

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE  
MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA  
INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE  
NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE  
CAJAMARCA”**

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Geiner Ulises Palma Quispe

Alex Jaime Culque Puitiza

**Asesor:**

Mg. Ing. Carlos Elder Calua Carrasco

<https://orcid.org/0000-0002-7791-0251>

Cajamarca - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1	<b>LIZBETH MILAGROS MERMA GALLARDO</b>	<b>40012838</b>
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>KATIA NATALY CARRIÓN RABANAL</b>	<b>46269439</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>HUGO EMMANUEL RODRÍGUEZ CHICO</b>	<b>45955444</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

CULQUE PUITIZA,A\_PALMA QUISPE,G

INFORME DE ORIGINALIDAD

**12%**

INDICE DE SIMILITUD

**15%**

FUENTES DE INTERNET

**4%**

PUBLICACIONES

**5%**

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

3%

★ [dspace.ucuenca.edu.ec](https://dspace.ucuenca.edu.ec)

Fuente de Internet

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

## **DEDICATORIA**

A Dios; Él que me ha dado la fortaleza y la sabiduría para poder seguir mejorando  
personal y profesionalmente.

A mis padres; a quienes les debo toda mi vida y que sin su apoyo incondicional no  
hubiese logrado finalizar este arduo proceso.

A mis hermanos, compañeros y maestros; por su acompañamiento y fuente de  
inspiración.

**(Alex Culque – Geiner Palma)**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar; a Dios quien me dio la vida, salud y sabiduría para terminar con éxito mi carrera universitaria, y hacer realidad este trabajo de investigación.

A mis padres y amigos; por el apoyo económico y moral, por la paciencia y el aliento para poder ser mejor cada día.

Finalmente, a mis docentes y casa de estudio por los recursos, valores y conocimientos impartidos.

**(Alex Culque – Geiner Palma)**

**TABLA DE CONTENIDOS**

<b>JURADO EVALUADOR.....</b>	<b>2</b>
<b>INFORME DE SIMILITUD .....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1 Realidad problemática .....	13
1.2 Formulación del problema .....	23
1.3 Objetivos .....	23
1.4 Hipótesis .....	24
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>108</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>164</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>172</b>
<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA.....</b>	<b>237</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Clasificación de los petróleos .....	26
<b>Tabla 2</b>	Tipos de agregados pétreos .....	28
<b>Tabla 3</b>	Requerimiento para los agregados gruesos .....	32
<b>Tabla 4</b>	Gradación para mezcla asfáltica en caliente .....	33
<b>Tabla 5</b>	Requerimiento para los agregados finos.....	35
<b>Tabla 6</b>	Parámetros Ensayo Marshall .....	37
<b>Tabla 7</b>	Cantidad de briquetas Elaboradas para una MAC Convencional (Patrón) .....	41
<b>Tabla 8</b>	Cantidad de briquetas elaboradas para una MAC con incorporación de caucho granulado .....	41
<b>Tabla 9</b>	Requerimiento para los agregados gruesos .....	46
<b>Tabla 10</b>	Tabla para determinar fracciones representativas del agregado grueso de acuerdo a su granulometría. ....	49
<b>Tabla 11</b>	Especificaciones para tamizado final de agregado en función al tamaño de partícula .....	51
<b>Tabla 12</b>	Carga respecto a la gradación de la muestra. ....	53
<b>Tabla 13</b>	Masa mínima del ensayo en base al tamaño nominal de la partícula .....	56
<b>Tabla 14</b>	Peso mínimo para el ensayo en base al tamaño máximo nominal .....	59
<b>Tabla 15</b>	Masa mínima de la muestra con respecto a su tamaño nominal.....	65
<b>Tabla 16</b>	Ensayos para el control de calidad de los agregados finos.....	68
<b>Tabla 17</b>	Fracciones de material que pasa y queda retenido en el tamiz de acuerdo al tamaño de partícula .....	79
<b>Tabla 18</b>	Requisitos para mezcla de concreto bituminoso .....	85
<b>Tabla 19</b>	Ejemplo de primer diseño de combinación de agregado (Grava triturada más arena gruesa) .....	87
<b>Tabla 20</b>	Ejemplo considerando un contenido óptimo de asfalto del 4.5%.....	88
<b>Tabla 21</b>	Cálculo de porcentaje corregido para determinación de material en gramos para 5.0% de ligante asfáltico.....	91
<b>Tabla 22</b>	Cantidad de material en gramos (g) en función al porcentaje determinado en la Tabla 20 .....	91
<b>Tabla 23</b>	Cálculo de porcentaje corregido para determinación de material en gramos para 5.5% de cemento asfáltico (CA).....	99
<b>Tabla 24</b>	Cantidad de material en gramos (g) en función al porcentaje determinado en la Tabla 22 .....	99
<b>Tabla 25</b>	Resultado Durabilidad al sulfato de Magnesio del agregado grueso.....	109
<b>Tabla 26</b>	Resultado Abrasión de los Ángeles .....	110
<b>Tabla 27</b>	Resultado Partículas Chatas Alargadas .....	111
<b>Tabla 28</b>	Resultado con una o más Cara Fracturada.....	111
<b>Tabla 29</b>	Resultado con dos o más Cara Fracturada.....	112
<b>Tabla 30</b>	Resultado sales solubles Totales Agregado Grueso .....	112
<b>Tabla 31</b>	Resultado gravedad especifica y Absorción del Agregado Grueso.....	113
<b>Tabla 32</b>	Resultado Equivalente de Arena.....	114
<b>Tabla 33</b>	Resultado gravedad especifica y absorción del agregado fino .....	115
<b>Tabla 34</b>	Resultado Azul de Metileno del Agregado Fino .....	116
<b>Tabla 35</b>	Resultado Durabilidad al sulfato de Magnesio del Agregado Fino.....	116

<b>Tabla 36</b> Resultado Sales Solubles del Agregado Fino .....	117
<b>Tabla 37</b> Combinación de agregados para mezcla patrón .....	118
<b>Tabla 38</b> Tabla de resumen de combinación de agregados .....	118
<b>Tabla 39</b> Resumen Ensayo Marshall con diferente % de Contenido de asfalto de muestras patrón .....	120
<b>Tabla 40</b> Diferente porcentaje de contenido de asfalto de muestras patrón .....	121
<b>Tabla 41</b> Parámetros Marshall con Contenido Óptimo de Asfalto de muestras patrón....	127
<b>Tabla 42</b> Análisis granulométrico Caucho .....	128
<b>Tabla 43</b> Análisis Granulométrico.....	130
<b>Tabla 44:</b> Porcentaje de combinación de agregados.....	131
<b>Tabla 45</b> Porcentajes de agregados para mezcla modificada con Caucho Granulado.....	133
<b>Tabla 46</b> Características Marshall con Contenido Óptimo de Asfalto de muestras modificadas con caucho granulado.....	133
<b>Tabla 47</b> Gravedad específica teórica máxima de muestra patrón .....	134
<b>Tabla 48</b> Gravedad específica teórica máxima de muestra con adición de Caucho Granulado .....	136
<b>Tabla 49</b> Inmersión - Compresión Asfalto Convencional .....	137
<b>Tabla 50</b> Inmersión - Compresión Asfalto Convencional .....	138
<b>Tabla 51</b> Inmersión - Compresión Asfalto Convencional .....	139
<b>Tabla 52</b> Inmersión - Compresión Asfalto Convencional .....	140
<b>Tabla 53</b> Resistencia Conservada Asfalto Convencional .....	141
<b>Tabla 54</b> Resistencia Conservada con adición de 2.0% de Caucho a la mezcla convencional .....	142
<b>Tabla 55</b> Resistencia Conservada con adición de 4.0% de Caucho a la mezcla convencional .....	143
<b>Tabla 56</b> Resistencia Conservada con adición de 6% de Caucho a la mezcla convencional .....	144
<b>Tabla 57</b> Lavado de Asfalto.....	145
<b>Tabla 58</b> Comparación de ensayos de calidad del agregado grueso con Norma MTC (Manual de Carreteras).....	147
<b>Tabla 59</b> Comparación de ensayos de calidad del agregado fino con Norma MTC (Manual de Carreteras).....	148
<b>Tabla 60</b> Comparación de diseño Marshall Patrón con Norma MTC (Manual de Carreteras) .....	149
<b>Tabla 61</b> Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral .....	150
<b>Tabla 62</b> Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto .....	151
<b>Tabla 63</b> Comparación de diseño Marshall con incorporación de Caucho con Norma MTC (Manual de Carreteras) .....	151
<b>Tabla 64</b> Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral .....	153
<b>Tabla 65</b> Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto .....	153
<b>Tabla 66</b> Comparación de diseño Marshall de mezcla Asfáltica Convencional versus mezcla con incorporación de Caucho Granulado .....	154
<b>Tabla 67</b> Comparación de Gravedad Específica Teórica Máxima de mezcla Asfáltica Convencional versus mezcla con incorporación de Caucho .....	161
<b>Tabla 68</b> Ensayo de Inmersión - Compresión de mezcla Asfáltica Convencional versus mezcla con incorporación de Caucho .....	161

<b>Tabla 69</b> Resistencia Conservada de mezcla Asfáltica Convencional versus mezcla con incorporación de Caucho .....	162
<b>Tabla 70</b> Comparación de propiedades entre la incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado.....	163
<b>Tabla 71</b> Matriz de consistencia .....	237
<b>Tabla 72</b> Operacionalización de la Variable Dependiente .....	238

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Composición de un neumático .....	30
<b>Figura 2</b> Políticas y términos de licencia de la herramienta EXCEL .....	42
<b>Figura 3</b> Ejemplo de ficha de datos del laboratorio para la recolección de información ...	43
<b>Figura 4</b> Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos .....	44
<b>Figura 5</b> Imagen satelital del recorrido hacia la cantera Bazán tomando como punto de origen UPN .....	45
<b>Figura 6</b> Características del equipo Maquina de los Ángeles.....	52
<b>Figura 7</b> Baño de agua equipado con canastilla .....	64
<b>Figura 8</b> Condición saturada superficialmente seca .....	66
<b>Figura 9</b> Preparación del equipo (Altura del sifón) para el presente ensayo.....	70
<b>Figura 10</b> Representación de halo azul.....	77
<b>Figura 11</b> Viscosidad vs Temperatura, se determinan temperatura de mezclado y compactación mediante viscosímetro rotacional.....	89
<b>Figura 12</b> Granulometría agregado grueso .....	108
<b>Figura 13</b> Granulometría Agregado Fino .....	114
<b>Figura 14</b> Análisis Granulométrico (Combinación de Agregados).....	119
<b>Figura 15</b> Gráfica Peso unitario de Briqueta VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA) .....	122
<b>Figura 16</b> Gráfica Porcentaje de Vacíos VS porcentaje de contenido de asfalto (CA).....	122
<b>Figura 17</b> Gráfica Porcentaje de Vacíos en el Agregado mineral VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA) .....	123
<b>Figura 18</b> Gráfica de Porcentajes de Vacíos llenos de C.A VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA) .....	124
<b>Figura 19</b> Gráfico relación Polvo/Asfalto VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA) ..	125
<b>Figura 20</b> Gráfica Flujo VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA) .....	125
<b>Figura 21</b> Gráfica Estabilidad VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA) .....	126
<b>Figura 22</b> Análisis Granulométrico de Caucho .....	129
<b>Figura 23</b> Combinación de agregados .....	132
<b>Figura 24</b> Gravedad específica teórica máxima muestra patrón .....	135
<b>Figura 25</b> Curva Granulométrica de Lavado de Asfalto .....	146
<b>Figura 26</b> Comparación de Peso unitario Muestra convencional VS Muestra Con Caucho. .....	155
<b>Figura 27</b> Comparación de porcentaje de Vacíos en Muestra convencional VS Muestra con Caucho.....	155
<b>Figura 28</b> Comparación de porcentaje de Vacíos en el agregado mineral en Muestra convencional VS Muestra con Caucho.....	156
<b>Figura 29</b> Comparación de porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto en Muestra convencional VS Muestra con Caucho.....	157
<b>Figura 30</b> Comparación de relación Polvo/Asfalto en Muestra convencional VS Muestra con Caucho.....	158
<b>Figura 31</b> Comparación de Flujo en Muestra convencional VS Muestra con Caucho .....	159
<b>Figura 32</b> Comparación de Estabilidad en Muestra convencional VS Muestra con Caucho .....	160

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación ( 1 )</b> Índice de compactabilidad .....	38
<b>Ecuación ( 2 )</b> Intemperismo acelerado (Agr. Grueso).....	51
<b>Ecuación ( 3 )</b> Desgaste de los Ángeles.....	55
<b>Ecuación ( 4 )</b> Índice de partículas chatas .....	57
<b>Ecuación ( 5 )</b> Índice de partículas alargadas .....	58
<b>Ecuación ( 6 )</b> Porcentaje de partículas con una cara fracturada .....	60
<b>Ecuación ( 7 )</b> Porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas.....	60
<b>Ecuación ( 8 )</b> Sales Solubles .....	62
<b>Ecuación ( 9 )</b> Absorción.....	67
<b>Ecuación ( 10 )</b> Equivalente de Arena.....	74
<b>Ecuación ( 11 )</b> Azul de Metileno.....	78
<b>Ecuación ( 12 )</b> Interperismo Acelerado (Agr. Fino).....	82
<b>Ecuación ( 13 )</b> Sales Solubles .....	84
<b>Ecuación ( 14 )</b> Combinación de agregados .....	88
<b>Ecuación ( 15 )</b> Porcentaje de grava .....	88
<b>Ecuación ( 16 )</b> Porcentaje de arena .....	88
<b>Ecuación ( 17 )</b> Cantidad de la muestra.....	90
<b>Ecuación ( 18 )</b> Peso específico BULK.....	94
<b>Ecuación ( 19 )</b> Peso específico BULK promedio.....	96
<b>Ecuación ( 20 )</b> Peso específico máximo teórico.....	96
<b>Ecuación ( 21 )</b> Porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta .....	97
<b>Ecuación ( 22 )</b> Porcentaje de vacíos con aire .....	97
<b>Ecuación ( 23 )</b> Volumen de asfalto efectivo.....	97

## RESUMEN

Esta investigación se aprovechó el material reciclado como es el caucho granulado de neumático en desuso como parte de una mezcla asfáltica en caliente (MAC) y de esta manera mitigar el problema ambiental, teniendo como objetivo mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica. Esta investigación fue de tipo experimental en donde se realizó el ensayo Marshall para una mezcla convencional y otra con contenido de caucho. Primeramente, se realizó los ensayos de calidad de los agregados de la cantera Bazán – Cajamarca, con la finalidad de verificar que cumplieran con lo establecido en el MTC EG - 2013, luego se encontró el contenido óptimo de asfalto entre 4.5%; 5.0%; 5.5% y 6.0% del cual fue 5.55% el porcentaje óptimo para trabajar, con base en ello realizamos la muestra patrón (especimen de asfalto en caliente convencional). Y para los especímenes con contenido de caucho granulado de 2.0%; 4.0% y 6.0% el resultado que argumentó la hipótesis del presente estudio fue mediante la incorporación de caucho en un 2.0%, obteniendo valores como un porcentaje de vacíos de 4.3%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 16.1%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A) de 73.4%, relación polvo/asfalto de 0.64%, flujo 13.2 mm, estabilidad de 9.9 KN, una relación de estabilidad/flujo de 3019.9 kg/cm, una resistencia conservada de 83%, una resistencia a la compresión de 4.0Mpa y una resistencia retenida de 81%. Se concluyó que el porcentaje de 2% de caucho cumple con los estándares establecidos por la norma y mejora en un 26.53% las propiedades del asfalto en comparación de la mezcla convencional.

**Palabras Clave:** Mezcla asfáltica en caliente, Ensayo Marshall, Parámetros Marshall, Caucho granulado.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad problemática

Cada año en el mundo se desechan millones de toneladas de neumáticos, por lo que gran parte de estos se depositan en vertederos, lo cual presenta un grave problema ambiental. A causa de esto, en la actualidad se está dando una segunda oportunidad a estos neumáticos usando el caucho granulado (CR) en el diseño de mezclas asfálticas, ya que mejoran las propiedades fundamentales en ello, como la durabilidad, la resistencia, etc. (Hoyos Díaz, Puicon Herrera, & Muñoz Pérez, 2021)

En la fabricación de mezclas asfálticas en caliente se requiere de altas temperaturas para su construcción y compactación, este proceso genera un gran consumo de combustibles fósiles, que se ve reflejado en el aumento de los costos de fabricación y un elevado porcentaje de contaminantes a la atmósfera. Es por esto que para lograr estas reducciones se han realizado diferentes investigaciones en el mundo, de la misma forma también se ha buscado mejorar sus distintas propiedades del asfalto. (Reyes Ortíz, Fuentes Pumarejo, & Moreno Torres, 2013).

Según Figueroa (2017) En todas partes del mundo el número de vehículos en las calles se ha incrementado de manera tan significativa como lo señala el informe anual de tráfico del Ministerio de Transporte, esto ha generado la necesidad de crear estructuras de pavimento más resistentes y resilientes, pero uno de los problemas con el que permanentemente se enfrentan los ingenieros de pavimentos es la heterogeneidad y calidad del asfalto obtenido en las refinerías. Lo que ha llevado al uso de nuevas tecnologías y mezclas de aditivos en los hormigones asfálticos.

De acuerdo al informe proveniente del Ministerio de Transporte en torno a la red vial nacional, en su mayoría cuentan con pavimentos flexibles; tales como carpeta asfáltica o

bicapa, por la cual los vehículos livianos y pesados circulan continuamente, causando fallas o deterioros de dichas vías, por esto es de suma importancia considerar estas vías con miles de kilómetros las cuales unen distintas zonas del país, las cuales presentan temperaturas diferentes, llegando a influir en el desempeño de la mezcla asfáltica, ya que se entiende que dicha mezcla al ser convencional tiende a ser susceptible a las variaciones de temperatura que existe en las distintas regiones del Perú (Seminario & Tolentino, 2020)

En Perú hay casos en donde las infraestructuras viales de mezclas de asfalto producto de la obtención con un ligantes convencionales que no están en capacidad de presentar resistencia a la acción conjunta de transitabilidad y climatológico del país, por lo cual surge la necesidad del desarrollo de mezclas con características bituminosas de mayor resistencia, lo cual produzca una mejora en sus propiedades mecánicas, buscando su durabilidad, evitar ahuellamientos y reducir su agotamiento. (Delbono & Delbollo, 2017)

Actualmente, los asfaltos convencionales que se utilizan para ejecutar las obras de infraestructura vial, presentan calidades y propiedades que son insuficientes o no alcanzan a satisfacer las necesidades y requerimientos de las demandas de tráfico vehicular, en virtud de lo cual se investigan alternativas de solución desde la modificación de los asfaltos incorporando materiales de distinta naturaleza (Metaute y Casas, 2013).

El comportamiento de los asfaltos en sus diferentes aplicaciones fue satisfactorio durante muchos años. No obstante, día a día en las últimas décadas se han presentado diversos factores que afectan las propiedades del asfalto lo cual genera problemas para ser utilizado. Estos factores son: Incremento de tráfico, la producción de vehículos cada vez más grandes y pesados, el incremento en las presiones de los neumáticos, la innovación de nuevos productos asfálticos, también la obtención de asfaltos provenientes de nuevas fuentes, no

poseen propiedades aptas para resistir por si solos, solicitaciones con ciertos requerimientos, por ejemplo: temperaturas ambientales extremas o cargas de trabajo excesivas. Es por ello que originaron investigaciones sobre nuevas tecnologías que permitiesen el mejoramiento de este mismo. (Múnera & Ossa, 2014).

Las propiedades de las mezclas asfálticas pueden ser modificadas para mejorar las características de los pavimentos convencionales. Hay casos en los cuales los pavimentos flexibles presentan problemas al no generar la resistencia adecuada frente a cargas producidas por el tráfico y la acción del clima (Vidal, Ramírez y Grajales, 2014).

Desde hace más de 30 años para la elaboración de pavimentos flexibles se han empleado asfaltos modificados por adición de polímeros tipo elastómero y plastómero. Sin embargo, por su costo muy elevado 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. (Reyes Lizcano, Fonseca Santanilla, & Figueroa Infante, 2016).

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) informó sobre el estado en que se encontraban las vías al año 2021, Cajamarca en lo que es carreteras departamentales tiene 857 km de vías sin asfaltar, en carreteras vecinales 12976.5 km sin asfaltar, por lo que Provias se proyectó al 2022 alcanzar el 86% de las carreteras nacionales no concesionadas, pavimentadas.

El mal estado de las vías se observa en diferentes puntos de la ciudad de Cajamarca, entre los puntos críticos se encuentran el jirón Amalia Puga, así como el jirón La Mosqueta, la cuadra 5 del jirón Revilla Pérez, la cuadra 11 del jirón Los Pinos, así como en la cuadra 15

del jirón Chanchamayo, en el cruce de esta vía con los jirones Las Dalias y Los Cactus, etc. (pueblo, 2022).

Como vemos la ciudad de Cajamarca tiene muchos problemas en el tema de las vías deterioradas y otro de los problemas es del caucho, ya que, la mayor parte de estos desechos no se manejan de manera adecuada, encontrándose en botaderos informales sin tratamiento correcto.

### **Justificación**

El fin de la presente investigación es analizar el comportamiento de mezclas asfálticas mediante la incorporación de caucho granulado de neumáticos reciclados en la ciudad de Cajamarca, el cual servirá como alternativa de solución para mejorar la tecnología de los pavimentos asfálticos en el Perú a fin de que estos logren alcanzar la vida útil para la que fueron diseñados. Esto nos permitirá contar con infraestructura vial adecuada y sostenible. También de esta forma, se busca minimizar el tema de la contaminación originado por los neumáticos en desuso los cuales van a botaderos informales, pudiendo aprovecharlas de mejor manera.

Por otro lado, en función a los resultados obtenidos en otros países, es necesario realizar investigaciones en nuestro país que permitan mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica convencional. Es por ello, se va a incorporar propuestas de mezclas asfálticas modificadas en caliente utilizando partículas de caucho reciclado lo que mejorará las propiedades del asfalto y mejorará la vida útil del mismo y por otra parte la disminución de la contaminación ambiental. También (Flores, Gatica, Trinidad, & Sulca, 2022) nos dice el uso del grano de caucho reciclado (GCR) en su mezcla mejora las propiedades mecánicas del asfalto tales como el aumento del módulo de rigidez, el aumento de la resistencia a la

humedad, el alargamiento de su vida útil incluso tiene aplicaciones en la amortiguación de vibraciones en obras de construcción civil.

(Díaz Claros & Castro Celis, 2017) ha demostrado que este tipo de modificaciones con grano de caucho reciclado (GCR) son más durables con respecto a las convencionales, económicas a largo plazo pues se disminuyen los mantenimientos y aumenta su durabilidad, además contribuyen a la reducción de impactos negativos para el medio ambiente como lo son, la quema indiscriminada de las llantas desechadas dando paso a las emisiones de CO<sub>2</sub>, uno de los gases tóxicos más contaminantes del mundo causantes del calentamiento global, entre otros.

Por otra parte se dará un mejor uso a los residuos sólidos, el cual no se le ha dado un manejo adecuado dentro de la problemática ambiental que se viene presentando en la sociedad, como consecuencia del creciente parque automotriz ha traído consigo un problema ambiental que aumenta en forma descontrolada: los neumáticos en desuso y la forma en que hoy se desechan, lo que constituye innumerables problemas para el medio ambiente, por lo tanto se busca dar un destino final ecológico a las llantas de desecho generando en los pavimentos una mayor vida útil y menor costo en mantenimiento (Delarze, 2008). Además, al utilizar partículas de caucho, las cuales provienen de neumáticos fuera de uso, como se mencionó anteriormente estamos contribuyendo con el cuidado del medio ambiente, ya que en Perú el parque automotriz en el año 2016 generó aproximadamente un millón setecientos cincuenta mil llantas en desuso que representan 45,000 toneladas de neumáticos según Ponce (2016).

Actualmente en la ciudad de Cajamarca, donde se ha llevado a cabo este trabajo de investigación, no cuenta con una política o plan de manejo de neumáticos fuera de uso por lo

que el aprovechamiento de estas para mejorar las vías de la misma ciudad es una buena iniciativa, además esta investigación servirá como antecedentes para próximas investigaciones.

A continuación, se presentan investigaciones importantes respecto al tema abordado en esta investigación, entre estos se tienen:

### **Antecedentes a nivel Internacional**

Lozano y Reyes (2020), en su investigación “Evaluación del comportamiento de un asfalto modificado con policloruro de vinilo (PVC) y grano de caucho reciclado (GCR)”, tuvieron como objetivo principal evaluar la influencia en las propiedades físicas y reológicas de un cemento asfáltico, modificado por vía húmeda con Policloruro de Vinilo (PVC) y el Grano de Caucho Reciclado (GCR). El Cemento asfáltico (CA) se modificó en diferentes volúmenes, con GCR solo se adicionó en un 12% y policloruro de vinilo en adiciones del 0.5 al 1.5% respectivamente. La rigidez y la susceptibilidad térmica se evaluaron mediante los ensayos de penetración, punto de ablandamiento, índice de penetración y viscosidad rotacional, mientras que la adhesión con los ensayos de adherencia en bandeja y stripping. Logrando los siguientes resultados, se obtuvo un incremento del 50% de la rigidez del cemento asfáltico al adicionar 12% de GCR y 0.8% de PVC, y un incremento del 25% al considerar solo la adición de GCR. Además, no se encontró una relación directa entre la cantidad de adición de PVC y la mejora del comportamiento del cemento asfáltico. Finalmente, concluyeron que, la incorporación de GCR y PVC genera un incremento del comportamiento mecánico al ser expuesto a altas temperaturas, asimismo, ante el fenómeno de ahuellamiento, estas incorporaciones refuerzan la mezcla reduciendo las deformaciones permanentes en climas cálidos.

Por otro lado, Lemus, Mosquera y Virviescas (2018), en su investigación “Estudio de mezclas asfálticas densas con adición de materiales alternativos”, desarrollaron como objetivo principal evaluar los parámetros de la resistencia de una mezcla asfáltica ante la adición de materiales alternativos mediante el método Marshall. Para esto se realizaron pruebas en laboratorio, comparando una mezcla asfáltica modificada con grano de caucho reciclado y otra con la adición de los ácidos grasos como agentes reductores de temperatura para evaluar sus propiedades de estabilidad y flujo determinadas a través del ensayo Marshall, posteriormente a la mezcla modificada con GCR y el agente reductor de temperatura se empleó el RAP a la mezcla en una dosificación de 70% material nuevo y 30% material reciclado. Obteniendo como resultados, el decrecimiento de las temperaturas en la mezcla asfáltica, al realizar la mezcla y la compactación, hasta un valor de 15° C de la mezcla con GCR y 30% RAP. Concluyendo que, el 6.5% es el porcentaje óptimo de cemento asfáltico al incorporarle 18% de caucho que logra cumplir eficientemente las especificaciones indicadas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS – Colombia), Estabilidad mínima 16.472 N, Flujo 3.63mm, Relación Estabilidad/Flujo (Kn/mm) 4.65, Gravedad específica Bulk 2,259, VA 4.04%, VAM 18.84%, VFA 76.18% y al aumentar la cantidad de pavimento asfáltico reciclado se vio que también incrementa la relación estabilidad/flujo de la mezcla asfáltica.

### **Antecedentes a nivel Nacional**

Álvarez y Carrera (2017), en su investigación “Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica”, tuvieron como objetivo principal identificar el efecto que presenta las llantas trituradas en las mezclas asfálticas en reemplazo de agregados. Consistió en realizar actividades experimentales

primeramente se diseñó una dosificación analítica de materiales por medio de un tanteo indicado por la norma MTC, para luego elaborar cierta cantidad de briquetas, preparadas en caliente a temperaturas entre los 140° y 170° C; luego se ensayaron por medio de la máquina Marshall la cual arrojó datos de estabilidad y flujo. Logrando los siguientes resultados, que para el porcentaje de 1.5% y 2.0% de material reciclado lograron obtener valores mayores de 900kg de estabilidad, y que cumplieron los parámetros del MTC. Estas muestras con 1.5% y 2% obtuvieron una estabilidad de 1066.10 kg y 955.70 kg respectivamente, presentando una reducción de resistencia de 12% y 21% para cada una, evidenciando que reduce la misma, sin embargo, cumplen los parámetros establecidos por el MTC. A diferencia, de los porcentajes 2.5%, 3%, 3.5% y 4%, las cuales obtuvieron valores de 802.30 kg, 161.90 kg, 34.40 kg y 0.2 kg respectivamente, las cuales obtuvieron reducción de resistencia hasta mayor de un 34% al 100%. Finalmente, se concluyó que las dosificaciones de la adición del 1.5% y del 2% cumplieron con los parámetros normativos, sin embargo, no incrementaron la resistencia de la muestra patrón. También El porcentaje de vacíos de las briquetas se ha incrementado a medida que fue aumentada el % de GCR, mientras que la densidad bulk disminuye.

También (Soto Avalos, 2018) en su tesis “Influencia de la incorporación de porcentajes de caucho de llanta reciclado sobre los parámetros Marshall en las mezclas asfálticas en caliente, Trujillo 2017” tuvieron como objetivo mejorar sus propiedades de las mezclas asfálticas, para aumentar su vida útil, o caso contrario llegar a la vida para la cual fueron diseñados inicialmente. Comparo los parámetros Marshall entre la mezcla asfáltica convencional versus las mezclas asfálticas con los tres contenidos (1%, 2% y 3%) de caucho de llanta en remplazo del agregado fino, se utilizó piedra de ¾” en un (40%), arena chancada

de 3/8” (40%) y arena zarandeada de 3/8 en un (20%), un cemento asfáltico de PEN 60-70, finalmente se utilizó una temperatura y tiempo de digestión de 170°C y 2 horas respectivamente. Se concluyó que, con los tres porcentajes de caucho, la mezcla cumple con todas las exigencias dictadas por el Manual de Carreteras del MTC para una mezcla de concreto bituminoso con un porcentaje de contenido de asfalto de 5.8%. También se obtuvo que el porcentaje óptimo de caucho es del 1% logrando mejorar la mezcla asfáltica con respecto a sus parámetros Marshall.

Finalmente (Castillo Rutt & Chávarri Vásquez, 2020) en su tesis “Diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho reciclado en Lima, 2020” tuvo como objetivo determinar la influencia de la incorporación del caucho reciclado a un diseño de mezcla asfáltica. Se trabajó con 12 muestras modificadas con un diseño de 0%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5% incorporando 1.5% de caucho reciclado. Los resultados obtenidos fueron 6.20% de contenido óptimo de cemento asfáltico, se determinó una resistencia a la compresión de 2.5 Mpa teniendo límite máximo de 2.1 Mpa, porcentaje de vacíos de 4.5%, la estabilidad del material siendo de 14 kN el cual es aceptable con un límite de 15 kN y un flujo de 16 mm la cual está fuera del intervalo legal, llegando a la conclusión que la incorporación del caucho reciclado logra una determinación positiva en porcentaje de vacíos con un promedio de 4.5 % de un intervalo de 3% y 5%, una resistencia a la compresión de 2.5 Mpa, resistencia conservada de 79%, resistencia retenida de 83%. Estabilidad sobre flujo de 3515.7 kg/cm, estabilidad de 13.9 kN, peso unitario 2.359 kg/ m<sup>3</sup>.

### **Antecedentes a nivel Local**

Según (Cervera Borja, 2016) en su investigación “Influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos Cajamarca,

2016” como objetivo principal se tuvo determinar la influencia en las propiedades mecánicas del asfalto con la incorporación de partículas de caucho reciclado (PCR). Para dicha tesis utilizó PEN 85/100, elaborando así mezclas asfálticas en caliente que cumplan con las exigencias de estabilidad y flujo para pavimentos flexibles, utilizado caucho de neumáticos reciclados en cantidades de 0.5% y 1% con respecto al peso de los agregados. Así mismo se llegó a la conclusión de que la incorporación de PCR influye de manera positiva la mezcla asfáltica en caliente, incrementando y mejorando la interrelación del flujo con la estabilidad en un 50%. Los costos unitarios de una mezcla mejorada con PCR son mayores en 5.05% respecto a las MAC tradicionales cuando se utiliza 1% de PCR. La relación de costo mantenimiento dio como resultado beneficioso, ya que, en un plazo de 5 años, los costos se reducen en 8.4% respecto al pavimento tradicional.

Por otro lado (Ugaz Garay, 2019) en su tesis “Influencia de la incorporación de tres niveles (4%, 5% y 6%) de emulsión asfáltica en la resistencia mecánica de un material para afirmado” en donde su principal objetivo fue determinar las características físicas y mecánicas del material para afirmado de la cantera “El Gavilán” con incorporaciones de 4%, 5% y 6% de emulsión asfáltica. Donde se concluyó que con la adición de 4% de emulsión asfáltica la máxima densidad seca de agregado aumentó a 2.296 gr/cm<sup>3</sup> respecto a la muestra patrón en la cual se obtuvo una máxima densidad seca de 2.274 gr./cm<sup>3</sup>, con las dos siguientes adiciones del 5% y 6% la máxima densidad seca disminuyó a 2.218 gr./cm<sup>3</sup> y 2.189 gr./cm<sup>3</sup> respectivamente. La adición de 4%, 5% y 6% de emulsión asfáltica influyó en los resultados del CBR del material para afirmado, obteniéndose 113%, 142% y 199% respectivamente para una penetración del 0.1”; mientras que para la muestra patrón se obtuvo un valor de CBR del 83%.

Por ello, esta investigación busca analizar el comportamiento de las mezclas asfálticas mediante la incorporación de caucho granulado de neumáticos reciclados en la ciudad de Cajamarca para obtener los beneficios en sus propiedades. Además, esto servirá como antecedente para futuras investigaciones.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo influye en el comportamiento de las mezclas asfálticas la incorporación de caucho granulado de neumático reciclado en la ciudad de Cajamarca?

## **1.3 Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar el comportamiento de mezclas asfálticas mediante la incorporación de caucho granulado de neumáticos reciclados en la ciudad de Cajamarca.

### **Objetivos específicos**

- Determinar los ensayos calidad del agregado grueso y fino para una mezcla asfáltica en caliente.
- Obtener el contenido óptimo de asfalto a través de los parámetros Marshall para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.
- Determinar los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica patrón (convencional) y de la mezcla con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado de neumático según la Tabla 423-06 (requisitos para un concreto bituminoso).
- Comparar ambos diseños de mezcla asfáltica en caliente (patrón y con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% caucho granulado) de acuerdo a los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción (EG – 2013).

- Comparar los parámetros obtenidos de la mezcla asfáltica patrón (convencional) y de la mezcla con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado.
- Determinar el porcentaje más favorable de incorporación de caucho granulado de neumático reciclado.

#### **1.4 Hipótesis**

La incorporación de caucho granulado de neumáticos reciclados mejora en un 10% el comportamiento de las mezclas asfálticas en la ciudad de Cajamarca.

#### **Bases teóricas**

##### Mezclas Asfálticas

La mezcla asfáltica se puede definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento. ( Garnica Anguas, Flores Flores, Gómez López, & Delgado Alamilla, 2005).

Las propiedades relevantes en una mezcla asfáltica son:

**Estabilidad:** Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la deformación y el desplazamiento, debidos a las cargas que resultan del tránsito vehicular. La estabilidad depende, sobre todo, de la fricción interna y la cohesión. La fricción interna depende de la textura superficial, forma de la partícula, y granulometría del agregado; así como de la densidad de la mezcla, y la cantidad y tipo de asfalto; mientras que la cohesión depende del contenido de asfalto.

**Durabilidad:** Es la propiedad de la mezcla asfáltica que describe su capacidad para resistir los efectos perjudiciales del aire, agua, temperatura y tránsito que pueden provocar envejecimiento del asfalto, desintegración del agregado y desprendimiento de la película de asfalto del agregado. Una buena mezcla asfáltica no debe sufrir envejecimiento excesivo durante la vida en servicio. Esta propiedad se relaciona con el espesor de la película de asfalto, y con los vacíos de aire.

**Flexibilidad:** Es la capacidad de la mezcla asfáltica para amoldarse, sin sufrir agrietamiento o fisuración, a los asentamientos y movimientos graduales de la base y la subrasante. En ocasiones esta propiedad presenta conflictos con los requerimientos de estabilidad.

**Resistencia a la Fatiga:** Es la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir cargas repetidas causadas por el paso de los vehículos.

**Resistencia al Deslizamiento:** Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no perder adherencia entre el neumático y la superficie de rodamiento, en particular cuando está húmeda.

**Trabajabilidad:** Es la propiedad relacionada con la facilidad con que la mezcla asfáltica es colocada y compactada in situ. Una buena mezcla debe ser capaz de permitir su colocación y compactación, sin que se requiera un esfuerzo demasiado grande.

( Garnica Anguas, Flores Flores, Gómez López, & Delgado Alamilla, 2005).

**Clasificación.** Las mezclas asfálticas por la temperatura de puesta en obra se clasifican en:

**Mezclas Asfálticas en Caliente:** Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con

ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la temperatura ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente. (Soto Avalos, 2018).

**Mezclas Asfálticas en Frío:** El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente (Soto Avalos, 2018).

Asfalto

Según Dávalos (2019), el asfalto se caracteriza por ser bituminoso, dado a la cantidad de betún que contiene, el cual es soluble en bisulfuro de carbono. Este material se presenta en el petróleo, debido a la gran cantidad de petróleos contienen en su totalidad asfalto; sin embargo, algunos petróleos crudos carecen de este.

En la siguiente tabla, se muestra la clasificación usual de los petróleos, donde se indica el material característico de estos.

**Tabla 1**

*Clasificación de los petróleos*

<b>Clasificación de los petróleos</b>	
<b>Tipos de petróleos</b>	<b>Componentes</b>
Petróleos crudos de base asfáltica	Asfalto
Petróleos crudos de base parafina	Parafina
Petróleos crudos de base mixta	Parafina y asfalto

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Según Alarcón (2020), se pueden identificar las siguientes 4 propiedades del asfalto:

**Durabilidad:** Se considera a la capacidad del asfalto para mantener sus características originales a pesar del proceso de degradación por el envejecimiento. Esta

propiedad depende de forma directa del diseño de mezcla, las características de los agregados y el proceso constructivo para la formación del asfalto.

**Adhesión:** Se considera a la capacidad de adherencia del asfalto con el agregado de la mezcla de pavimento.

**Cohesión:** Se considera a la capacidad del asfalto para mantener sus componentes una vez culminado el pavimento.

**Susceptibilidad a la Temperatura:** Se considera a la capacidad termoplástica de los asfaltos, esto permite que a menos temperatura se vuelvan más duros, y a mayor temperatura, ser más blandos. Cabe añadir que, la susceptibilidad a la temperatura en los asfaltos de petróleo puede variar según su origen.

#### Cemento Asfáltico

Según Pilares (2018), el cemento asfáltico comprende la fracción más pesada del petróleo crudo, donde, con la aplicación de la norma ASTM D-946 se pueden identificar los diferentes grados de penetración.

El procedimiento indicado en la norma para la identificación comprende penetrar una aguja al interior de la muestra de asfalto, la cual está sometida a una carga y se determina la distancia de penetración de la aguja en décimas de milímetros durante un tiempo definido. A continuación, se presentan los grados de penetración comunes del cemento asfáltico:

Cemento asfáltico 40/50 PEN

Cemento asfáltico 60/70 PEN

Cemento asfáltico 85/100 PEN

Cemento asfáltico 120/150 PEN

Cemento asfáltico 200/300 PEN

### Agregados Pétreos

Los agregados pétreos son materiales duros inertes, los cuales son empleados en la elaboración de pavimentos. Estos forman productos resistentes al mezclarse con aglomerantes con ligantes asfálticos (Espinoza, 2019).

Según Amaya y Soto (2015), los agregados forman parte de las capas correspondientes a la base granular y de la mezcla asfáltica; por ello, constituyen entre el 90 y 95% en peso de la estructura de pavimento.

Según su procedencia, se pueden identificar 3 tipos de agregados pétreos, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Tipos de agregados pétreos*

<b>Tipo de agregados</b>	<b>Características</b>
<b>Agregados naturales</b>	Agregados sometidos a una distribución de tamaños según el requerimiento.
<b>Agregados de trituración</b>	Agregados obtenidos por medio de la trituración de rocas de canteras con material de propiedades físicas según requerimiento.
<b>Agregados artificiales</b>	Agregados obtenidos como subproductos de procesos industriales, como reciclaje, escorias, residuos de demoliciones, entre otros.

Fuente: Elaboración propia, 2023.

### **Polímeros**

Se les denomina polímeros a las macromoléculas obtenidas ya sea por medios naturales o sintéticos. Debido a ello, los polímeros presentan un elevado peso molecular, lo cual es debido a la repetición de varias unidades pequeñas (Zambrano, 2018).

Para su uso en la modificación del asfalto, es necesario que estos cumplan diversas propiedades, según las cuales se pueden clasificar en plastómeros (plástico) y elastómeros (caucho).

A continuación, se presentan las características necesarias que deben presentar los polímeros para su empleo en asfaltos como pavimentos con la intención de modificar sus propiedades:

**Adhesividad e Impermeabilidad:** El uso de polímeros permite reducir los riesgos de falla por desprendimiento de la mezcla asfalta agregado.

**Viscosidad ante Altas Temperaturas:** Debido a su peso molecular, el uso de polímeros permita minimizar riesgos por alta viscosidad evitando problemas de dispersión.

**Baja Polaridad:** Esta característica permite que los polímeros sean compatibles con el asfalto y facilitar su unión en la mezcla final.

**Temperatura Vítrea Baja:** Esta característica de los polímeros facilita la deformación a temperaturas bajas, para mantener la elasticidad del asfalto.

Los tipos de polímeros son los siguientes.

