milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente el Flujo es de 3.8 y 0.00 milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, aumenta ligeramente al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.

De igual forma, se observa que el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Rigidez” es de 340.62 y 50.95 kilogramos/milímetros respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente el de rigidez es de 170.35 y 6.73 kilogramos/milímetros, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado.



También se observa que, el promedio y desviación estándar de la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas convencionales”, específicamente la “Durabilidad” es de 5.89 y 0.27 por ciento respectivamente; asimismo, en la sub variable “Desempeño estructural en mezclas asfálticas modificado con caucho” (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), específicamente la durabilidad es de 3.44 y 0.22 por ciento, evidenciando que existe una diferencia numérica, es decir la “Flujo” de la mezcla asfáltica, disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 68. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Estabilidad (Kg)	Convencional	9	1028.1111	80.50690	26.83563
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	647.3333	25.57994	14.76859
Flujo (mm)	Convencional	9	3.0467	.22085	.07362
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	3.8000	.00000	.00000
Rigidez (kg/mm)	Convencional	9	340.6167	50.94873	16.98291
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	170.3500	6.73223	3.88685
Durabilidad por desgaste (%)	Convencional	9	5.8867	.26796	.08932
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	3.4467	.22368	.12914

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia

Sin embargo, es necesario probar las diferencias encontradas son significativas para lo cual en la tabla 69, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica

Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), cuyo valor es de 7.834 y 12.43, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Estabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

De igual manera, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), cuyo valor es de -5.721 y -10.233, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Flujo” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

También, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), cuyo valor es de 5.592 y 9.773,

se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Rigidez” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Así también, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho (**6.5% LA + 0.5% de caucho de VP**), cuyo valor es de 14.093 y 15.539, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (P valor) es de 0.00 y 0.00 respectivamente, valor menor que el nivel de significancia o precisión planteado en cálculo de la muestra de investigación de 5% ( $\alpha = 0.05$ ), es decir la diferencia es significativa. En tal sentido se comprueba que la “Durabilidad” en la mezcla asfáltica disminuye al trabajar con 6.5% de líquido asfáltico y 0.5% de caucho de vehículo pesado, no siendo óptimo para conservar el desempeño estructural.

Tabla 69. Prueba T de Student para las sub variables Estabilidad en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Estabilidad (Kg)	Se asumen varianzas iguales	6.287	.031	7.834	10	.000	380.77778	48.60707	272.4745	489.0811
	No se asumen varianzas iguales			12.431	9.935	.000	380.77778	30.63107	312.4665	449.0890
Flujo (mm)	Se asumen varianzas iguales	5.200	.046	-5.721	10	.000	-.75333	.13169	-1.0468	-.4599
	No se asumen varianzas iguales			-10.233	8.000	.000	-.75333	.07362	-.9231	-.5836
Rigidez (kg/mm)	Se asumen varianzas iguales	8.637	.015	5.592	10	.000	170.26667	30.44619	102.4283	238.1050
	No se asumen varianzas iguales			9.773	8.764	.000	170.26667	17.42202	130.6928	209.8405
Durabilidad por desgaste (%)	Se asumen varianzas iguales	.377	.553	14.093	10	.000	2.44000	.17314	2.0542	2.8258
	No se asumen varianzas iguales			15.53	4.13	.000	2.44000	.15702	2.0096	2.8704
				9	5					

Fuente: Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

#### 4.5.1. Prueba t de student costo de ejecución:

Por consiguiente, en las tablas 70 y 71 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 70 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable

**Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 5.5% de líquido asfáltico y al 0.25% con caucho de vehículo ligero **con respecto a la Precio** es de **58.65** soles, tal como se detalla en siguiente tabla:

*Tabla 70. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

		Estadísticas de grupo			Desv. Error promedio
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	58.6500	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 71, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-0.433** y **-0.774**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.675** y **0.451**, valor mayor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )** habiendo diferencias.

Tabla 71. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-.433	10	.675	-.09333	.21580	-.57416	.38750
	No se asumen varianzas iguales			-.774	8.000	.461	-.09333	.12063	-.37152	.18485

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 72 y 73 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 72 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 6% de líquido asfáltico y al 0.25% con caucho de vehículo ligero **con respecto a la Precio** es de **59.15** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 72. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	59.1500	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 73, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-2.749** y **-4.918**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.020** y **0.001**, valor mayor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )** habiendo diferencias.