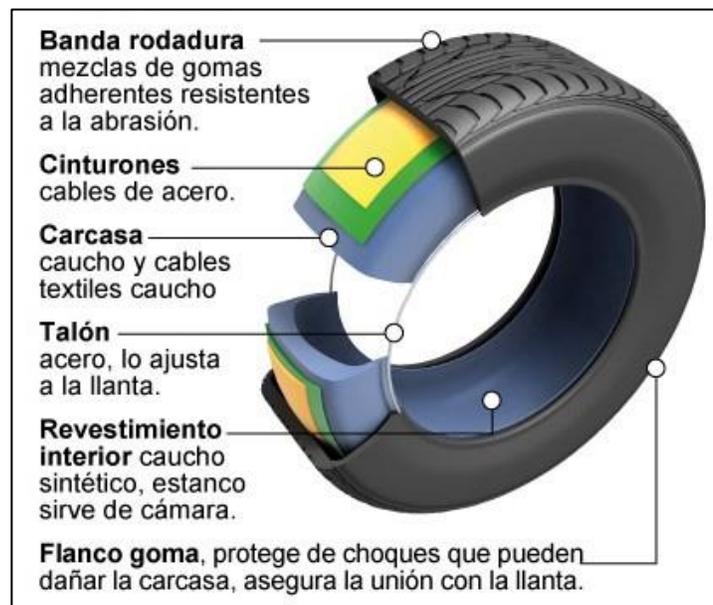
**Elastómeros:** Denominados comúnmente como caucho, estos presentan propiedades termofijas, sin embargo, mediante el proceso de vulcanización, logran obtener un comportamiento termoplástico (Palma et al., 2016).

Según Zambrano (2018) los elastómeros brindan la capacidad de flexibilidad a los pavimentos, la cual es una propiedad de gran importancia en las zonas de altura, donde el asfalto tiende a ser rígido debido a las bajas temperaturas.

Dicho esto, es importante identificar los componentes que conforman los neumáticos, dado que es el medio de obtención más común de los elastómeros o caucho. Estos pueden constituirse por cauchos naturales y sintéticas y comprenden lonas de carcasa, lonas de cima, hombro, talones, flanco, entalladura, surco, banda de rodadura y revestimiento interior. A continuación, se muestra la figura en la cual se representa los componentes de un neumático.

**Figura 1**

*Composición de un neumático*



Fuente: (Cultura científica, 2017).

**Plastómeros:** Son aquellos polímeros propensos a deformaciones elásticas ante una fuerza de tensión; sin embargo, estas vienen acompañadas con deformaciones plásticas (Palma et al., 2016).

Entre los plastómeros se identifican al polipropileno, polietileno, etilvinil-acetato, polivinil cloruro o PVC, etc. En general, a estos tipos de polímeros se les denomina plásticos, los cuales son usados como modificadores del concreto debido a su resistencia ante las deformaciones (Minaya y Ordóñez, 2006).

Es necesario indicar que este tipo de polímero no modifican notoriamente las propiedades del asfalto, lo que resalta en este caso, es el bajo costo para su incorporación en la mezcla asfáltica y su facilidad de obtención; por ello, son los más indicados para su uso en pavimentos.

Entre las propiedades obtenidas con la incorporación de este tipo de polímeros, se tienen las siguientes:

Incrementa la viscosidad del asfalto

Incrementa la resistencia al envejecimiento

Incrementa la resistencia a altas temperaturas

Incrementa la resistencia ante deformaciones

### Asfaltos Modificados

Los asfaltos modificados son producto de la incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido. Esto se hace con el fin de modificar sus propiedades físicas y reológicas para disminuir su susceptibilidad a la temperatura, humedad y oxidación e incrementar la adherencia con el material pétreo. Aumentar la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y esfuerzos de tensión repetidos. (Avellan Cruz, 2007)

Para el diseño de asfaltos modificados es necesario realizar los siguientes ensayos.

Ensayos de Calidad de los agregados: En la presente investigación se llevó a cabo los ensayos de calidad del agregado fino y grueso para mezclas asfálticas en caliente según MTC, 2013 que fueron:

**Tabla 3**

*Requerimiento para los agregados gruesos*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión los ángeles	MTC E 207	40% max.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Partículas Chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG – 2013), Tabla 423 – 01.

**Granulometría (MTC D 422):** Es todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas.

En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría) (MTC, 2015).

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los usos granulométricos, especificados en la Tabla 423 – 03 del MTC.

**Tabla 4**

*Gradación para mezcla asfáltica en caliente*

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.º4)	43-54	51-68	65-87
19,0 mm (N.º10)	29-45	38-52	43-61
19,0 mm (N.º40)	14-25	17-28	16-29
19,0 mm (N.º80)	8-17	8-17	9-19
19,0 mm (N.º200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG – 2013), Tabla 423 – 03.

**Abrasión los Ángeles (MTC E 207) (AASHTO T96) (ASTM C131):** Este ensayo establece un procedimiento para agregados gruesos de tamaños más pequeños que 37,5 mm (1 ½ pulg) que permite la determinación de la resistencia a la degradación utilizando la máquina de ensayo de Los Ángeles.

**Sales Solubles en Agregados (MTC E 219):** Establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas.

**Durabilidad (Al Sulfato de Magnesio) (MTC E 209):** Este Modo Operativo es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la solución cubra toda la muestra.

Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos (MTC, 2015).

**Gravedad Específica y Absorción de la Grava (MTC E206):** Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira del agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua.

Finalmente, la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y fórmulas en este modo operativo, es posible calcular tres tipos de peso específico y de absorción (MTC, 2015).

**Cara Fracturada. (MTC E 2010):** Este método de ensayo abarca la determinación del porcentaje, en masa o cantidad, de una muestra de agregado grueso que contiene partículas fracturadas que reúnen requerimientos especificados (MTC, 2015).

**Partículas Chatas Alargadas (ASTM 4791):** Este método describe el procedimiento para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento de los agregados gruesos (MTC, 2015).

**Tabla 5**

*Requerimiento para los agregados finos*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35 min	35 min
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción **	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG – 2013), Tabla 423 – 02.

**Equivalente de Arena (MTC E 114):** Indica, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N°4 (4,75mm).

El término “equivalente de arena”, expresa el concepto de que la mayor parte de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcillas o finos plásticos y polvo, indeseables (MTC, 2015).

**Gravedad Específica o Absorción del Agregado Fino (MTC E 205):** Determina el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

**Durabilidad al Sulfato de Sodio y Magnesio (MTC E 209):** Este modo operativo es una medida a la desintegración de los agregados grueso y fino por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, durante no menos de 16 h ni más de 18 h, de una manera tal que la solución cubra toda la muestra.

Después del período de inmersión se saca la muestra de agregado de la solución y se coloca en el horno de secar. Se repite el proceso alternado de inmersión y secado hasta que se obtenga el número de ciclos requeridos (MTC, 2015).

**Sales Solubles Totales (MTC E219):** Establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas.

**Azul de Metileno (AASHTO TP 57):** El ensayo azul, tiene como objetivo principal caracterizar de manera global la fracción arcillosa de un suelo y el resultado del ensayo depende directamente de la cantidad y de la naturaleza mineralógica de la fracción arcillosa.

**Ensayo con Briquetas de Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC):** Los ensayos con briquetas de Mezclas Asfálticas en caliente se muestran a continuación en la siguiente tabla brindada por las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción del MTC (EG – 2013).

**Tabla 6**

*Parámetros Ensayo Marshall*

Parámetros de Diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504.</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado.	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo).	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01” (0,25 mm).	8-14	8-16	8-20
4. porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505).	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral.	<u>Tabla 423-10 (MTC)</u>		
<b>Inmersión - compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (min).	75	75	75
Relación polvo – asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (Kg/cm) (3)	1.700 - 4.000		
Resistencia conservada a la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 min		

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG – 2013), Tabla 423 – 06.

Nota:

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Estabilidad /Flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como:

$$IC = \frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5} \quad \text{Ecuación ( 1 )}$$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

**Ensayo Marshall (MTC E 504).** Según el Manual de ensayo de materiales MTC E 502 (Resistencia de Mezclas Bituminosas Empleando el Aparato Marshall), el ensayo mencionado tiene como objetivo determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico en la mezcla, al igual que datos de las características físicas y mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente a través de briquetas de 2.5 pulgadas de altura nominal por 4 pulgadas de diámetro.

**Inmersión - Compresión (MTC E 518).** Este método de prueba abarca la medida de la pérdida de resistencia a la compresión resultante de la acción del agua en mezclas bituminosas compactadas conteniendo cemento asfáltico.

Un índice numérico de la reducción de la resistencia a la compresión es obtenido por la comparación de la resistencia a la compresión de especímenes recién moldeados y curados con la resistencia a la compresión de especímenes duplicados que han sido sumergidos en agua bajo condiciones prescritas (MTC, 2015).

**Gravedad Específica Teórica Máxima.** Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica máxima teórica (Gmm) y la densidad de mezcla asfáltica en caliente sin compactar a 25 °C.

La precisión del método es mejor cuando el procedimiento se realiza en muestras que contienen agregados que están completamente cubiertos. Es deseable realizar el procedimiento de ensayo en muestras que están cerca del contenido óptimo de asfalto para asegurar un completo cubrimiento del agregado. Los valores indicados en unidades Sistema Internacional (SI) deben considerarse como los normalizados (MTC, 2015).

**Resistencia Conservada (AASHTO T283).** Este método cubre la preparación de especímenes y la medida del cambio de la resistencia a la tensión diametral que resulta de los efectos de la saturación del agua y acondicionamiento en agua acelerado con un ciclo descongelamiento – deshielo, de mezclas asfálticas compactadas.

Los resultados pueden ser empleados para predecir la susceptibilidad al desprendimiento a largo plazo de las mezclas asfálticas y evaluar los aditivos líquidos anti desprendimiento que son adicionados a la mezcla asfáltica o sólidos polvorientos, tales como la cal hidratada o cemento Pórtland, los que son adicionados al agregado mineral (AASHTO, 2005).

**Ensayo Lavado de Asfalto (ASTM D 2172 Y AASHTO T 164).** El ligante del pavimento es extraído con tricloroetileno, tricloroetano, cloruro de metileno, o benceno, empleando el equipo de extracción aplicable al método particular.

El contenido de asfalto se calcula por diferencia de peso del agregado extraído, del contenido de humedad y del material mineral en el extracto. El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en peso de las mezclas libres de humedad (D2172, 2013).

## **CAPÍTULO II. METODOLOGÍA**

### **Diseño de la Investigación**

Según Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero (2018), las investigaciones de tipo cuantitativa aplican métodos estadísticos para obtener la información requerida. Dicho esto, la presente investigación se considera cuantitativa, dado que, la recolección de información se realiza a través de mediciones numéricas de diversos parámetros. Asimismo, se toma en cuenta que esta investigación presenta un diseño experimental, debido a que existirá una manipulación de las variables para la verificación de las hipótesis planteadas, mediante la determinación de la relación causa- efecto de estas mismas. Finalmente, el método científico es aquel que permite demostrar la hipótesis mediante la observación, medición y experimentación (Hernández y Mendoza, 2018). Oportuno a esto, el presente estudio desarrolla el método científico para obtener nuevos conocimientos que puedan aportar a la ingeniería.

### **Unidad de Estudio**

Briquetas de mezcla asfáltica en caliente (MAC) de altura nominal de 64 mm y 102 mm de diámetro o (2.5” y 4” respectivamente).

### **Población**

Briquetas elaboradas a base de mezclas asfálticas en caliente (MAC) en el laboratorio JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC, SUELOS – CONCRETO – ASFALTO, Lima Norte – Perú, según Especificaciones Técnicas Generales (EG – 2013 MTC), Manual de Ensayo de Materiales y normatividades correspondientes a Mezclas Asfálticas en Caliente, ASTM y AASTHO TP 57.

### **Muestra**

Para realizar el análisis comparativo y de este modo evaluar las principales propiedades de las mezclas asfálticas en caliente (MAC) se elaboró briquetas patrón, así como también briquetas para cada porcentaje de incorporación de caucho granulado (2.0%, 4.0% y 6.0%) tanto para el ensayo de parámetros Marshall, así como también para el ensayo de resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta.

Finalmente, para el presente estudio se elaboraron un total de 60 briquetas de mezcla asfáltica en caliente (MAC). Comprendidas de la siguiente manera: **24** para la mezcla de asfalto convencional (mezcla patrón) **Tabla 7** y **36** briquetas para la mezcla de asfalto con incorporación de caucho granulado **Tabla 8**.

**Tabla 7**

*Cantidad de briquetas Elaboradas para una MAC Convencional (Patrón)*

Porcentaje de Contenido Asfáltico	Ensayo Marshall	RICE	Inmersión – Compresión	Resistencia Conservada
4.5%	3	1		
5.0%	3	1	4	4
5.5%	3	1		
6.0%	3	1		
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

Fuente: Elaboración propia, 2023.

**Tabla 8**

*Cantidad de briquetas elaboradas para una MAC con incorporación de caucho granulado*

Caucho Granulado	Ensayo Marshall	RICE	Inmersión – Compresión	Resistencia Conservada
2.0%	3	1	4	4
4.0%	3	1	4	4
6.0%	3	1	4	4
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>12</b>

Fuente: Elaboración propia, 2023.

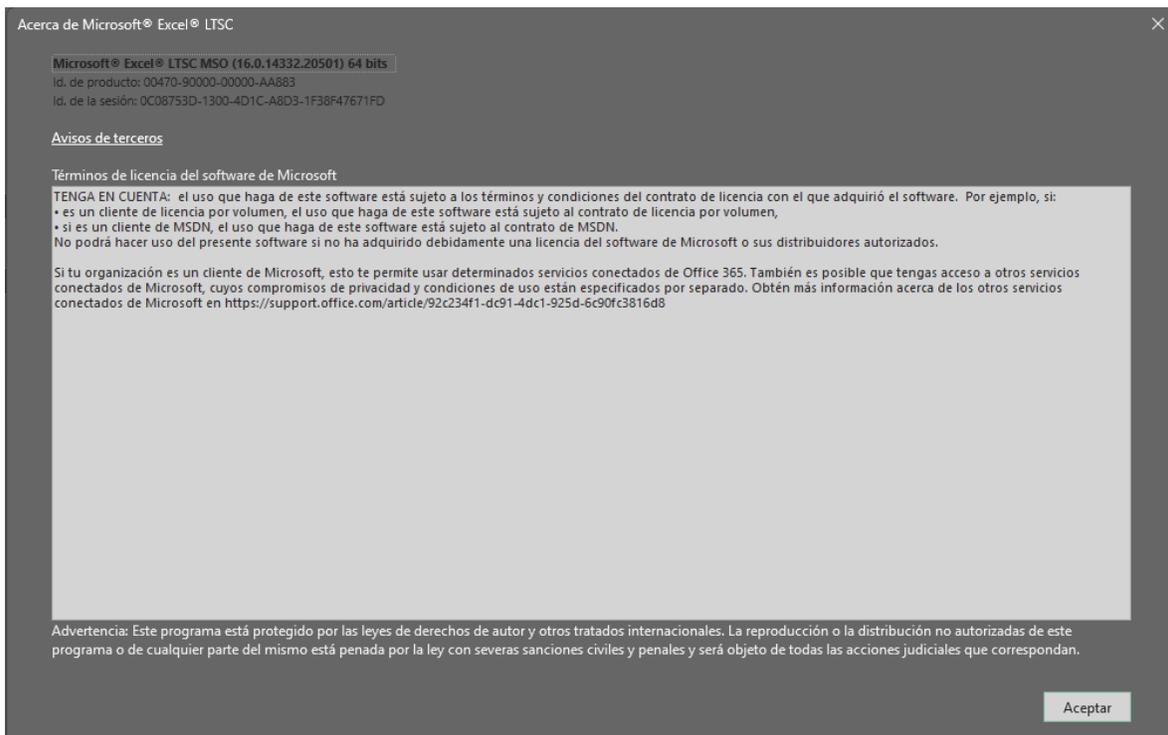
## Técnicas, Instrumentos y Procedimientos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos de esta investigación basada en pruebas de laboratorio se utilizó como principal técnica la observación directa u observación participante, como tal nos permite adquirir la información necesaria para estudiar nuestras variables planteadas anteriormente, obteniendo resultados fiables de los ensayos a realizar. La data derivada será anotada en fichas de datos para luego ser procesada a hojas de cálculo Excel, utilizando esto como instrumentos de recolección de datos.

Finalmente, los resultados de cada ensayo serán presentados en gráficos y cuadros estadísticos para la correcta interpretación en el análisis de datos.

### Figura 2

#### *Políticas y términos de licencia de la herramienta EXCEL*



Fuente: Captura de los términos de licencia vigente del software Excel, 2023.

**Figura 3**

*Ejemplo de ficha de datos del laboratorio para la recolección de información*



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T2B3)
-------------------------------------	---

**Solicitante** :  
**Proyecto** :  
**Ubicación** :  
**Fecha de ensayo** :

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)					
N° DE PROBETAS	Grupo seco		Grupo húmedo		
		Promedio			
1	Diámetro				
2	Espesor				
3	Contenido de Cemento Asfáltico				
4	Peso Probeta al Aire				
5	Peso de la probeta Saturada (60°)				
6	Peso de la Probeta en el Agua				
7	volumen de la Probeta				
8	Peso Específico de la Probeta				
9	% de vacíos				
10	Estabilidad sin Corregir				
11	Factor Estabilidad				
12	Estabilidad corregida (kg)				
13	Promedio Estabilidad (30 minutos) (kg)				
14	Promedio Estabilidad (24 Horas) (kg)				
15	Resistencia Conservada (%)				

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del Area de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

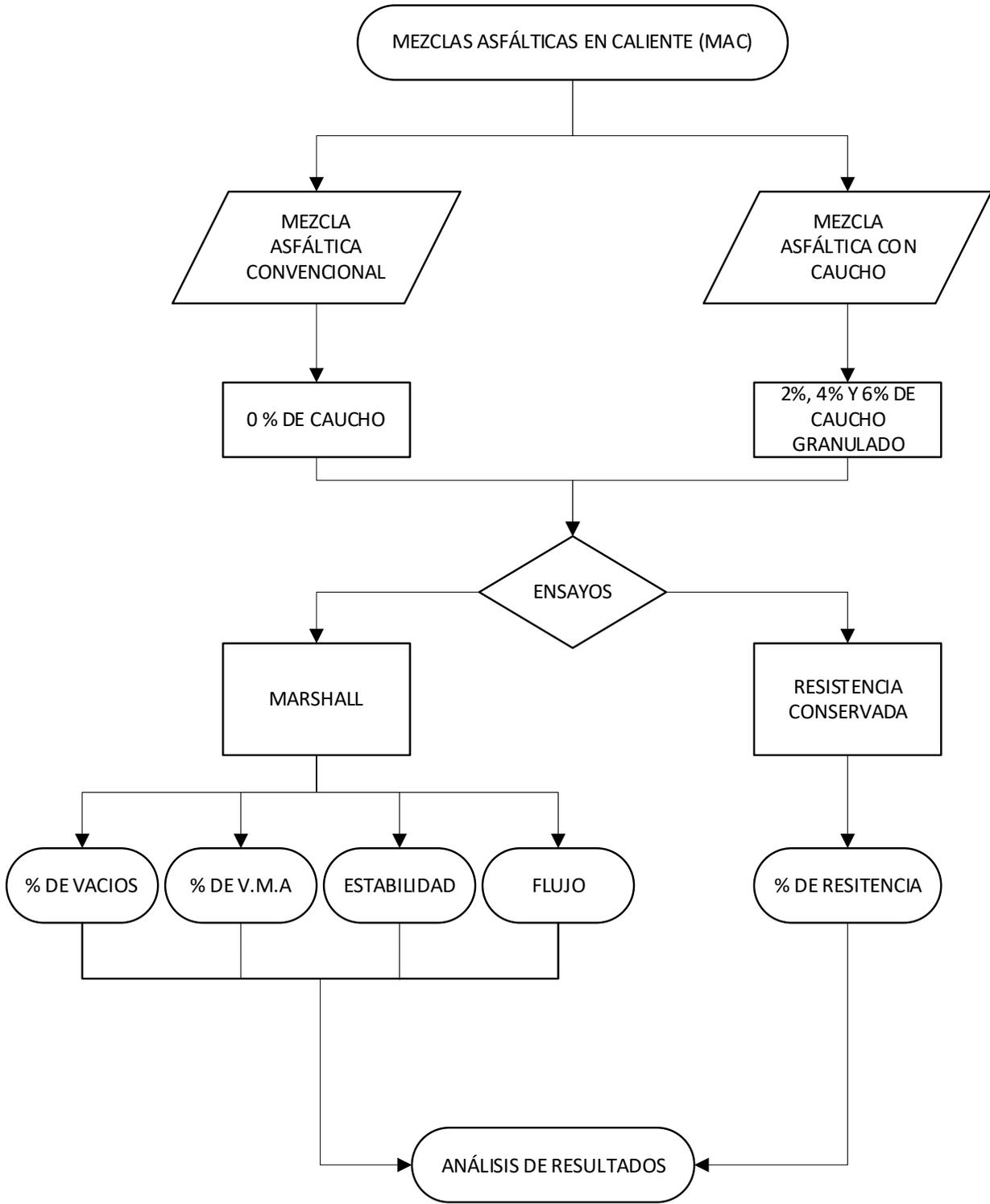
Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

Fuente: Fichas elaboradas por el Laboratorio JC Geotecnia con el fin de recoger datos.

La Figura 4, nos muestra el diagrama del procedimiento de recolección de datos

**Figura 4**

*Diagrama de flujo del procedimiento de recolección de datos*



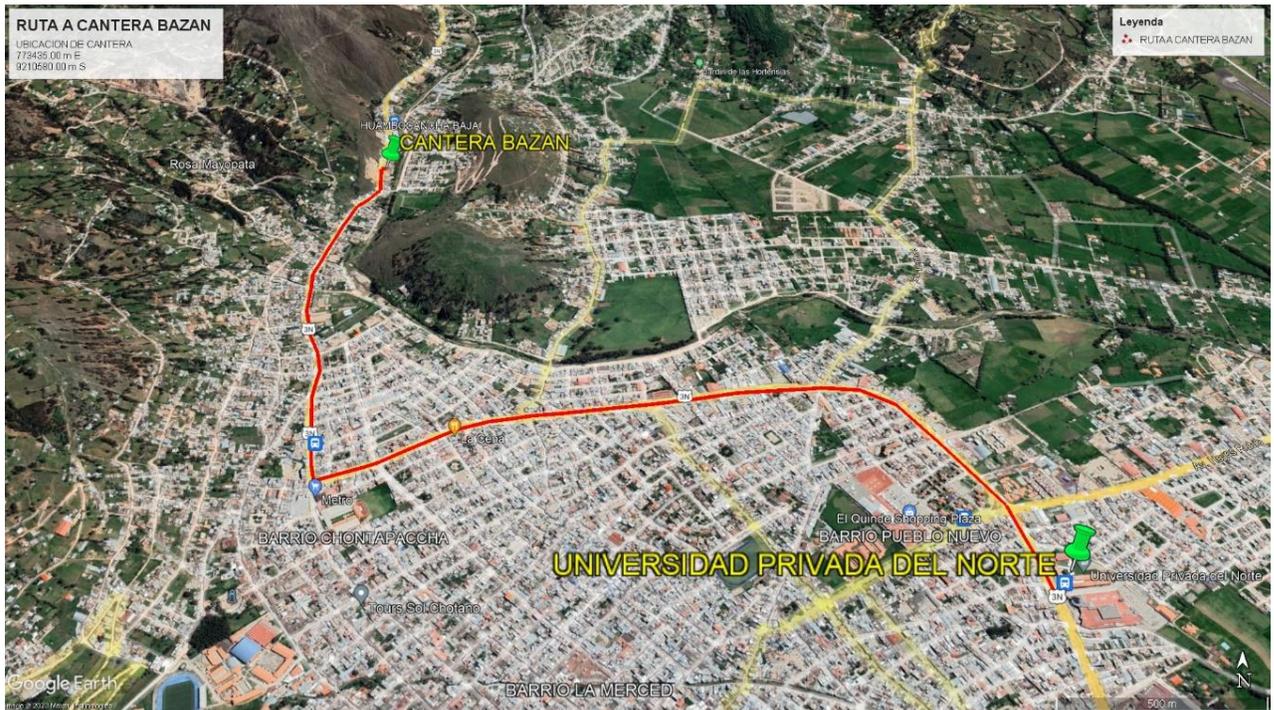
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Iniciamos adquiriendo los agregados pétreos; se consideró la cantera Bazán descrita a continuación:

**Selección de Cantera:** La cantera seleccionada para la extracción de los agregados pétreos para el presente estudio fue “CANTERA BAZÁN”, ubicada en las coordenadas UTM (773435.00 m E, 9210580.00 m S) (17S) en Av. Hno. Miguel Carducci N° 696 Barrio: Samanacruz. Considerándose los criterios brindados por el Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos 2013, tomando en cuenta las principales características del material, como disponibilidad, rendimiento, condiciones de extracción y/o explotación, entre otros.

### Figura 5

*Imagen satelital del recorrido hacia la cantera Bazán tomando como punto de origen UPN*



Fuente: Recuperada de Google Earth Pro

Se hizo la adquisición de 70 kg tanto de arena gruesa de río lavada como de grava chancada de ½ a ¾ de pulgada, la cual fue enviada con destino Lima – Norte, Carabayllo para ser triturada y adaptada según los requerimientos para Mezclas asfálticas en caliente por parte del laboratorio JC GEOTECNIA (ver **Anexo 1**).

Seguidamente, como parte del proceso de mezclas asfálticas en caliente (MAC), las Especificaciones Técnicas Generales del MTC (EG – 2013) nos muestra un listado de ensayos requeridos para asegurar el control de calidad de los agregados pétreos que cumplan con ciertos parámetros para poder emplearlos en nuestra mezcla asfáltica.

A continuación, se muestra una tabla con el listado de ensayos requeridos como control de calidad para el agregado grueso.

**Tabla 9**

*Requerimiento para los agregados gruesos*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión los ángeles	MTC E 207	40% max.	35% máx.
Partículas Chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG – 2013), Tabla 423 – 01.

Se describe el procedimiento, equipos, herramientas y materiales a usar para los ensayos mencionado en la Tabla 9.

Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) MTC E 209.

#### Equipos y materiales.

- **Densímetro graduado:** Capaz de medir la gravedad específica de la solución con una precisión de  $\pm 0.001$ .
- **Tamices:** (Para ensayar agregado grueso 3 /8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2" y 2 1/2") y (Para ensayar agregado fino N° 50, N° 30, N° 16, N° 8 y N° 4).
- **Regulador de temperatura:** Adecuado para controlar la temperatura de las muestras durante la inmersión en el sulfato de magnesio.
- **Balanzas:** Capacidad de 500 gr. y sensibilidad de 0.1 gr. para el caso del agregado fino y para el caso del agregado grueso de capacidad no menor a 5000 gr. y sensibilidad de 1 gr.
- **Termómetro:** Con un rango de medición suficiente para medir de 25 a 30 °C y con una resolución mínima de 0.5 °C.
- **Horno:** Capaz de mantener una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.
- **Reactivos:** Sulfato de magnesio (Sal).

#### Procedimiento.

Preparación de la solución.

- Se disolvió 350 g de sal anhidra por litro de agua a una temperatura de 25 a 30 °C.

Recordemos añadir suficiente sal para asegurar no solo la saturación, si no la

presencia en exceso de cristales cuando la solución se encuentre lista para utilizar en el ensayo.

- Luego se procedió a agitar la mezcla durante la adición de la sal y se dejó enfriar a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C por un tiempo de 48 horas antes de su uso.
- Asimismo, para reducir la evaporación y prevenir la contaminación se mantuvo la solución tapada todo el tiempo.
- Se verificó la formación de cristales en el fondo de la solución, para asegurarnos de que contiene la suficiente cantidad de sulfato, caso contrario se deberá agregar más sal.
- Antes de usar la solución, se disolvió los cristales de sal en el fondo para homogeneizar la misma.
- Finalmente, determinamos la gravedad específica de la solución haciendo uso del densímetro, teniendo en cuenta que el valor estuvo dentro de 1.295 y 1.308, rango estipulado por el manual de ensayo de materiales (MTC E 209).

#### Preparación de la muestra

- Se ensayó el material retenido en el tamiz (**No. 4**) o **4.75 mm** (ver **Anexo 9**) el cual fue suficiente para cubrir las cantidades de cada fracción de agregado presentado en la **Tabla 10**. Solamente se usó las fracciones con muestras superiores al 5% con respecto al peso total.

**Tabla 10**

*Tabla para determinar fracciones representativas del agregado grueso de acuerdo a su granulometría.*

<b>Fracción del agregado</b>	<b>Pasa</b>	<b>Retiene</b>	<b>Masa (g)</b>
63.0 mm a 37.5 mm	63.0 mm (2 ½")	50.0 mm (2")	3000±300
	50.0 mm (2")	37.5 mm (1 ½")	2000±200
<b>Total</b>			<b>5000±300</b>
37.5 mm a 19.0 mm	37.5 mm (1 ½")	25.0 mm (1")	1000±50
	25.0 mm (1")	19.0 mm (¾")	500±30
<b>Total</b>			<b>1500±50</b>
19.0 mm a 9.5 mm	19.0 mm (¾")	12.5 mm (½")	670±10
	12.5 mm (½")	9.5 mm (⅜")	330±5
<b>Total</b>			<b>1000±10</b>
9.5 mm a 4.75 mm	9.5 mm (⅜")	4.75 mm (No. 4)	300±5
	<b>Total</b>		<b>300±5</b>

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC E 209 – 2014).

- Seguidamente, lavamos y secamos cuidadosamente la muestra hasta alcanzar masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y separáramos en los distintos tamaños de agregado de acuerdo a la **Tabla 10**.

#### Ejecución del ensayo

- Una vez que se tiene preparado la solución de magnesio y la muestra se continúa con la ejecución del ensayo, registramos la masa inicial de la muestra por cada fracción (**A**).

#### Saturación de la muestra

- Luego saturamos la muestra, sumergiéndola en la solución preparada de sulfato de magnesio por un tiempo mínimo de 16 horas y no más de 18 horas, teniendo en cuenta que la solución cubra el agregado al menos  $\frac{1}{2}$ " o 1.27 cm
- No olvidar que se debe mantener las muestras sumergidas en la solución a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C durante el periodo de inmersión. Además, debemos cubrir los contenedores para reducir la evaporación y prevenir la adición accidental de sustancias extrañas.

#### Secado de la muestra después de la inmersión

- Ahora, una vez que ya se completó el periodo de inmersión procedemos a realizar el secado de la muestra, para ello retiráramos las muestras de agregado de la solución, dejando escurrir por un tiempo de  $15 \pm 5$  min, e inmediatamente la llevemos a secar hasta masa constante en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Después del secado en el horno dejamos enfriar las muestras a temperatura ambiente.
- Repetimos el proceso de inmersión y secado hasta completar 5 ciclos. No olvidemos que un ciclo se considera como la inmersión del agregado en la solución de saturación y su posterior secado hasta masa constante.

#### Lavado de la muestra

- Ahora, después de completar el ciclo final y que las muestras se han enfriado, lavamos con mucho cuidado las mismas dentro de los contenedores con agua

caliente, esto con la finalidad de eliminar la solución de saturación (sulfato de magnesio).

- Finalmente, de que el sulfato de sodio o magnesio ha sido removido, secamos las muestras en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante.

Examinación cuantitativa

- Para poder determinar el porcentaje de durabilidad previo al cálculo debemos tamizar cada fracción de agregado grueso utilizando la malla designada en función del tamaño del agregado de acuerdo con la **Tabla 11**, utilizando el método de tamizado manual, con agitación suficiente solo para asegurar que el material pasa la malla, debemos asegurarnos de no tamizar de manera muy brusca, ya que podemos ocasionar una ruptura de las partículas, lo cual alteraría la muestra.

**Tabla 11**

*Especificaciones para tamizado final de agregado en función al tamaño de partícula*

Tamaño del agregado	Tamiz utilizado para determinar la pérdida
63.0 mm a 37.5 mm	31.5 mm (1 ¼")
37.5 mm a 19.0 mm	16.0 mm (5/8")
19.0 mm a 9.5 mm	8.0 mm (5/16")
9.5 mm a 4.75 mm	4.0 mm (No. 5)

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC E 209 – 2014).

- Finalmente, registramos la masa del material retenido en cada tamiz (**B**) (ver **Anexo 9**).

Cálculo del porcentaje de intemperismo acelerado por fracción:

$$I = \frac{A \times B}{A} \times 100 \quad \text{Ecuación ( 2 )}$$

Dónde:

$I$  (%) = Porcentaje de interperismo acelerado. Se debe expresar con una precisión de 1.0 %.

$A$  (g) = Masa inicial de la muestra, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

$B$  (g) = Masa final de la muestra, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

Análisis de datos.

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 9**).

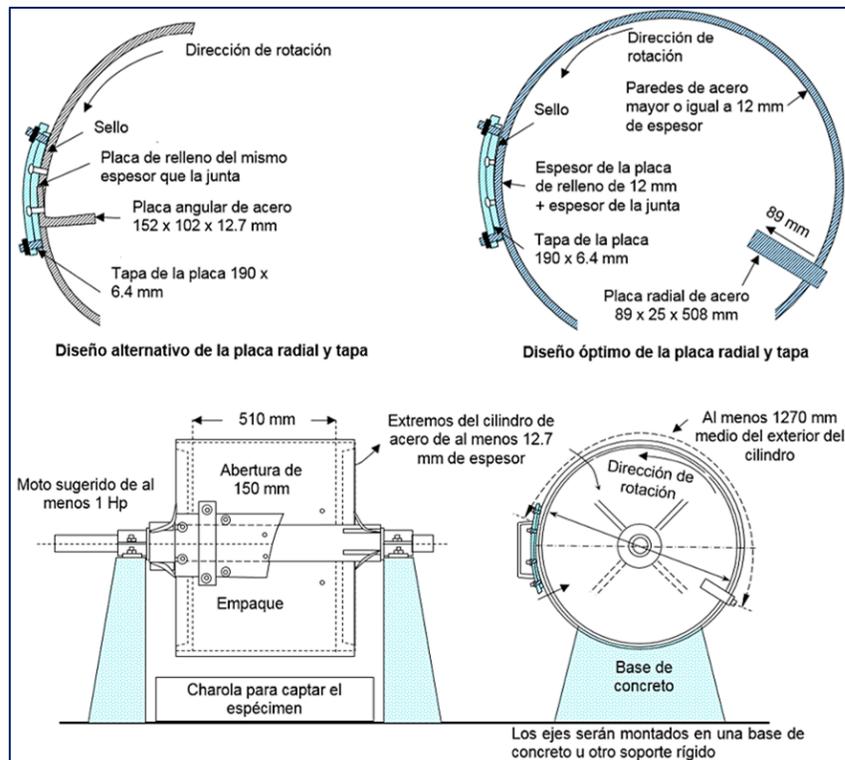
Abrasión los Ángeles MTC E 207.

Equipos y materiales.

- **Máquina de Los Ángeles:** Las características que debe presentar el equipo se muestra a continuación en la **Figura 6**.

**Figura 6**

*Características del equipo Máquina de los Ángeles*



Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC E 207 – 2014).

- **Tamices:** Siguiendo las especificaciones de (ASTM E11), es necesario los siguientes tamaños: (1 1/2"), (1"), (3/4"), (1/2"), (3/8"), (1/4"), (No. 4), (No. 8), (No. 12).
- **Carga abrasiva:** Consiste en esferas de acero con un diámetro de 46 a 48 mm y cada una con una masa de 390 a 445 g. La masa de la carga abrasiva dependerá de la granulometría elegida a ensayar de acuerdo con la **Tabla 12**. Para el presente estudio se utilizó 12 esferas.

**Tabla 12**

*Carga respecto a la gradación de la muestra.*

Granulometría	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC E 207 – 2014).

- **Balanza:** Con capacidad suficiente para determinar las masas del ensayo y una sensibilidad de 1.0 gr.
- **Horno:** Capaz de mantener una temperatura de hasta  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

### Procedimiento.

#### Preparación del equipo

- Iniciamos encendiendo y preparando la máquina de Los Ángeles de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

- Asimismo, revisamos que el tambor de la máquina de Los Ángeles se encuentre limpio y exento de material más grueso que la malla No. 12.
- Igualmente limpiamos la charola o recipiente para recuperar material de manera que se encuentre completamente libre de material pétreo previo al ensayo.

#### Preparación de la muestra

- Luego preparamos el material para la ejecución del ensayo, para ello continuamos lavando la muestra por la malla No. 8 y la secamos al horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante.
- Luego registramos la masa de la muestra inicial (**C**), (ver **Anexo 7**).

#### Ejecución de la prueba

- Después introducimos la muestra junto con la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles, debemos cerramos bien la abertura del cilindro con su tapa y ponemos a accionar la máquina a una velocidad de 30 a 33 rpm durante 500 revoluciones en un periodo aproximado de 15 minutos.
- Finalizado el tiempo de rotación retiramos el material de la máquina, cuidando de no perder material durante la descarga, para ello sacamos la carga abrasiva manualmente previo al retiro del material.
- Seguidamente, tamizamos por la malla No. 12, el material que quedó retenido lo conservamos y acumulamos en recipientes, y lo que pasa el tamiz No. 12 se procede a desechar.
- El material retenido acumulado en los recipientes lo lavamos y secamos en horno, a una temperatura entre 105° a 110°C hasta masa constante.
- Finalmente, registramos la masa de la muestra final (**Y**), (ver **Anexo 7**).

### Cálculo del desgaste por abrasión en la Máquina de Los Ángeles

El resultado es expresado como porcentaje de desgaste, esto es la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra ensayada con respecto al peso inicial.

$$\text{Desgaste de los Ángeles \%} = \frac{C - Y}{C} \times 100 \quad \text{Ecuación ( 3 )}$$

Dónde:

Desgaste de los Ángeles (%) = Desgaste por abrasión en máquina de los Ángeles, con aproximación de 1 %.

C (g) = Masa inicial de la muestra, con aproximación de 1.0 g (sin decimales)

Y (g) = Masa final de la muestra, con aproximación de 1.0 g (sin decimales).

#### Análisis de datos.

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 7**).

Partículas Chatas y Alargadas Del Agregado Grueso MTC E 223 (ASTM 4791).

#### Equipos, herramientas y materiales:

- **Calibradores metálicos:** Consiste en dos juegos de calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes).
- **Balanza:** Con una sensibilidad mínima de 0.1% de la masa de la muestra de ensayo.
- **Tamices:** Conforme a las especificaciones de la norma, de acuerdo con los siguientes tamaños: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½"; 3/8"; ¼".
- **Horno:** Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C

- **Bandejas:** recipiente donde se coloca los agregados.
- **Cuarteador:** recipiente de mayor tamaño donde se realiza el cuarteo.

Procedimiento:

Preparación de la muestra

- Iniciamos separando por cuarteo una muestra representativa, la norma nos brinda la siguiente tabla, donde nos muestra la cantidad mínima de acuerdo a la granulometría, en este caso se preparó 5000 g de muestra.

**Tabla 13**

*Masa mínima del ensayo en base al tamaño nominal de la partícula*

Tamaño nominal	Masa mínima de ensayo (g)
9.5 mm (3/8")	1 000
12.5 mm (1/2")	2 000
19.0 mm (3/4")	5 000
25.0 mm (1")	10 000
37.5 mm (1 1/2")	15 000

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC E 223 – 2014).

- Luego, secamos la muestra en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante.
- Seguidamente, tamizamos por las mallas indicadas y determinamos el peso retenido entre dos mallas consecutivas **W**, (ver **Anexo 12**).
- Después separamos el material retenido en cada malla para ser ensayado. Si observamos que el porcentaje retenido entre dos mallas consecutivas es inferior al 5%, no será ensayado, si por otro lado el porcentaje retenido entre dos mallas consecutivas está entre el 5% y 15%, se separarán un mínimo de 100 partículas y determinamos su peso con aproximación al 0.1%. Puede también darse el

porcentaje retenido entre dos mallas consecutivas es mayor al 15%, se separarán un mínimo de 200 partículas y determinamos su peso con aproximación al 0.1%.

#### Procedimiento de ensayo

- Continuamos haciendo pasar cada una de las muestras separadas por el calibrador de espesores en la ranura cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya.
- Después pesamos la cantidad de partículas de cada fracción que pasaron por la ranura correspondiente, aproximación al 0.1% del peso total de la muestra de ensayo **P<sub>i</sub>**, (ver **Anexo 12**).
- Por otro lado, cada una de las muestras separadas las pasamos por el calibrador de longitud por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya.
- Igualmente, pesamos la cantidad de partículas de cada fracción, retenida entre las dos barras correspondientes, aproximación al 0.1% del peso total de la muestra de ensayo **R<sub>i</sub>**, (ver **Anexo 12**).

Cálculos. Para ambos índices los resultados se redondearán al entero más próximo.

- Índice de partículas chatas.

$$I_{PC}(\%) = \frac{P_i}{W_i} \times 100 \quad \text{Ecuación ( 4 )}$$

Donde:

**I<sub>PC</sub>** = Índice de partículas chatas de la fracción **i** ensayada.

**P<sub>i</sub>** = Peso de las partículas que pasan por la ranura correspondiente.

**W<sub>i</sub>** = Peso inicial de esa fracción.

- Índice de partículas alargadas.

$$I_{PA}(\%) = \frac{R_i}{W_i} \times 100 \quad \text{Ecuación ( 5 )}$$

Donde:

**I<sub>PA</sub>** = Índice de partículas alargadas de la fracción i ensayada.

**R<sub>i</sub>** = Peso de las partículas que pasan por la ranura correspondiente.

**W<sub>i</sub>** = Peso inicial de esa fracción.

#### Análisis de datos.

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 12**).

Caras Fracturadas MTC E 210.

#### Equipos, herramientas y materiales:

- **Balanza:** Una balanza de 5000 g de capacidad y sensibilidad de 1.0 g.
- **Tamices:** 1½", 1", ¾", ½" y 3/8"
- **Horno:** Capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Cuarteador
- Espátula

#### Procedimiento:

##### Preparación de la muestra

- Comenzamos secando la muestra lo suficiente para obtener por tamizado una separación limpia de los agregados gruesos y finos.
- Luego tamizamos el material sobre la malla No.4.
- Después reducimos por cuarteo la muestra retenida en el tamiz N° 4 para obtener el tamaño de muestra apropiado para este ensayo.

- De acuerdo al tamaño máximo nominal podemos observar el peso mínimo de material que se debe tener para el ensayo **Tabla 14**. En este caso consideramos 1500 g.

**Tabla 14**

*Peso mínimo para el ensayo en base al tamaño máximo nominal*

Tamaño máximo nominal	Peso mínimo para el ensayo (g)
3/8"	200
1/2"	500
3/4"	1 500
1"	3 000
1 1/2"	7 500
1"	15 000
2 1/2"	30 000
3"	60 000
3 1/2"	90 000

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC E 210 – 2014).

**Ejecución de ensayo**

- Continuamos lavando el material sobre el tamiz designado para la determinación de las partículas fracturadas, esto con la finalidad de remover cualquier residuo de material fino y lo secamos hasta tener masa constante.
- Luego esparcimos la muestra seca en una superficie suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula, de tal manera que nos permite comprobar que una partícula cumple el criterio de fractura, para ello sostenemos la partícula con una vista directamente hacia la cara. Si la esta constituye al menos un cuarto de la mayor sección transversal de la partícula, se debe considerar como una cara fracturada.

- Conforme vamos realizando la inspección descrita en el paso anterior, realizamos una separación en tres grupos, uno conformado por aquellas partículas que cumplen con el criterio de fractura, otro conformado por aquellas partículas que no cumplan con el criterio y otro donde se encuentren aquellas partículas dudosas.
- Finalmente, se determina la masa de partículas clasificadas en la categoría de fracturadas, categoría de partículas dudosas y las partículas que no cumplen con el criterio.

Cálculo del porcentaje de partículas fracturadas.

$$P_1 = \frac{U}{F + U + N} \times 100 \quad \text{Ecuación ( 6 )}$$

$$P_2 = \frac{F}{F + U + N} \times 100 \quad \text{Ecuación ( 7 )}$$

Donde:

**P<sub>1</sub> (%)** = Porcentaje de partículas con una cara fracturada, obtener este valor con aproximación de 1% (entero).

**P<sub>2</sub> (%)** = Porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas, obtener este valor con aproximación de 1% (entero).

**F (g)** = **Masa de las partículas** con dos o más caras fracturadas, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

**U (g)** = **Masa de las partículas** con una cara fracturada, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

**N (g)** = **Masa de las partículas** sin caras fracturadas con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 11**).

Sales Solubles en agregados gruesos MTC E 219.

Equipos, materiales e insumos:

- Balanza analítica, con sensibilidad de 0,01 g
- Estufa, capaz de mantener temperaturas de  $105 \pm 5$  °C
- Plancha de calentamiento
- Mecheros
- Matraces aforados
- Vasos de precipitado
- Pipetas
- Tubos de ensayo
- Agua destilada
- Solución de Nitrato de Plata
- Solución de Cloruro de Bario

Procedimiento:

Preparación de la muestra:

- La cantidad de muestra mínima para el ensayo de gruesos es de 1000 g y un aforo de 500 mL.
- Iniciamos secando la muestra en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante, aproximando a 0,01 g. Registramos este valor como **A**.

Ejecución del ensayo:

- Continuamos colocando la muestra en un vaso de precipitado y seguidamente lo agregamos agua destilada en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra y caliente hasta ebullición.
- Luego, agitamos 4 veces en periodos de 1 minuto por agitación.
- Dejamos decantar por un tiempo mínimo de 10 minutos hasta que el líquido se aprecie transparente y trasparamos el líquido sobrenadante a otro vaso.
- Seguidamente, determinamos en forma separada, en dos tubos de ensayo, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos, detectamos la presencia de cloruros con unas gotas de nitrato de plata, de tal manera que se forma un precipitado blanco de cloruro de plata y la de sulfatos con unas gotas de cloruro de bario, dando un precipitado blanco de sulfato de bario.
- Debemos repetir los pasos desde 1, 2 y 3 de ejecución del ensayo hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes.
- Una vez enfriados, vaciamos todos los líquidos sobrenadantes acumulados, a un matraz aforado y enrasamos con agua destilada y registramos el aforo como **B**.
- Luego, tomamos una alícuota de un volumen entre 50 y 100 mL, de la muestra previamente homogeneizada, del matraz aforado y registre su volumen como **C**.
- Finalmente cristalizamos la alícuota en un horno a  $100 \pm 5$  °C, hasta masa constante y registre la masa como **D**.

Cálculos:

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B}} \times 100 \quad \text{Ecuación ( 8 )}$$

Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 8**).

Absorción MTC E 206.

Equipos y herramientas:

- **Balanza:** Con una sensibilidad mínima de 0.1% de la masa de la muestra de ensayo. Además, deberá estar equipada con un dispositivo apropiado para suspender el contenedor (canastilla) y la muestra en el agua.
- **Baño de agua:** Capaz de mantener una temperatura de  $23 \pm 2$  °C para sumergir la muestra. Es importante que el alambre o hilo que sostiene la canastilla deberá ser lo suficientemente largo a fin de que esta se encuentre completamente sumergida.
- **Termómetro:** Con un rango de medición suficiente para evaluar  $23 \pm 2$  °C y con una sensibilidad mínima de 0.5 °C.
- **Tamiz:** Malla (No. 4) que deberá cumplir con las especificaciones de la norma.
- **Canastilla de malla de alambre:** Con aberturas del No. 6 o menores para evitar la pérdida de material, (altura y ancho aproximadamente igual con capacidad de 4 a 7 L).
- **Horno:** Capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

Procedimiento:

Preparación del equipo

- Iniciamos acondicionando el baño a la temperatura de prueba de  $23 \pm 2$  °C, previo a la inmersión de la muestra.

- Luego fijamos la canastilla cuidadosamente, de tal manera que se suspenda de la balanza y se sumerja completamente en el agua.

### Figura 7

#### *Baño de agua equipado con canastilla*



Fuente: Figura 7.1 del Manual de Ensayos para Laboratorio (Agregados AG para mezclas asfálticas) – (Instituto Mexicano de Transporte, 2019).

#### Preparación de la muestra

- Una vez que ya se tiene el equipo preparado, procedemos a muestrear el agregado de acuerdo con las especificaciones del (ASTM D75) y seleccionamos la cantidad necesaria de agregado.
- Luego, realizamos un tamizado en seco por la malla (No. 4) y desechamos el material pasante.
- Seguidamente, verificamos que la masa de la muestra sea superior a la indicada en la **Tabla 15**, de acuerdo con el tamaño nominal del agregado.

**Tabla 15**

*Masa mínima de la muestra con respecto a su tamaño nominal*

<b>Tamaño nominal, mm (pulg)</b>	<b>Masa mínima de la muestra, g</b>
12.5 (1/2)	2 000
19.0 (3/4)	3 000
25.0 (1)	4 000
37.5 (1 ½)	5 000

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC E 206 – 2014).

- Ahora, debemos eliminar el polvo adherido al agregado grueso, para ello procedemos a lavar la muestra.
- Continuamos secando la muestra en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, hasta masa constante.
- Una vez seca la muestra, dejamos enfriar a temperatura ambiente en un periodo de 1 a 3 horas, hasta alcanzar una temperatura cómoda para manejar el agregado.
- Finalmente, terminamos la preparación de la muestra verificando que la masa después de lavado y secado siga cumpliendo con la masa mínima especificada en la **Tabla 15**.

#### Ejecución de la prueba

- Continuamos con la ejecución de la prueba sumergiendo la muestra de agregado en agua a temperatura ambiente por un periodo de  $24 \pm 4$  horas.
- Luego, retiramos la muestra del agua y la secamos hasta la condición saturada superficialmente seca (SSS). Para lograr la condición SSS, envolvemos la muestra en una franela grande, girándola, hasta que toda la película de agua exterior sea removida y secamos las partículas grandes individualmente. Siempre

teniendo en cuenta de no absorber el agua interior del agregado durante el proceso de secado superficial.

### Figura 8

*Condición saturada superficialmente seca*



Fuente: Figura 7.2 del Manual de ensayos para laboratorio (Agregados AG para mezclas asfálticas) – (Instituto Mexicano de Transporte, 2019).

- Después del secado hasta una condición (SSS), colocamos el agregado sobre la balanza y registramos la masa de la muestra en la misma condición y registramos **(B)**, (ver **Anexo 10**).
- Luego colocamos la muestra en la canastilla y la sumergimos en el baño de agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C. No olvidemos agitar la canastilla para eliminar posibles burbujas de aire atrapadas y registramos la masa aparente del agregado saturado en agua (sumergido) **(C)**, (ver **Anexo 10**).
- Finalmente, secamos la muestra en un horno a masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Una vez seca la muestra, dejamos enfriar a temperatura ambiente de 1 a 3 horas, hasta alcanzar una temperatura que sea manejable y registramos la masa del agregado seco **(A)**, (ver **Anexo 10**).

Cálculo del porcentaje de agua absorbida por la muestra.

$$\text{Absorción \%} = \frac{B - A}{A} \times 100 \qquad \text{Ecuación ( 9 )}$$

Donde:

**Absorción %** = Porcentaje de agua absorbida por la muestra, obtener este valor con aproximación de 0.1% (1 decimal).

**A (g)** = Masa de la muestra seca al horno, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

**B (g)** = Masa de la muestra saturada y superficialmente seca, con aproximación de 0.1 g (1 decimal).

Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 10**).

Tan pronto terminamos con los ensayos de calidad del agregado grueso requeridos para la preparación de mezclas asfálticas, continuamos aplicando y ejecutando los ensayos necesarios para asegurar la calidad del agregado fino según lo detalla las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (EG – 2013).

A continuación, se muestra una tabla con el listado de ensayos requeridos como control de calidad para el agregado fino.

**Tabla 16**

*Ensayos para el control de calidad de los agregados finos*

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG – 2013), Tabla 423 – 02.

Se describe el procedimiento, los equipos, herramientas y materiales a usar para cada uno de ellos.

Equivalente de arena MTC E 214.

Equipos, herramientas y materiales:

- **Cilindro graduado de plástico:** Con diámetro interior de  $31.75 \pm 0.381$  mm y altura de 430.0 mm aproximadamente, graduado desde el fondo hasta una altura de 381 mm.
- **Tapón de hule:** De caucho o goma que ajuste en el cilindro.
- **Tubo irrigador:** De acero inoxidable, de cobre o de bronce, de 6.35 mm de diámetro exterior, y 0.89 mm de espesor, con longitud de 510 mm, con uno de sus extremos cerrado formando una arista.

- **Tubo flexible:** De plástico o caucho. Con un diámetro de 4.7 mm y de 1.20 m de largo, aproximadamente, con una pinza que permita cortar el paso del líquido a través del mismo. Este tubo conecta el sifón con el tubo irrigador.
- **Un botellón:** De 1 galón de capacidad, destinado a contener la solución de cloruro de calcio.
- **Recipiente metálico:** De diámetro 57 mm aproximadamente, con una capacidad de  $85 \pm 5$  ml.
- **Embudo:** De boca ancha, de 100 mm de diámetro en la base.
- **Cronometro:** Para lecturas de minutos y segundos.
- **Agitador:** De operación manual, que sea capaz de producir un movimiento oscilatorio a una rata de 100 ciclos completos en  $45 \pm 5$  seg., con ayuda manual y un recorrido medio de  $127 \pm 5.08$  mm ( $5 \pm 0.2$ "). El dispositivo debe mantener el cilindro en una posición horizontal mientras se somete a un movimiento alternativo paralelo a su longitud. Cabe aclarar que también puede ser de operación mecánica.
- **Espátula:** Apropiada para quitar el exceso de suelo del recipiente metálico.
- **Horno:** Controlado termostáticamente, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- **Reactivos para solución de reserva con formaldehído.** Formaldehído, cloruro de calcio anhidro grado técnico, glicerina USP, y agua destilada.
- **Reactivos para solución de reserva con glutaraldehído.** Glutaraldehído, dihidrato de cloruro de calcio grado A.C.S., glicerina USP y agua destilada.

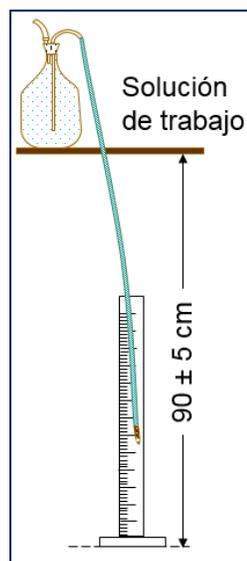
Procedimiento:

Preparación del equipo y la solución:

- Iniciamos disolviendo 454 g de cloruro de calcio (sal) en 1.89 litros (1/2 gal) de agua destilada, luego lo dejamos enfriar y lo filtramos utilizando el papel filtro.
- Seguidamente adicionamos 2050 g de glicerina y 47 g de formaldehído a la solución filtrada, mezclamos bien y diluimos con agua destilada hasta lograr 3.78 litros de solución.
- Después preparamos la solución de trabajo en una botella de 3.78 L (1 gal), mediante la adición de  $85 \pm 5$  ml de solución de reserva y completamos el volumen restante con agua destilada.
- Preparamos el equipo ajustando el sifón a la botella con la solución de trabajo y la colocamos en un estante a una altura de  **$90 \pm 5$  cm** sobre la superficie de trabajo  
**(Figura 9).**

**Figura 9**

*Preparación del equipo (Altura del sifón) para el presente ensayo*



Fuente: Figura 4.2 del Manual de ensayos para laboratorio (Agregados AG para mezclas asfálticas) – (Instituto Mexicano de Transporte, 2019).

### Preparación de la muestra

- Continuamos preparando 1500 g de material pasante por la malla No. 4.
- Nos aseguramos de disolver los grumos de material para que pase la malla mencionada.
- Luego humedecemos el material lo suficiente para prevenir segregación o pérdida de finos durante el procedimiento de cuarteo, siempre verificando que la muestra se encuentre en una condición de flujo libre.
- Después utilizamos el medidor cilíndrico para obtener **4** medidas de la muestra. En cada muestreo generamos ligeros golpes a la base del cilindro sobre la mesa de trabajo al menos **4** veces, y dejamos el material ligeramente superior al nivel del medidor cilíndrico.
- Seguidamente procedemos a registrar la masa del material contenido en cada uno de los cuatro muestreos con el medidor cilíndrico, para obtener así la aproximación de masa requerida para una muestra de ensayo.
- La masa de una muestra de ensayo será igual a la masa del material contenida en el medidor cilíndrico.
- Una vez registrado las masas, procedemos a regresar el material a la muestra total o hacemos un nuevo cuarteo con la finalidad de hacer una reducción de muestra de acuerdo con la norma.
- Continuamos realizando los ajustes necesarios para obtener la masa de ensayo. La masa de la muestra de ensayo (la medida de un medidor cilíndrico) se obtendrá después de dos cuarteos sucesivos sin ajuste a partir de la masa predeterminada.

- Finalmente, tomamos la muestra de material producto de la reducción con el medidor cilíndrico, enrasamos y llevamos a secar el material a una temperatura de **110 ± 5 °C** hasta masa constante.

#### Ejecución de la prueba

- Una vez que tenemos la muestra para el ensayo preparada, procedemos a vaciar **4 ± 0.1 pulg (102 ± 3 mm)** de la solución de trabajo por medio del sifón en la probeta graduada.
- Luego vaciamos la muestra dentro de la probeta utilizando el embudo para evitar que se derrame.
- Para poder sacar las burbujas de aire atrapadas golpeamos la base de la probeta con movimientos fibrosos, lo cual también generó humedecimiento en la muestra.
- Luego dejamos reposar sin manipular la probeta durante **10 ± 1 minuto**, con la finalidad de que la muestra se humedezca, (ver **Anexo 13**).

#### Procedimiento de agitación

- Pasado los 10 minutos, removemos el material del fondo, para ello procedimos a tapar la probeta y agitarla suavemente, (ver **Anexo 13**).
- Continuamos con el proceso de agitación, en este caso existen 2 métodos, agitación manual y agitación mecánica. Para el presente estudio se realizó con agitación manual.
- Para ello, tomamos la probeta en posición horizontal y agitamos vigorosamente con movimientos horizontales de forma lineal de extremo a extremo.

- Agitamos la probeta **90 ciclos** en aproximadamente **30 segundos**, aplicando un desplazamiento de **23 ± 3 cm**. Recordemos que un ciclo es un movimiento completo de ida y vuelta.

#### Procedimiento de irrigación

- Una vez completado el proceso de agitación, continuamos con la irrigación. Empezamos colocando la probeta sobre la mesa de trabajo y quitamos el tapón.
- Dejamos la base de la probeta en contacto con la mesa de trabajo, quedando en una posición vertical.
- Luego insertamos el tubo irrigador en la parte superior de la probeta y emanamos a remover con la pinza de la manguera para permitir el paso de la solución, aprovechamos para lavar el material de las paredes de la probeta mientras el irrigador desciende.
- Con sutileza, introducimos el tubo irrigador dentro del material hasta la parte inferior de la probeta, donde aplicamos punzadas al mismo tiempo que se hace girar el tubo irrigador para remover el material del fondo, así entrará en suspensión el material arcilloso (pasa malla No. 200) sobre las partículas gruesas de arena.
- Continuamos lavando hasta que la probeta se llene a **15 pulg (38 cm)** de la graduación.
- Finalmente, extraemos el tubo irrigador lentamente sin cortar el flujo y ajustar el nivel final a las **15 pulg (38 cm)** de graduación y registramos el tiempo inmediatamente después de extraer el tubo irrigador.

#### Lectura de arcilla

- Luego realizamos la lectura de arcilla, para ello dejamos que la probeta permanezca en reposo por **20 minutos ± 15 segundos**.
- Una vez que culmino el tiempo de reposo, tomamos nota de la lectura de arcilla como el nivel superior de la suspensión de arcilla (**B**). Igualmente, registramos el tiempo total de sedimentación, (ver **Anexo 13**).

#### Lectura de arena

- Continuamos con la lectura de arena, para ello colocamos el pisón sobre la probeta y bajamos suavemente hasta que llegue a descansar sobre la arena.
- Dirigimos el extremo del pisón hacia las graduaciones de la probeta hasta que el pisón toque la pared interna de la probeta. Restar **10 pulg (25.4 cm)** al nivel indicado por la base del pisón. Anotamos este valor como lectura de la arena (**A**), (ver **Anexo 13**).

#### Cálculo e Informe

$$SE = \frac{A}{B} \times 100 \qquad \text{Ecuación ( 10 )}$$

Donde:

**SE (%)** = Equivalente de arena. Reportar este valor como un número entero, redondeado al siguiente valor superior.

**A (pulg)** = Lectura de arena, con aproximación de 0.1 pulg (1 decimal).

**B (pulg)** = Lectura de arcilla, con aproximación de 0.1 pulg (1 decimal).

#### Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 13**).

Azul de Metileno Agregado Fino MTC E (AASTHO TP 57).

Equipos, herramientas y materiales:

- **Bureta:** De color ámbar de por lo menos 50 ml de capacidad con graduaciones de 0.1ml.
- **Agitador magnético:** Con varilla revolvedora.
- **Balanza:** De 200g de capacidad y 0.01g de sensibilidad.
- **Varilla de vidrio:** De aproximadamente 250 mm (10”) de largo y 8 mm (0.3”) de diámetro.
- **Cronometro:**
- **Platón y tamiz No. 200:**
- **Matraz volumétrico:** Con capacidad de 1000ml
- **Papel filtro:** Whatman No. 2
- **Tres vasos de precipitación:** De 500ml tipo Griffin.
- **Azul de metileno:** De grado reactivo, fechado y almacenado por un tiempo inferior a cuatro meses en un frasco color café envuelto con papel de aluminio y colocado en un gabinete oscuro a la temperatura del laboratorio.
- **Agua destilada:** A temperatura de laboratorio
- **Horno:** Capaz de mantener la temperatura de 110°C

Procedimiento:

Preparación de la solución:

- Iniciamos preparando la solución de azul de metileno, para ello en el vaso precipitado 1000 ml colocamos  $1 \pm 0.01$  g de azul de metileno.

- Seguidamente, agregamos **1000 ml** de agua destilada en el vaso de precipitado mezclamos durante 20 min mínimo haciendo uso del agitador y la barra magnética.
- Finalmente, almacenamos la solución en una botella color ámbar recubierta con papel aluminio, en un lugar que impida el paso de la luz a la solución y a una temperatura de  $20 \pm 5$  °C.
- Luego, llenamos la bureta con la solución de azul de metileno y la aforamos, no olvidar revisar que no exista aire en la salida de la bureta.
- Ahora, fijamos la bureta en posición vertical haciendo uso del soporte universal, de esta manera ajustamos la bureta a la altura requerida sobre el vaso de precipitado de **100 ml**, mientras este se encuentra sobre el agitador magnético.

#### Preparación de la muestra

- Para la preparación de la muestra debemos obtener material que pasa la malla (**No. 200**) y la secamos a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante.
- Luego, colocamos  **$1.0 \pm 0.05$  g** de la muestra seca en un vaso de precipitado 100 ml.
- Seguidamente añadimos  **$30 \pm 0.1$  g** de agua destilada en el vaso de precipitado, ya que posteriormente debemos agregar la barra magnética.
- Finalmente, colocamos sobre el agitador magnético e iniciar la agitación hasta que la arcilla se disperse uniformemente (aproximadamente **5 minutos**).

#### Ejecución de la prueba

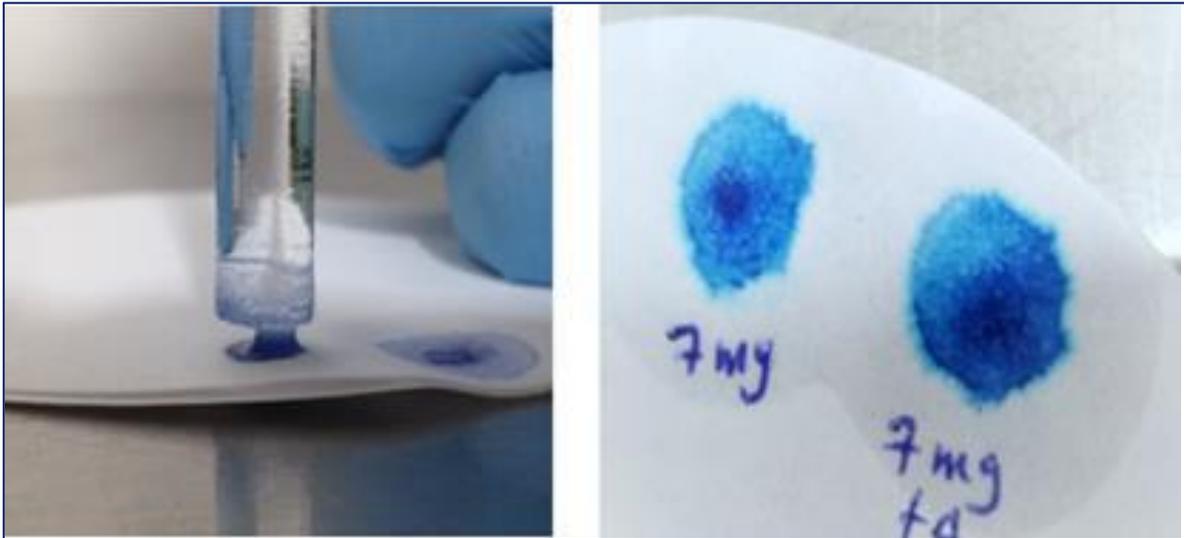
- Ahora, con la suspensión aún en agitación, procedemos a añadir **1.0 ml** de la solución de azul de metileno a la suspensión y agitamos durante **1 min**. Sin

detener la agitación, retiramos una gota de la suspensión con la punta de la varilla de vidrio y colocar en el papel de filtro.

- Seguidamente observamos el aspecto de la gota sobre el papel de filtro. Si no se observa un halo de color azul claro alrededor de la gota, continuamos agregando la solución de azul de metileno a la suspensión en incrementos de **1.0 ml** con **1 min** de agitación, y retirando una gota de la suspensión por cada incremento.
- La prueba terminó cuando se observó el halo azul alrededor de la gota, **Fig. 10**.

**Figura 10**

*Representación de halo azul*



Fuente: Figura 5.2 del Manual de ensayos para laboratorio (Agregados AG para mezclas asfálticas) – (Instituto Mexicano de Transporte, 2019).

- Después de alcanzar el punto final, continuamos la agitación durante 5 minutos adicionales y volvemos a tomar una muestra para comprobar el fin del ensayo.

Cálculo del valor de azul de metileno

El valor de azul de metileno (MBV) es equivalente a la cantidad de mililitros de solución de azul de metileno utilizados hasta su saturación (aparición del halo), y se reporta en miligramos de azul de metileno por gramo del material evaluado.

$$MBV = \frac{C_{sol}}{C_{filler}} \quad \text{Ecuación ( 11 )}$$

Dónde:

**Csol [mg]** = Cantidad de azul de metileno necesario para alcanzar el punto final del ensayo.

**Cfiller [g]** = Cantidad de material contenido en la suspensión.

Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 18**).

Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) MTC E 209.

Equipos.

- Se usó los mismos equipos del ensayo de **Durabilidad (al sulfato de magnesio) para agregado grueso pg. 47**.

Procedimiento:

Preparación de la solución.

- Se disolvió 350 g de sal anhidra por litro de agua a una temperatura de 25 a 30 °C. Recordemos añadir suficiente sal para asegurar no solo la saturación, si no la presencia en exceso de cristales cuando la solución se encuentre lista para utilizar en el ensayo.
- Luego se procedió a agitar la mezcla durante la adición de la sal y se dejó enfriar a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C por un tiempo de 48 horas antes de su uso.
- Asimismo, para reducir la evaporación y prevenir la contaminación se mantuvo la solución tapada todo el tiempo.

- Se verificó la formación de cristales en el fondo de la solución, para asegurarnos de que contiene la suficiente cantidad de sulfato, caso contrario se deberá agregar más sal.
- Antes de usar la solución, se disolvió los cristales de sal en el fondo para homogeneizar la misma.
- Finalmente, determinamos la gravedad específica de la solución haciendo uso del densímetro, teniendo en cuenta que el valor estuvo dentro de 1.295 y 1.308, rango estipulado por el manual de ensayo de materiales (MTC E 209).

Preparación de la muestra

- Para el caso del agregado fino, la muestra seleccionada fue la que paso el tamiz **3/8" o 9.50mm** y quedó retenida en la malla **No.50**. Cada fracción de la muestra comprendida entre los tamices que se indican en la **Tabla 17** debe ser por lo menos de 100 g. Se consideró solamente las fracciones que contienen más del 5% de material con respecto a la masa inicial de la muestra.

**Tabla 17**

*Fracciones de material que pasa y queda retenido en el tamiz de acuerdo al tamaño de partícula*

Fracción	Pasa el tamiz	Retenido en el tamiz
1	9.50mm (3/8")	4.75mm (N° 4)
2	4.75mm (N° 4)	2.36mm (N° 8)
3	2.36mm (N° 8)	1.18mm (N° 16)
4	1.18mm (N° 16)	600µm (N° 30)
5	600µm (N° 30)	300µm (N° 50)

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC E 209 – 2014).

- Continuamos lavando cuidadosamente la muestra total sobre la malla (**No.50**) o **300  $\mu\text{m}$**  y lo llevamos a secar al horno a una temperatura constante de **110  $\pm$  5 °C**.
- Luego separáramos la granulometría mediante tamizado, seleccionamos la suficiente cantidad de material para alcanzar **100 g** de cada una de las fracciones, después del tamizado, colocamos por separado en los recipientes para ensayo.

#### Ejecución del ensayo

- Una vez que se tiene preparado la solución de magnesio y la muestra se continúa con la ejecución del ensayo, registramos la masa inicial de la muestra por cada fracción (**A**), (ver **Anexo 16**).

#### Saturación de la muestra

- Luego saturamos la muestra, sumergiéndola en la solución preparada de sulfato de magnesio por un tiempo mínimo de 16 horas y no más de 18 horas, teniendo en cuenta que la solución cubra el agregado al menos  $\frac{1}{2}$ " o 1.27 cm
- No olvidar que se debe mantener las muestras sumergidas en la solución a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C durante el periodo de inmersión. Además, debemos cubrir los contenedores para reducir la evaporación y prevenir la adición accidental de sustancias extrañas.

#### Secado de la muestra después de la inmersión

- Ahora, una vez que ya se completó el periodo de inmersión procedemos a realizar el secado de la muestra, para ello retiráramos las muestras de agregado de la solución, dejando escurrir por un tiempo de  $15 \pm 5$  min, e inmediatamente la

llevemos a secar hasta masa constante en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

- Después del secado en el horno dejamos enfriar las muestras a temperatura ambiente.
- Repetimos el proceso de inmersión y secado hasta completar 5 ciclos. No olvidemos que un ciclo se considera como la inmersión del agregado en la solución de saturación y su posterior secado hasta masa constante.

#### Lavado de la muestra

- Ahora, después de completar el ciclo final y que las muestras se han enfriado, lavamos con mucho cuidado las mismas dentro de los contenedores con agua caliente, esto con la finalidad de eliminar la solución de saturación (sulfato de magnesio).
- Finalmente, de que el sulfato de sodio o magnesio ha sido removido, secamos las muestras en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta masa constante.

#### Examinación cuantitativa

- Para determinar el porcentaje de durabilidad previo al cálculo tamizamos cada fracción de agregado fino por el mismo tamiz en el cual se retuvo la muestra previa al ensayo.
- Seguidamente registramos la masa del material retenido en cada malla (**B**), (ver **Anexo 16**).

Cálculo del porcentaje de intemperismo acelerado por fracción:

$$I = \frac{A \times B}{A} \times 100 \qquad \text{Ecuación ( 12 )}$$

Dónde:

**I (%)** = Porcentaje de intemperismo acelerado. Se debe expresar con una precisión de 1.0 %.

**A (g)** = Masa inicial de la muestra, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

**B (g)** = Masa final de la muestra, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 16**).

Sales solubles en agregado fino MTC E 219.

Equipos, materiales e insumos:

- Balanza analítica, con sensibilidad de 0,01 g
- Estufa, capaz de mantener temperaturas de  $105 \pm 5$  ° C
- Plancha de calentamiento
- Mecheros
- Matraces aforados
- Vasos de precipitado
- Pipetas
- Tubos de ensayo
- Agua destilada
- Solución de Nitrato de Plata

- Solución de Cloruro de Bario

Procedimiento:

Preparación de la muestra

- La cantidad de muestra mínima para el ensayo de finos es de 100 g y un aforo de 500 ml.
- Iniciamos secando la muestra en horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  ° C hasta masa constante, aproximando a 0,01 g. Registramos este valor como **A**.

Ejecución del ensayo

- Continuamos colocando la muestra en un vaso de precipitado y seguidamente lo agregamos agua destilada en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra y caliente hasta ebullición.
- Luego, agitamos 4 veces en periodos de 1 minuto por agitación.
- Dejamos decantar por un tiempo mínimo de 10 minutos hasta que el líquido se aprecie transparente y trasparamos el líquido sobrenadante a otro vaso.
- Seguidamente, determinamos en forma separada, en dos tubos de ensayo, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos, detectamos la presencia de cloruros con unas gotas de nitrato de plata, de tal manera que se forma un precipitado blanco de cloruro de plata y la de sulfatos con unas gotas de cloruro de bario, dando un precipitado blanco de sulfato de bario.
- Debemos repetir los pasos desde 1, 2 y 3 de ejecución del ensayo hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes.

- Una vez enfriados, vaciamos todos los líquidos sobrenadantes acumulados, a un matraz aforado y enrasamos con agua destilada y registramos el aforo como **B**.
- Luego, tomamos una alícuota de un volumen entre 50 y 100 ml, de la muestra previamente homogeneizada, del matraz aforado y registre su volumen como **C**.
- Finalmente cristalizamos la alícuota en un horno a  $100 \pm 5$  ° C, hasta masa constante y registre la masa como **D**.

### Cálculos

$$\text{Sales solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B}} \times 100 \quad \text{Ecuación ( 13 )}$$

### Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 17**).

Una vez finalizado los ensayos de control de calidad de los agregados pétreos, continuamos realizando los ensayos y procedimientos obligatorios para determinar las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente (MAC). De acuerdo al Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 2013), tenemos los parámetros Marshall, Inmersión – Compresión y Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta, (véase Tabla 18).

La clase de mezcla para el diseño se consideró la siguiente, clase “A”; esto dependerá de la intensidad y concentración de vehículos que transiten por la carretera.

**Tabla 18**

*Requisitos para mezcla de concreto bituminoso*

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01” (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
<b>Inmersión – Compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
<b>Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283</b>	<b>80 mín.</b>		

Fuente: Manual de ensayo de materiales, MTC Tabla 423-06.

Procedimiento, equipos, materiales y herramientas de los ensayos mencionados en la Tabla 18.

Ensayo Marshall MTC E 504.

Equipos y procedimiento para la preparación de especímenes:

- Molde de compactación (4” de diámetro por 3” de altura, con collar de extensión)
- Martillo de compactación (Con zapata de 3 y 7/8” de diámetro, un peso de 10 lb y una altura de caída de 18 pulgadas)
- Pedestal de compactación (Anclado al piso)
- Prensa de ensayo

- Mordazas (Con su respectiva guía)
- Termómetro
- Estufa
- Bandejas metálicas
- Calentadores
- Baño de maría
- Balanzas
- Espátulas
- Guantes
- Cucharones
- Tamices
- Extractores de muestra

En primer lugar, se preparó los especímenes sin incorporación de caucho granulado.

A continuación, se detalla el procedimiento y cálculos para determinar el óptimo contenido de asfalto (**Mezcla patrón**):

Preparación del agregado:

- Iniciamos con la preparación del agregado, para ello colocamos cada muestra de agregado a utilizar en bandejas diferentes y estas las llevamos hacia el horno a una temperatura de 110°C, por un tiempo de 12 horas o hasta alcanzar masa constante.
- Continuamos realizando la granulometría, tanto del agregado grueso, como del agregado fino, de acuerdo al tipo de MAC que se quiere trabajar (tabla 423.03 de la EG – 2013), para el presente estudio se trabajó con un MAC tipo 2.

- Seguidamente, recogemos los datos de los ensayos de peso específico y absorción, tanto del agregado fino y grueso realizados anteriormente en control de calidad de agregados, (ver **Anexos 15 y 10**).
- Ahora, de los resultados obtenidos del análisis granulométrico (ver **Anexos 19 y 20**), realizamos una combinación teórica de los agregados y polvo mineral, de acuerdo a la especificación MAC 2, (ver **Anexo 21**).
- La combinación de los agregados lo realizamos mediante los “HUSOS”, probando valores por tanteo que se encuentren dentro de las curvas granulométricas establecidas, siempre teniendo en cuenta que el porcentaje de grava no debe ser demasiado bajo por recomendaciones teóricas y juicio de expertos, caso contrario disminuiría su resistencia.
- Al realizar la combinación teórica, realizamos una corrección de la dosificación, es decir, al momento de realizar la distribución adecuada (Método por tanteo), trabajamos o lo hacemos solo con 2 porcentajes.

Ejemplo:

**Tabla 19**

*Ejemplo de primer diseño de combinación de agregado (Grava triturada más arena gruesa)*

<b>Material</b>	<b>Porcentaje</b>
Grava	46%
Arena triturada	54%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia, 2023.

- Como bien sabemos, los porcentajes de CA se encuentran entre el 4.0% y 7.0%, con incrementos de 0.5%, pues lo correcto es que este porcentaje debe estar

incluido dentro del total de la muestra, es decir, el porcentaje de grava, más el porcentaje de arena triturada, más el porcentaje de relleno mineral o filler tiene que sumar 100%.

Ejemplo: Tomando como porcentaje de cemento asfáltico CA = 4.5%

**Tabla 20**

*Ejemplo considerando un contenido óptimo de asfalto del 4.5%*

Material	Porcentaje
Grava	X%
Arena triturada	Y%
CA	4.5%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Donde:

$$X + Y = 100\% - 4.5\% \quad \text{Ecuación ( 14 )}$$

- Entonces, para ello realizamos una corrección de combinación de agregados.

Utilizando las siguientes expresiones.

Tomamos como ejemplo un porcentaje de CA = 4.5%

$$\%Grava = (100\% - 4.5\%) \times \frac{100 - X}{100} \quad \text{Ecuación ( 15 )}$$

$$\%Arena triturada = (100\% - 4.5\%) \times \frac{Y}{100} \quad \text{Ecuación ( 16 )}$$

Donde:

**X** viene a ser el porcentaje de material retenido en el tamiz No. 4.

**Y** viene a ser (100 - X) o porcentaje de material que pasa el tamiz No. 4.

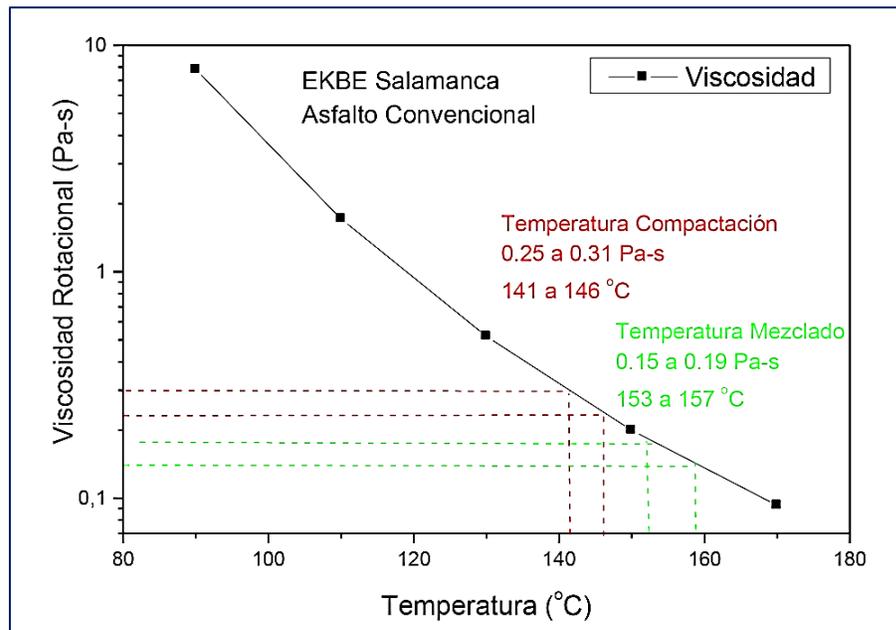
- Seguidamente, ingresamos datos como, peso específico aparente del cemento asfáltico, peso específico aparente del cemento Portland, estos valores los rescatamos de la ficha técnica, asimismo agregamos el peso específico BULK, tanto del agregado fino como grueso, calculados previamente en los ensayos de calidad, (ver **Anexos 15 y 10**).

Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación.

- Una vez que ya tenemos nuestra dosificación o proporción lista de los agregados, procedemos a determinar la temperatura a la cual debe calentarse la mezcla para producir viscosidades de  $0,17 \pm 0,02$  Pa.s y  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s para mezclado y compactado respectivamente. Esta verificación lo realizamos según la carta de viscosidad – temperatura del asfalto Figura 11.

**Figura 11**

*Viscosidad vs Temperatura, se determinan temperatura de mezclado y compactación mediante viscosímetro rotacional*



Fuente: Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación según (ASTM D 2493), Figura 2 (Súrfax, 2018).

#### Preparación de la mezcla:

- Luego que determinamos la temperatura, ya sea de mezclado como de compactación, procedemos a realizar la combinación de la mezcla.
- Iniciamos preparando una cantidad de mezcla de tal manera que nos brinde bachadas múltiples, es decir que contengan suficiente material para tres o cuatro especímenes.
- Para un espécimen compactado de 2.5 pulgadas de altura nominal necesitamos aproximadamente 1200g, entonces, para este caso se preparó la mezcla por cada porcentaje de CA, 4.5%; 5.0%; 5.5%; y 6.0 %. Como tenemos 3 especímenes por contenido de asfalto más uno para el ensayo de gravedad específica teórica máxima (RICE), en este caso se trabajó con bachadas múltiples que alcance para 4 especímenes.

#### Cálculo de cantidad de material en g de acuerdo al porcentaje.

- ✓ Determinamos la cantidad de material en gramos para preparar una bachada múltiple para 4 especímenes con respecto al porcentaje de cada material determinado con anterioridad en el diseño teórico.
- ✓ Como ejemplo se tomará 5.0% de cemento asfáltico, las cantidades se calculan de la siguiente manera.
- ✓ El Manual de Ensayo de Materiales del MTC – 14 nos especifica que para preparar una bachada para un espécimen compactado, necesitamos 1200 g de muestra aproximadamente, como en este caso se va a preparar bachadas múltiples que nos alcance para cuatro especímenes compactados, multiplicamos los 1200g por la cantidad de especímenes.

$$\text{Cantidad de muestra en g} = 1200 \times 4$$

**Ecuación ( 17 )**

- ✓ Necesitamos 4800g de material para preparar 4 briquetas compactadas, ahora, el 5.0% será cemento asfáltico, la diferencia deberá estar compuesta por la grava triturada, arena triturada y relleno mineral o filler.
- ✓ De acuerdo a nuestra combinación teórica, tenemos que:

**Tabla 21**

*Cálculo de porcentaje corregido para determinación de material en gramos para 5.0% de ligante asfáltico*

<b>Porcentaje corregido de material con 5.0% de CA</b>	
Grava triturada (%)	$48.50 \times 0.95 = 46.08$
Arena triturada (%)	$51.20 \times 0.95 = 48.64$
Relleno mineral o filler (%)	$0.30 \times 0.95 = 0.29$
Cemento asfáltico (%)	5.0
<b>Total (%)</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Elaboración propia, 2023.

- ✓ Una vez que se determina los porcentajes de los agregados pétreos en base al 5.0% de CA, se calcula la cantidad de cada material para conseguir 4800 g de mezcla.

**Tabla 22**

*Cantidad de material en gramos (g) en función al porcentaje determinado en la Tabla 20*

<b>Cantidad en g de material para una bachada múltiple de 4 especímenes con 5.0% de CA – 4800g</b>	
Grava triturada (g)	$4800 \times 0.4608 = 2211.8$
Arena triturada (g)	$4800 \times 0.4864 = 2334.7$
Relleno mineral o filler (g)	$4800 \times 0.0029 = 13.9$
Cemento asfáltico (g)	$4800 \times 0.05 = 240.0$
<b>Total (g)</b>	<b>4800</b>

Fuente: Elaboración propia, 2023.

- Luego que se determinó la dosificación en gramos de cada material (véase **Anexo 21**) se procede a realizar la mezcla asfáltica en caliente. Para ello, elevamos la

temperatura tanto del cemento asfáltico como de los agregados pétreos (previamente preparados), a 160°C y 140°C respectivamente.