Tabla 73. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-2.749	10	.020	-.59333	.21580	-1.0741	-.11250
	No se asumen varianzas iguales			-4.918	8.000	.001	-.59333	.12063	-.87152	-.31515

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 74 y 75 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 74 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 6.5% de líquido asfáltico y al 0.25% con caucho de vehículo ligero **con respecto a la Precio** es de **59.55** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:



Tabla 74. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Estadísticas de grupo					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VL)	3	59.5500	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 75, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-4.603** y **-8.234**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.001** y **0.000**, valor menor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )**.

Tabla 75. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-4.603	10	.001	-.99333	.21580	-1.47416	-.51250
	No se asumen varianzas iguales			-8.234	8.000	.000	-.99333	.12063	-1.27152	-.71515

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 76 y 77 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 76 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 5.5% de líquido asfáltico y al 0.25% con caucho de vehículo pesado **con respecto a la Precio** es de **58.35** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 76. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	5.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	58.3500	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 77, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **0.958** y **1.713**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.361** y **0.125**, valor mayor

que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )** habiendo diferencias.

Tabla 77. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	.958	10	.361	.20667	.21580	-.27416	.68750
	No se asumen varianzas iguales			1.713	8.000	.125	.20667	.12063	-.07152	.48485

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 78 y 79 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 78 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 6% de líquido asfáltico y al 0.25% con caucho de vehículo pesado **con respecto a la Precio** es de **59.18** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 78. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	6.0% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	59.1800	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 79, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-2.885** y **-5.167**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.015** y **0.001**, valor mayor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )** habiendo diferencias.

Tabla 79. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

**Prueba de muestras independientes**

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-2.889	10	.016	-.62333	.21580	-1.10416	-.14250
	No se asumen varianzas iguales			-5.167	8.000	.001	-.62333	.12063	-.90152	-.34515

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 80 y 81 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 80 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 6.5% de líquido asfáltico y al 0.25% con caucho de vehículo pesado **con respecto a la Precio** es de **59.58** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 80. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Estadísticas de grupo					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	6.5% LA + 0.25% de caucho (VP)	3	59.5800	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 81, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-4.742** y **-8.483**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.001** y **0.000**, valor menor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )**.

Tabla 81. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias					95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-4.742	10	.001	-1.02333	.21580	-1.50416	-.54250
	No se asumen varianzas iguales			-8.483	8.000	.000	-1.02333	.12063	-1.30152	-.74515

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 82 y 83 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 82 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 5.5% de líquido asfáltico y al 0.5% con caucho de vehículo ligero **con respecto a la Precio** es de **58.47** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 82. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

Estadísticas de grupo					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
ejecución (S/)	5.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	58.4700	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 83, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **0.402** y **0.718**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.696** y **0.493**, valor mayor

que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )** existen diferencias.

Tabla 83. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	.402	10	.696	.08667	.21580	-.39416	.56750
	No se asumen varianzas iguales			.718	8.000	.493	.08667	.12063	-.19152	.36485

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 84 y 85 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 84 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 6% de líquido asfáltico y al 0.5% con caucho de vehículo ligero **con respecto a la Precio** es de **59.30** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:



Tabla 84. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Estadísticas de grupo					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	59.3000	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 85, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-3.445** y **-6.162**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.006** y **0.000**, valor mayor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )** existen diferencias.

Tabla 85. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-3.445	10	.006	-.74333	.21580	-1.22416	-.26250
	No se asumen varianzas iguales			-6.162	8.000	.000	-.74333	.12063	-1.02152	-.46515

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 86 y 87 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 86 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 6.5% de líquido asfáltico y al 0.5% con caucho de vehículo ligero **con respecto a la Precio** es de **59.70** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 86. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VL)	3	59.7000	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 87, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-5.298** y **-9.478**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.000** y **0.000**, valor menor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )**.

Tabla 87. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-5.298	10	.000	-1.14333	.21580	-1.62416	-.66250
	No se asumen varianzas iguales			-9.478	8.000	.000	-1.14333	.12063	-1.42152	-.86515

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 88 y 89 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 88 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 5.5% de líquido asfáltico y al 0.5% con caucho de vehículo pesado **con respecto a la Precio** es de **58.52** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 88. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	5.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	58.5200	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 89, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **0.170** y **0.304**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.868** y **0.769**, valor mayor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )** existen diferencias.