- Para dar inicio a lo mencionado líneas atrás, pesamos los agregados de acuerdo a la cantidad calculada (ver **Anexo 21**), realizamos la combinación de estos en una bandeja y al mismo tiempo procedemos a calentar con la ayuda de una estufa industrial a la temperatura correspondiente.
- Asimismo, en otra bandeja calentamos el ligante asfáltico a la temperatura adecuada, siempre verificando con el termómetro bimetálico de Dial.
- Una vez que hayan alcanzado la temperatura adecuada, llevamos la combinación de agregados hacia la balanza y procedemos a verter la cantidad de ligante asfáltico calculada para este caso (ver **Anexo 21**) y mezclamos hasta tener una muestra completamente homogénea, asegurándonos que El CA cubra todo el material pétreo.

#### Compactación de las mezclas

- Una vez que se preparó la mezcla, se procedió a limpiar el molde y el pistón con gasolina, de igual modo se los calentó en agua hirviendo a una temperatura entre 90 a 150°C por unos 30 minutos.
- Pasado los 30 minutos, se armó el molde, se colocó su base y collar de extensión e introducimos un papel de filtro o papel no absorbente en la base.
- Cuando ya se tiene listo los 4 moldes, que prácticamente viene a ser el grupo con un contenido de asfalto al 5.0% colocamos con la ayuda de un cucharón aproximadamente 1200g de mezcla en cada molde y se procede a chuzar

aplicando 15 golpes alrededor del perímetro y 10 en su parte inferior. Asimismo, se enrasó los bordes y quitó el exceso de material con una espátula caliente.

- Seguidamente, sujetamos el molde con el arco de ajuste que tiene para tal efecto, se colocó en el pedestal de compactación, se apoyó sobre la mezcla la zapata del pistón y se aplicó 75 golpes en este caso con el martillo compactador.
- Luego de concluir con el número de golpes, retiramos el molde y quitamos la placa de la base y el collar de extensión, invertimos el molde y se vuelve a montar el dispositivo, aplicando el mismo número de golpes a la que ahora es la cara superior de la muestra.
- Ahora, retiramos el molde del pedestal, quitamos el collar y la base y dejamos enfriar a temperatura ambiente durante 12 horas.
- Ser realizó lo mismo para las demás briquetas del grupo de 5.0% de CA, al igual que para los otros grupos con 4.5%; 5.5%; y 6.0% de ligante asfáltico, que solo modifica la dosificación o cantidades de materiales con relación a cada porcentaje de cemento asfáltico.
- Pasado las 12 horas de enfriado, se colocó nuevamente el collar de extensión a cada molde y con ayuda del extractor se retiró cada uno de los especímenes compactados.
- Finalmente, identificamos cada una de las briquetas, (véase **Anexo 22 y fotografía del Anexo 3**) tomamos 4 medidas de su espesor, determinamos el promedio y registramos los datos en nuestros protocolos o fichas de recolección de datos.

- Asimismo, registramos el peso de la briqueta luego de identificarla y tomar sus medidas (peso de la briqueta al aire), (véase **Anexo 22**).
- Después de tomar el peso al aire, sumergimos la briqueta al agua en un baño maría a una temperatura de 25°C por un tiempo de 60 minutos y registramos su peso sumergido (peso de la briqueta al agua) o también conocido como peso saturado superficialmente seco (SSS), (véase **Anexo 22**).
- Luego registramos el peso de la briqueta desplazada, donde sumergimos el espécimen en la canastilla bajo el agua adaptada a una balanza, (véase **Anexo 22**).

Cuando se tienen las muestras compactadas, se procede a realizar los siguientes ensayos en el siguiente orden:

- Determinación del peso específico “Bulk”
- Ensayo de estabilidad y flujo.
- Análisis de la densidad y vacíos.

Iniciamos realizando la determinación del peso específico “Bulk”, para ello usamos la siguiente expresión.

$$G_b = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w} \quad \text{Ecuación ( 18 )}$$

Dónde:

**W<sub>a</sub>** = Peso de la probeta seca en el aire

**W<sub>w</sub>** = Peso de la probeta en el agua

**W<sub>ss</sub>** = Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca

### Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexos 19, 20 y 21**).

Seguidamente procedemos a realizar el ensayo de estabilidad y flujo, el procedimiento se indica a continuación:

- Iniciamos preparando las briquetas para el ensayo estabilidad y flujo Marshall sumergiendo los 4 grupos, que vienen a ser 3 briquetas por cada contenido de asfalto a un baño de agua a 60°C durante un periodo de 45 a 60 minutos.
- Luego preparamos el aparato Marshall, para ello se encargó el personal técnico del laboratorio de realizar el correcto mantenimiento antes de cada ensayo.
- Cuando el aparato de carga Marshall se encuentre listo, retiramos la biqueta del agua y secamos rápida y cuidadosamente su superficie.
- Colocamos la probeta en la mordaza inferior de prueba y la centramos. Luego se procedió a ajustar el anillo superior en posición y se centró el conjunto en el mecanismo de carga.
- Después se colocó el medidor de flujo o también llamado deformímetro sobre la barra – guía marcada y llevamos su aguja a cero.
- Finalmente, aplicamos la carga a la probeta a una velocidad de 2 pulgadas/minuto hasta que ocurra la falla. El valor de la **carga** a la que ocurre la falla lo registramos como **Estabilidad Marshall**.
- Cuando ocurre la falla tomamos la **lectura del medidor de flujo**, que debe estar firmemente en posición sobre la barra guía, dicho valor se denomina como **Flujo** y se expresa en centésimas de pulgada o en unidades de 0,25 mm.

Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexo 27**).

Finalmente, procedemos a realizar el análisis de densidad y vacíos; para lo cual es necesario determinar las siguientes propiedades.

- Seguidamente pasamos a promediar los pesos específicos “bulk” de todas las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto, (ver **Anexos 22, 23 24, 25 y 27**). Para calcular el peso específico promedio del agregado total, usamos la siguiente expresión.

$$G_{agr} = \frac{100}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{P3}{G3} + \dots} \quad \text{Ecuación ( 19 )}$$

**Dónde:**

**P1, P2, P3...** = Porcentajes en peso de cada una de las fracciones de material que intervienen en el total del agregado.

**G1, G2, G3...** = pesos específicos de los materiales a los que corresponden las fracciones anteriormente mencionadas.

- Seguidamente, calculamos el peso específico máximo teórico (RICE) de la muestra para cada porcentaje de asfalto, (ver **Anexos 22, 23 24, 25 y 27**) el cual corresponde al que teóricamente se obtendría si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una masa de asfalto y agregados carente de vacíos con aire, para ello usamos la siguiente expresión.

$$G_{mt} = \frac{100}{\frac{\%agregados}{G_{agr}} + \frac{\%Cementoasfáltico}{G_{asf}}} \quad \text{Ecuación ( 20 )}$$

- Luego calculamos el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta, (ver **Anexos 22, 23 24, 25 y 27**). (Proceso que se repite para cada probeta con distintos % de C.A.).

$$V_{agr} = \frac{\%agregado \times G_b}{G_{agr}} \quad \text{Ecuación ( 21 )}$$

- Posteriormente calculamos el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta, (ver **Anexos 22, 23 24, 25 y 27**). (Proceso que se repite para cada probeta con distintos % de C.A.).

$$V_v = \left( 1 - \frac{G_b}{G_m} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación ( 22 )}$$

- Finalmente, se calcula el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta, (ver **Anexos 22, 23 24, 25 y 27**).

$$V_{ae} = 100 - (V_{agr} + V_v) \quad \text{Ecuación ( 23 )}$$

- Después de determinar todos estos datos ya podemos graficar y sacar conclusiones del diseño óptimo, (ver **Anexo 27**).

#### Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexos 22, 23 24, 25 y 27**).

En segundo lugar, se preparó los especímenes con incorporación de caucho granulado. A continuación, se describe los ensayos y procedimientos realizados para las mezclas asfálticas en caliente (MAC) con incorporación de caucho granulado, que, si bien los pasos son los mismos, con una diferencia en la dosificación de los materiales que se

agrega el caucho granulado en porcentajes de 2.0%, 4.0% y 6.0% con respecto al material fino, (véase Anexos 32 y 33).

Comenzamos realizando la preparación de nuestro agregado que viene a ser los mismos pasos que para la muestra patrón a diferencia que adiciona el ensayo de granulometría del caucho granulado (ver **Anexo 34**). Luego, determinamos la temperatura de mezcla y compactación al igual que el procedimiento para la mezcla patrón (convencional), y continuamos con la preparación de la mezcla con incorporación del caucho.

Preparación de la mezcla:

- Igualmente, iniciamos preparando una cantidad de mezcla de tal manera que nos brinde bachadas múltiples, es decir que contengan suficiente material para tres o cuatro especímenes.
- En este caso trabajamos con el porcentaje de contenido óptimo de asfalto determinado anteriormente (CA = 5.55%), realizando 3 briquetas por cada porcentaje de incorporación de caucho.

Cálculo de cantidad de material en g de acuerdo al porcentaje.

- ✓ Determinamos la cantidad de material en gramos para preparar una bachada múltiple para 3 especímenes por cada incorporación de caucho granulado. En este caso, se determinó para 2.0%.
- ✓ Necesitamos 3600g de material para preparar 3 briquetas compactadas, ahora, el 5.55% será cemento asfáltico, la diferencia deberá estar compuesta por la grava triturada, arena triturada, caucho granulado y relleno mineral o filler.
- ✓ De acuerdo a nuestra combinación teórica, tenemos que:

**Tabla 23**

*Cálculo de porcentaje corregido para determinación de material en gramos para 5.5% de cemento asfáltico (CA)*

<b>Porcentaje corregido de material con 5.55% de CA y 2.0% de caucho granulado</b>	
Grava triturada (%)	$48.50 \times 0.945 = 45.83$
Arena triturada (%)	$50.17 \times 0.945 = 47.41$
Caucho granulado (%)	$1.03 \times 0.945 = 0.97$
Relleno mineral o filler (%)	$0.30 \times 0.945 = 0.28$
Cemento asfáltico (%)	5.55
<b>Total (%)</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Elaboración propia, 2023.

- ✓ Una vez que se determina los porcentajes de los agregados pétreos en base al 5.55% de cemento asfáltico (CA), se calcula la cantidad de cada material para conseguir 3600 g de mezcla.

**Tabla 24**

*Cantidad de material en gramos (g) en función al porcentaje determinado en la Tabla 22*

<b>Cantidad en g de material para 3 especímenes con un contenido asfáltico de 5.55% y 2.0% de caucho granulado – 3600g</b>	
Grava triturada (g)	$3600 \times 0.4583 = 1649.88$
Arena triturada (g)	$3600 \times 0.4741 = 1706.76$
Caucho granulado (g)	$3600 \times 0.0097 = 34.92$
Relleno mineral o filler (g)	$3600 \times 0.0028 = 10.08$
Cemento asfáltico (g)	$3600 \times 0.0555 = 199$
<b>Total (g)</b>	<b>3600</b>

Fuente: Elaboración propia, 2023.

- Luego que se determinó la dosificación en gramos de cada material se procede a realizar la mezcla asfáltica en caliente. Para ello, elevamos la temperatura tanto

del cemento asfáltico como de los agregados pétreos más caucho granulado (previamente preparados), a 160°C y 140°C respectivamente.

- Para dar inicio a lo mencionado líneas atrás, pesamos los agregados más el caucho granulado de acuerdo a la cantidad calculada (véase **Anexo 35**), realizamos la combinación de estos en una bandeja y al mismo tiempo procedemos a calentar con la ayuda de una estufa industrial a la temperatura correspondiente.
- Asimismo, en otra bandeja calentamos el ligante asfáltico a la temperatura adecuada, siempre verificando con el termómetro bimetálico de Dial.
- Una vez que hayan alcanzado la temperatura adecuada, llevamos la combinación de agregados más caucho hacia la balanza y procedemos a verter la cantidad de ligante asfáltico calculado en gramos para este caso (ver **Anexo 35**) y mezclamos hasta tener una muestra completamente homogénea, asegurándonos que el cemento asfáltico (CA) cubra todo el material pétreo.

#### Compactación de las mezclas

- Una vez que se preparó la mezcla, se procedió a limpiar el molde y el pistón con gasolina, de igual modo se los calentó en agua hirviendo a una temperatura entre 90 a 150°C por unos 30 minutos.
- Pasado los 30 minutos, se armó el molde, se colocó su base y collar de extensión e introducimos un papel de filtro o papel no absorbente en la base.
- Cuando ya se tiene listo los moldes, colocamos con la ayuda de un cucharón aproximadamente 1200g de mezcla en cada molde y se procede a chuzar aplicando 15 golpes alrededor del perímetro y 10 en su parte inferior. Asimismo, se enrasó los bordes y quitó el exceso de material con una espátula caliente.

- Seguidamente, sujetamos el molde con el arco de ajuste que tiene para tal efecto, se colocó en el pedestal de compactación, se apoyó sobre la mezcla la zapata del pistón y se aplicó 75 golpes en este caso con el martillo compactador.
- Luego de concluir con el número de golpes, retiramos el molde y quitamos la placa de la base y el collar de extensión, invertimos el molde y se vuelve a montar el dispositivo, aplicando el mismo número de golpes a la que ahora es la cara superior de la muestra.
- Ahora, retiramos el molde del pedestal, quitamos el collar y la base y dejamos enfriar a temperatura ambiente durante 12 horas.
- Ser realizó lo mismo para las demás briquetas con incorporación de caucho granulado en 4.0% y 6.0%, que solo modifica la dosificación o cantidades de materiales con relación a cada porcentaje de cemento asfáltico.
- Pasado las 12 horas de enfriado, se colocó nuevamente el collar de extensión a cada molde y con ayuda del extractor se retiró cada uno de los especímenes compactados.
- Finalmente, identificamos cada una de las briquetas (véase **Anexo 3**), tomamos 4 medidas de su espesor, determinamos el promedio y registramos los datos en nuestros protocolos o fichas de recolección de datos.
- Asimismo, registramos el peso de la biqueta luego de identificarla y tomar sus medidas (peso de la biqueta al aire), (ver **Anexos 36, 38 y 40**).
- Después de tomar el peso al aire, sumergimos la biqueta al agua en un baño maría a una temperatura de 25°C por un tiempo de 60 minutos y registramos su peso

sumergido (peso de la briqueta al agua) o también conocido como peso saturado superficialmente seco (SSS), (ver **Anexos 36, 38 y 40**).

- Luego registramos el peso de la briqueta desplazada, donde sumergimos el espécimen en la canastilla bajo el agua adaptada a una balanza, (ver **Anexos 36, 38 y 40**).

Cuando se tienen las muestras compactadas, se procede a realizar los siguientes ensayos en el siguiente orden:

- Determinación del peso específico “Bulk”
- Ensayo de estabilidad y flujo.
- Análisis de la densidad y vacíos.

Finalmente, se grafica con los datos obtenidos y se determina las ventajas y desventajas que nos brinda la incorporación de caucho granulado, observar **Anexo 43**).

#### Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexos 32 - 44**).

Resistencia al Deslizamiento MTC E 1004.

#### Equipos y materiales:

- Máquina Marshall
- Horno capaz de mantener una temperatura de hasta 176 ° C
- Balanza
- Recipiente
- Baño de agua capaz de mantener una temperatura de 60° C

- Congelador mantenido a  $-18^{\circ}\text{C}$
- Cilindro graduado DE 10 MI
- Suministro de plástico para envolver los especímenes y cinta de embalaje.

#### Procedimiento:

##### Preparación de los especímenes:

- Se preparó 4 especímenes para cada ensayo, 2 se ensayaron en seco y la otra mitad se ensayó después de su saturación parcial y acondicionamiento en baño de agua, (ver **Anexos 45 – 48**).
- La norma nos brinda como dato usar especímenes de 102 mm de diámetro por  $63,5 \pm 2,5$  mm de espesor.
- Se inició preparando las mezclas en bachadas lo suficientemente para la cantidad de especímenes que se desea realizar.
- Se utilizó lo mencionado en el MTC E 513, para la dosificación, mezcla y compactación de los especímenes.
- Ahora, una vez realizada la mezcla controlamos la temperatura de cada espécimen a la deseada para su compactación, esto en un recipiente cerrado, dentro de un horno de 1 a 2 horas.
- Finalmente dejamos enfriar los especímenes en los moldes a la temperatura ambiente para desmoldar y continuar con el procedimiento resumido dentro de las 24 horas siguientes.

##### Procedimiento del Ensayo Resistencia Conservada

- Continuamos determinando la gravedad específica máxima teórica ( $G_{mm}$ ) de acuerdo a lo especificado en el MTC E 508.
- Tomamos medidas del espécimen, determinando inicialmente el espesor ( $t$ ) de acuerdo a MTC E 507, luego continuamos con el registro del diámetro ( $D$ ), esto para todas las muestras según corresponda, (ver **Anexos 45 – 48**).
- Luego determinamos cada gravedad específica bulk ( $G_{mb}$ ) según lo describe el MTC E 514, de tal manera que expresamos el volumen ( $E$ ) de los especímenes, o dicho sea de otro modo el peso saturado con superficie seca menos el peso del agua en  $cm^3$ , (ver **Anexos 45 – 48**).
- Calculamos el porcentaje de vacíos de aire ( $P_a$ ) (ver **Anexos 45 – 48**) de acuerdo a lo descrito en el MTC E 505.
- Asimismo, separamos los especímenes en dos subgrupos de 2 especímenes cada uno, de tal forma que el promedio de vacíos de aire de los dos subgrupos sea aproximadamente igual, (ver **Anexos 45 – 48**).
- Ahora calculamos el volumen de vacíos de aire ( $V_a$ ) en  $cm^3$  solamente para los especímenes que van a ser sujetos a saturación al vacío, (ver **Anexos 45 – 48**).
- Para el caso de los especímenes del subgrupo seco se los almacenó a temperatura ambiente. Ya que luego fueron colocados en un baño de agua a una temperatura de  $25^\circ C$  por un periodo de 2 horas. Además, el agua se debe encontrar como mínimo 25 mm por encima de la superficie.
- Seguimos con el siguiente subgrupo para el cual colocamos el espécimen en el contenedor de vacío soportado un mínimo de 25 mm por encima de la base del contenedor por medio de un espaciador perforado, llenamos el contenedor con

agua potable a la temperatura ambiente de tal forma que los especímenes tengan al menos 25 mm de agua encima de su superficie y aplicar un vacío de 13-67 KPa de presión absoluta (10-26 pulg de Hg de presión parcial) por un tiempo de 5 a 10 minutos, luego removemos el vacío y dejamos el espécimen sumergido por 10 minutos.

- Seguidamente debemos determinar el peso del espécimen saturado con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B') mediante el Método MTC E 514 y calculamos el volumen absorbido de agua (J') en cm<sup>3</sup>, (ver **Anexos 45 – 48**).
- Asimismo, determinamos el grado de saturación (S') comparando el volumen del agua absorbida (J') con el volumen de vacíos de aire (V<sub>a</sub>).
- Ahora, si el grado de saturación se encuentra entre 70 y 80% proceder con lo siguiente.
- Sabemos que si el grado de saturación es menor a 70% debemos repetir el procedimiento empezando con el baño de agua empleando más vacío y/o tiempo. Por otro lado, si el grado de saturación es mayor a 80%, el espécimen se ha dañado y debe ser descartado. En este caso repetimos el procedimiento igualmente desde el baño de agua, pero en este caso empleando menos vacío y/o tiempo.
- Inmediatamente después de chequear la saturación se acondicionan los especímenes parcialmente saturados, colocándolos en un baño de agua destilada a  $60 \pm 1^\circ \text{C}$  por  $24 \pm 1$  horas.
- Después de un tiempo de 24 horas en el baño de agua a una temperatura de  $60^\circ \text{C}$ , removemos los especímenes y los colocamos en un baño de agua por un

periodo de 2 horas. Cabe mencionar que los especímenes deben tener un mínimo de 25 mm de agua por encima de su superficie. Puede ser necesario adicionar hielo al baño de agua para prevenir que la temperatura de esta se eleve por encima de los 25°C, esto por un tiempo no más de 15 minutos serán requeridos para que el agua del baño alcance los 25° C. Finalmente removemos los especímenes y los ensayamos.

- Se determina el esfuerzo de tensión indirecta de los especímenes secos y acondicionados a 25° C.
- Empezamos removiendo los especímenes del baño de agua de 25° C y determinando su espesor ( $t'$ ) de acuerdo al MTC E 507. Luego lo colocamos entre las cintas de carga de acero y ubicamos el conjunto entre las dos placas de apoyo de la máquina de ensayo, siempre teniendo en cuenta que se debe tomar cuidado de tal forma que la carga sea aplicada a lo largo del diámetro del espécimen. Aplicar la carga a los especímenes por medio de una razón constante de movimiento del cabezal de la máquina de ensayo, a 50 mm (2 pulg) por minuto.
- Finalmente, registramos el esfuerzo a compresión máximo obtenido en la máquina de ensayo de esta manera continuamos cargando hasta que aparezca una fisura vertical. Una vez se observa lo mencionado rápidamente quitamos el espécimen de la máquina y lo abrimos por la fisura con la finalidad de inspeccionar su interior para evidenciar si hay agregados figurados o fracturados, visualmente estimar el grado aproximado del daño por la humedad en una escala del 0 al 5 (con 5 como el de mayor desprendimiento).

### Análisis de datos:

Ver procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo en (ver **Anexos 45 – 48**).

### **Aspectos Éticos**

En la presente investigación se empleó artículos de páginas reconocidas y confiables, así como también tesis obtenidas del repositorio de la Universidad Privada del Norte (UPN), sedes Cajamarca, Trujillo y Lima; todas las fuentes están citadas y referenciadas correctamente, además, se utilizó el “Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción – EG 2013”. Este estudio siguió los parámetros de la séptima edición del estándar APA; asimismo, se siguió todos los valores que un investigador debe observar, es decir nos basamos en el método científico, después de un determinado procedimiento y análisis de resultados obtenidos, estos fueron presentados sin alterar los datos que nos pueda beneficiar, y con el permiso y valides de las instituciones de donde se recopiló la información.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

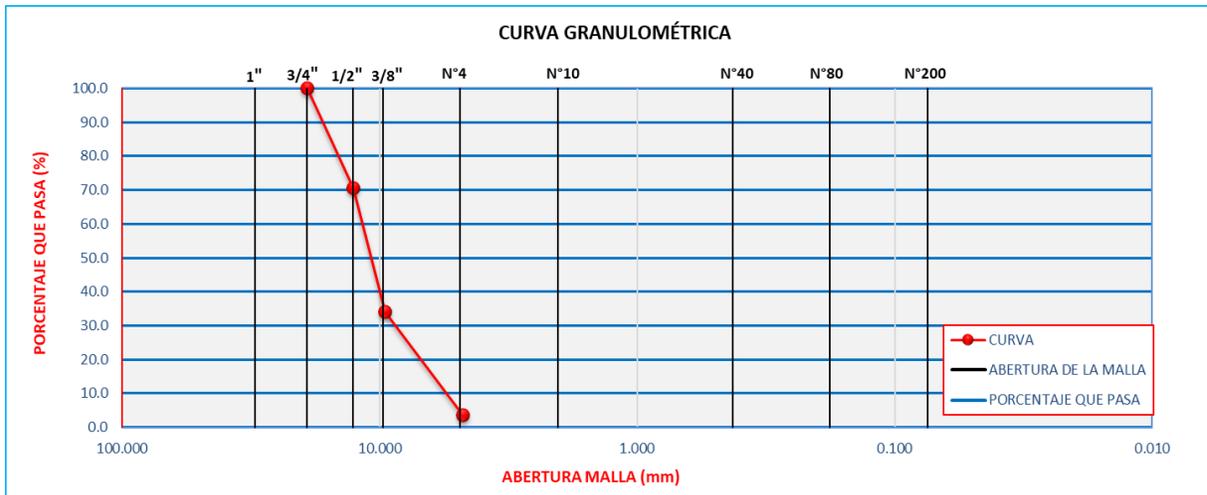
**Resultado de los ensayos calidad del agregado grueso y fino para una mezcla asfáltica en caliente.**

Se detalla los resultados obtenidos en los ensayos de calidad del agregado grueso.

Granulometría (MTC D 422).

**Figura 12**

*Granulometría agregado grueso*



*Nota.* La **Figura 12** muestra la granulometría del agregado grueso, considerando que la curva está dentro de los parámetros establecidos en las especificaciones para una mezcla asfáltica en caliente.

Durabilidad (Al Sulfato de Magnesio) MTC E 209.

**Tabla 25**

*Resultado Durabilidad al sulfato de Magnesio del agregado grueso*

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO (MTC E 209)								
ANÁLISIS CUANTITATIVO								
AGREGADO GRUESO								
Tamaño		Gradación original (%)	Peso Requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)
Pasa	Retiene					Peso (gr)	%	
2 1/2"	2"		3000±300					
2"	1 1/2"		2000±200					
1 1/2"	1"		1000±50					
1"	3/4"		500±30					
3/4"	1/2"	30.5	670±10	670.0	623.1	46.9	7.0	2.13
1/2"	3/8"	37.9	330±5	300.0	282.7	17.3	5.8	2.19
3/8"	N°4	31.6	300±5	300.0	278.0	22.0	7.3	2.32
<b>TOTAL (%)</b>								<b>6.64</b>

*Nota.* En la **Tabla 25** se puede apreciar que la durabilidad de nuestro agregado grueso al sulfato de magnesio fue de 6.64%. Cabe resaltar que este ensayo se realizó según lo establecido en la norma MTC E 209.

Abrasión Los Ángeles MTC E 207.
**Tabla 26**
*Resultado Abrasión de los Ángeles*

<b>ABRASIÓN LOS ÁNGELES (MTC E 207)</b>		
<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Gradación</b>	“B”	“B”
<b>Peso Muestra</b>	5003	5005
1 ½” - 1”		
1” - ¾”		
¾” - ½”	2500	2501
½” - 3/8”	2503	2504
3/8” - ¼”		
¼” - N° 4		
N° 4 – N° 8		
Retenido N°12	3050	3110
Pasa N° 12	1953	1895
% Desgaste	39.0	37.9
<b>Promedio</b>	<b>38.4%</b>	

*Nota.* Como se puede apreciar en la **Tabla 26** en este ensayo de abrasión de nuestro agregado grueso utilizando la máquina de los ángeles obtuvimos un porcentaje de desgaste promedio de 38.4%.

Partículas Chatas y Alargadas Agregado Grueso MTC E 223 (ASTM 4791).

**Tabla 27**

*Resultado Partículas Chatas Alargadas*

<b>PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (ASTM D 4791)</b>						
<b>Tamaño del agregado</b>		<b>Muestra total (gr)</b>	<b>Partículas chatas (g)</b>	<b>% de partículas Chatas</b>	<b>Porcentaje Parcial</b>	<b>Promedio de partículas chatas</b>
<b>Pasa tamiz</b>	<b>Retenido Tamiz</b>					
2"	1 ½"					
1 ½"	1"					
1"	¾"					
¾"	½"	500.3	21.3	4.3	43.46	1.85
½"	3/8"	345.8	23.2	6.7	30.04	2.02
3/8"	¼"	305.0	17.2	5.6	26.50	1.49
<b>Peso total de muestra (gr)</b>		<b>1151.1</b>		<b>Promedio Total</b>		<b>5.36%</b>

*Nota.* En el ensayo de partículas Chatas y Alargadas según la ASTM D 4791 como lo muestra la **Tabla 27**, utilizamos 1151.1 g de muestra de nuestro agregado grueso del cual obtuvimos un promedio total del 5.36 % partículas chatas.

Caras Fracturadas MTC E 210.

**Tabla 28**

*Resultado con una o más Cara Fracturada*

<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (MTC E 210)</b>						
<b>Porcentaje con una o más caras fracturadas</b>						
<b>Tamaño del agregado</b>		<b>Muestra total (gr)</b>	<b>Partículas chatas (g)</b>	<b>% de partículas Chatas</b>	<b>Porcentaje Parcial</b>	<b>Promedio de partículas chatas</b>
<b>Pasa tamiz</b>	<b>Retenido Tamiz</b>					
1 ½"	1"					
1"	¾"					
¾"	½"	500.3	489.0	97.7	43.46	42.48
½"	3/8"	345.8	303.0	87.6	30.04	26.32
3/8"	¼"	305.0	249.0	81.6	26.50	21.63
<b>Peso Total de muestra (gr)</b>		<b>1151.1</b>		<b>Promedio Total</b>		<b>90.44%</b>

*Nota.* En el ensayo de Cara Fracturada según MTC E 210 como lo muestra la **Tabla 28**, utilizamos 1151.1 gr de muestra de nuestro agregado grueso del cual obtuvimos un promedio total del 90.44 % con una o más caras fracturadas.

**Tabla 29**

*Resultado con dos o más Cara Fracturada*

<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (MTC E 210)</b>						
<b>Porcentaje con dos o más caras fracturadas</b>						
<b>Tamaño del agregado</b>		<b>Muestra total (gr)</b>	<b>Partículas chatas (g)</b>	<b>% de partículas Chatas</b>	<b>Porcentaje Parcial</b>	<b>Promedio de partículas chatas</b>
<b>Pasa tamiz</b>	<b>Retenido Tamiz</b>					
1 ½"	1"					
1"	¾"					
¾"	½"	500.3	421.4	84.2	43.46	36.61
½"	3/8"	345.8	248.1	71.7	30.04	21.55
3/8"	¼"	305.0	195.5	64.1	26.50	16.98
<b>Peso Total de muestra (gr)</b>		<b>1151.1</b>		<b>Promedio Total</b>		<b>75.15%</b>

*Nota.* En este caso como lo muestra la **Tabla 29**, también utilizamos 1151.1 g de muestra de nuestro agregado grueso del cual obtuvimos un promedio total del 75.15 % con dos o más caras fracturadas.

Sales Solubles en agregados gruesos MTC E 219.

**Tabla 30**

*Resultado sales solubles Totales Agregado Grueso*

<b>SALES SOLUBLES TOTALES (MTC E 219)</b>		
<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>	
Contenido de Sales Solubles	ppm	%
	907.0	<b>0.09</b>

*Nota.* Las sales solubles totales obtenidas en este ensayo del agregado grueso como lo muestra la **Tabla 30** fue de 0.09% de partículas por millón.

Absorción MTC E 206.

**Tabla 31**

*Resultado gravedad específica y Absorción del Agregado Grueso*

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E 206)</b>				
<b>AGREGADO GRUESO</b>				
<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>Promedio</b>	
<b>A</b> Peso del mat. sat. Superf. seco (en el aire) (g)	2406.0	2389.0		
<b>B</b> Peso del mat. sat. Superf. seco (en el agua) (g)	1418.5	1468.4		
<b>C</b> Vol. de masa + Vol. de vacíos (cc)	987.5	920.6		
<b>D</b> Peso del material seco en el horno (105°C) (g)	2379.0	2361.0		
<b>E</b> Vol. De masa (g)	960.5	892.6		
<b>F</b> Peso específico bulk (base seca) (g./cc)	2.409	2.565	<b>2.487</b>	
<b>G</b> Peso específico bulk (base saturada) (g./cc)	2.436	2.595	<b>2.516</b>	
<b>H</b> Peso específico aparente (base seca) (g./cc)	2.477	2.645	<b>2.561</b>	
<b>I</b> % de absorción	1.13	1.19	<b>1.2</b>	

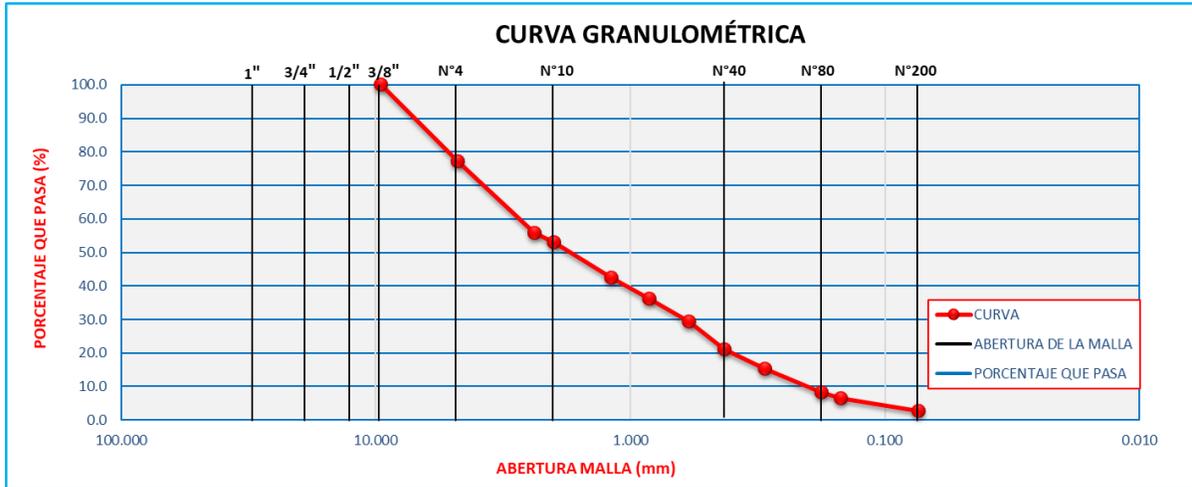
*Nota.* El este ensayo se trabajó con dos muestras como lo muestra la **Tabla 31** en la cual en una obtuvimos un porcentaje de absorción de 1.13 y en la otra 1.19 por lo que el resultado final de absorción fue el promedio de las dos muestras 1.2%.

Se detalla los resultados obtenidos en los ensayos de calidad del agregado fino.

Análisis Granulométrico.

**Figura 13**

*Granulometría Agregado Fino*



*Nota.* La **Figura 13** muestra la granulometría del agregado fino, considerando que la curva está dentro de los parámetros establecidos por las especificaciones para una mezcla asfáltica en caliente.

Equivalente de arena MTC E 114.

**Tabla 32**

*Resultado Equivalente de Arena*

<b>EQUIVALENTE DE ARENA (MTC E 114)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Muestras</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Tamaño máximo (pasa malla N. <sup>a</sup> 4) (mm)	4.76	4.76	4.76
Hora de entrada a saturación	09:15	09:23	9.36
Hora de salida de la Saturación (10´)	09:25	09:33	09:46
Hora de entrada a decantación	09:27	09:35	09:48

**EQUIVALENTE DE ARENA (MTC E 114)**

Descripción	Muestras		
	1	2	3
Hora de entrada a decantación (20´)	09:47	09.45	10.08
Lectura inicial (plg)	5.90	6.10	5.80
Lectura final (plg)	4.60	4.70	4.50
Equivalente de arena	78.0	77.0	77.6
<b>Promedio</b>	<b>77.5%</b>		

*Nota.* El este ensayo se trabajó con tres muestras como lo muestra la **Tabla 32** en la cual en una obtuvimos un porcentaje de 78.0, en la otra 77.0 y en la tercera 77.6 por lo que el resultado final fue el promedio de las tres muestras obteniendo 77.5 % como equivalente de arena.

Gravedad Especifica o absorción del agregado fino (MTC E 205).
**Tabla 33**

*Resultado gravedad específica y absorción del agregado fino*

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E 205)			
Agregado Fino			
Muestra	1	2	Promedio
<b>A</b> Peso del mat. sat. Superf. seco (en el aire) (g)	500.00	500.00	
<b>B</b> Peso de la fiola calibrada con agua (g)	655.49	655.49	
<b>C</b> Peso fiola con agua + peso del mat. s.s.s (g)	1155.49	1155.49	
<b>D</b> Peso del mat. + peso fiola + H <sub>2</sub> O (g)	965.96	966.63	
<b>E</b> Vol. de masa + vol. de vacíos	189.53	188.86	
<b>F</b> Peso mat. seco en el horno (105°C) (g)	493.10	494.60	
<b>G</b> Vol. de masa (g)	182.63	183.46	
<b>H</b> Peso específico bulk (base seca) (F/E)	2.602	2.617	<b>2.609</b>
<b>I</b> Peso específico bulk (base saturada) (A/E))	2.638	2.647	<b>2.643</b>
<b>J</b> Peso específico aparente (base seca)	2.700	2.699	<b>2.699</b>
<b>K</b> % de absorción	1.40	1.15	<b>1.3</b>

*Nota.* Para este ensayo se trabajó con dos muestras como lo muestra la **Tabla 33** en la cual en una obtuvimos un porcentaje de absorción de 1.40 y en la otra 1.15 por lo que el resultado final de absorción fue el promedio de las dos muestras 1.3 %.

Azul de Metileno Agregado Fino MTC E (AASHTO TP 57).

**Tabla 34**

*Resultado Azul de Metileno del Agregado Fino*

AZUL DE METILENO (AASHTO TP 57)		
Ensayo	Resultados	
Contenido de reactividad	Mg/g 5.0	Und. mg/g

*Nota.* El contenido de reactividad obtenidas en este ensayo del agregado fino como lo muestra la **Tabla 34** fue de 5 mg/g.

Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) MTC E 209.

**Tabla 35**

*Resultado Durabilidad al sulfato de Magnesio del Agregado Fino*

DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO (MTC E 209)									
ANÁLISIS CUANTITATIVO									
AGREGADO FINO									
Tamaño		Gradación	Peso Requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	
Pasa	Retiene	original (%)				Peso (gr)	%		
3/8"	N°4	32.8	100	100	93.1	6.9	6.9	2.27	
	N°4	N°8	31.1	100	100	97.0	3.0	3.0	0.93
	N°8	N°16	15.3	100	100	95.2	4.8	4.8	0.73
	N°16	N°30	8.8	100	100	93.1	6.9	6.9	0.68
	N°30	N°50	8.4	100	100	96.8	3.2	3.2	0.27
	N°50	N°100	2.5	100	100	91.3	8.7	8.7	0.22
<b>TOTAL (%)</b>									<b>5.10</b>

*Nota.* En la **Tabla 35** se puede apreciar que la durabilidad de nuestro agregado fino al sulfato de magnesio fue de 5.10% sumando el porcentaje de la pérdida retenida en cada tamiz. Cabe resaltar que este ensayo se realizó según la norma MTC E 209.

Sales solubles en agregado fino MTC E 219.

**Tabla 36**

*Resultado Sales Solubles del Agregado Fino*

<b>SALES SOLUBLES TOTALES (MTC E 219)</b>		
<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>	
Contenido de Sales Solubles	ppm	%
	766.0	<b>0.076</b>

*Nota.* Las sales solubles totales obtenidas en este ensayo del agregado fino como lo muestra la **Tabla 36** fue de 0.076% de partículas por millón.

**Resultado del contenido óptimo de asfalto a través de los parámetros Marshall para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.**

Aquí se muestra los resultados obtenidos en los ensayos asfálticos, desde la granulometría de la combinación de los agregados hasta la prueba Marshall.

Prueba Marshall.

Diseño Marshall patrón (Asfalto Convencional):

Los procedimientos de estos ensayos se realizaron bajo la normativa MTC E 504. Se realizaron 3 briquetas por cada diseño, más una para el ensayo RICE, en este caso iniciamos con la granulometría de los agregados combinados, sabiendo que los agregados (grueso y fino) cumplen con los requerimientos exigidos por el Manual de Carreteras del MTC – EG 2013.

**Tabla 37**
*Combinación de agregados para mezcla patrón*

Tamiz ASTM	Análisis Granulométrico					
	Aber. (mm)	Grava	Arena	Caucho	Filler	% Pasa
1"	25.400					
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.700	70.6	100.0	100.0	89.7	70.6
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
N° 4	4.760	3.4	77.3	100.0	51.5	3.4
N° 6	3.360					
N° 8	2.380	-	55.8	100.0	36.4	-
N° 10	2.000					
N° 16	1.190					
N° 20	0.840					
N° 30	0.590					
N° 40	0.426					
N° 50	0.297		15.3	98.0	10.2	
N° 80	0.177					
N° 100	0.149					
N° 200	0.074		4.9	95.0	3.5	
-200	-					

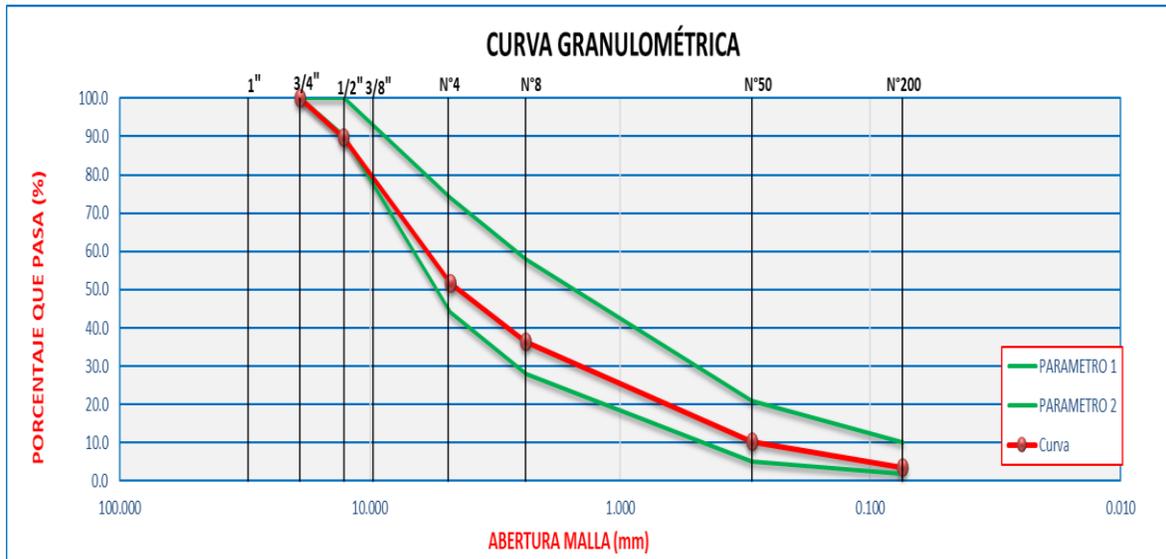
**Tabla 38**
*Tabla de resumen de combinación de agregados*

Tabla de Resumen	
Agregado grava triturada TM 3/4" (%)	35.0
Agregado arena triturada (%)	64.7
Filler (%)	0.3

*Nota.* En esta **Tabla 38** podemos apreciar la granulometría de la combinación de agregados y el filler en donde se pudo obtener que el porcentaje de agregado grueso de la mezcla será de 35%, agregado fino 64.7% y filler 0.3%. Cabe resaltar que cada briqueta tendrá un peso aproximado de 1200 g.

**Figura 14**

*Análisis Granulométrico (Combinación de Agregados)*



*Nota.* La **Figura 14** muestra la granulometría de la combinación de agregados, considerando que la curva está dentro de los parámetros establecidos en la norma para una mezcla asfáltica en caliente.

Después que determinamos la proporción de agregados, se procedió a determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico en la mezcla mediante el ensayo Marshall, con la elaboración de briquetas de distintos porcentajes de ligante, para obtener de esta manera los parámetros Marshall. Los porcentajes de asfalto fueron (4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%).

**Tabla 39**

*Resumen Ensayo Marshall con diferente % de Contenido de asfalto de muestras patrón*

<b>Resumen ensayo Marshall con diferente porcentaje de Cemento Asfáltico (CA) PEN (85 -100)</b>				
<b>%C.A.</b>	4.5	5.0	5.5	6.0
<b>P.U. Briqueta</b>	2.313	2.330	2.344	2.341
<b>Vacíos</b>	6.7	4.9	3.7	3.1
<b>V.M.A.</b>	14.4	14.3	14.2	14.7
<b>V.LL.A.</b>	53.2	65.7	74.1	79.3
<b>Polvo/Asfalto</b>	1.02	0.84	0.76	0.68
<b>Flujo</b>	10.7	11.7	12.7	14.0
<b>Estabilidad</b>	11.1	10.7	9.8	8.7
<b>Estabilidad/Flujo</b>	4176	3670	3108	2479

*Nota.* En la **Tabla 39** se observa las características Marshall de la mezcla asfáltica convencional para cada porcentaje de asfalto. Para un 4.5% de contenido de asfalto (CA) se obtiene un porcentaje de vacíos de 6.7, un porcentaje de vacíos del agregado mineral (V.M.A) de 14.4%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.A) de 53.2%, flujo 10.7 mm y estabilidad de 11.1 KN, ahora si se utiliza 5.0% de contenido de asfalto (CA) se obtiene porcentaje de vacíos de 4.9, un porcentaje de vacíos del agregado mineral (V.M.A) de 14.3%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.A) de 65.7%, flujo 11.7 mm y estabilidad de 10.7 KN, con 5.5% de contenido de asfalto (CA) se obtiene un porcentaje de vacíos de 3.7, un porcentaje de vacíos del agregado mineral (V.M.A) de 14.2%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.A) de 74.1%, flujo 12.7 mm y estabilidad de 9.8 KN y finalmente para 6% de contenido de asfalto (CA) se obtiene un porcentaje de vacíos de 3.1%, de 14.7%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.A) de 79.3%, flujo 14 mm y estabilidad de 8.7 KN.

Con estos valores se obtuvo un contenido óptimo de asfalto (%CA) el cual fue de **5.55%**.

**Resultado de los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica patrón (convencional) y de la mezcla con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado de neumático según la Tabla 423-06 (requisitos para un concreto bituminoso).**

Ensayo Marshall.

Muestra Patrón:

Una vez obtenido el contenido óptimo de asfalto después realizar varios las distintas propiedades del asfalto, reemplazando en la fórmula obtenida a través de las (**Figuras 15 – 21**) el valor de X por 5.55%.

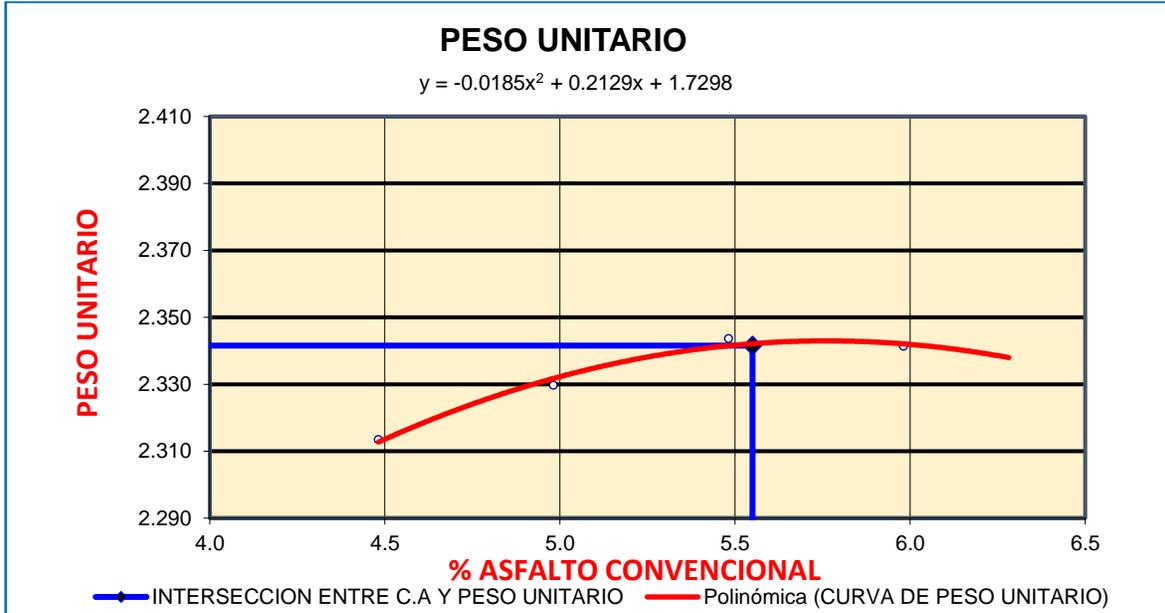
**Tabla 40**

*Diferente porcentaje de contenido de asfalto de muestras patrón*

<b>Resumen ensayo Marshall con diferente porcentaje de cemento asfáltico PEN (85 - 100)</b>				
<b>%C.A.</b>	4.5	5.0	5.5	6.0
<b>P.U. Briqueta</b>	2.313	2.330	2.344	2.341
<b>Vacíos</b>	6.7	4.9	3.7	3.1
<b>V.M.A.</b>	14.4	14.3	14.2	14.7
<b>V.LL.A.</b>	53.2	65.7	74.1	79.3
<b>Polvo/Asfalto</b>	1.02	0.84	0.76	0.68
<b>Flujo</b>	10.7	11.7	12.7	14.0
<b>Estabilidad</b>	11.1	10.7	9.8	8.7
<b>Estabilidad/Flujo</b>	4176	3670	3108	2479
	<b>X</b>		<b>Y</b>	

**Figura 15**

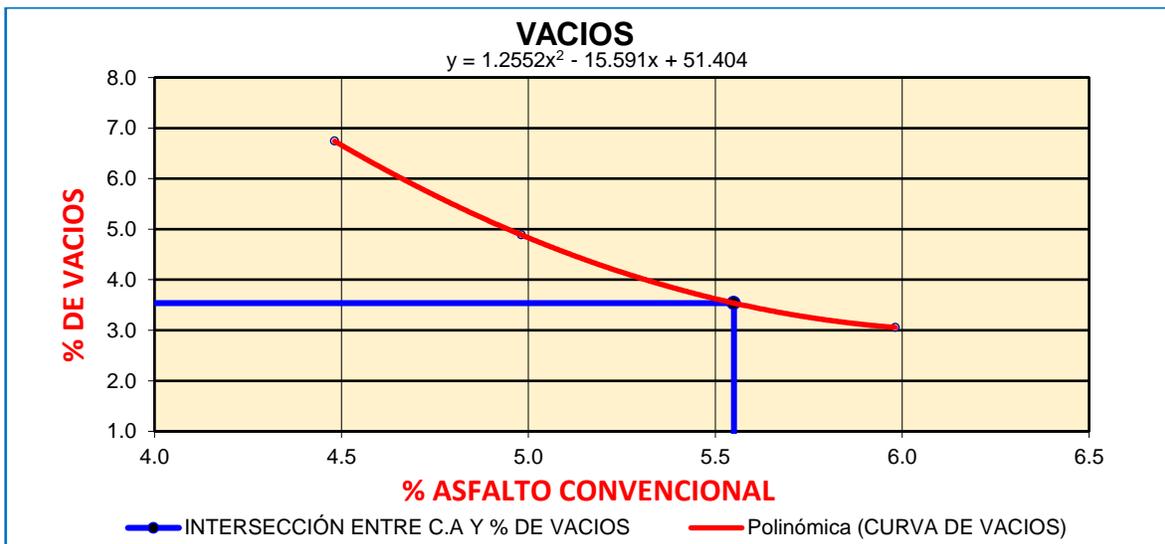
*Gráfica Peso unitario de Briqueta VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA)*



*Nota.* En esta gráfica que muestra la **Figura 15** podemos apreciar el peso unitario de la briqueta la cual es de 2.342 kg/m<sup>3</sup> se obtiene al interceptar el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.55% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus pesos unitarios respectivos.

**Figura 16**

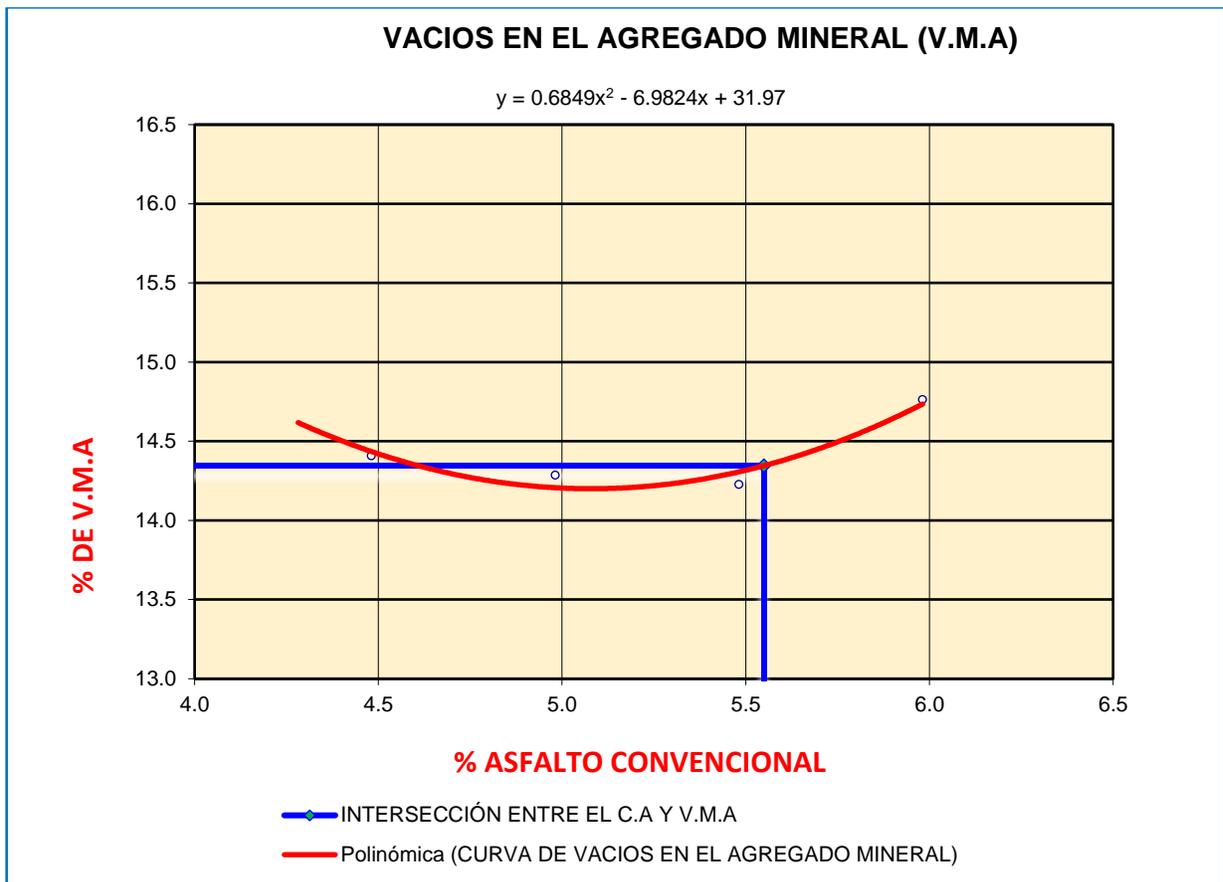
*Gráfica Porcentaje de Vacíos VS porcentaje de contenido de asfalto (CA)*



*Nota.* En la gráfica que muestra la **Figura 16** podemos apreciar el porcentaje de vacíos de la briqueta la cual es de 3.5 % esto se obtiene al interceptar el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.55% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus porcentajes de vacíos.

**Figura 17**

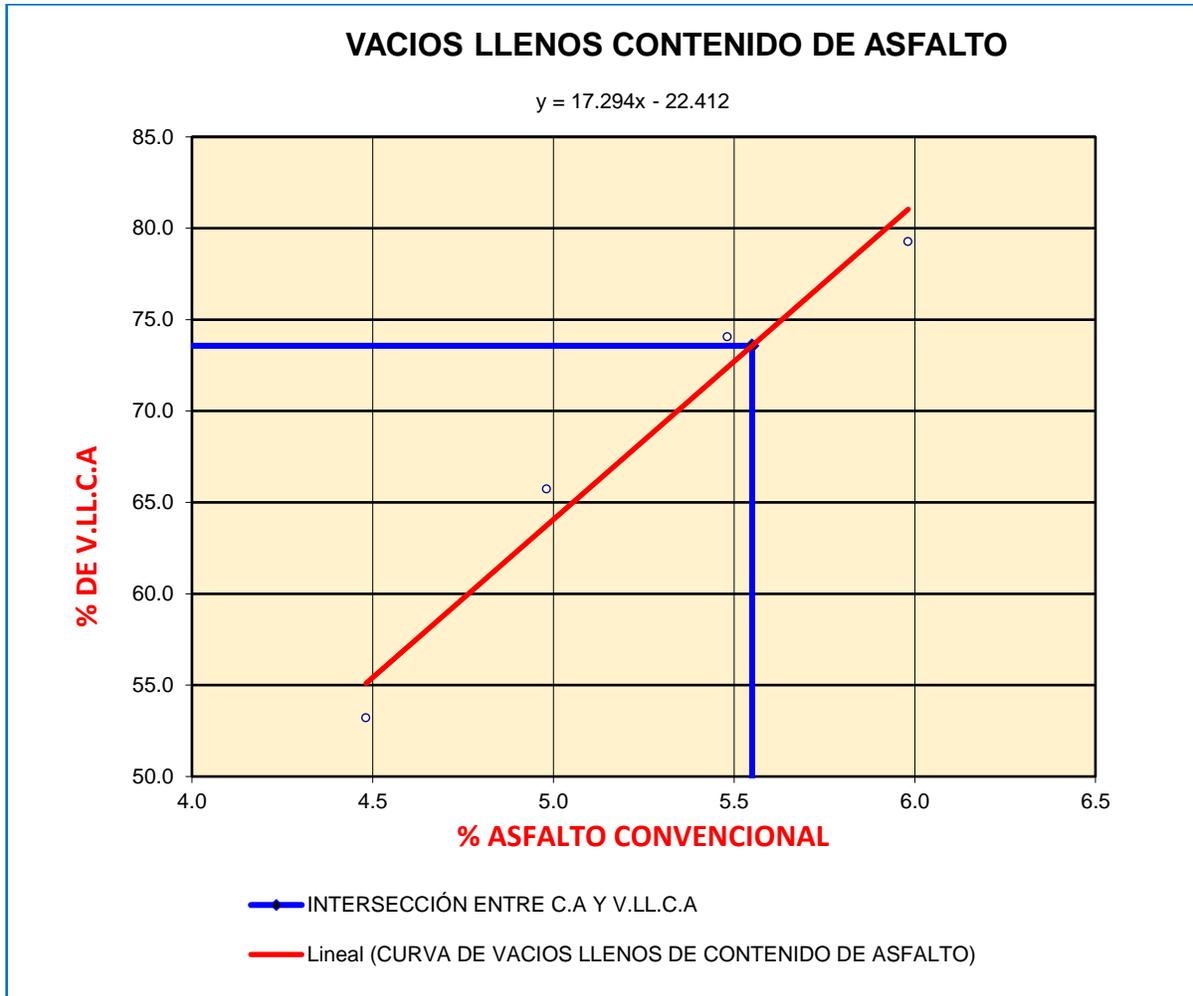
*Gráfica Porcentaje de Vacíos en el Agregado mineral VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA)*



*Nota.* En esta gráfica que muestra la **Figura 17** podemos apreciar el porcentaje de vacíos del agregado mineral la cual es de 14.3 % esto se obtiene al interceptar el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.55% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus porcentajes de vacíos de agregado mineral.

**Figura 18**

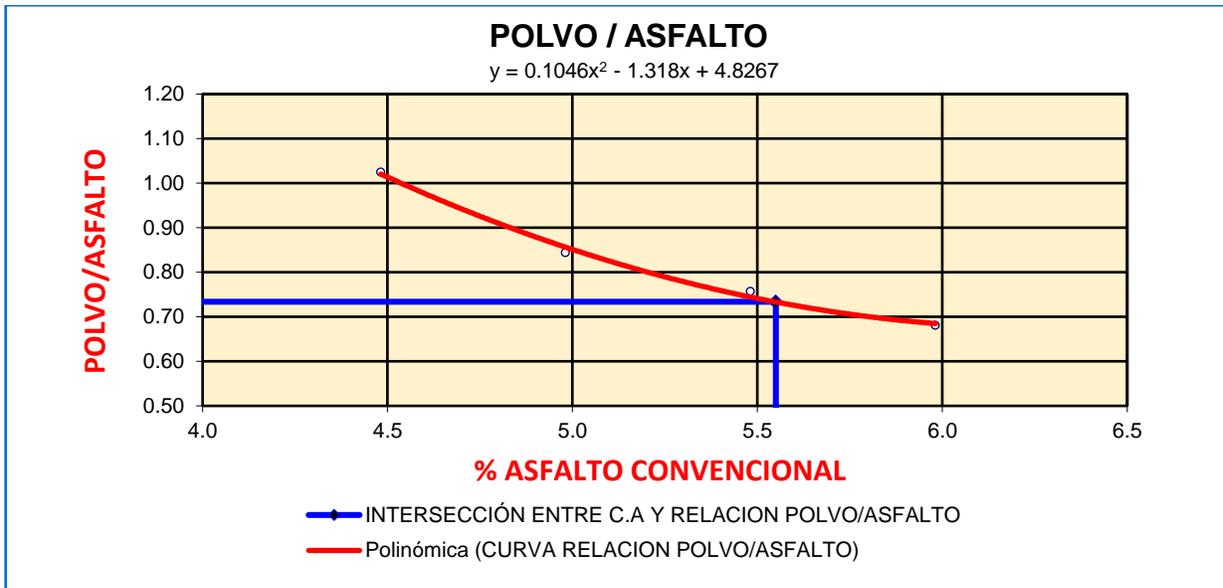
Gráfica de Porcentajes de Vacíos llenos de C.A VS Porcentaje de contenido de asfalto  
(CA)



*Nota.* En esta gráfica que muestra la **Figura 18** podemos apreciar el porcentaje de vacíos llenos de asfalto el cual es de 73.6 % esto se obtiene al interceptar el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.55% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus porcentajes de vacíos llenos de asfalto.

**Figura 19**

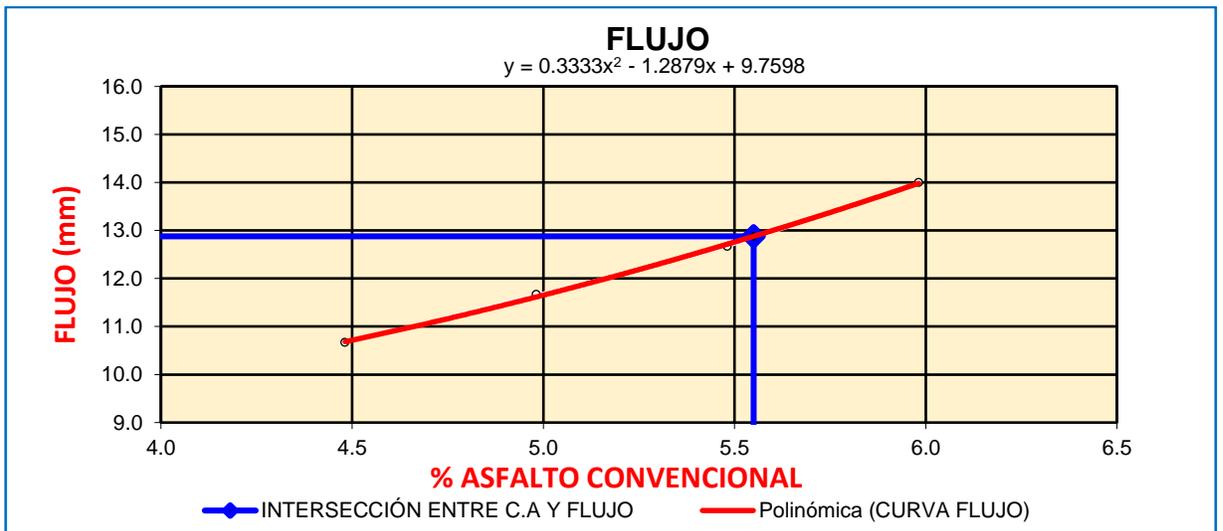
Gráfico relación Polvo/Asfalto VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA)



Nota. En esta gráfica que muestra la **Figura 19** podemos apreciar la relación polvo/asfalto el cual es de 0.73 % esto se obtiene al interceptar el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.55% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus porcentajes de relación Polvo/Asfalto.

**Figura 20**

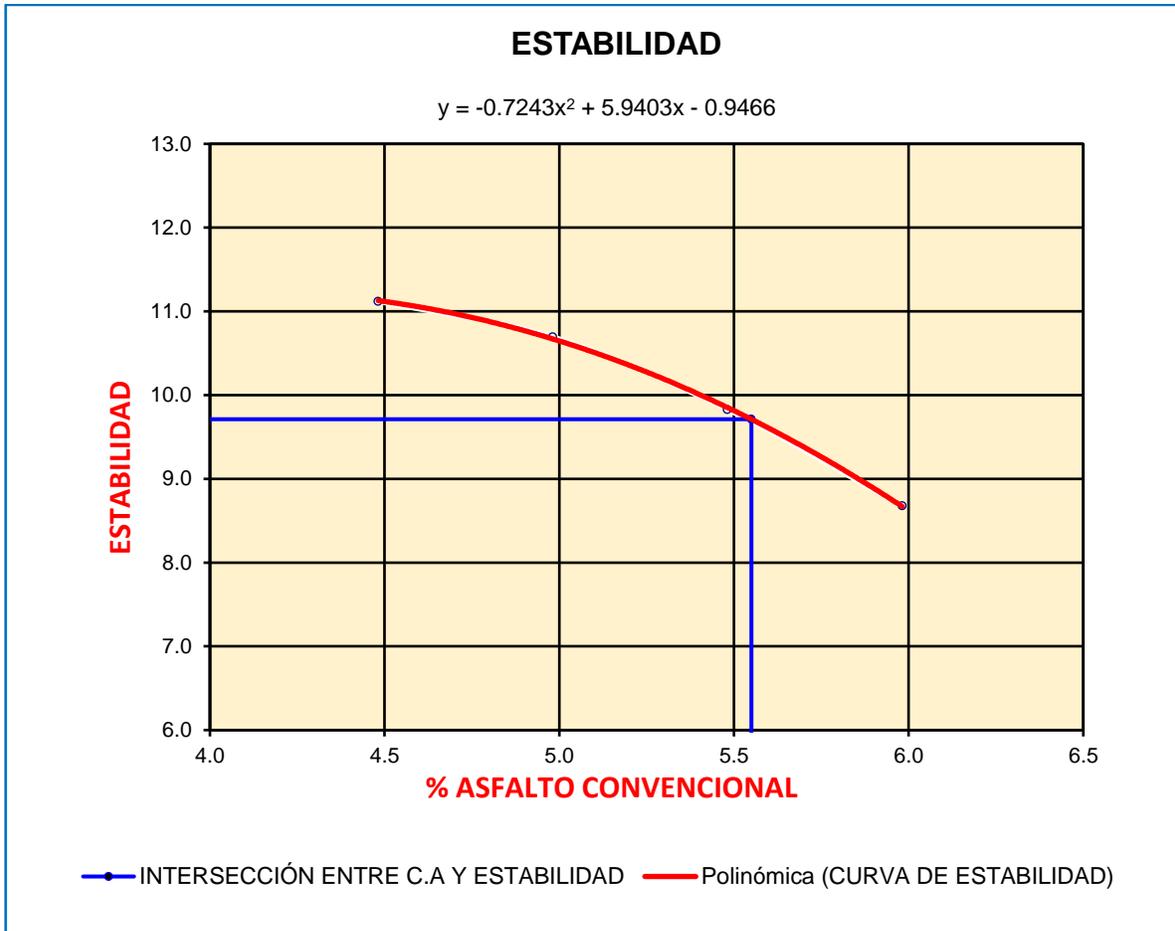
Gráfica Flujo VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA)



*Nota.* En esta gráfica que muestra la **Figura 20** podemos apreciar el Flujo (mm) el cual es de 12.9 esto se obtiene al interceptar el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.55% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus respectivos flujos.

**Figura 21**

*Gráfica Estabilidad VS Porcentaje de contenido de asfalto (CA)*



*Nota.* En esta gráfica que muestra la **Figura 21** podemos apreciar la estabilidad la cual es de 9.71 KN esto se obtiene al interceptar el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.55% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus respectivas estabilidades.

**Tabla 41**

*Parámetros Marshall con Contenido Óptimo de Asfalto de muestras patrón*

<b>RESUMEN DEL MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO</b>			
<b>Parámetros de Diseño</b>	<b>-0.2%</b>	<b>% óptimo</b>	<b>+0.2%</b>
Golpes N°		<b>75.0</b>	
Cemento Asfáltico %	5.35	<b>5.55</b>	5.75
Peso Unitario Kg/m <sup>3</sup>	2.339	<b>2.342</b>	2.342
Vacíos %	3.9	<b>3.5</b>	3.3
V.M.A. %	14.2	<b>14.3</b>	14.5
V.LL.C.A. %	70.2	<b>73.6</b>	77.1
Polvo/asfalto %	0.77	<b>0.73</b>	0.71
Flujo (mm)	12.4	<b>12.9</b>	13.4
Estabilidad (kn)	10.1	<b>9.7</b>	9.3
Estabilidad/flujo (kg/cm <sup>2</sup> )	3256.5	<b>3016.5</b>	2770.4

*Nota.* En la **Tabla 41** se observa los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica convencional para el contenido óptimo de asfalto hallado el cual fue de 5.5%. con este contenido de asfalto (CA) se obtuvo un porcentaje de vacíos de 3.0, porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M. A) de 14.3%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C. A) de 73.2%, flujo 12.9 mm, estabilidad de 9.7 KN, una relación estabilidad/flujo de 3016.5 kg/cm<sup>2</sup>.

Una vez obtenido las propiedades de una mezcla convencional con un contenido óptimo de cemento asfáltico (5.5%), con un asfalto PEN 85/100 se procedió a elaborar las briquetas por cada contenido de caucho (2.0%,4.0%,6.0%).

Diseño Marshall de Asfalto con 2.0%, 4.0% y 6.0% de Caucho Granulado:

Análisis Granulométrico Caucho.

**Tabla 42**

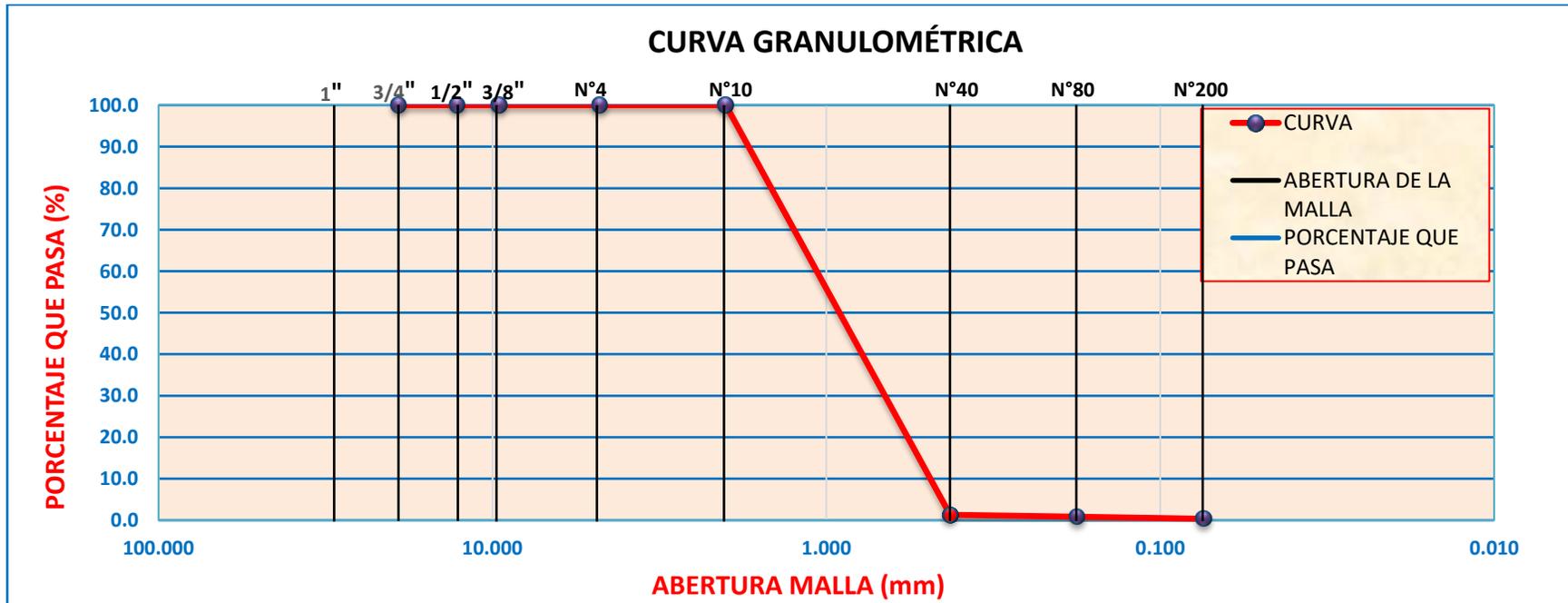
*Análisis granulométrico Caucho*

Tamiz ASTM	Análisis Granulométrico					Cálculos
	Aber. (mm)	Peso (g)	%Retenido	%Acumulado	%Pasa	
1"	25.400					
3/4"	19.050					Tara: A-1
1/2"	12.700					Peso de Tara: 100g
3/8"	9.525					Tara + muestra Húmeda: 600g
1/4"	6.350					Tara + muestra Seca: 600 g
N° 4	4.760					Contenido de Humedad (%): 0
N° 6	3.360					
N° 8	2.380					Muestra Seca: 500g
N° 10	2.000	-	-	-	100.0	
N° 16	1.190	339.7	67.9	67.9	32.1	
N° 20	0.840	114.8	23.0	90.9	9.1	
N° 30	0.590	32.4	6.5	97.4	2.6	
N° 40	0.426	6.8	1.4	98.7	1.3	<b>Proporción de los agregados</b>
N° 50	0.297	0.7	0.1	98.9	1.1	Agregado Grueso: 0.0%
N° 80	0.177	1.5	0.3	99.1	0.9	Agregado Fino: 100%
N° 100	0.149	1.1	0.2	99.4	0.6	Fino Malla 200: 0.0%.
N° 200	0.074	1.5	0.3	99.7	0.3	
-200	-	1.7	0.3	100.0		

*Nota.* En la **Tabla 42** podemos apreciar el análisis granulométrico realizado al caucho que utilizamos para nuestra mezcla asfáltica en la cual se realizó con 500g de caucho con una dimensión menos de 2 mm de cada partícula.

**Figura 22**

*Análisis Granulométrico de Caucho*



*Nota.* La granulometría observada en la **Figura 22** cumple con los estándares encontrados con estudios previos realizados en este tipo de polímero añadido a las mezclas asfálticas.

Análisis Granulométrico (Combinación de Agregados).

**Tabla 43**

*Análisis Granulométrico*

Tamiz ASTM	Análisis Granulométrico					1	2	3
	Aber. (mm)	Grava	Arena	Caucho	Filler	% Pasa	% Pasa	% Pasa
1"	25.400		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	89.7	89.7	89.7
1/2"	12.700	70.6				76.9	76.9	76.9
3/8"	9.525					76.9	76.9	76.9
1/4"	6.350		77.3	100.0	100.0	<b>52.0</b>	<b>52.4</b>	<b>52.9</b>
N° 4	4.760	3.4				51.9	52.4	52.8
N° 6	3.360		55.8	100.0	100.0	<b>37.3</b>	<b>38.2</b>	<b>39.1</b>
N° 8	2.380	0.0				35.5	36.5	37.4
N° 10	2.000					27.3	27.0	26.8
N° 16	1.190					22.9	22.3	21.8
N° 20	0.840					18.8	18.3	17.7
N° 30	0.590					13.6	13.2	12.8
N° 40	0.426		15.3	1.1	98.0	<b>9.9</b>	<b>9.6</b>	<b>9.4</b>
N° 50	0.297					5.5	5.3	5.2
N° 80	0.177					4.1	4.0	3.9
N° 100	0.149		4.9	0.3	90.0	3.4	3.3	3.2
N° 200	0.074							
-200	-							

**Tabla 44:**

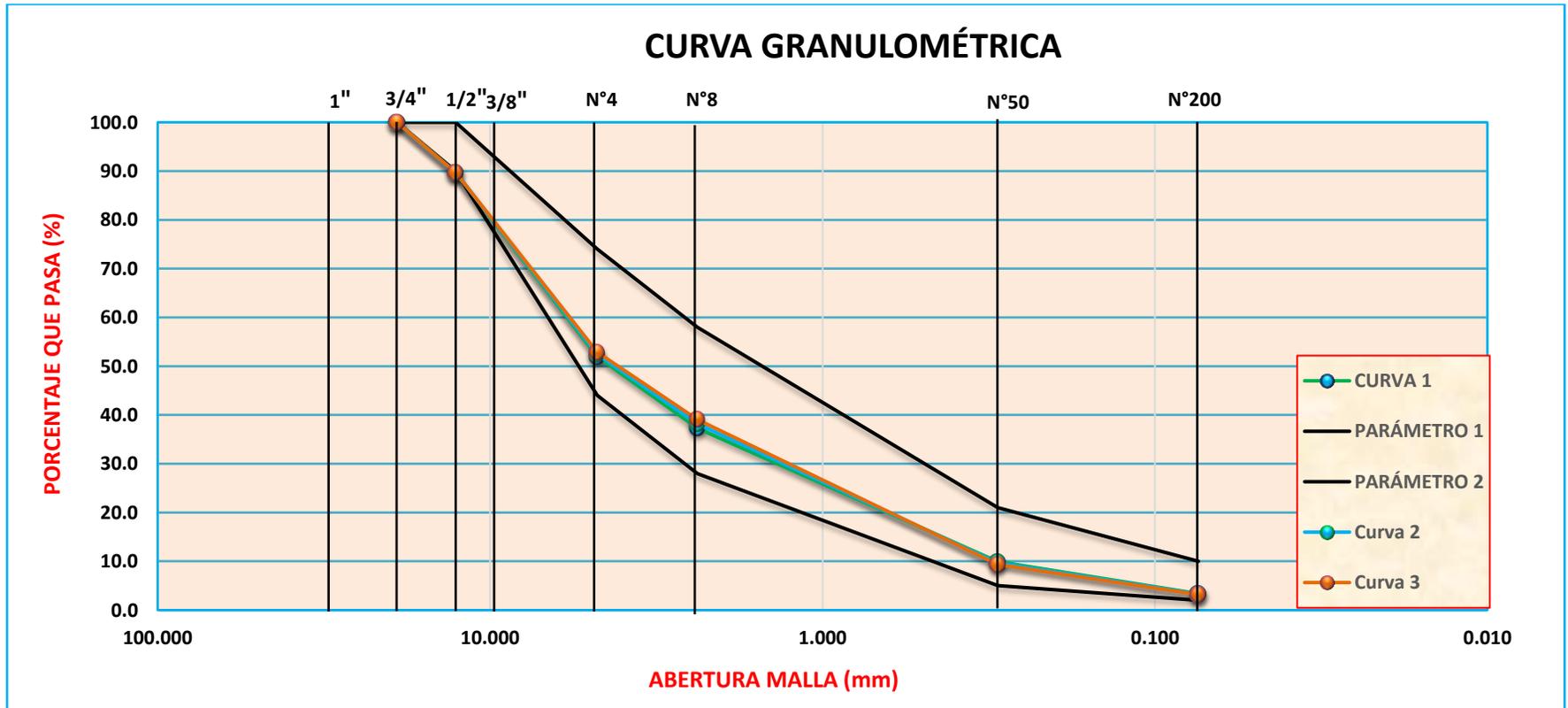
*Porcentaje de combinación de agregados*

<b>Mezcla N° 01 (2.0% Caucho)</b>	35.0	62.7	2.0	0.3
<b>Mezcla N° 02 (4.0% Caucho)</b>	35.0	60.7	4.0	0.3
<b>Mezcla N° 03 (6.0% Caucho)</b>	35.0	58.7	6.0	0.3

*Nota.* En esta **Tabla 44** podemos apreciar la granulometría de la combinación de agregados, el filler y esta vez con la incorporación de caucho con tres porcentajes en donde su pudo obtener para una incorporación de 2.0% de caucho se utilizará agregado grueso 35.0%, agregado fino 62.7% y filler 0.3%, para 4.0% de caucho se utilizó agregado grueso 35.0%, agregado fino 60.7% y filler 0.3% y para 6.0% de caucho se utilizó agregado grueso 35.0%, agregado fino 58.7% y filler 0.3%. Cabe resaltar que cada briqueta tendrá un aproximado de 1200g.

**Figura 23**

*Combinación de agregados*



*Nota.* La **Figura 23** muestra la granulometría de la combinación de agregados, considerando que la curva está dentro de los parámetros establecidos en la norma para una mezcla asfáltica en caliente.

Resumen Marshall.

**Tabla 45**

*Porcentajes de agregados para mezcla modificada con Caucho Granulado*

Agregado grava triturada TM 3/4" (%)	35.0	35.0	35.0
Agregado arena triturada (%)	62.7	60.7	58.7
Caucho molido (%)	2.0	4.0	6.0
Filler (%)	0.3	0.3	0.3

**Tabla 46**

*Características Marshall con Contenido Óptimo de Asfalto de muestras modificadas con caucho granulado.*

**RESUMEN MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO**

<b>Parámetros de diseño</b>	<b>2.0 % de caucho</b>	<b>4.0 % de caucho</b>	<b>6.0 % de caucho</b>
GOLPES (N°)	75	75	75
CEMENTO ASFÁLTICO (%)	5.55	5.55	5.55
PESO UNITARIO (Kg/m <sup>3</sup> )	2.294	2.234	2.127
VACIOS (%)	4.3	6.0	9.5
V.M.A. (%)	16.1	18.3	22.2
V. LL.C.A. (%)	73.4	67.0	57.3
POLVO / ASFALTO (%)	0.64	0.59	0.52
FLUJO (0.01", 0.25 mm)	13.2	15.0	16.3
ESTABILIDAD (KN)	9.9	8.0	6.2
ESTABILIDAD/ FLUJO (Kg/cm)	3019.9	2147.4	1523.8

*Nota.* En la **Tabla 46** se observa las características Marshall de la mezcla asfáltica con adición de caucho granulado de neumático en tres porcentajes. Para un 2.0% de caucho se

obtiene un peso unitario de 2.294 kg/m<sup>3</sup>, vacíos de 4.3%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 16.1, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A) de 73.4, relación polvo/asfalto de 0.64%, flujo 13.2 mm, estabilidad de 9.9 KN y una relación de estabilidad/flujo de 3019.9 kg/cm. ahora para 4% de caucho se obtiene un peso unitario de 2.234 kg/m<sup>3</sup>, vacíos de 6.0%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 18.3%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A) de 67%, relación polvo/asfalto de 0.59%, flujo 15.0 mm, estabilidad de 8.0 KN y una relación de estabilidad/flujo de 2147.4 kg/cm. Finalmente, para un 6% de caucho se obtiene un peso unitario de 2.127 kg/m<sup>3</sup>, vacíos de 9.5%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M. A) de 22.2, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C. A) de 57.3%, relación polvo/asfalto de 0.52%, flujo 16.3 mm, estabilidad de 6.2 KN y una relación de estabilidad/flujo de 1523.8 kg/cm.

Gravedad específica Teórica Máxima.

Asfalto Convencional sin Caucho Reciclado:

**Tabla 47**

*Gravedad específica teórica máxima de muestra patrón*

<b>ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>				
<b>Muestra N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
1.-Peso del frasco	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0
2.- Peso del frasco + agua+ vidrio	8191.0	8191.0	8191.0	8191.0
3.- Diferencia del peso (04) - (05)	7700.0	7691.8	7692.9	7690.0
4.- Peso del frasco + muestra + agua	8918.0	8914.5	8904.9	8900.0
5.- Peso neto de la muestra	1218.0	1222.7	1212.0	1210.0
6.- Agua desplazada (2) - (3)	491.0	499.2	498.1	501.0
Peso específico máximo de la muestra (5) / (6)	<b>2.481</b>	<b>2.449</b>	<b>2.433</b>	<b>2.415</b>
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>4.50</b>	<b>5.00</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>

*Nota.* En esta **Tabla 47** podemos ver los resultados hallados del ensayo de gravedad específica teórica máxima de nuestra muestra patrón (Asfalto Convencional). Pero para nuestro contenido óptimo de asfalto (CA) que es 5.55% se debe interceptar entre el contenido óptimo de asfalto que fue de 5.55 con las gravedades específicas máximas de (4.55%,5.0%,5.5% y 6.0%) como se muestra en la **Figura 24**.

**Figura 24**

*Gravedad específica teórica máxima muestra patrón*



*Nota.* Interceptando el contenido óptimo de asfalto 5.55% se obtuvo una gravedad específica teórica máxima de 2.432.

Asfalto con diferentes porcentajes de Caucho Reciclado.