Tabla 89. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		<b>Prueba de muestras independientes</b>								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	.170	10	.868	.03667	.21580	-.44416	.51750

No se asumen varianzas iguales			.304	8.000	.769	.03667	.12063	-.24152	.31485
--------------------------------	--	--	------	-------	------	--------	--------	---------	--------

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 90 y 91 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 90 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 6% de líquido asfáltico y al 0.5% con caucho de vehículo pesado **con respecto a la Precio** es de **59.35** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

*Tabla 90. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.*

<b>Estadísticas de grupo</b>					
	Proporción y procedencia del caucho	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	6.0% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	59.3500	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 91, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-3.675** y **-6.576**, se verifica que el

nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.004** y **0.000**, valor menor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )**.

Tabla 91. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-3.676	10	.004	-.79333	.21580	-1.27416	-.31250
	No se asumen varianzas iguales			-6.576	8.000	.000	-.79333	.12063	-1.07152	-.51515

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Al respecto, en las tablas 92 y 93 se realizó la prueba de hipótesis, aplicando la **Prueba T de Student** para muestras independientes, para lo cual en la tabla 92 se verifica que el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencionales con respecto al Precio** es de **58.56** soles, asimismo el promedio y desviación estándar de la sub variable **Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con CAUCHO** al 6.5% de líquido asfáltico y al 0.5% con caucho de vehículo pesado **con respecto a la Precio** es de **59.75** soles, tal como se detalla en siguiente cuadro:

Tabla 92. Estadísticos de muestras emparejadas para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Estadísticas de grupo			
		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Costo de ejecución (S/)	Proporción y procedencia del caucho Convencional	9	58.5567	.36190	.12063
	6.5% LA + 0.5% de caucho (VP)	3	59.7500	.00000	.00000

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.

Sin embargo, es necesario probar si dicha diferencia es significativa para lo cual en la tabla 93, se detalla el estadístico T de Student para muestras independientes que tenemos entre las sub variables **Costo y Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Estabilidad en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho** cuyo valor es de **-5.530** y **-9.892**, se verifica que el nivel de significancia asintótica bilateral (**P valor**) es de **0.000** y **0.000**, valor menor que el **nivel de significancia o precisión** planteado en cálculo de la muestra de investigación de **5% ( $\alpha = 0.05$ )**.

Tabla 93. Prueba T de Student para las sub variables Costo de Ejecución en Mezclas Asfálticas Convencional y Costo de Ejecución en Mezclas Asfáltica Modificado con Caucho.

		Prueba de muestras independientes								
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Costo de ejecución (S/)	Se asumen varianzas iguales	7.513	.021	-5.530	10	.000	-1.19333	.21580	-1.67416	-.71250

No se asumen varianzas iguales			-9.892	8.000	.000	-1.19333	.12063	-1.47152	-.91515
--------------------------------------	--	--	--------	-------	------	----------	--------	----------	---------

**Fuente:** Reporte del Software SPSS Statistics - Elaboración propia.



## CAPITULO V

### DISCUSIONES Y RESULTADOS

De la investigación **“Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante vía seca”** de acuerdo a Navarro, (2013), obtuvo los siguientes resultados donde la utilización del polvo de caucho como agregado fino para pavimentos asfálticos se plantea como una solución ambiental factible como un valor agregado adicional al caucho de NFU y que permitiendo una económica más rentable que los asfaltos con polímero y a un precio relativamente competitivo, aportar ventajas en la vida útil de la carretera. En efecto, respecto a las mezclas asfálticas convencionales, se obtiene una mayor resistencia a los cambios térmicos, a la disgregación (menor susceptibilidad a la humedad), al ahuellamiento y al envejecimiento. Además, como capa superficial provee al pavimento de una mayor capacidad estructural y de una mayor resistencia al deslizamiento. **De acuerdo a la presente investigación** haciendo una comparación con el polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) empleados por Navarro, (2013) hace mención de una mejoría en las propiedades mecánicas al incorporar polvo de caucho como lo muestra en la tabla 5 – 4 al igual que pasa al incorporar caucho molido con un 0.25% al 5.5% de líquido asfáltico, por concerniente ambos tipos de incorporación resultan positivos para mejorar la calidad de un asfaltado, de igual manera que ayuda con el medio ambiente haciendo ello una solución con respecto a la gran cantidad de desecho de un (NFU) y mejora en la calidad de vida útil de un pavimento, pero a diferencia Chile, en el nuestro es un poco más costoso la incorporación de esta materia al no haber una industria en nuestra región encargada de producir dicho material.

En la realización de la tesis **“Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas”** de Fajardo, y Vergaray (2014) Promueven la investigación del polvo de caucho mediante la incorporación por vía seca a fin de que dicho polvo de caucho ingrese como un agregado fino en la mezcla asfáltica, por ello se da un uso a los neumáticos desechos y se mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica. **De acuerdo a la presente investigación** se coincide con respecto a la introducción de la materia por vía seca y que este se incorpore como material del agregado fino, y ello mejorara en sus propiedades mecánicas pero a diferencia de la investigación realizada por Fajardo y Vergaray, ellos lo emplearon con un diseño de 5.3% de líquido asfáltico como se muestra en su tabla 25, que a diferencia de esta investigación es aceptada con el 5.5% de líquido asfáltico, también ello a la par ayudara con la reducción de los desechos que este material conlleva.

En el trabajo de investigación **“Mejora de una mezcla asfáltica drenante con adición de caucho e icopor”** de Rodríguez, (2005) obtuvo que hoy en día la contaminación de restos no biodegradables, la escasez del asfalto debido a la disminución de reservas petroleras del mundo y la búsqueda de nuevos materiales que den una alternativa al manejo ambiental y económico de las mezclas asfálticas drenantes, ha puesto a los investigadores en la tarea de modificar las mezclas con el ánimo de dar respuesta solicitadas por el tráfico, respecto a la resistencia y la durabilidad de un pavimento. La modificación de las mezclas asfálticas convencionales, es una técnica utilizada desde hace más de 20 años para la utilización efectiva de asfaltos en la pavimentación. Dichas técnicas

consisten en la incorporación de polímeros a las mezclas asfálticas convencionales con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tráfico de vehículos, buscando eliminar las deformaciones permanentes (Ahuellamientos) de las mezclas que componen las capas de rodadura, aumentando su rigidez, además eliminar el fisuramiento por efecto térmico y por fatiga incrementando su elasticidad. **De acuerdo a la presente investigación** se puede afirmar que los restos de las llantas son altamente contaminantes para nuestro medio ambiente, al incorporar el caucho de neumáticos, las características de este variaran dependiendo de la zona donde se ejecute.

Según la tesis de investigación **“Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles”** Carrizales (2015), menciono que la mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado de llanta no presenta mejoras en el comportamiento físico - mecánicas en ninguno de los distintos diseños realizados con caucho reciclado de llanta que se hizo en el laboratorio, ya que los valores obtenidos por el ensayo Marshall están por debajo de la mezcla asfáltica convencional y las especificaciones normativas a la cual nos regimos. **De acuerdo a la presente investigación** como bien menciona en el análisis realizado en la tabla 36 de su investigación, el tesista trabajo con un 7.1% de líquido asfáltico el cual vario totalmente la estabilidad y la redujo por debajo de lo establecido y a diferencia de esta investigación el porcentaje de líquido asfáltico optimo fue de 5.5% para un buen resultado concerniente a los resultados de mejora en las propiedades de un asfalto.

## CONCLUSIONES

1. El resultado es favorable con respecto a la mejora en las propiedades físicas y mecánicas, a la vez el uso de estos desechos de neumáticos reducirá el gran impacto ambiental que este material afecta a nuestra región.
2. Lo obtenido al incorporar el caucho de neumáticos pesados a uno convencional, no mejora las propiedades mecánicas del asfaltado, pero aumenta en gran consideración en la durabilidad.
3. Que a la incorporación de un 5.5% de líquido asfáltico con la incorporación del 0.25% de caucho molido de vehículos ligeros mejora en las propiedades mecánicas y con respecto a la durabilidad de igual manera aumenta considerablemente en un 80% como se muestra en la tabla 40 a diferencia de un convencional, a pesar que en el análisis económico se tiene un incremento de un 0.83% por metro cuadrado lo que se equipara con la mejora de la vida útil de la carpeta asfáltica y tal como indica el ensayo cántabro también se podrá ampliar el tiempo en el cual se realiza el mantenimiento rutinario.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a las municipalidades incentivar con la creación de fábricas de reciclado de caucho para usar este material tanto molido como en otros casos en polvo, de esa manera se reduciría el gran desecho de neumáticos que presenta nuestra ciudad de Huancayo.
2. Se recomienda a los bachilleres seguir con la actualización y profundización de este tema, y los diferentes de usos que le pueden dar a este material que desechan.
3. Se recomienda el uso de 0.25% de caucho provenientes de vehículos ligeros con una proporción del 5.5 de líquido asfáltico, ya que en esas proporciones tendrán un buen resultado en el uso del pavimento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Carrasco, (2005). *Metodología de la investigación*, Lima, editorial San Marcos.
- Revista Politécnica (Ed) (2015). *Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores*. Ecuador: Edición Vol. 36 N°3.
- Carrizales, (2015) *Asfalto modificado con material reciclado de llantas para su aplicación en pavimentos flexibles (tesis de grado)*. Universidad de Nacional del Altiplano. Recuperado de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1888>.
- Huamán, (2011). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú (tesis de grado)*. sección de Postgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de: [https://www.academia.edu/13989918/UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DE\\_INGENIER%3%8DA\\_FACULTAD\\_DE\\_INGENIER%3%8DA\\_CIVIL\\_SECCI%3%93N\\_DE\\_POSTGRADO\\_LA\\_DEFORMACI%3%93N\\_PERMANENTE\\_EN\\_LAS\\_MEZCLAS\\_ASF%3%81LTICAS\\_Y\\_EL\\_CONSECUENTE\\_DETERIORO?auto=download](https://www.academia.edu/13989918/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIER%3%8DA_FACULTAD_DE_INGENIER%3%8DA_CIVIL_SECCI%3%93N_DE_POSTGRADO_LA_DEFORMACI%3%93N_PERMANENTE_EN_LAS_MEZCLAS_ASF%3%81LTICAS_Y_EL_CONSECUENTE_DETERIORO?auto=download).
- Fajardo, y Vergaray (2014). *Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas*. Universidad de San Martín de Porres. Recuperado de <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/895/browse?locale-attribute=en>.