**Tabla 48**

*Gravedad específica teórica máxima de muestra con adición de Caucho Granulado*

<b>ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>			
<b>Muestra N°</b>	<b>Núcleo con 2 % de caucho</b>	<b>Núcleo con 4 % de caucho</b>	<b>Núcleo con 6 % de caucho</b>
1.-Peso del frasco	6047.0	6047.0	6047.0
2.- Peso del frasco + agua+ vidrio	8191.0	8191.0	8191.0
3.- Diferencia del peso (04) - (05)	7692.0	7682.0	7674.0
4.- Peso del frasco + muestra + agua	8888.0	8892.0	8889.0
5.- Peso neto de la muestra	1196.0	1210.0	1215.0
6.- Agua desplazada (2) - (3)	499.0	509.0	517.0
Peso específico máximo de la muestra (5) / (6)	<b>2.397</b>	<b>2.377</b>	<b>2.350</b>
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>5.55</b>	<b>5.55</b>	<b>5.55</b>

*Nota.* En esta **Tabla 48** podemos ver los resultados hallados del ensayo de gravedad específica teórica máxima de nuestra muestra con diferentes contenidos de caucho en la cual para 2.0% de caucho fue de 2.397, para 4.0% de caucho 2.377 y para 6.0% de caucho 2.350.

Ensayo de Inmersión – Compresión.

Resistencia retenida y de Compresión de Asfalto convencional:

**Tabla 49**

*Inmersión - Compresión Asfalto Convencional*

<b>INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN-COMPRESIÓN</b>					
N° de Probetas	Grupo Seco		Grupo Húmedo		
	1	2	3	4	
1	Diámetro	10.10	10.11	10.11	10.12
2	Espesor	6.60	6.60	6.63	6.61
3	Contenido de cemento asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55
4	Peso de la probeta al aire	1204.6	1201.3	1203.3	1199.9
5	Peso de la Probeta Saturada (60´)	1206.3	1204.0	1206.1	1202.4
6	Peso de la Probeta en el Agua	693.2	695.3	692.1	691.0
7	Volumen de la probeta	513.1	508.7	514.0	511.4
8	Peso específico bulk de la probeta	2.348	2.362	2.341	2.346
9	Estabilidad sin corregir	917	926	727	712
10	Factor estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00
11	Estabilidad corregida (kg)	917	926	727	712
12	Promedio Estabilidad (30 min) (kg)	<b>922</b>			
13	Promedio Estabilidad (24 horas) (kg)			<b>720</b>	
14	<b>Resistencia retenida (%)</b>			<b>79</b>	
15	<b>Resistencia a La compresión (mpa)</b>			<b>3.9</b>	

*Nota.* En la **Tabla 49** podemos ver la resistencia retenida que se obtuvo de nuestra mezcla convencional de asfalto, la cual fue de 79% y una resistencia a la compresión de 3.9 mpa.

Resistencia retenida y de Compresión de Asfalto con adición de caucho:

✓ **2.0% de caucho.**

**Tabla 50**

*Inmersión - Compresión Asfalto Convencional*

<b>INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN 2.0% DE CAUCHO</b>					
N° de Probetas	Grupo Seco		Grupo Húmedo		
	1	2	3	4	
1	Diámetro	10.10	10.11	10.11	10.12
2	Espesor	6.85	6.90	6.93	6.95
3	Contenido de cemento asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55
4	Peso de la probeta al aire	1204.6	1200.3	1203.3	1199.9
5	Peso de la Probeta Saturada (60´)	1208.3	1204.6	1207.1	1203.8
6	Peso de la Probeta en el Agua	685.2	682.0	684.1	684.0
7	Volumen de la probeta	523.1	522.6	523.0	519.8
8	Peso específico bulk de la probeta	2.303	2.297	2.301	2.308
9	Estabilidad sin corregir	987	1026	797	791
10	Factor estabilidad	0.96	0.96	0.96	1.00
11	Estabilidad corregida (kg)	948	985	765	791
12	Promedio Estabilidad (30 min) (kg)	<b>966</b>			
13	Promedio Estabilidad (24 horas) (kg)			<b>778</b>	
14	<b>Resistencia retenida (%)</b>			<b>81</b>	
15	<b>Resistencia a La compresión (mpa)</b>			<b>4.0</b>	

*Nota.* En la **Tabla 50** podemos ver la resistencia retenida que se obtuvo de nuestra mezcla convencional de asfalto la cual fue de 81% y una resistencia a la compresión de 4.0 mpa.

✓ **4% de caucho.**

**Tabla 51**

*Inmersión - Compresión Asfalto Convencional*

<b>INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN – COMPRESIÓN 4.0% DE CAUCHO</b>					
N° de Probetas	Grupo Seco		Grupo Húmedo		
	1	2	3	4	
1	Diámetro	10.10	10.11	10.11	10.12
2	Espesor	6.97	6.98	6.95	6.98
3	Contenido de cemento asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55
4	Peso de la probeta al aire	1202.1	1203.7	1205.0	1201.3
5	Peso de la Probeta Saturada (60´)	1209.4	1210.6	1212.5	1208.8
6	Peso de la Probeta en el Agua	673.2	672.5	674.0	674.3
7	Volumen de la probeta	536.2	538.1	538.5	534.5
8	Peso específico bulk de la probeta	2.242	2.237	2.238	2.248
9	Estabilidad sin corregir	856	826	637	640
10	Factor estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.96
11	Estabilidad corregida (kg)	796	768	592	614
12	Promedio Estabilidad (30 min) (kg)	<b>782</b>			
13	Promedio Estabilidad (24 horas) (kg)			<b>603</b>	
14	<b>Resistencia retenida (%)</b>		<b>77</b>		
15	<b>Resistencia a La compresión (mpa)</b>		<b>3.1</b>		

*Nota.* En la **Tabla 51** podemos ver la resistencia retenida que se obtuvo de nuestra mezcla convencional de asfalto, la cual fue de 77% y una resistencia a la compresión de 3.1 mpa.

✓ **6% de caucho.**

**Tabla 52**

*Inmersión - Compresión Asfalto Convencional*

<b>INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN – COMPRESIÓN CON 6.0% DE CAUCHO</b>					
N° de Probetas	Grupo Seco		Grupo Húmedo		
	1	2	3	4	
1	Diámetro	10.10	10.11	10.11	10.12
2	Espesor	7.01	7.05	7.03	7.04
3	Contenido de cemento asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55
4	Peso de la probeta al aire	1199.1	1202.5	1204.2	1201.8
5	Peso de la Probeta Saturada (60´)	1209.5	1213.6	1214.5	1212.8
6	Peso de la Probeta en el Agua	643.2	642.5	644.0	644.3
7	Volumen de la probeta	566.3	571.1	570.5	568.5
8	Peso específico bulk de la probeta	2.117	2.106	2.111	2.114
9	Estabilidad sin corregir	741	732	545	539
10	Factor estabilidad	0.86	0.86	0.86	0.86
11	Estabilidad corregida (kg)	917	926	727	712
12	Promedio Estabilidad (30 min) (kg)	<b>633</b>			
13	Promedio Estabilidad (24 horas) (kg)			<b>466</b>	
14	<b>Resistencia retenida (%)</b>			<b>74</b>	
15	<b>Resistencia a La compresión (mpa)</b>			<b>2.5</b>	

*Nota.* En la **Tabla 52** podemos ver la resistencia retenida que se obtuvo de nuestra mezcla convencional de asfalto, la cual fue de 74% y una resistencia a la compresión de 2.5 mpa.

Resistencia Conservada (AASHTO T283).

Resistencia Conservada Asfalto convencional:

**Tabla 53**

*Resistencia Conservada Asfalto Convencional*

<b>INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)</b>					
N° de Probetas		Grupo Seco		Grupo Húmedo	
		1	2	3	4
1	Diámetro	10.13	10.15	10.16	10.15
2	Espesor	7.04	7.01	6.87	6.95
3	Contenido de cemento asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55
4	Peso de la probeta al aire	1207.1	1203.5	1206.3	1199.0
5	Peso de la Probeta Saturada (60°)	1220.6	1218.8	1221.7	1214.4
6	Peso de la Probeta en el Agua	685.3	684.0	688.3	683.0
7	Volumen de la probeta	535.3	534.8	533.4	531.4
8	Peso específico bulk de la probeta	2.255	2.250	2.262	2.256
9	% de vacíos	7.3	7.5	7.0	7.2
10	Estabilidad sin corregir	536	543	450	445
11	Factor estabilidad	0.96	0.96	0.93	0.96
12	Estabilidad corregida (kg)	515	521	419	427
13	Promedio Estabilidad (30 min) (kg)	<b>518</b>			
14	Promedio Estabilidad (24 horas) (kg)			<b>423</b>	
15	<b>Resistencia conservada (%)</b>			<b>82</b>	

*Nota.* En esta **Tabla 53** podemos apreciar los resultados de la resistencia conservada del asfalto convencional con 2 muestras en el grupo seco y 2 en el grupo húmedo, las cual las promediamos y dividimos obteniendo un resultado de 82%.

Resistencia Conservada y de Compresión de Asfalto con 2.0% de Caucho Granulado:
**Tabla 54**
*Resistencia Conservada con adición de 2.0% de Caucho a la mezcla convencional*

<b>INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)</b>					
<b>N° de Probetas</b>		<b>Grupo Seco</b>		<b>Grupo Húmedo</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	Diámetro	10.13	10.15	10.16	10.15
<b>2</b>	Espesor	7.21	7.20	7.25	7.24
<b>3</b>	Contenido de cemento asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55
<b>4</b>	Peso de la probeta al aire	1198.9	1203.5	1201.0	1199.0
<b>5</b>	Peso de la Probeta Saturada (60´)	1215.4	1217.8	1216.7	1214.4
<b>6</b>	Peso de la Probeta en el Agua	676.0	677.0	676.0	674.0
<b>7</b>	Volumen de la probeta	539.4	540.8	540.7	540.4
<b>8</b>	Peso específico bulk de la probeta	2.223	2.225	2.221	2.219
<b>9</b>	% de vacíos	7.3	7.2	7.3	7.4
<b>10</b>	Estabilidad sin corregir	488	516	426	409
<b>11</b>	Factor estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.93
<b>12</b>	Estabilidad corregida (kg)	454	480	396	380
<b>13</b>	Promedio Estabilidad (30 min) (kg)	<b>467</b>			
<b>14</b>	Promedio Estabilidad (24 horas) (kg)	<b>388</b>			
<b>15</b>	<b>Resistencia conservada (%)</b>	<b>83</b>			

*Nota.* En caso como muestra la **Tabla 54**, tenemos los resultados de la resistencia conservada del asfalto convencional con 2 muestras en el grupo seco y 2 en el grupo húmedo, pero esta vez con una adición de 2.0% de asfalto en relación con la muestra total, las cual las promediamos y dividimos, obteniendo un resultado de 83%.

Resistencia Conservada y de Compresión de Asfalto con 4% de Caucho:

**Tabla 55**

*Resistencia Conservada con adición de 4.0% de Caucho a la mezcla convencional*

<b>INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)</b>					
<b>N° de Probetas</b>		<b>Grupo Seco</b>		<b>Grupo Húmedo</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	Diámetro	10.1	10.16	10.14	10.15
<b>2</b>	Espesor	7.3	7.27	7.32	7.30
<b>3</b>	Contenido de cemento asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55
<b>4</b>	Peso de la probeta al aire	1201.1	1205.5	1203.8	1202.0
<b>5</b>	Peso de la Probeta Saturada (60´)	1219.6	1218.8	1220.7	1219.4
<b>6</b>	Peso de la Probeta en el Agua	675.0	672.0	673.0	675.0
<b>7</b>	Volumen de la probeta	544.6	546.8	547.7	544.4
<b>8</b>	Peso específico bulk de la probeta	2.205	2.205	2.198	2.208
<b>9</b>	% de vacíos	7.2	7.3	7.5	7.1
<b>10</b>	Estabilidad sin corregir	385	376	285	300
<b>11</b>	Factor estabilidad	0.89	0.89	0.89	0.89
<b>12</b>	Estabilidad corregida (kg)	343	335	254	267
<b>13</b>	Promedio Estabilidad (30 min) (kg)	<b>339</b>			
<b>14</b>	Promedio Estabilidad (24 horas) (kg)			<b>260</b>	
<b>15</b>	<b>Resistencia conservada (%)</b>			<b>77</b>	

*Nota.* En caso como muestra la **Tabla 55** tenemos los resultados de la resistencia conservada del asfalto convencional con 2 muestras en el grupo seco y 2 en el grupo húmedo pero esta vez con una adición de 4.0% de asfalto en relación a la muestra total, las cual las promediamos y dividimos obteniendo un resultado de 77%.

Resistencia Conservada y de Compresión de Asfalto con 6% de Caucho:
**Tabla 56**
*Resistencia Conservada con adición de 6% de Caucho a la mezcla convencional*

<b>INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)</b>					
<b>N° de Probetas</b>		<b>Grupo Seco</b>		<b>Grupo Húmedo</b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	Diámetro	10.13	10.15	10.15	10.15
<b>2</b>	Espesor	7.38	7.35	7.39	7.38
<b>3</b>	Contenido de cemento asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55
<b>4</b>	Peso de la probeta al aire	1205.0	1202.5	1204.0	1204.6
<b>5</b>	Peso de la Probeta Saturada (60´)	1222.6	1218.8	1218.7	1220.2
<b>6</b>	Peso de la Probeta en el Agua	667.0	665.0	664.0	667.0
<b>7</b>	Volumen de la probeta	555.6	553.8	554.7	553.2
<b>8</b>	Peso específico bulk de la probeta	2.169	2.171	2.171	2.178
<b>9</b>	% de vacíos	7.7	7.6	7.6	7.3
<b>10</b>	Estabilidad sin corregir	266	261	198	190
<b>11</b>	Factor estabilidad	0.86	0.86	0.86	0.86
<b>12</b>	Estabilidad corregida (kg)	229	224	170	163
<b>13</b>	Promedio Estabilidad (30 min) (kg)	<b>227</b>			
<b>14</b>	Promedio Estabilidad (24 horas) (kg)	<b>175</b>			
<b>15</b>	<b>Resistencia conservada (%)</b>	<b>74</b>			

*Nota.* En caso como muestra la **Tabla 56** tenemos los resultados de la resistencia conservada del asfalto convencional con 2 muestras en el grupo seco y 2 en el grupo húmedo, pero esta vez con una adición de 6.0% de asfalto en relación con la muestra total, las cual las promediamos y dividimos, obteniendo un resultado de 74%.

Lavado de Asfalto.

**Tabla 57**

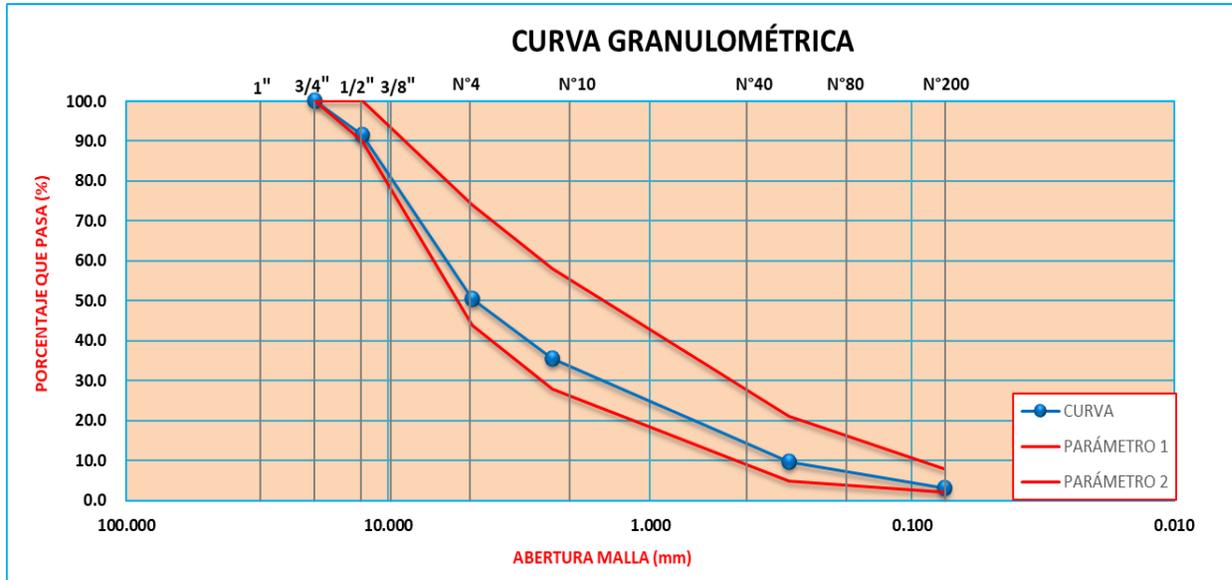
*Lavado de Asfalto*

ANÁLISIS GRANULOMETRICO							Especificación ASTM D5	Descripción de la muestra
Tamiz	Abertura	Peso	Porcentaje					
ASTM	mm	Retenido	Reten.	Acumul.	Pasant.			
3"	76.200							
2 ½"	63.000							
2"	50.000							
1 ½"	37.500							
1"	25.000							
¾"	19.000				100.0	100 - 100	<b>Peso Inicial:</b> 1200 gr.	
½"	12.500	102.8	8.6	8.6	91.4	90 - 100	<b>Peso Final:</b> 1132.60 gr.	
3/8"	9.500						<b>Peso Rectificado:</b> 1133.90 gr.	
1/4"	6.350						<b>Peso del Asfalto:</b> 66.10 gr.	
#4	4.750	491.2	40.9	40.9	50.5	44 - 74	<b>% C. Asfáltico:</b> 5.51%.	
#8	2.360	180.9	15.1	56.0	35.4	28 - 58		
#10	2.000							
#16	1.180							
#30	0.600							
#40	0.420							
#50	0.295	310.1	25.8	25.8	9.6	5 - 21		
#100	0.150		0.0					
#200	0.075	76.6	6.4	32.2	3.2	2 - 8		
>200		38.4	4.6	36.8				

*Nota.* En esta **Tabla 57** podemos apreciar la granulometría del lavado de asfalto. Donde la muestra fue de 1200g, en donde su pudo obtener que el porcentaje de cemento asfáltico de 5.51%.

**Figura 25**

*Curva Granulométrica de Lavado de Asfalto*



*Nota.* Después de realizar el lavado del asfalto como muestra la **Figura 25** la curva granulométrica está dentro de los parámetros establecidos en las Especificaciones Técnicas Generales del MTC (EG – 2013).

**Resultado de comparación de ambos diseños de mezcla asfáltica en caliente (patrón y con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% caucho granulado) de acuerdo a los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción (EG – 2013).**

Verificación de agregados con Manual de carreteras EG/2013.

Agregado Grueso:

**Tabla 58**

*Comparación de ensayos de calidad del agregado grueso con Norma MTC (Manual de Carreteras)*

Ensayos	Datos obtenidos en Laboratorio	Norma	Requerimiento	
			Altitud (m.s.n.m.)	
			≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	6.64%	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión los ángeles	38.4%	MTC E 207	40% max.	35% máx.
Adherencia	-	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	-	MTC E 214	35% min.	35% min.
Partículas Chatas y alargadas	5.36%	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	75.15%	MTC E 210	85/50	90/70
Sales solubles totales	0.09%	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	1.2%	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

*Nota.* Como muestra la **Tabla 58** podemos apreciar todos resultados obtenidos del agregado grueso realizados, como también los parámetros dados para la especificación en la cual tenemos para una altitud menor o igual a los 3000 m.s.n.m. y para una altitud mayor a los 3000 m.s.n.m. Como nuestros agregados ensayados fueron de Cajamarca, la cual está por debajo de los 3000 m.s.n.m. tomaremos dichos datos para compararlos. Durabilidad (al sulfato de magnesio) se tubo 6.64%, las especificaciones nos dice 18% máximo lo cual cumple, en el ensayo Abrasión de los Ángeles obtuvimos 38.4% la norma nos dice 40% lo cual cumple, en Partículas chatas y alargados se tuvo 5.36%, las especificaciones nos dice 10% máximo lo cual cumple, para Cara Fractura se obtuvo 75.15%, las especificaciones nos dice 85/50 lo cual cumple, en Sales Solubles Totales se obtuvo 0.09%, las especificaciones nos dice 0.5% máximo lo cual cumple, finalmente en el ensayo de Absorción se obtuvo 1.2%,

las especificaciones nos dice que como máximo debe ser 1% en lo cual estamos sobrepasando en un 0.2% los estándares establecidos.

Agregado Fino:

**Tabla 59**

*Comparación de ensayos de calidad del agregado fino con Norma MTC (Manual de Carreteras)*

Ensayos	Datos obtenidos en Laboratorio	Norma	Requerimiento	
			Altitud (m.s.n.m.)	
			≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	77.5%	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino		MTC E 222	30	40
Azul de metileno	5	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de plasticidad (malla N.º 40)	NP	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	5.10%	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de durabilidad		MTC E 214	35 min	35 min
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)		MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	0.076%	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción **	1.3%	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

*Nota.* En la **Tabla 59** podemos apreciar todos los resultados obtenidos del agregado fino realizados. Equivalente de Arena se obtuvo 77.5%, la especificación nos dice que debe ser un 60% como máximo lo cual no está cumpliendo, en el ensayo Azul de Metileno se tuvo un valor de 5, la especificación nos dice 8% máximo lo cual cumple, para nuestro ensayo de Durabilidad (al sulfato de magnesio) se tubo 5.10%, en este caso la especificación no nos da un valor, en Sales Solubles Totales se obtuvo 0.076%, la especificación nos dice 0.5% máximo lo cual cumple, finalmente en el ensayo de Absorción se obtuvo 1.3%, nos dice que

como máximo debe ser 0.5% en lo cual estamos sobrepasando en un 0.8% los estándares establecidos.

Diseño de mezcla convencional con parámetros del Manual de carreteras EG/2013:

**Tabla 60**

*Comparación de mezcla Patrón con parámetros de la Norma MTC (Manual de Carreteras)*

Parámetros de Diseño	Datos de Laboratorio	Clase de mezcla (EG - 2013)		
		A	B	C
<b>Marshall MTC E 504.</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
1. Compactación, número de golpes por lado.	75	75	50	35
2. Cemento Asfáltico %	5.55	-	-	-
3. Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2.342	-	-	-
4. Estabilidad (mínimo).	9.7	8,15KN	5,44KN	4,53KN
5. Flujo 0,01” (0,25 mm).	12.9	8-14	8-16	8-20
6. porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505).	3.5	3-5	3-5	3-5
7. Vacíos en el agregado mineral.	14.3		Tabla 61	
8. Vacíos llenos de asfalto.	73.6		Tabla 62	
<b>Inmersión - compresión (MTC E 518)</b>				
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	3.9	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (min).	80	75	75	75
Relación polvo – asfalto (2)	0.73	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (Kg/cm) (3)	3016.5		1.700 - 4.000	
Resistencia conservada a la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	82		80 min	

*Nota.* En la presente **Tabla 60** tenemos los datos obtenidos del Diseño Marshall comparados con los datos establecidos por las especificaciones MTC (Manual de carreteras EG 2013). Delos tres métodos (A,B Y C) se optó por el “A” en donde el número de golpes fueron 75, el contenido de asfalto obtenido de 5.55%, peso unitario de 2,348 kg/m<sup>3</sup>, el porcentaje de vacíos de 3.5 lo cual está dentro de los parámetros de las especificaciones ya que nos dice que puede variar entre 3% y 5%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 14.3% en la tabla 61 vemos que cumple ya que para nuestro agregado de ¾” el mínimo es

de 14%, para un porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A) obtuvimos un valor de 73.6 % lo cual viendo la tabla 62 cumple con los estándares establecidos, en la relación Polvo/Asfalto obtuvimos un valor de 0.73% lo cual está dentro de los parámetros que son de 0.6-1.13 %, con respecto al flujo tuvimos como resultado 12.9 mm, está dentro de los parámetros 12-14 dados por las especificaciones, una estabilidad de 9.7KN la cual cumple ya que los parámetros nos dice que debe ser como mínimo 8.15KN, una relación de estabilidad flujo de 3016.5 kg/cm<sup>2</sup> lo cual está dentro de los parámetros de 1700 – 4000 dados por las especificaciones, una resistencia a la compresión de 3.9 Mpa también está dentro de los parámetros ya que nos dice que como mínimo debe ser 2.1Mpa, una resistencia retenida de 80% lo cual cumple ya que nos dice que como mínimo debe ser 75 y finalmente una resistencia conservada de 82% lo cual cumple ya que nos dice que como mínimo debe ser 80.

**Tabla 61**

*Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral*

Tamiz	Vacíos mínimos en agregados mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36mm (N°8)	21	-
4,75mm (N°4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (1/2")	15	14
19.0 mm (3/4")	<b>14</b>	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 1/2")	12	11
50,0 mm (2")	11.5	10,5

Parámetros para ver el porcentaje de vacíos en el agregado mineral concerniente al ensayo Marshall.

**Tabla 62**

*Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto*

<b>Tráfico (millones de ejes equivalentes)</b>	<b>VFA</b>
Menor o igual a 0,3	70 - 80
Mayor a 0,3 - 3	65 - 78
Mayor 3	65 - 75

*Nota.* Parámetros para ver el porcentaje de vacíos llenos con asfalto concerniente al ensayo Marshall.

Mezclas asfálticas modificadas con caucho con parámetros del Manual de carreteras EG/2013.

**Tabla 63**

*Comparación de una mezcla con incorporación de Caucho con parámetros de la Norma MTC (Manual de Carreteras)*

<b>Parámetros de Diseño</b>	<b>Porcentajes de Caucho</b>			<b>Clase de mezcla (EG 2013)</b>
<b>Marshall MTC E 504.</b>	<b>2%</b>	<b>4%</b>	<b>6%</b>	<b>A</b>
1. Compactación, número de golpes por lado.	75	75	75	75
2. Cemento Asfáltico %	5.55	5.55	5.55	-
3. Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2.294	2.234	2.127	-
4. Estabilidad (mínimo).	9.9	8.0	6.2	8,15KN
5. Flujo 0,01" (0,25 mm).	13.2	15.0	16.3	8-14
6. porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505).	4.3	6.0	9.5	3-5
7. Vacíos en el agregado mineral.	16.1	18.3	22.2	Tabla 64
8. Vacíos llenos de asfalto.	73.4	67.0	57.3	Tabla 65
<b>Inmersión - compresión (MTC E 518)</b>				
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	4.0	3.1	2.5	2,1
2. resistencia retenida % (min).	81	77	74	75
Relación polvo – asfalto (2)	0.64	0.59	0.52	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (Kg/cm) (3)	3019.9	2147.4	1523.8	1.700 - 4.000
Resistencia conservada a la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	83	77	74	80 min

*Nota.* En esta **Tabla 63** tenemos los datos obtenidos del diseño Marshall con incorporación de Caucho comparados con los datos establecidos por el Manual de carreteras EG – 2013. El número de golpes fueron 75 y el Contenido de Asfalto obtenido de 5.55% fueron los mismos para los tres porcentajes de caucho utilizados, el Peso Unitario obtenido para un 2% de caucho fue de 2,294 kg/m<sup>3</sup>, para 4% de 2.234 kg/cm<sup>2</sup> y para 6% de 2.127 kg/cm<sup>2</sup>, el porcentaje de Vacíos para un 2% de caucho fue de 4.3%, para 4% de 6.0% y para 6% de 9.5% de los tres porcentajes el único que está dentro del parámetros establecido por la especificación que nos dice que puede variar entre 3.0% y 5.0% es con 2.0% de caucho, con 2.0% de caucho, obtuvimos un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 16.1% ,para un 4% de caucho 18.3% y 22.2% para un 6% de caucho, en la **Tabla 64** vemos que cumple ya que para nuestro agregado de ¾” el mínimo es de 14%, para un porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A) obtuvimos un valor de 73.4 % para 2% de caucho, 67.0% para 4.0% de caucho y 57.3 para 6.0% de caucho lo cual viendo la **Tabla 65** cumple con los estándares establecidos, en la relación Polvo/Asfalto obtuvimos los valores de 0.64%, 0.59%, 0.52% para el porcentaje de 2% de caucho está dentro de los parámetros que son de 0.6-1.13 %, con respecto al flujo tuvimos como resultados 13.2mm, 15.0mm, 16.3mm, lo cual solo con 2% de caucho cumple con los parámetros 12-14 dados por la norma, también obtuvimos Estabilidad de 9.9KN, 8.0KN, 6.2KN la cual cumple solo para el porcentaje de caucho de 2% ya que los parámetros de la norma nos dice que debe ser como mínimo 8.15KN, una relación de estabilidad flujo de 3019.9 kg/cm<sup>2</sup>, 2147.4 kg/cm<sup>2</sup>, 1523.8 kg/cm<sup>2</sup> lo cual cumple solo para el porcentaje de caucho de 2% y 4% porque está dentro de los parámetros de 1700 – 4000 dados por las especificaciones, una resistencia retenida de 81%, 77%, 74% lo cual solo cumple para 2% y 4% de caucho ya que nos dice que como mínimo

debe ser 75%, una resistencia a la compresión de 4.0 Mpa, 3.1 Mpa, 2.5Mpa para 2%,4% y 6% de caucho en este caso los 3 porcentajes están dentro de los parámetros ya que nos dice que como mínimo debe ser 2.1Mpa y finalmente una resistencia conservada de 83%, 77%, 74% lo cual solo cumple para 2% de caucho ya que nos dice que como mínimo debe ser 80.

**Tabla 64**

*Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral*

Tamiz	Vacíos mínimos en agregados mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36mm (N°8)	21	-
4,75mm (N°4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (1/2")	15	14
19.0 mm (3/4")	<b>14</b>	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 1/2")	12	11
50,0 mm (2")	11.5	10,5

*Nota.* Parámetros para ver el porcentaje de vacíos en el agregado mineral concerniente al ensayo Marshall.

**Tabla 65**

*Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto*

Trafico (millones de ejes equivalentes)	VFA
Menor o igual a 0,3	70 - 80
Mayor a 0,3 - 3	65 - 78
Mayor 3	65 - 75

*Nota.* Parámetros para ver el porcentaje de vacíos llenos con asfalto concerniente al ensayo Marshall.

**Resultado de la Comparación de los parámetros obtenidas de la mezcla asfáltica patrón (convencional) y de la mezcla con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado.**

Ensayo Marshall.

**Tabla 66**

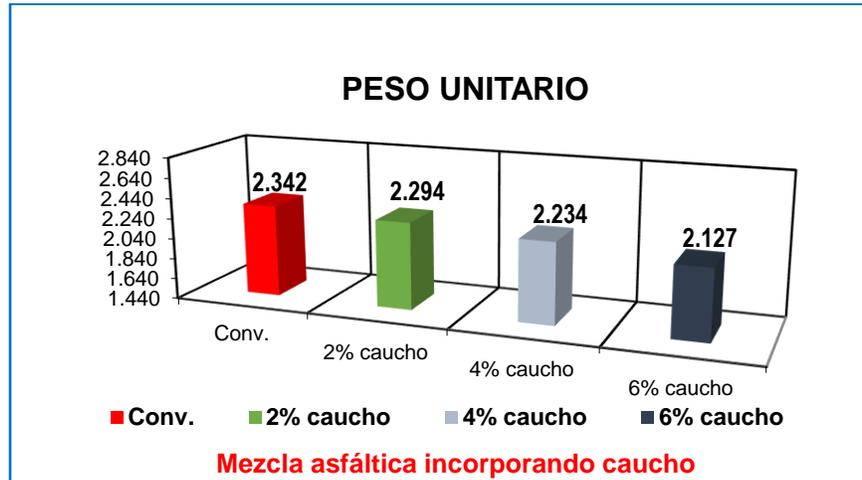
*Comparación de diseño Marshall de mezcla Asfáltica Convencional versus mezcla con incorporación de Caucho Granulado*

Parámetros de Diseño	Asfalto convencional	Porcentajes de Caucho		
		2%	4%	6%
Golpes N°	75	75	75	75
Cemento Asfáltico %	5.55	5.55	5.55	5.55
Peso Unitario Kg/m <sup>3</sup>	2.342	2.294	2.234	2.127
Vacíos %	3.5	4.3	6.0	9.5
V.M.A. %	14.3	16.1	18.3	22.2
V.LL.C.A. %	73.6	73.4	67.0	57.3
Polvo/asfalto %	0.73	0.64	0.59	0.52
Flujo (mm)	12.9	13.2	15.0	16.3
Estabilidad (kn)	9.7	9.9	8.0	6.2
Estabilidad/flujo (kg/cm <sup>2</sup> )	3016.5	3019.9	2147.4	1523.8

*Nota.* En esta tabla 66 vemos los Datos obtenidos del ensayo Marshall, tanto de nuestro asfalto convención (muestra patrón) y con la incorporación de caucho. La descripción de la comparación de cada una de ellas se realizará mediante las siguientes figuras.

**Figura 26**

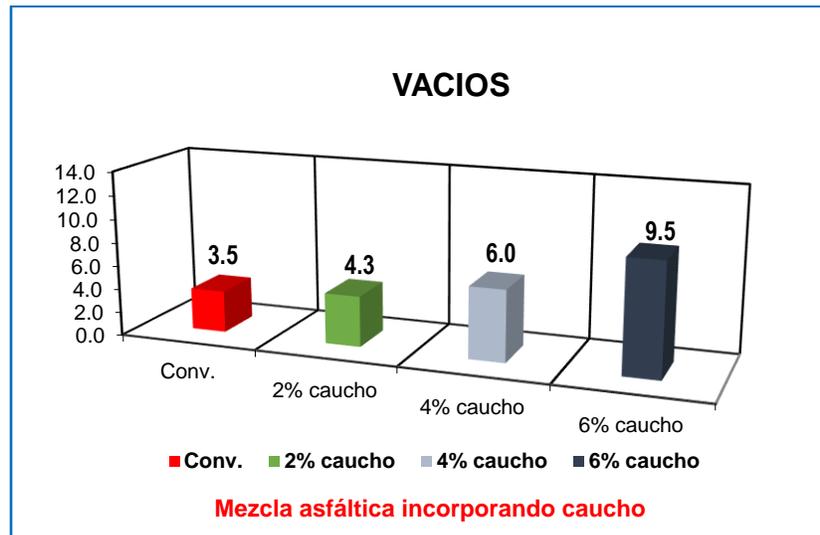
*Comparación de Peso unitario Muestra convencional VS Muestra Con Caucho.*



*Nota.* Se puede apreciar en la **Figura 26** que el peso unitario para la mezcla convencional es superior a las tres mezclas con contenidos de caucho y que, a medida que aumentamos el porcentaje de caucho añadido a la mezcla, el peso unitario va disminuyendo.

**Figura 27**

*Comparación de porcentaje de Vacíos en Muestra convencional VS Muestra con Caucho.*

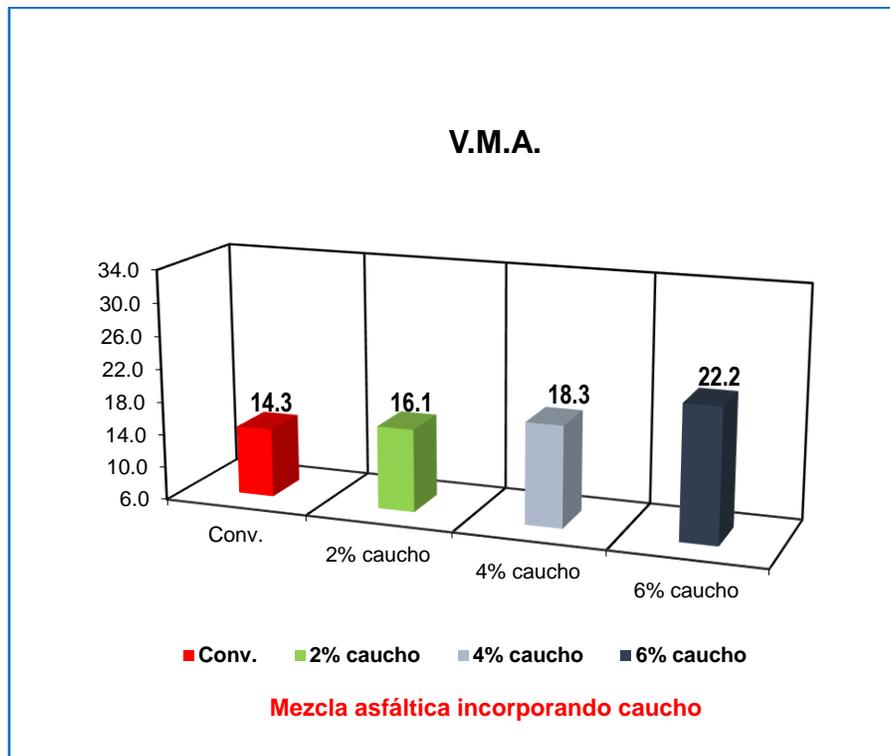


*Nota.* Por otro lado, (véase Figura 27) el porcentaje de vacíos con aire, para la mezcla asfáltica convencional es de 3.5%, para 2% de caucho de (4.3%), con 4% de caucho (6.0%) y con 6% de caucho (9.5%) obteniendo un aumento de los vacíos a medida que se va

incorporando en mayor porcentaje el caucho. Este parámetro es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. También la durabilidad de un pavimento asfáltico está relacionada con el porcentaje de vacíos, esto se debe a que mientras menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Finalizando, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; por lo que se recomienda no sobrepasar en gran manera los parámetros brindados por nuestra norma.

**Figura 28**

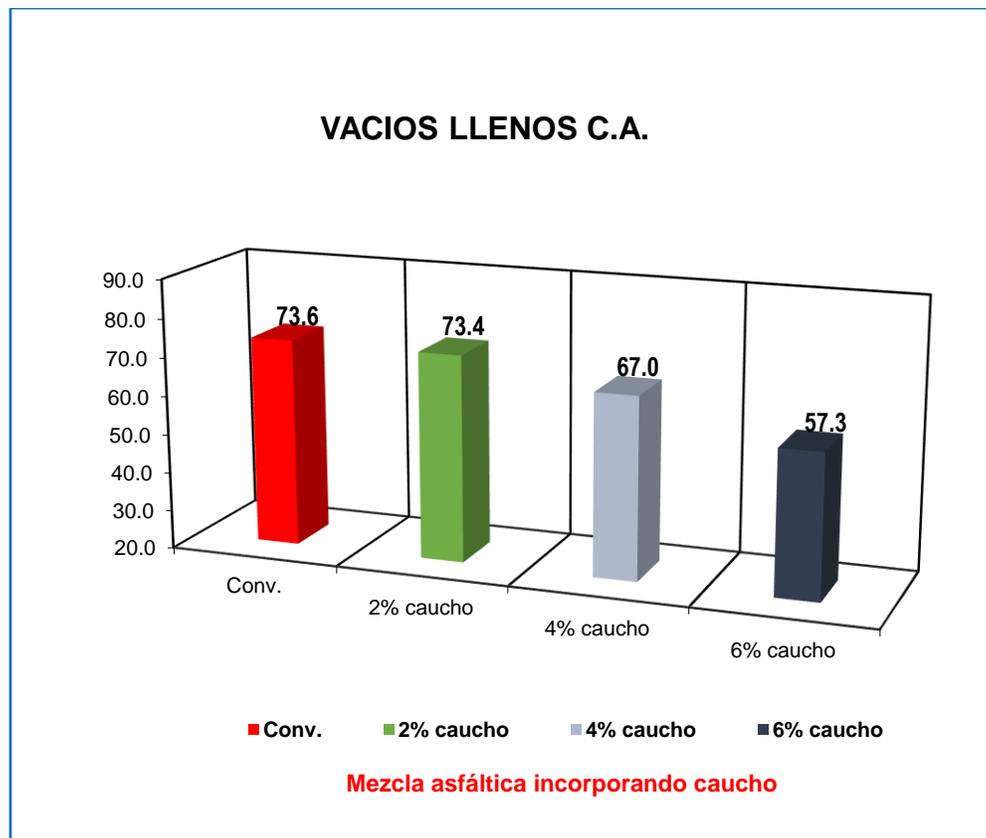
*Comparación de porcentaje de Vacíos en el agregado mineral en Muestra convencional VS Muestra con Caucho.*



*Nota.* En esta **Figura 28** se puede ver que el parámetro de porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de la mezcla asfáltica con 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho va aumentando con respecto a la mezcla asfáltica convencional, dichos valores representan el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VAM más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales lo encontramos especificados con función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

**Figura 29**

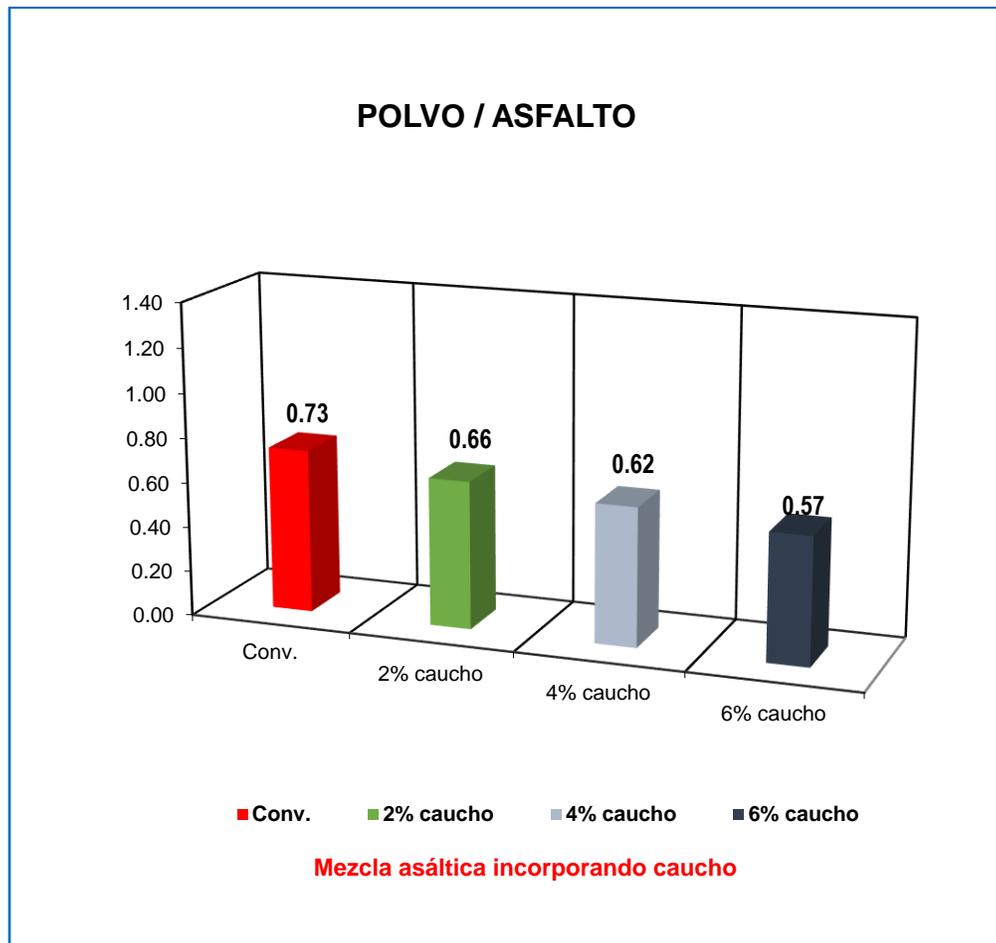
*Comparación de porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto en Muestra convencional VS Muestra con Caucho.*



*Nota.* En la siguiente **Figura 29**, se puede apreciar los vacíos llenos de asfalto para la mezcla convencional es superior a las tres mezclas con contenidos de caucho y que, a medida que aumentamos el porcentaje de caucho añadido a la mezcla, los vacíos llenos de asfalto van disminuyendo, por lo que es recomendable bajar el porcentaje de caucho.