Lapa, (2008) *Estabilización de bases granulares con fibras de caucho reciclado tallado (tesis de grado)*. Universidad Continental. Recuperado de: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5122>.

Manual de ensayos de materiales, edición lima mayo 2016.

Michelin (2013). *Documentación técnica Michelin “neumáticos camión”*. Recuperado de: <https://www.goodyear.com.pe/>

MTC *Manual de especificaciones técnicas generales para construcción de carreteras (EG-2013)*.

Municipalidad Provincial De Huancayo, (2020) *Plan de trabajo “maestro de movilidad urbana de la provincia de Huancayo*.

Navarro, (2013). *Confeción y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuera de uso (nfu) mediante vía seca (tesis de grado)*. Universidad de Chile. Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115523>.

Rodríguez, (2005). *Mejora de una mezcla asfáltica drenante con adición de caucho e icopor (tesis de grado)*. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/7017>.

Tueros, (2017) *Incorporación de polvo de caucho en mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016 (tesis de grado)*. Universidad

Peruana Los Andes. Recuperado de:

<http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/283>.



## ANEXOS

### MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA TESIS

TÍTULO: Asfalto modificado con caucho de neumáticos y su comparación técnica y económica con asfaltos convencionales.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES Y DIMENSIONES		METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVO GENERAL:	HIPOTESIS GENERAL:			<b><u>METODO DE LA INVESTIGACIÓN:</u></b> * GENERAL: Científico.  <b><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</u></b> * Aplicado.  <b><u>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</u></b> * Explicativo.  <b><u>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:</u></b> * Cuasi-experimental  <b><u>POBLACIÓN Y MUESTRA:</u></b> * POBLACIÓN: La población está conformada por 45.00 briquetas de muestras de mezclas asfálticas * MUESTRA: La muestra fue censal y determinada según el tipo de muestreo no probabilístico dirigido, por lo que considera toda la población.  <b><u>TECNICAS E INSTRUMENTOS:</u></b> TÉCNICAS: * Observación.
¿Cuál es el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos en comparación con el asfalto convencional?	Determinar el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos en comparación con el asfalto convencional.	La aplicación del asfalto modificado con caucho de neumáticos mejora las propiedades mecánicas y de resistencia del asfalto convencional, así como reduce su costo.	VARIABLE INDEPENDIENTE:	<b>ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO DE NEUMATICOS</b>	
PROBLEMA ESPECIFICOS:	OBJETIVO ESPECIFICOS:	HIPOTESIS ESPECIFICAS:			
¿Qué resultado se obtiene al aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados en comparación con el asfalto convencional?	Analizar el resultado que se obtiene al aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados en comparación con el asfalto convencional.	Al aplicarse el asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados se mejora en algunos casos la durabilidad a diferencia del convencional.	DIMENSIONES:	Asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos pesados	
				Asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos	
¿Cuál sería el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos en comparación con el asfalto convencional?	Evaluar el resultado de aplicar asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos en comparación con el asfalto convencional.	Mediante la aplicación del asfalto modificado con caucho de neumáticos de vehículos livianos mejora en algunos casos las propiedades mecánicas y de durabilidad del asfalto, en comparación con el asfalto convencional.	VARIABLE DEPENDIENTE:	<b>ASFALTOS CONVENCIONALES</b>	
			DIMENSIONES:	Mezcla asfáltica en caliente	