**Figura 30**

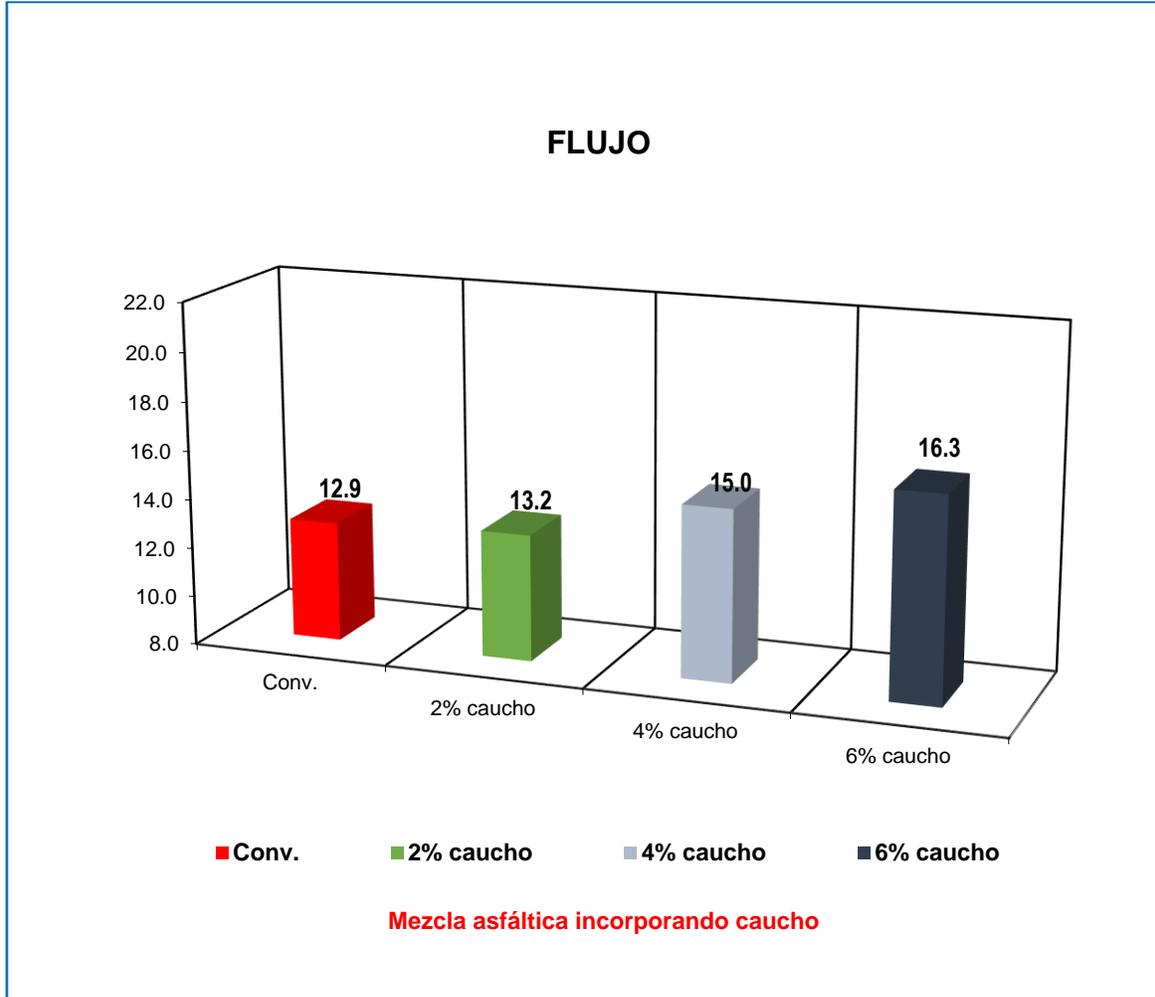
*Comparación de relación Polvo/Asfalto en Muestra convencional VS Muestra con Caucho*



*Nota.* Se puede apreciar en esta **Figura 30** que la relación Polvo/Asfalto para la mezcla convencional es superior para 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho, esto quiere decir que a medida que aumentamos el porcentaje de caucho añadido a la mezcla, la relación polvo/asfalto va disminuyendo.

**Figura 31**

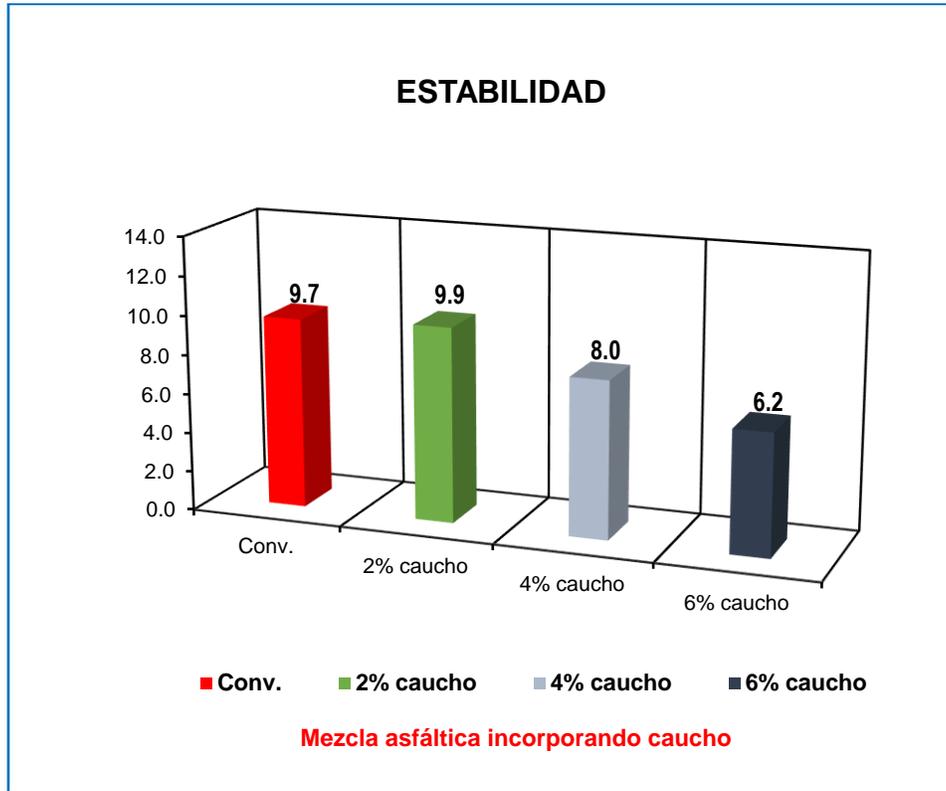
*Comparación de Flujo en Muestra convencional VS Muestra con Caucho*



*Nota.* En esta **Figura 31** como se puede apreciar los parámetros de flujo para la mezcla asfáltica con 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho ha aumentado con respecto a la mezcla asfáltica convencional, lo cual representa que la deformación de la probeta ha aumentado bajo una carga que ocurre en la mezcla, pero dichos valores tampoco deben sobrepasar el límite superior, ya que se considera demasiado plástica o inestable el pavimento, del mismo modo, el límite inferior tampoco debe ser excedido debido a que la mezcla se considera demasiado rígido.

**Figura 32**

*Comparación de Estabilidad en Muestra convencional VS Muestra con Caucho*



*Nota.* En esta **Figura 32** para la mezcla asfáltica con respecto a la estabilidad con 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho en comparación a la mezcla convencional, va disminuyendo dicha propiedad, la cual es la capacidad de resistir deformación y desplazamientos bajo las cargas del tránsito, logrando un pavimento estable, capaz de mantener su forma bajo cargas repetidas, mientras que un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla. En este caso el valor que se puede tomar es de un asfalto con 2% de caucho ya que es aceptable para un diseño de pavimentos, pero cabe recalcar que no se debe aumentar en gran manera la estabilidad ya que pueden producir pavimentos demasiados rígidos y, por tanto, menos durable.

Gravedad específica Teórica Máxima.

**Tabla 67**

*Comparación de Gravedad Específica Teórica Máxima de mezcla Asfáltica Convencional versus mezcla con incorporación de Caucho*

<b>ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>				
<b>Muestra N°</b>	<b>Asfalto Convencional</b>	<b>Núcleo con 2.0% de caucho</b>	<b>Núcleo con 4.0% de caucho</b>	<b>Núcleo con 6.0% de caucho</b>
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>5.55</b>	<b>5.55</b>	<b>5.55</b>	<b>5.55</b>
Peso específico máximo de la muestra	<b>2.432</b>	<b>2.397</b>	<b>2.377</b>	<b>2.350</b>

*Nota.* Como podemos ver en esta **Tabla 67** en la comparación de la Gravedad Específica de la muestra convencional con las muestras con caucho los resultados obtenidos son de 2.432 para mezcla convencional, de 2.397 para 2.0% de caucho, 2.377 para 4.0% de caucho y 2.350 para 6.0% de caucho, vemos que a medida que aumentamos el porcentaje de adición de caucho la gravedad específica disminuye.

Ensayo de Inmersión – Compresión.

**Tabla 68**

*Ensayo de Inmersión - Compresión de mezcla Asfáltica Convencional versus mezcla con incorporación de Caucho*

<b>INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN-COMPRESIÓN</b>		
<b>ENSAYOS</b>	<b>Resistencia Retenida</b>	<b>Resistencia a la compresión (Mpa)</b>
Asfalto Convencional	80	3.9
con 2 % de caucho	81	4.0
con 4 % de caucho	77	3.1
con 6 % de caucho	74	2.5

*Nota.* En esta **Tabla 68** tenemos la resistencia a la compresión de las muestras patrón y las muestras con incorporación de Caucho donde vemos que hay una ligera diferencia con el 2.0% de caucho y la muestra convencional estando esta primera por encima de todas, pero vemos que a medida que aumentamos el porcentaje de caucho la resistencia disminuye.

Resistencia Conservada (AASHTO T283).

**Tabla 69**

*Resistencia Conservada de mezcla Asfáltica Convencional versus mezcla con incorporación de Caucho*

ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)	
ENSAYOS	RESULTADO (%)
Asfalto Convencional	82
con 2 % de caucho	83
con 4 % de caucho	77
con 6 % de caucho	74

*Nota.* En esta **Tabla 69** vemos que el porcentaje de 2.0% está por sobre las demás muestras pero que a medida que aumentamos el caucho la resistencia conservada disminuye por lo que se recomienda no añadir mucho caucho.

**Resultado del porcentaje más favorable entre la incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado.**

**Tabla 70**

*Comparación de propiedades entre la incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado*

Parámetros de Diseño	Porcentajes de Caucho		
	2.0%	4.0%	6.0%
Golpes N°	75	75	75
Cemento Asfáltico %	5.55	5.55	5.55
Peso Unitario Kg/m <sup>3</sup>	2.294	2.234	2.127
Vacíos %	4.3	6.0	9.5
V.M.A. %	16.1	18.3	22.2
V.L.L.C.A. %	73.4	67.0	57.3
Polvo/asfalto %	0.64	0.59	0.52
Flujo (mm)	13.2	15.0	16.3
Estabilidad (Kn)	9.9	8.0	6.2
Estabilidad/flujo (kg/cm <sup>2</sup> )	3019.9	2147.4	1523.8
Resistencia a la compresión (Mpa)	4.0	3.1	2.5
Resistencia retenida %	81	77	74
Resistencia conservada %	83	77	74

Fuente: Elaboración propia, 2023.

*Nota.* En la **Tabla 70** se puede apreciar la comparación entre las mezclas asfálticas modificadas con caucho ensayadas con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, en cuanto a la mezcla con 2% de caucho se obtuvieron resultados más favorables y que están dentro de los parámetros de la normativa en comparación con las otras 2 mezclas, prueba de ello tenemos en la estabilidad que para un 2% de caucho se obtuvo un resultado de 9.9 KN, para 4% de caucho 8.0 KN y para 6% de caucho 6.2 KN con lo cual se aprecia que la mezcla con contenido de caucho de 2% supera a las otras dos mezclas, a la primera en un 19% y a la segunda en un 37%.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Limitaciones

La presente investigación se vio afectada por la falta de parámetros y/o normas con respecto al tema sobre asfalto – caucho en comparación con otros países, por lo que tuvimos como guía otros estudios o revistas para poder realizar nuestra investigación. Con el tema de los ensayos a realizar no se tenía conocimiento adecuado de la realización de estos por lo que tuvimos que capacitarnos en un curso de Mezclas asfálticas en caliente y sus propiedades analizadas especialmente en el ensayo Marshall.

También en el tema de los materiales a utilizar, ya que el caucho granulado en su mayoría lo venden en toneladas nos fue difícil conseguir los kilogramos que nosotros requeríamos, la gradación que se requería también fue otro impedimento porque la mayoría de fábricas contaban con el material, pero con gradación mayor a la que necesitábamos por lo que se tuvo que buscar en reserva que tenían algunos sintéticos y escogerlos más pequeños posibles. Con respecto a los agregados porque al estar nuestra tesis delimitada para la ciudad de Cajamarca tuvimos que llevar los materiales de Cajamarca al laboratorio de Lima para poder realizar los ensayos. Todo esto conllevó a que tardemos más de lo esperado en la elaboración de la tesis, pero se logró realizar, ya que la empresa Shalom lo transportó.

### Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se acepta la hipótesis planteada que la incorporación de grano de caucho reciclado a la mezcla asfáltica mejorará eficientemente las propiedades físicas – mecánicas, por lo tanto, será óptima para su implementación, ya que este compuesto tiene características que lo hacen sobresalir, se puede hacer una comparación con estudios previos relacionados con el tema tal es el caso de:

Lozano y Reyes (2020), en su investigación “Evaluación del comportamiento de un asfalto modificado con policloruro de vinilo (PVC) y grano de caucho reciclado (GCR)” obtuvo como resultado un incremento del 50% de la rigidez del cemento asfáltico al adicionar 12% de grano de caucho reciclado y 0.8% de policloruro de vinilo, y un incremento del 25% al considerar solo la adición de grano de caucho reciclado. En nuestra investigación con una incorporación de 2% de caucho la rigidez aumentó en un 2.1% más a comparación de la mezcla convencional. En ambas investigaciones se obtuvo resultados favorables, ya que el caucho mejora las propiedades del asfalto.

Por otro lado Lemus, Mosquera y Virviescas (2018), en su investigación “Estudio de mezclas asfálticas densas con adición de materiales alternativos, obtuvieron que el 6.5% es el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y que al incorporarle 18% de caucho logra cumplir eficientemente las especificaciones indicadas por el Instituto Nacional de Vías INVIAS – Colombia, Estabilidad mínima 16.472N, Flujo 3.63mm, Relación Estabilidad/Flujo (Kn/mm) 4.65, Gravedad específica Bulk 2,259, porcentaje de vacíos con aire (VA) de 4.04%, porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de 18.84%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) de 76.18%. En nuestra investigación el contenido óptimo de asfáltico fue de 5.55% y para un 2% de caucho cumple con lo establecido en el Manual de carteras DG-2013 obteniendo una Estabilidad de 9.9KN, flujo de 13.2mm, relación estabilidad/Flujo 3019.9 kg/cm, porcentaje de vacíos con aire (VA) de 4.3%, porcentaje vacíos en agregado mineral (VAM) de 16.1%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) de 74.4%, en ambas investigaciones cumple con lo establecido en el reglamento de acuerdo a su país y queda demostrado que la incorporación del caucho beneficia las propiedades del asfalto, la

diferencia con el porcentaje de contenido de caucho se debe al contenido óptimo de asfalto y a los estándares a cumplir que son diferentes en cada país.

Álvarez y Carrera (2017), en su investigación “Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica”, en esta investigación se incorporó un 1.5% y 2% de caucho a la mezcla asfáltica, obteniendo una estabilidad de 1066.10 kg y 955.70 kg respectivamente, presentando una reducción de resistencia de 12% y 21% para cada una con respecto a la muestra patrón, sin embargo, cumplen los parámetros establecidos por el MTC, en la presente investigación con la incorporación de caucho de 2%, 4% y 6% de los cuales el 2% de caucho se tuvo una estabilidad de 9.9 KN lo cual cumplió con lo establecido en MTC DG-2013 y logro estar por sobre la muestra patrón en un 2%, mejorando así sus propiedades.

También (Soto Avalos, 2018) en su tesis “Influencia de la incorporación de porcentajes de caucho de neumático reciclado sobre los parámetros Marshall en las mezclas asfálticas en caliente, Trujillo 2017” en este caso se utilizó tres contenidos de caucho (1%, 2% y 3%) de llanta en remplazo del agregado fino, los tres contenidos de asfalto cumplieron con lo establecido en el MTC con un porcentaje óptimo de asfalto de 5.8%, pero sobresaliendo más el porcentaje de 1%. En nuestra investigación también se utilizó 3 contenidos de caucho de (2%,4% y 6%) pero el que cumple los parámetros Marshall según MTC es de 2% de caucho con un porcentaje óptimo de asfalto de 5.55%. En ambas investigaciones se puede apreciar que el contenido óptimo de asfalto influencia para que el caucho beneficie o no las propiedades de la mezcla asfáltica.

(Castillo Rutt & Chávarri Vásquez, 2020) en su tesis “Diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho reciclado en Lima, 2020” Para un contenido óptimo de asfalto de 5.8% se obtuvo porcentaje de vacíos con un promedio de 4.5 % de un intervalo de 3% y 5%, una resistencia a la compresión de 2.5 Mpa, resistencia conservada de 79%, resistencia retenida de 83%. Estabilidad sobre flujo de 3515.7 kg/cm, estabilidad de 13.9 kN, peso unitario 2.359 kg/m<sup>3</sup>. En la presente investigación, se obtuvo un contenido óptimo de asfalto de 5.55% para un porcentaje de caucho de 2%, se obtuvo un porcentaje de vacíos de 4.3%, resistencia a la compresión de 4.0 Mpa, resistencia conservada de 83%, resistencia retenida de 81%. Estabilidad sobre flujo de 3019.9 kg/cm, estabilidad de 9.9 kN, peso unitario 2.294 kg/m<sup>3</sup>. La variación de los resultados se debe al contenido óptimo de asfalto, pero ambas cumplen con lo establecido en el reglamento están por sobre las propiedades de las mezclas convencionales.

Por otro lado (Cervera Borja, 2016) en su investigación “Influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos Cajamarca, 2016” se concluyó que influye de manera positiva la incorporación de caucho en porcentajes de 0.5% y 1% con respecto al peso de los agregados, incrementando y mejorando la interrelación del flujo con la estabilidad en un 5%. En nuestra investigación el porcentaje de caucho de 2% incrementó y mejoró la interrelación del flujo con la estabilidad en un 3.3% con respecto a la mezcla convencional.

### **Implicancias**

La implicancia es que, a raíz de esta investigación realizada, se desea mejorar las propiedades de una mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho de neumático reciclado en diferentes porcentajes donde se obtuvieron resultados favorables en el

comportamiento de las propiedades de una mezcla asfáltica en caliente obteniendo aumentos y descensos en los porcentajes de manera favorable para las propiedades como son: El porcentaje de vacíos, relación polvo asfalto, la estabilidad, flujo, resistencia conservada. Para esto se realizó teniendo en cuenta los parámetros del manual de carreteras EG – 2013 y al manual de ensayos de materiales, también de acuerdo a e estudios ya realizados con anterioridad con lo cual se realizó comparaciones para obtener una vista más amplia sobre la investigación elaborada.

Las propiedades de una mezcla asfáltica modificada en caliente con granos de caucho reciclado, obtenidas de la presente investigación, demostraron que, al agregarle caucho a una mezcla asfáltica convencional, mejoró sus propiedades, lo cual responde a nuestros objetivos planteados de la influencia del caucho a la mezcla asfáltica. Siendo esta de gran utilidad, ya que mejorará su vida útil.

En resumen de lo mencionado, los resultados obtenidos son favorables para su incorporación en las mezclas asfáltica a realizar, solo se debe obtener un adecuado porcentaje de caucho el cual fue del 2% en la mezcla asfáltica, la cual se comparó con una mezcla asfáltica tradicional (convencional), obteniendo una mejora en sus propiedades, como son el porcentaje de vacíos, relación polvo/asfalto, la estabilidad, flujo, relación estabilidad/flujo resistencia conservada, ya que con el porcentaje de caucho agregado acompañado de un contenido óptimo de asfalto encontrado demostraron en el ensayo Marshall que es posible emplearlo, por las mejoras en sus propiedades. Es por ello que se da a entender con estos resultados, de que el asfalto modificado con grano de caucho de neumático reciclado tendrá mejores propiedades lo cual conllevará a una mejor vida útil, lo cual puede conllevar a su utilización en proyectos futuros.

## Conclusiones

Se analizó el comportamiento de la incorporación del grano de caucho de neumático reciclado en una mezcla asfáltica en caliente, mediante los parámetros Marshall, logrando que la mezcla mejore sus propiedades, superando y argumentando la expectativa de nuestra hipótesis, del mismo modo ayuda a contribuir con el problema ambiental provocado por los neumáticos desechados, de esta manera concientizando a la sociedad que se le puede dar un mejor uso.

Se obtuvo las propiedades de los agregados de los agregado grueso y fino para una mezcla asfáltica en caliente a través de los ensayos de calidad los cuales estaban dentro de los parámetros dados por el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción (EG – 2013).

Establecimos el porcentaje de contenido óptimo de asfalto para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente el cual después de probar con 4.5%, 5%, 5.5% y 6% se obtuvo un contenido óptimo de asfalto de 5,55% con el cual se trabajó para todos los diseños.

Determinamos los parámetros de mezclas asfálticas mediante la incorporación del 2%, 4% y 6% de caucho granulado de neumáticos reciclados y la mezcla asfáltica convencional según la **Tabla 423-06** (requisitos para un concreto bituminoso), donde se obtuvo para una mezcla convencional un porcentaje de vacíos de 3.5%, porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 14.3%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.A) de 73.6%, relación polvo/asfalto de 0.73%, flujo 12.9 mm, estabilidad de 9.7 KN; mientras que para la mezcla con incorporación de caucho de 2% se obtuvo un porcentaje de vacíos de 4.3%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 16.1, porcentaje de vacíos

lentos de asfalto (V.LL.C.A) de 73.4%, relación polvo/asfalto de 0.64%, flujo 13.2 mm, estabilidad de 9.9 KN; ahora para 4% de caucho se obtuvo un porcentaje de vacíos de 6.0%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 18.3%, porcentaje de vacíos lentos de asfalto (V.LL.C.A) de 67%, relación polvo/asfalto de 0.59%, flujo 15.0 mm, estabilidad de 8.0 KN; finalmente para una incorporación de 6% de caucho se obtuvo un porcentaje vacíos de 9.5%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 22.2%, porcentaje de vacíos lentos de asfalto (V.LL.C.A) de 57.3%, relación polvo/asfalto de 0.52%, flujo 16.3 mm, estabilidad de 6.2 KN, de acuerdo a esto se confirmó que con una incorporación adecuada de caucho granulado se mejora de manera considerable las propiedades de las mezclas asfálticas en caliente.

Comparamos que la mezcla patrón (convencional) y la mezcla con incorporación de 2% de caucho cumplan los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción (EG – 2013), ya que según los siguientes datos obtenidos para una mezcla convencional y una mezcla con incorporación de 2% de caucho el porcentaje de vacíos de 3.5% y 4.3% está dentro de los parámetros de las especificaciones porque nos dice que puede variar entre 3% y 5%, con respecto al flujo tuvimos como resultado 12.9 mm y 13.2mm, está dentro de los parámetros 12 – 14 dados por las especificaciones, una estabilidad de 9.7KN y 9.9KN la cual cumple, ya que los parámetros nos dice que debe ser como mínimo 8.15KN, una relación de estabilidad – flujo de 3016.5 kg/cm<sup>2</sup> y 3019.9 kg/cm<sup>2</sup> lo cual está dentro de los parámetros de 1700 – 4000 dados por las especificaciones, una resistencia a la compresión de 3.9 Mpa y 4.0 Mpa también está dentro de los parámetros porque nos dice que como mínimo debe ser 2.1Mpa, una resistencia retenida de 80% y 81% lo cual cumple, ya que nos dice que como mínimo debe ser 75;

finalmente una resistencia conservada de 82% y 83% lo cual cumple porque nos dice que como mínimo debe ser 80.

Se comparó las propiedades obtenidas de una mezcla convencional y una mezcla con incorporación de caucho de (2%,4% y 6%) en donde se pudo apreciar que la mezcla patrón con la mezcla de 2% de caucho cumple con los estándares del manual y que sus propiedades esta por sobre todas las demás muestras.

Determinamos el porcentaje óptimo de adición entre el 2%, 4% y 6% de caucho granulado de neumáticos para la mezcla asfáltica en donde la adición de 2% de caucho cumple con todos los parámetros dados por el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción (EG – 2013) y mejora en un 26.53% las propiedades del asfalto frente a una mezcla convencional.

Finalmente;

Se recomienda en próximas investigaciones evaluar los porcentajes de caucho de 0.5%, 1.0% y 1.5% para el contenido de asfalto de 5.5% y así ver si cumple con los parámetros Marshall exigidos por el Manual de Carreteras del MTC.

Así mismo, se recomienda no trabajar con porcentajes altos de caucho porque aumenta en gran parte los vacíos en la mezcla. De igual modo, analizar el mejor contenido de asfalto para nuestra mezcla si se va a incrementar el caucho.

## REFERENCIAS

- Garnica Anguas, P., Flores Flores, M., Gómez López, J. A., & Delgado Alamilla, H. (2005). Caracterización Geomecánica de mezclas asfálticas. 119. Obtenido de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt267.pdf>
- AASHTO. (2005). Obtenido de file:///C:/Users/DELL/Downloads/Dialnet-ProcesoDeNormalizacionDeMetodosDeEnsayoDeLaborator-6240957.pdf
- Alarcón, O. (2020). *DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS INCORPORANDO CAUCHO EN LA AV. 22 DE OCTUBRE CUADRA 1-5 CUTERVO- CAJAMARCA*. Lima: Universidad Alas Peruanas.
- Amaya, W., & Soto, J. (2016). *Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de asfalto discontinua con adición de cemento portland*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Avellan Cruz, M. D. (Mayo de 2007). *biblioteca.usac.edu*. Obtenido de biblioteca.usac.edu: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2705\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2705_C.pdf)
- Avellan, M. (2017). *Asfaltos modificados con polímeros*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ayala Cabrera, K. L., & Heredia Miranda, J. H. (18 de Septiembre de 2019). Mezclas Asfálticas mejoradas con caucho de llantas Añadido por vía seca . *Repositorio*, 129. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13840/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-317.pdf>
- Burgos Alvarez, E. R., & Rodríguez Neyra, J. D. (2022). Influencia del caucho reciclado en las propiedades Físicas-Mecánicas en una mezcla asfáltica en caliente, Trujillo 2021. *Repositorio UCV*, 220. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59957?locale-attribute=es>
- Cámara de Comercio de Lima. (16 de Marzo de 2019). *Diario Correo*. Recuperado el 6 de Junio de 2020, de <https://diariocorreo.pe/economia/ccl-el-80-de-las-carreteras-del-peru-esta-en-mal-estado-876224/?ref=dcr>: <https://diariocorreo.pe/economia/ccl-el-80-de-las-carreteras-del-peru-esta-en-mal-estado-876224/?ref=dcr>
- Cano, T. (2019). *Estimación del riesgo de desastres en la subcuenca baja del Río Shullcas zona urbana de la ciudad de Huancayo*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Canta y Vivas. (2018). *"Diseño de mezclas asfálticas adicionando elastómeros y PET reciclado para cargas de tránsito pesado en vías metropolitanas, Lima 2018"*. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Lima, Lima. doi:Repositorio UCV
- Castillo Rutt, A. E., & Chávarri Vásquez, A. (2020). Diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho reciclado en Lima, 2020. *Repositorio UCV*, 147. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59957?locale-attribute=es>
- Cervera Borja, C. A. (2016). Influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumático. cajamarca. 2016. *Repositorio UPN*. Obtenido de

- <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/11236/Cervera%20Borja%20C%20a9sar%20Augusto-PArcial.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- D2172, A. (2013). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/231763069/ENSAYO-LAVADO-DE-ASFALTO-docx>
- Dávalos, Y. (2019). *Obtención de mezclas asfálticas mediante la adición de material reciclado: poliestireno expandido*. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa: UNSA. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1910/Mtdamuyr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz Claros, C. M., & Castro Celis, L. C. (2017). Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá. *Repository USTA*, 82. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2633/Diazcesar2017.pdf>
- Droguett, M. A. (2018). *DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE*. Valparaíso: Repositorio USM. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42232/3560900255183UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinoza, L. (2019). *Utilización del plástico PET reciclado como agregado ligante para un diseño de mezcla asfáltica en caliente de bajo tránsito en la ciudad de Huánuco*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco: UNHV.
- Figuroa, A., Reyes, F., Hernández, D., Jiménez, C., & Bohórquez, N. (2017). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *Ingeniería e Investigación*, 27(3).
- Flores, P., Gatica, A., Trinidad, D., & Sulca, V. (2022). Uso de Grano de Caucho Reciclado para mejorar la resistencia y durabilidad en pavimentos: una revisión literaria. *uees*, 49. Obtenido de <https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/647/650>
- Geloni, G., & Arantes, B. (2020). Análise de cenários resultantes da impermeabilização de espaços destinados à circulação e permanência de pedestres. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 12(17).
- Guzman, L. (2015). *Interacción de una Tecnología de Agua Pluvial con Calidad en el Municipio de Toluca a partir de la Vivienda Urbana*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Hoyos Diaz, L. M., Puicon Herrera, K., & Muñoz Pérez, S. P. (16 de Febrero de 2021). Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas. *Scielo*, 9. Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2215-37052021000100011&lng=en&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2215-37052021000100011&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Instituto Mexicano de Transporte. (2019). *MANUAL DE ENSAYOS PARA LABORATORIO*. Ciudad de México: Sanfandila.
- Lemus, E., Mosquera, J., & Virviescas, X. (2018). *Estudio de mezclas asfálticas densas con adición de materiales alternativos*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16108/1/ESTUDIO%20DE%20MEZCLAS%20ASF%C3%81LTICAS%20DENSAS%20CON%20ADICI%C3%93N%20DE%20MATERIALES%20ALTERNATIVOS.pdf>

- López, O. (2016). *Diseño y simulación de una red de drenaje pluvial para la Zona Centro - Este de la Ciudad de Trinidad*. Santa Clara. Obtenido de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/6659/Tesis%20Osley%20L%C3%B3pez%20Jim%C3%A9nez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lozano, I., & Reyes, C. (2020). *Evaluación del comportamiento de un asfalto modificado con Policloruro de Vinilo (PVC) y Grano de Caucho Reciclado (GCR)*. Ibagué: Universidad de Ibagué.
- Mantilla Forero, J. E., & Castañeda Pinzón, E. A. (Diciembre de 2018). Estudio experimental del efecto del caucho reciclado y la asfaltita en el desempeño del asfalto. *Scielo*, 7. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v86n208/0012-7353-dyna-86-208-257.pdf>
- Marinoski, A., & Ghisi, E. (2018). Evaluación de la viabilidad ambiental y económica de los sistemas de recuperación de agua de lluvia en viviendas de bajo estándar: un estudio de caso en Florianópolis. *Entorno construido*, 18(1).
- Metaute, D., & Casas, D. (2009). *Desarrollo de una mezcla asfáltica utilizando residuos sólidos*. Medellín: Universidad EAFIT. Obtenido de [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/343/DianaMilena\\_MetauteHeredia\\_2009.pdf;jsessionid=91221155E932B82270978846D97FE3B3?sequence=1](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/343/DianaMilena_MetauteHeredia_2009.pdf;jsessionid=91221155E932B82270978846D97FE3B3?sequence=1)
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2015). *Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Lima: MTC. Obtenido de [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_10%20EG%202013.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Propuesta de Norma OS.060: Drenaje pluvial urbano*. Lima.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Propuesta de Norma OS.060: Drenaje pluvial urbano*. Lima.
- MTC. (2015). [portal.mtc.gob.pe](https://portal.mtc.gob.pe). Obtenido de [portal.mtc.gob.pe: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_10%20EG%202013.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf)
- Múnera, J. C., & Ossa, A. (14 de Enero de 2014). Estudio de mezclas binarias Asfalto - Polímero. *Redalyc*, 17. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43030033002>
- NTP 339.128, N. T. (2014). *SUELOS: Método de ensayo para el análisis granulométrico*. Lima. Lima: INDECOPI.
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis* (Quinta ed.). Bogotá: Ediciones de la U.
- Parada, P. (2016). *Propuesta de gestión de drenaje pluvial hacia la sustentabilidad en colonias de Xalapa, Ver.* Veracruz, México. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/handle/123456789/41492>

- Pilares, C. (2018). *Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con fibras de polipropileno incorporada para condiciones de zonas de altura*. Universidad San Ignacio de Loyola. Lima: USIL. Obtenido de [http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/8514/1/2018\\_Pilares-Calla.pdf](http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/8514/1/2018_Pilares-Calla.pdf)
- pueblo, D. d. (28 de Abril de 2022). *defensoria.gob.pe*. Obtenido de [defensoria.gob.pe](https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-pistas-destruidas-en-diversos-puntos-de-cajamarca-ponen-en-peligro-a-ciudadania/): <https://www.defensoria.gob.pe/defensoria-del-pueblo-pistas-destruidas-en-diversos-puntos-de-cajamarca-ponen-en-peligro-a-ciudadania/>
- Reyes Lizcano, F. A., Fonseca Santanilla, E. B., & Figueroa Infante, A. S. (2016). Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado. *Redalyc*, 27. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47711998001>
- Reyes Ortíz, O. J., Fuentes Pumarejo, L. G., & Moreno Torres, O. H. (2013). Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con asfaltos modificados con ceras. *Redalyc*, 19. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85228695010>
- Reyes, F., Madrid, M., & Salas, S. (2012). Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). (P. U. Javeriana, Ed.) *Infraestructura Vial*(17).
- Ríos, F., & Cruz, J. (s.f.). *Diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano: Uso del modelo SWMM*. XXII Congreso Nacional de Hidráulica, Acapulco.
- Romero, V., & Callasi, C. (2017). *Estudio Comparativo de las propiedades físico mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto*. Cusco: Universidad Andina del Cusco. Obtenido de <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1052>
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Managment Model. User's Manual Version 5.1*. Cincinnati.
- Rossman, L. A. (2016). *Storm Water Management Model - Hydrology*. Cincinnati.
- Rossman, L. A. (2017). *Storm Water Management Model - Hydraulics*. Cincinnati.
- Soto Avalos, E. Y. (2018). Influencia de la incorporación de porcentajes de caucho de llanta reciclado sobre los parametros Marshall en las mezclas asfálticas en caliente, Trujillo 2017. *Repositorio UPN*, 231. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30437>
- Súrfax, G. (19 de Enero de 2018). *Determinación de las temperaturas de mezclado y compactación según (ASTM D 2493)*. Obtenido de Grupo Súrfax: <https://gruposurfax.wordpress.com/2018/01/19/determinacion-de-las-temperaturas-de-mezclado-y-compactacion-mediante-la-viscosidad-a-corte-cero/>
- Torres, R., Flores, P., Flores, M., Flores, V., & Mairon, K. (2014). Mezclas asfálticas con materiales reciclados de construcción y demolición para la reparación de pavimentos. (M. Ramos, Ed.) *Ciencias Tecnológicas y Agrárias*, 93-100. Obtenido de <https://www.ecorfan.org/bolivia/handbooks/ciencias%20tecnologicas%20I/Articulo%206.pdf>
- Ugaz Garay, M. J. (13 de Diciembre de 2019). INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE TRES NIVELES (4%, 5% Y 6%) DE EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN MATERIAL PARA AFIRMADO.

- Repositorio* *UPN,* *95.* *Obtenido* *de*  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23079>
- Victoria, P. D. (2021). *Diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano en la ciudad de Otuzco, La Libertad mediante el uso del modelo matemático SWMM*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/21652>
- Vidal, A., Ramírez, D., & Grajales, J. (2014). *Incorporación de tereftalato de polietileno como agente modificador en el asfalto*. Santiago de Cali: Pontificia Universidad Javeriana Cali. Obtenido de [http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3145/Incorporacion\\_teleftalato\\_polietileno.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3145/Incorporacion_teleftalato_polietileno.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Zambrano, A. (2018). *Evaluación del comportamiento del asfalto modificado con polímeros utilizados en la vía asfaltada Macusani - Ollachea km 182+250 al km 188+300*. Juliaca: Universidad Andina "Nestor Cáceres Velásquez". Obtenido de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2974>
- delbono, H., & Delbollo, O. R. (2017). *docplayer.es*. Obtenido de docplayer.es: <https://docplayer.es/199045068-Ahuellamiento-en-pavimentos-asfalticos-utilizando-geosinteticos.html>
- Seminario, S. A., & Tolentino, C. W. (2020). *repositorio.urp.edu.pe*. Obtenido de [repositorio.urp.edu.pe:https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3681/CIVT030\\_73033850\\_T%20%20%20MACEDO%20SEMINARIO%20SERGI%20ALEJANDRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3681/CIVT030_73033850_T%20%20%20MACEDO%20SEMINARIO%20SERGI%20ALEJANDRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**ANEXOS**

**ANEXO 1:** Fotos elección del agregado, cantera Bazán – Cajamarca.



**ANEXO 2:** Fotos de ensayos de calidad de los agregados, laboratorio JC GEOTECNIA SAC – Carabayllo, Lima.

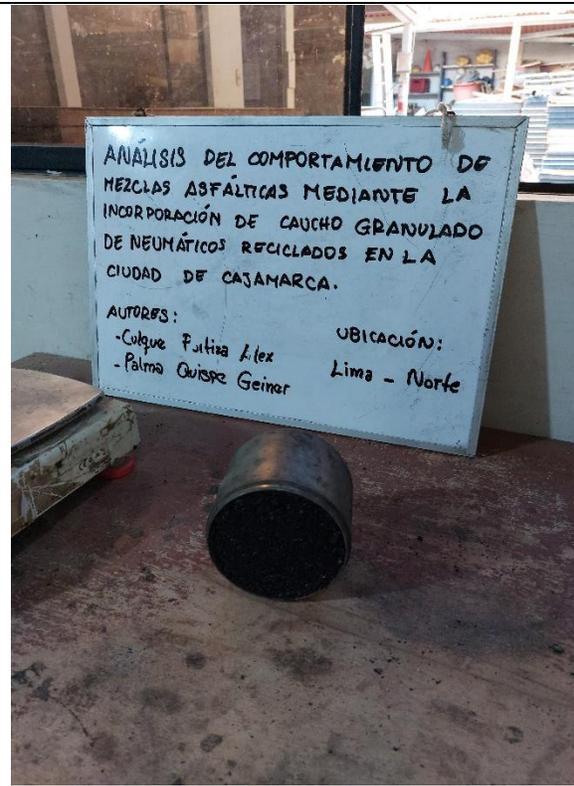






**ANEXO 3:** *Fotos ensayo Marshall, laboratorio JC GEOTECNIA SAC – Carabayllo, Lima.*

















**ANEXO 4: Ensayo de granulometría agregado grueso**



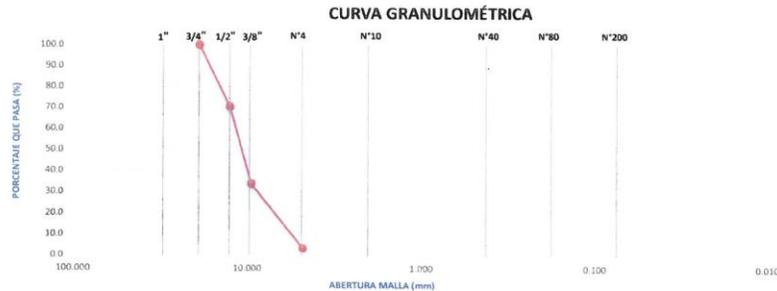
Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
-------------------------------------	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 09/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso. g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400	-	-	-	100.0	<b>Calculos.</b> Tara L-2 Peso de Tara 286.00 g Tara + muestra Humeda 3,557.00 g Tara + muestra Secca 3,540.00 g Contenido de Humedad (%) 0.5 % Muestra Secca 3,254.0 g  <b>Proporciones Agregados.</b> Agregado Grueso. 96.6 % Agregado Fino. 3.4 % Fino Malla 200. 0.0 %
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	
1/2"	12.700	957.0	29.4	29.4	70.6	
3/8"	9.525	1,192.0	36.6	66.0	34.0	
1/4"	6.350	-	-	-	-	
N° 4	4.760	993.0	30.5	96.6	3.4	
N° 6	3.360	-	-	-	-	
N° 8	2.380	111.0	3.4	100.0	0.0	
N° 10	2.000	-	-	-	-	
N° 16	1.190	-	-	-	-	
N° 20	0.840	-	-	-	-	
N° 30	0.590	-	-	-	-	
N° 40	0.426	-	-	-	-	
N° 50	0.297	-	-	-	-	
N° 80	0.177	-	-	-	-	
N° 100	0.149	-	-	-	-	
N° 200	0.074	-	-	-	-	
-200	-	-	-	-	-	



**OBSERVACIONES:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Carlos Colva Corroza ASESOR DE TESIS

**ANEXO 5: Ensayo de granulometría agregado fino**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

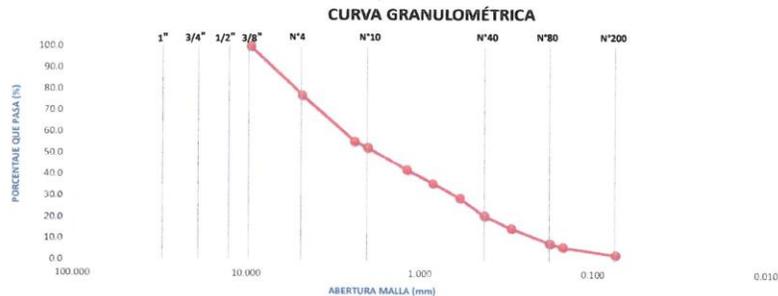
[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
-------------------------------------	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 09/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa		
1"	25.400	0	-	-	100.0		
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	<b>Calculos.</b>	
1/2"	12.700	-	-	-	100.0		Tara
3/8"	9.525	-	-	-	100.0		Peso de Tara
1/4"	6.350	-	-	-	100.0		Tara + muestra Humeda
N° 4	4.760	218.8	22.7	22.7	77.3	Tara + muestra Seca	
N° 6	3.360	-	-	22.7	77.3	Contenido de Humedad (%)	
N° 8	2.380	207.5	21.5	44.2	55.8		
N° 10	2.000	26.9	2.8	47.0	53.0	Muestra Seca	
N° 16	1.190	101.8	10.6	57.6	42.4		
N° 20	0.840	60.4	6.3	63.8	36.2		
N° 30	0.590	65.3	6.8	70.6	29.4		
N° 40	0.426	79.9	8.3	78.9	21.1		
N° 50	0.297	56.0	5.8	84.7	15.3	<b>Proporciones Agregados.</b>	
N° 80	0.177	68.4	7.1	91.8	8.2		Agregado Grueso.
N° 100	0.149	16.8	1.7	93.5	6.5		Agregado Fino.
N° 200	0.074	35.3	3.7	97.2	2.8		Fino Malla 200.
-200	-	27.0	2.8	100.0			



**OBSERVACIONES:**  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Carlos Calvo Carrasco ASESOR DE TESIS

**ANEXO 6: Análisis granulométrico (combinación de agregados)**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2

Carabaylo - Lima

www.jcgeotecniasac.com

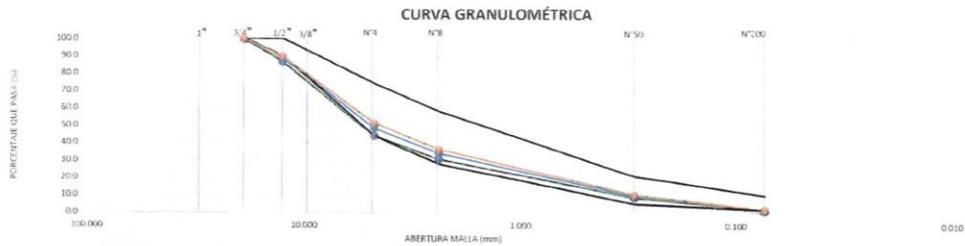
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (COMBINACIÓN DE AGREGADOS)
-------------------------------------	---

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 09/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				1	2	3	ASTM D 3515 "D 5"	
	ABERT. mm	Grava triturada	Arena triturada	Filler	% Pasa	% Pasa	% Pasa		
1"	25 400				100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	88.9	89.2	89.7	90.0	100.0
1/2"	12.700	70.6	100.0	100.0					
3/8"	9.525								
1/4"	6.350								
N° 4	4.750	3.4	77.3	100.0	54.2	49.6	51.6	44.0	74.0
N° 6	3.360								
N° 8	2.380		55.8	100.0	70.9	34.3	36.5	28.0	58.0
N° 10	2.000								
N° 16	1.190								
N° 20	0.840								
N° 30	0.590								
N° 40	0.426								
N° 50	0.297		15.3	98.0	8.8	9.8	10.4	5.0	21.0
N° 80	0.177								
N° 100	0.149								
N° 200	0.074		2.8	90.0	2.0	2.2	2.3	2.0	10.0
-200	-								

Mezcla N° 01	46.0	54.0	0.6
Mezcla N° 02	47.0	50.0	0.6
Mezcla N° 03	35.0	64.5	0.6

OK



OBSERVACIONES:  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Carlos Culca Carrasco ASESOR DE TESIS
---	---	---

**ANEXO 7: Ensayo de Abrasión de los Ángeles**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ABRASIÓN LOS ÁNGELES
-------------------------------------	---

**Solicitantes** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**F. de ensayo** : 09/01/2023

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
**Identificación** : Cantera "BAZAN"  
**Descripción** : Grava triturada

**ABRASIÓN LOS ÁNGELES (MTC E207)**

MUESTRA	1	2	3	4	5	6
GRADACIÓN	"B"	"B"				
PESO MUESTRA	5003	5005				
1 - 1/2" - 1"						
1" - 3/4"						
3/4" - 1/2"	2500	2501				
1/2" - 3/8"	2503	2504				
3/8" - 1/4"	-	-				
1/4" - Nº 4	-	-				
Nº 4 - Nº 8	-	-				
RETENIDO Nº12	3050	3110				
PASA Nº 12	1953	1895				
% DESGASTE	39.0	37.9				

**PROMEDIO** : 38.4 %

**Observaciones :**  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	<p>ABEL MARCELO PASQUÉL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p>	<p>Carlos Calva Carrasco</p>
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 8: Sales solubles totales agregado grueso**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO SALES SOLUBLES TOTALES
-------------------------------------	---

**Solicitantes** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**F. de ensayo** : 09/01/2023

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
**Identificación** : Cantera "BAZAN"  
**Descripción** : Grava triturada

**SALES SOLUBLES TOTALES (MTC E219)**

Ensayo	Resultados		Especificación
	ppm	%	%
Contenido de sales solubles	907.0	0.09	0.5 máx.

**Observaciones:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	 <b>Carlos Elder C. C. Carrero</b> <b>ASESOR DE TESIS</b>

**ANEXO 9: Ensayo de Durabilidad al sulfato de sodio y Magnesio del agregado grueso.**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO
-------------------------------------	---

Solicitantes : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 F. de ensayo : 09/01/2023

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
 Identificación : Cantera "BAZAN"  
 Descripción : Grava triturada

**DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO (MTC 209)**

**ANÁLISIS CUANTITATIVO**

TAMAÑO		Gradación Original (%)	Peso requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
2 1/2"	2"		3000±300							
2"	1 1/2"		2000±200							
1 1/2"	1"		1000±50							
1"	3/4"		500±30							
3/4"	1/2"	30.5	670±10	670.0		623.1	46.9	7.0	2.13	
1/2"	3/8"	37.9	330±5	300.0		282.7	17.3	5.8	2.19	
3/8"	N° 4	31.6	300±5	300.0		278.0	22.0	7.3	2.32	

TOTAL 6.64 %

OBSERVACIONES:  
Solución en Sulfato de Magnesio

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
<p>Jefe de Laboratorio</p>	<p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p> <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Carlos Eldor Calvo Corrao</p> <p>ASESOR DE TESIS</p>

**ANEXO 10: Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN
-------------------------------------	--

Solicitantes : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 F. de ensayo : 09/01/2023

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera "BAZAN"
Descripción	: Grava triturada
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E206)</b>	

AGREGADO GRUESO						
MUESTRA		1	2	3	4	PROMEDIO
A	Peso del mat. sat. superf. seco (en el aire) (g)	2406.0	2389.0			
B	Peso del mat. sat. superf. seco (en el agua) (g)	1418.5	1468.4			
C	Vol. de masa + Vol. de vacíos (cc)	987.5	920.6			
D	Peso del material seco en el horno (105°C) (g)	2379.0	2361.0			
E	Vol. de masa (g)	960.5	892.6			
F	Peso específico bulk (base seca) (g./cc)	2.409	2.565			2.487
G	Peso específico bulk (base saturada) (g./cc)	2.436	2.595			2.516
H	Peso específico aparente (base seca) (g./cc)	2.477	2.645			2.561
I	% de absorción	1.13	1.19			1.2

Observaciones:  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	<p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p>	<p>Carlos Elder Colón Carrasco</p>
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 11: Ensayo de cara fracturada del agregado grueso**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS
-------------------------------------	---

Solicitantes : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 F. de ensayo : 09/01/2023

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
 Identificación : Cantera "BAZAN"  
 Descripción : Grava triturada

**PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS (MTC E210)**

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido T.	(g)	(g)	( B/A)*100	% Parcial	CxD
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.3	489.0	97.7	43.46	42.48
1/2"	3/8"	345.8	303.0	87.6	30.04	26.32
3/8"	1/4"	305.0	249.0	81.6	26.50	21.63
		1151.1				
<b>TOTAL</b>					<b>90.44 %</b>	

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido Tamiz	(g)	(g)	( B/A)*100	% Parcial	CxD
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.3	421.4	84.2	43.46	36.61
1/2"	3/8"	345.8	248.1	71.7	30.04	21.55
3/8"	1/4"	305.0	195.5	64.1	26.50	16.98
<b>Total:</b>						
<b>TOTAL</b>					<b>75.15 %</b>	

Observaciones:  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Carlos Elder Calvo Carrasco ASESOR DE TESIS
--	--	--

**ANEXO 12: Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS
-------------------------------------	--

**Solicitantes** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**F. de ensayo** : 09/01/2023

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
**Identificación** : Cantera "BAZAN"  
**Descripción** : Grava triturada

**PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS (ASTM D4791)**

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa Tamiz	Retenido Tamiz	(g)	(g)	(B/A)*100	%	(CxD)/100
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	500.3	21.3	4.3	43.46	1.85
1/2"	3/8"	345.8	23.2	6.7	30.04	2.02
3/8"	1/4"	305.0	17.2	5.6	26.50	1.49
		1151.1				
TOTAL						5.36 %

**Observaciones:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	<p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p>	<p>Carlos Elder Calvo Carrasco</p>
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 13: Equivalente de arena del agregado fino**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2

Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA
-------------------------------------	---

**Solicitantes** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**F. de ensayo** : 09/01/2023

**Tipo de muestra** : Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional  
**Identificación** : Cantera "BAZAN"  
**Descripción** : Arena triturada

**EQUIVALENTE DE ARENA (MTC E514)**

DESCRIPCIÓN		MUESTRAS			
		1	2	3	4
Tamaño máximo (pasa malla N° 4)	mm	4.76	4.76	4.76	
Hora de entrada a saturación		09:15	09:23	09:36	
Hora de salida de saturación	(10')	09:25	09:33	09:46	
Hora de entrada a decantación		09:27	09:35	09:48	
Hora de salida de decantación	(20')	09:47	09:55	10:08	
Lectura Inicial	pulg	5.9	6.1	5.80	
Lectura Final	pulg	4.6	4.7	4.50	
Equivalente de Arena	%	78.0	77.0	77.6	

<b>PROMEDIO</b>	<b>77.5 %</b>
-----------------	---------------

**Observaciones:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 <b>Jefe de Laboratorio</b>	 <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 <b>Carlos Elder Calvo Carrasco</b> ASESOR DE TESIS

**ANEXO 14: Ensayo de Limite de Consistencia del agregado fino**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO LIMITE DE CONSISTENCIA
-------------------------------------	---

Solicitantes : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
F. de ensayo : 09/01/2023

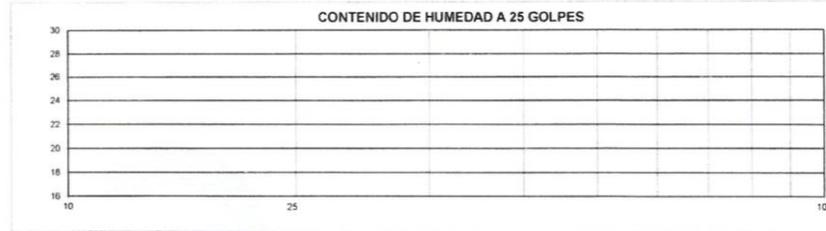
Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera "BAZAN"
Descripción	: Arena triturada
<b>LIMITE DE CONSISTENCIA (MTC E 111)</b>	

LÍMITE LÍQUIDO				
N° TARRO	1	2	3	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)				
PESO TARRO + SUELO SECO (g)				
PESO DE AGUA (g)				
PESO DEL TARRO (g)				
PESO DEL SUELO SECO (g)				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
NUMERO DE GOLPES				

N.P

LÍMITE PLÁSTICO				
N° TARRO	4	5	6	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO (g)				
PESO TARRO + SUELO SECO (g)				
PESO DE AGUA (g)				
PESO DEL TARRO (g)				
PESO DEL SUELO SECO (g)				
CONTENIDO DE DE HUMEDAD (%)				

N.P



CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO	
LÍMITE PLÁSTICO	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	

OBSERVACIONES
Pasante la malla N° 40

<p>Elaborado por:</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p> <p style="text-align: center;">ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p> <p style="text-align: center;">Carlos Calvo Corrales</p> <p style="text-align: center; font-size: 0.8em;">ASESOR DE TESIS</p>
--	--	--

**ANEXO 15: Ensayo de gravedad específica y absorción del agregado fino**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN
-------------------------------------	--

**Solicitantes** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**F. de ensayo** : 09/01/2023

<b>Tipo de muestra</b>	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
<b>Identificación</b>	: Cantera "BAZAN"
<b>Descripción</b>	: Arena triturada
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN (MTC E205)</b>	

AGREGADO FINO						
MUESTRA		1	2	3	4	PROMEDIO
A	Peso del mat. sat. superf. Seco (en el aire) (g)	500.00	500.00			
B	Peso fiola calibrada con agua (g)	655.49	655.49			
C	Peso fiola con agua + peso del mat. s.s.s. (g)	1155.49	1155.49			
D	Peso del mat. + peso fiola + H2O (g)	965.96	966.63			
E	Vol. de masa + vol. de vacíos (cc)	189.53	188.86			
F	Peso mat. seco en el horno (105°C) (g)	493.10	494.30			
G	Vol. de masa (g)	182.63	183.16			
H	Peso específico bulk (base seca) (g./cc)	2.602	2.617			2.609
I	Peso específico bulk (base saturada) (g./cc)	2.638	2.647			2.643
J	Peso específico aparente (base seca) (g./cc)	2.700	2.699			2.699
K	% de absorción	1.40	1.15			1.3

**Observaciones:**  
\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	<p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p>	<p>Carlos Elder Calva Carrojo</p>
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 16: Ensayo de Durabilidad al sulfato de sodio y magnesio del agregado fino**



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO
-------------------------------------	---

Solicitantes : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 F. de ensayo : 09/01/2023

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera "BAZAN"
Descripción	: Arena triturada
<b>DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y MAGNESIO (MTC 209)</b>	
ANÁLISIS CUANTITATIVO	

AGREGADO FINO										
TAMAÑO		Gradación Original (%)	Peso mín. requerido (g)	Peso fracción ensayada (g)	N° de partículas	Peso ret. después de ensayo (g)	Pérdida		Pérdida corregida (%)	N° de partículas
Pasa	Retiene						Peso (gr)	%		
3/8"	N° 04	32.8	100	100	--	93.1	6.9	6.9	2.27	--
N° 04	N° 08	31.1	100	100	--	97.0	3.0	3.0	0.93	--
N° 08	N° 16	15.3	100	100	--	95.2	4.8	4.8	0.73	--
N° 16	N° 30	9.8	100	100	--	93.1	6.9	6.9	0.68	--
N° 30	N° 50	8.4	100	100	--	96.8	3.2	3.2	0.27	--
N° 50	N° 100	2.5	100	100	--	91.3	8.7	8.7	0.22	--

TOTAL	5.10
-------	------

OBSERVACIONES:  
Solución en Sulfato de Magnesio

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Carlos Elder Calvo Corrao ASESOR DE TESIS
--	---	--

**ANEXO 17: Ensayo de sales solubles totales del agregado fino**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO SALES SOLUBLES TOTALES</b>
--	---

**Solicitantes** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**F. de ensayo** : 09/01/2023

<b>Tipo de muestra</b>	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
<b>Identificación</b>	: Cantera "BAZAN"
<b>Descripción</b>	: Arena triturada
<b>SALES SOLUBLES TOTALES (MTC E219)</b>	

Ensayo	Resultados		Especificación
	ppm	%	%
Contenido de sales solubles	766.0	0.08	0.5 máx.

**Observaciones:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	<p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 2214665 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p>	<p>Carlos Elder Calvo Carrasco</p>
<b>Jefe de Laboratorio</b>	<b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	<b>ASESOR DE TESIS</b>

**ANEXO 18: Ensayo de azul de metileno del agregado fino**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO AZUL DE METILENO
-------------------------------------	---

Solicitantes : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 F. de ensayo : 09/01/2023

Tipo de muestra	: Diseño de mezcla asfáltica con asfalto convencional
Identificación	: Cantera "BAZAN"
Descripción	: Arena triturada
<b>AZUL DE METILENO (AASHTO TP 57)</b>	

Ensayo	Resultados	Especificación
	mg/g	mg/g
Contenido de reactividad	5.0 mg/g	8.0 máx.

**Observaciones:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	<p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221475 JC GEOTECNIA LABORATORIO</p>	<p>Carlos Eldor Calvo Corroico</p>
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 19: Granulometría agregado grueso para ensayo Marshall**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

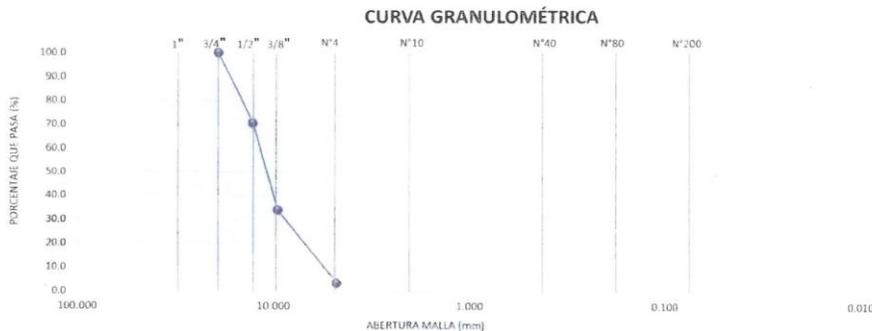
www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>
--	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 09/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso. g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400	-	-	-	100.0	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	
1/2"	12.700	957.0	29.4	29.4	70.6	Calculos.
3/8"	9.525	1,192.0	36.6	66.0	34.0	Tara
1/4"	6.350	-	-	-	-	Peso de Tara
N° 4	4.760	993.0	30.5	96.6	3.4	Tara + muestra Humeda
N° 6	3.360	-	-	-	-	Tara + muestra Seca
N° 8	2.380	111.0	3.4	100.0	0.0	Contenido de Humedad (%)
N° 10	2.000	-	-	100.0	0.0	Muestra Seca
N° 16	1.190	-	-	-	-	
N° 20	0.840	-	-	-	-	
N° 30	0.590	-	-	-	-	
N° 40	0.426	-	-	-	-	
N° 50	0.297	-	-	-	-	Proporciones Agregados.
N° 80	0.177	-	-	-	-	Agregado Grueso.
N° 100	0.149	-	-	-	-	Agregado Fino.
N° 200	0.074	-	-	-	0.0	Fino Malla 200.
-200	-	-	-	-	-	



**OBSERVACIONES:**  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	 <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221453 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. <small>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</small>	 <b>Carlos Eldor Gallo Corrales</b> <small>ASESOR DE TESIS</small>

**ANEXO 20: Granulometría agregado fino para ensayo Marshall**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2

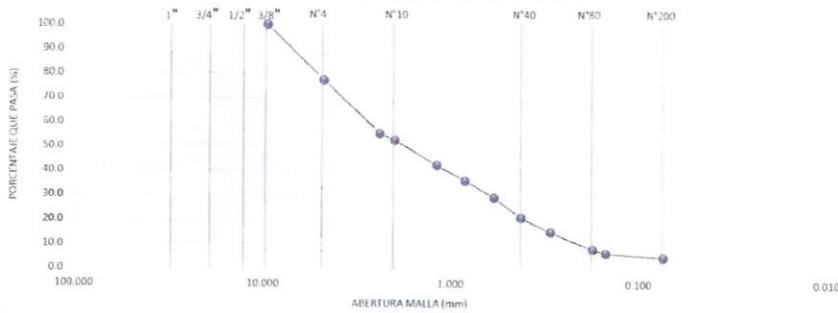
Carabaylo - Lima

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>
--	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 09/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso. g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400					
3/4"	19.050					Calculos.
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					Peso de Tara 117.0 g
1/4"	6.350	-	-	-	100.0	Tara + muestra Humeda 1,088.00 g
N° 4	4.760	218.8	22.7	22.7	77.3	Tara + muestra Seca 1,081.00 g
N° 6	3.360	3.360	-	22.7	77.3	Contenido de Humedad (%) 0.7 %
N° 8	2.380	207.5	21.5	44.2	55.8	
N° 10	2.000	26.9	2.8	47.0	53.0	Muestra Seca 964.0 g
N° 16	1.190	101.8	10.6	57.6	42.4	
N° 20	0.840	60.4	6.3	63.8	36.2	
N° 30	0.590	65.3	6.8	70.6	29.4	
N° 40	0.426	79.9	8.3	78.9	21.1	
N° 50	0.297	56.0	5.8	84.7	15.3	Proporciones Agregados.
N° 80	0.177	68.4	7.1	91.8	8.2	Agregado Grueso. 22.7 %
N° 100	0.149	16.8	1.7	93.5	6.5	Agregado Fino. 77.3 %
N° 200	0.074	15.0	1.6	95.1	4.9	Fino Malla 200. 0.0 %
-200	-	47.3	4.9	100.0		

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



**OBSERVACIONES:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	 <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221463 JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 <b>Carlos Edovaldo Calvo Carrasco</b> ASESOR DE TESIS

**ANEXO 21: Combinación de agregados para ensayo Marshall**



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

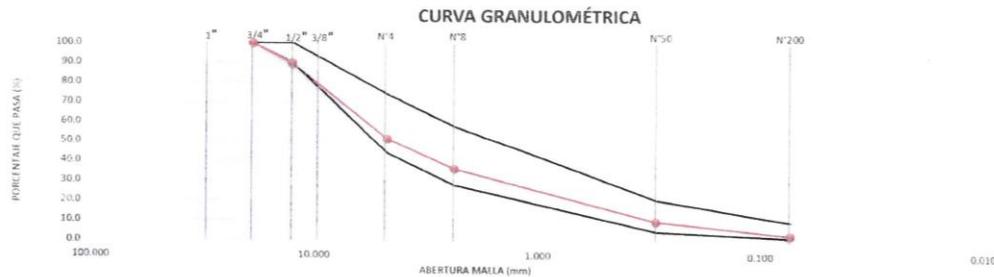
www.jcgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (COMBINACIÓN DE AGREGADOS)
-------------------------------------	---

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					ASTM D 3515 "D 5"	
	ABERT. mm	Grava triturada	Arena triturada	Filler	% Pasa		
1"	25.400						
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.700	70.6	100.0	100.0	89.7	90.0	100.0
3/8"	9.525						
1/4"	6.350						
N° 4	4.760	3.4	77.3	100.0	51.5	44.0	74.0
N° 6	3.360						
N° 8	2.380	-	55.8	100.0	36.4	28.0	58.0
N° 10	2.000						
N° 16	1.190						
N° 20	0.840						
N° 30	0.590						
N° 40	0.426						
N° 50	0.297		15.3	98.0	10.2	5.0	21.0
N° 80	0.177						
N° 100	0.149						
N° 200	0.074		4.9	95.0	3.5	2.0	10.0
-200	-						

<b>Mezcla de agregados</b>	<b>36.0</b>	<b>64.7</b>	<b>0.3</b>
----------------------------	-------------	-------------	------------



**OBSERVACIONES:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC. GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	 <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 <b>Carlos Caldera Corroza</b>
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 22: Ensayo Marshall con 4.5% de contenido de asfalto**



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MARSHALL
-------------------------------------	-----------------------------------

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"		Nº 4	Nº 8	Nº 50		Nº 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	89.7		51.5	36.4	10.2		3.5
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	90 - 100		44 - 74	28 - 58	5 - 21		2 - 10
BRIQUETA Nº					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					4.5			
2	% Grava > Nº4 en peso de la Mezcla					46.31			
3	% Arena < Nº4 en peso de la Mezcla					48.93			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.29			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.018			
6	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Bulk) gr/cc					2.560			
7	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1210.5	1211.4	1207.4		
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)				1215.5	1215.1	1212.7		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				692.2	692.1	690.2		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				523.3	523.0	522.5		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.313	2.316	2.311	2.313	
17	Peso Especifico Máximo - Rice (ASTM D 2041)					2.481			
18	% de Vacíos = (17-16)x100/17 (ASTM D 3703)				6.8	6.6	6.8	6.7	3 - 5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.582			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.660			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					1.16			
22	% de Asfalto Efectivo					3.37			
23	Relación Polvo/Asfalto					1.02			0.6 - 1.3
24	V.M.A.				14.4	14.3	14.5	14.4	14
25	% Vacíos llenos con C.A.				53.2	53.7	52.8	53.2	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				11.0	10.0	11.0	10.7	8 - 14
27	Estabilidad sin corregir (Kg)				1168	1135	1172		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1121	1090	1125	1112	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo				4077	4358	4091	4176	1700 - 4000

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP Nº 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Carlos Gilso Corvoso ASESOR DE TESIS

**ANEXO 23: Ensayo Marshall con 5.0% de contenido de asfalto**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

www.jcgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MARSHALL
-------------------------------------	-----------------------------------

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	3/2"	No 4	No 8	No 50			No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100	89.7	51.5	36.4	10.2			3.5
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	90 - 100	44 - 74	28 - 58	5 - 21			2 - 10
BRQUETA N°				1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.	
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.0			
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla					46.06			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					48.67			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					0.29			
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc					1.018			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc					2.560			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.600			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					3.110			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)			1209.6	1204.2	1209.3			
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)			1212.4	1207.8	1213.7			
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)			693.2	696.5	695.0			
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)			519.2	517.3	518.7			
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)			2.330	2.328	2.331	2.330		
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)					2.449			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)			4.9	5.0	4.8	4.9	3 - 5	
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total					2.582			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total					2.644			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado					0.93			
22	% de Asfalto Efectivo					4.10			
23	Relación Polvo/Asfalto					0.84			0.6 - 1.3
24	V.M.A.			14.3	14.3	14.2	14.3	14	
25	% Vacios llenos con C.A.			65.8	65.4	66.1	65.7		
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)			11.0	12.0	12.0	11.7	8 - 14	
27	Estabilidad sin corregir (Kg)			1049	1073	1086			
28	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00			
29	Estabilidad Corregida 27 * 28			1049	1073	1086	1069	MIN 815	
30	Estabilidad / Flujo			3815	3577	3620	3670	1700 - 4000	

Elaborado por:  Jefe de Laboratorio	Revisado por:  ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221455 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Carlos Colva Cotrasco ASESOR DE TESIS
---	---	---

ANEXO 24: Ensayo Marshall con 5.5% de contenido de asfalto



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MARSHALL
-------------------------------------	-----------------------------------

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUTIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 12/01/2023

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	No 4	No 8	No 50			No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	89.7	51.5	36.4	10.2			3.5
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	90 - 100	44 - 74	28 - 58	5 - 21			2 - 10
BRIQUETA Nº				1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.	
1	% C.A. en Peso de la Mezcla								
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla								
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla								
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc								
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc								
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc								
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)			1205.5	1210.0	1209.0			
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)			1208.6	1213.2	1212.6			
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)			694.3	697.3	696.3			
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)			514.4	515.9	516.3			
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)			2.344	2.345	2.342			2.344
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)								
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)			3.7	3.6	3.8			3.7
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total								
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total								
21	Asfalto Absorbido por el Agregado								
22	% de Asfalto Efectivo								
23	Relación Polvo/Asfalto								
24	V.M.A.			14.2	14.1	14.3			14.2
25	% Vacios llenos con C.A.			74.1	74.5	73.6			74.1
26	Flujo 0.01"(0,25 mm)			12.0	13.0	13.0			12.7
27	Estabilidad sin corregir (Kg)			988	996	964			
28	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00			
29	Estabilidad Corregida 27 * 28			988	996	964			983
30	Estabilidad / Flujo			3294	3064	2966			3108
									1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
  Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUILL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221455 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 Carlos Calva Corrao ASESOR DE TESIS

**ANEXO 25: Ensayo Marshall con 6.0% de contenido de asfalto**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MARSHALL
-------------------------------------	-----------------------------------

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D6927)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	No 4	No 8	No 50			No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	89.7	51.5	36.4	10.2			3.5
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	90 - 100	44 - 74	28 - 58	5 - 21			2 - 10
BRQUETA. N°				1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.	
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				6.0				
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				45.58				
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				48.16				
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla				0.28				
5	Peso Especifico Aparente del C.A. (Aparente) gr/cc				1.018				
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.560				
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.600				
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc				3.110				
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)			1215.2	1209.6	1206.8			
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)			1216.7	1211.9	1208.0			
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)			697.2	695.2	693.2			
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)			519.5	516.8	514.8			
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)			2.339	2.341	2.344	2.341		
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)				2.415				
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)			3.1	3.1	2.9	3.1	3 - 5	
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total				2.582				
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total				2.646				
21	Asfalto Absorbido por el Agregado				0.96				
22	% de Asfalto Efectivo				5.08				
23	Relación Polvo/Asfalto				0.68			0.6 - 1.3	
24	V.M.A.			14.8	14.8	14.6	14.7	14	
25	% Vacios llenos con C.A.			78.8	79.1	79.9	79.3		
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)			14.0	14.0	14.0	14.0	8 - 14	
27	Estabilidad sin corregir (Kg)			838	895	870			
28	Factor de estabilidad			1.00	1.00	1.00			
29	Estabilidad Corregida 27 * 28			838	895	870	868	MIN 815	
30	Estabilidad / Flujo			2395	2557	2485	2479	1700 - 4000	

<p>Elaborado por:</p> <p style="text-align: center;">Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p> <p style="text-align: center;">ABEL MARCELO PASCULLI INGENIERO CIVIL - CIP N° 221405 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p> <p style="text-align: center;">Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p> <p style="text-align: center;">CARLOS COLVA CARRASCO</p> <p style="text-align: center;">ASESOR DE TESIS</p>
--	---	--

**ANEXO 26:** Ensayo de Gravedad específica teórica máxima para asfalto convencional



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA</b>
-------------------------------------	---

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)					
MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0	6047.0
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8191.0	8191.0	8191.0	8191.0	8191.0
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	7700.0	7691.8	7692.9	7690.0	7690.0
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8918.0	8914.5	8904.9	8900.0	8900.0
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1218.0	1222.7	1212.0	1210.0	1210.0
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	491.0	499.2	498.1	501.0	501.0
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)	2.481	2.449	2.433	2.415	2.415
CONTENIDO % C.A.	4.50	5.00	5.50	6.00	6.00

**Observaciones :**

• Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 JEFE DE LABORATORIO	 ABEL MARCELO PASCO INGENIERO CIVIL - CIP N° 221473 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 CARLOS CALVA CORRASCO ASESOR DE TESIS

ANEXO 27: Determinación del contenido óptimo de Asfalto



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

www.jcgeotecniasac.com

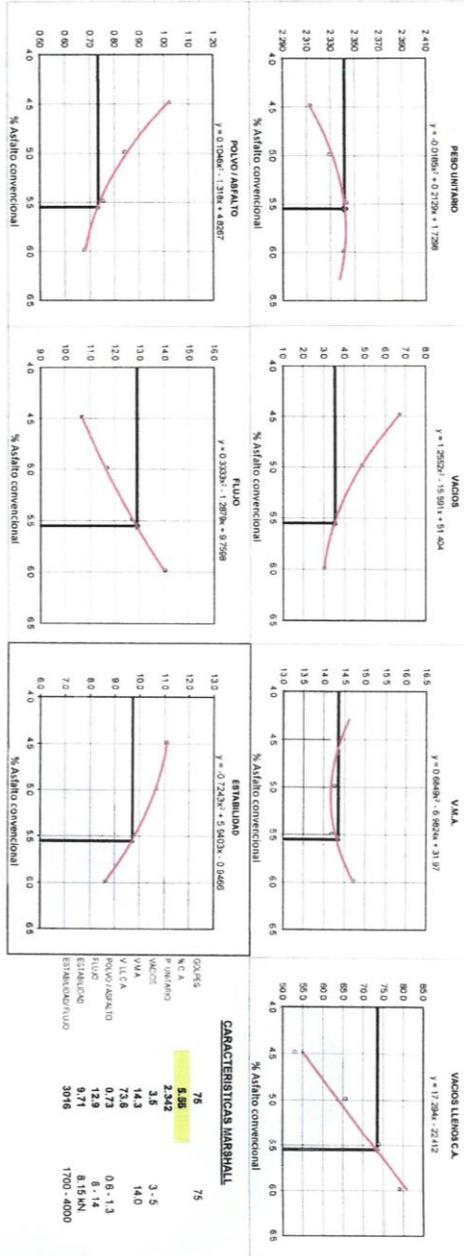
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYO  
DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392289) - GEREN USISES PALMA QUISPE (72494248)  
**Proyecto** : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS  
**Ubicación** : RECIKLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC (asfalto convencional)

DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO  
CURVAS DE ENERGÍA DE COMPACTACIÓN CONSTANTE



ABEL MARCELO PASQUEL  
INGENIERO CIVIL - CIP N° 221656  
JC GEOTECNIA LABORATORIOS S.A.C.

**ANEXO 28: Índice de Compactibilidad**



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

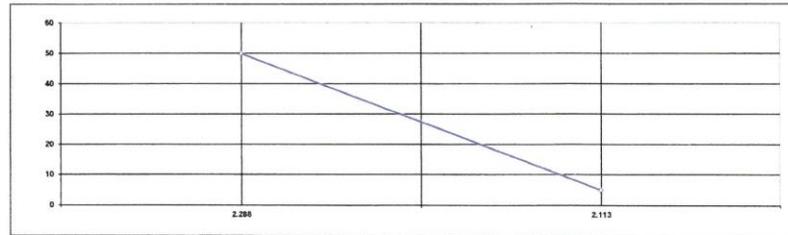
www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ÍNDICE DE COMPACTIBILIDAD
-------------------------------------	--

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 12/01/2023

Tipo de muestra	: Mezcla asfáltica en caliente (MAC)
Descripción	: Diseño MAC (Asfalto convencional)
<b>INFORME DE ENSAYO ÍNDICE DE COMPACTIBILIDAD</b>	



Nº de Muestras	01	02	03	04
Nº de Golpes Marshall	50	50	5	5
1. Peso Biquete al Aire	1201.3	1205.1	1199.8	1204.8
2. Peso Biquete Saturado con Super Seco	1209.4	1212.6	1222.9	1225.5
3. Peso tra Desplazamiento	684.7	685.4	684.1	686.2
4. Volumen de la Biquete	524.7	527.2	568.6	569.3
5. Peso Unitario (G/cm³)	2.288	2.286	2.109	2.116
<b>PROMEDIOS</b>		<b>2.288</b>		<b>2.113</b>

2,288	2,113
50	5

1
0.175
(Escala - GBS)

IC =	5.72
------	------

<p>Jefe del Laboratorio</p>	Revisado por:  <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por:  Carlos Celso Corroico ASESOR DE TESIS
-----------------------------	--	---

**ANEXO 29: Ensayo de inmersión – Compresión de asfalto convencional**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO INMERSIÓN - COMPRESIÓN
-------------------------------------	---

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 12/01/2023

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
 Descripción : Diseño MAC (Asfalto convencional)

INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN						
Nº DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo		
	01	02		03	04	
1	Diametro	10.10	10.11	10.11	10.12	
2	Espesor	6.60	6.60	6.63	6.61	
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55	
4	Peso Probeta al Aire	1204.6	1201.3	1203.3	1199.9	
5	Peso de la Probeta Saturada (60')	1206.3	1204.0	1206.1	1202.4	
6	Peso de la Probeta en el Agua	693.2	696.3	692.1	691.0	
7	Volumen de la Probeta	513.1	508.7	514.0	511.4	
8	Peso Especifico Bulk de la Probeta	2.348	2.362	2.341	2.346	
9	Estabilidad sin corregir	917	926	727	742	
10	Factor Estabilidad	1.00	1.00	1.00	1.00	
11	Estabilidad corregida (kg)	917	926	727	742	
12	Promedio Estabilidad ( 30 Minutos ) ( kg )	922				
13	Promedio Estabilidad ( 24 Horas ) ( kg )			735		
14	Resistencia retenida (%)				80	
15	Resistencia a la compresión ( Mpa )				3.9	

**Observaciones :**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 Carlos Celva Corroso ASESOR DE TESIS

**ANEXO 30: Resumen ensayo Marshall para una mezcla convencional**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO
-------------------------------------	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392026) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC (Asfalto convencional)

DISEÑO DE MEZCLA EN CALIENTE MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO (RESUMEN)
--

**1.- Mezcla de agregados (Dosificación)**

Agregado grava triturada TM 3/4" (Cantera Bazan) : 35.0 %  
 Agregado arena triturada (Cantera Bazan) : 64.7 %  
 Filler : 0.3 %  
 Gradación : ASTM D 3515 - D5 "Especificación técnica MTC EG - 2013 sección (423)"

**2.- Ligante asfáltico**

Tipo de asfalto : PEN 85 / 100  
 % optimo de asfalto residual : 5.56

**3.- Características marshall modificado**

Parámetros de diseño	- 0.2 %	% Optimo	+0.2 %	Especificación EG 2013
GOLPES N°		75.0		75
CEMENTO ASFÁLTICO %	5.35	5.56	5.75	
PESO UNITARIO kg/m <sup>3</sup>	2.339	2.342	2.342	
VACIOS %	3.9	3.5	3.3	
V.M.A. %	14.2	14.3	14.5	3 - 5
V. LL. C. A. %	70.2	73.6	77.1	14
POLVO / ASFALTO %	0.77	0.73	0.71	
FLUJO mm	12.4	12.9	13.4	0.6 - 1.3
ESTABILIDAD kN	10.1	9.7	9.3	8 - 14
ESTABILIDAD/FLUJO kg/cm	3256.5	3016.6	2770.4	8.15
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Mpa		3.9		1700 - 4000
RESISTENCIA RETENIDA %		80		2.1
				75

**Observaciones:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<p><b>Elaborado por:</b></p> <p>Jefe de Laboratorio</p>	<p><b>Revisado por:</b></p> <p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p> <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p><b>Aprobado por:</b></p> <p>CARLOS CALVA CARRASCO</p> <p>ASESOR DE TESIS</p>
---	---	---

**ANEXO 31: Ensayo de lavado de asfalto**



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

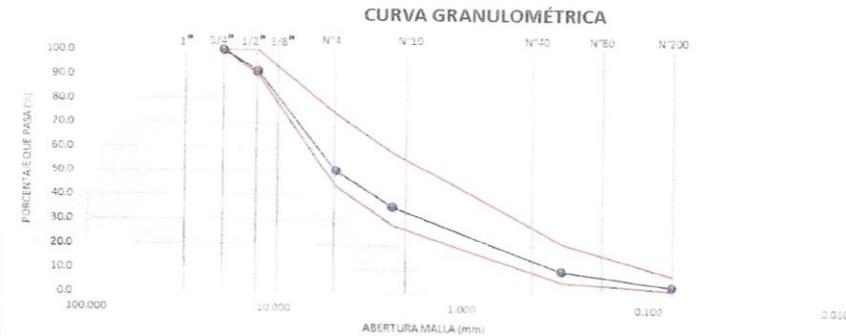
www.jcgeotecniasac.com

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO LAVADO ASFÁLTICO</b>
--	---

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494246)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO								
TAMIZ	ABERTURA	PESO	PORCENTAJE			ESPECIFICACION		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
ASTM	mm	Retenido	Retenido	Acumul.	Pasante	ASTM D5		
3"	76.200							
2 1/2"	63.000							
2"	50.000							
1 1/2"	37.500							
1"	25.000							
3/4"	19.000				100.0	100	100	Peso muestra Inicial: 1200.00 gr
1/2"	12.500	102.8	8.6	8.6	91.4	90	100	Peso muestra Final: 1132.60 gr
3/8"	9.500							Peso muestra Rectificado: 1133.90 gr
1/4"	6.350							
# 4	4.750	491.2	40.9	40.9	50.5	44	74	Peso Filtro Inicial: 7.20 gr
# 8	2.360	180.9	15.1	56.0	35.4	28	58	Peso Filtro Final: 8.50 gr
# 10	2.000							Peso del Asfalto: 66.10 gr
# 16	1.180							% C. Asfáltico: 5.51 %
# 30	0.600							
# 40	0.420							
# 50	0.295	310.1	25.8	25.8	9.6	5	21	Observaciones :
# 100	0.150							
# 200	0.075	73.6	6.1	32.0	3.5	2	8	
>200		41.4	4.9	36.9				

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



 <b>Jefe de Laboratorio</b>	<b>Revisado por:</b>  <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. <b>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</b>	<b>Aprobado por:</b>  <b>Carlos Epler Cabo Corrao</b> <b>ASESOR DE TESIS</b>
--------------------------------	--	---

**ANEXO 32: Granulometría del agregado grueso para ensayo Marshall con incorporación de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

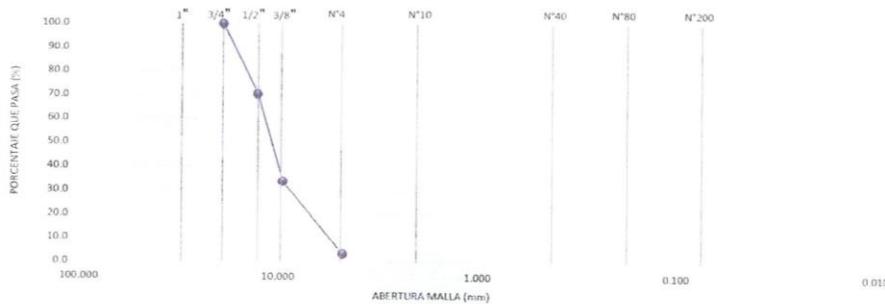
[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
-------------------------------------	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 09/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso. g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400	-	-	-	100.0	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	
1/2"	12.700	957.0	29.4	29.4	70.6	Calculos.
3/8"	9.525	1,192.0	36.6	66.0	34.0	Tara L-2
1/4"	6.350	-	-	-	-	Peso de Tara
N° 4	4.760	993.0	30.5	96.6	3.4	Tara + muestra Humeda
N° 6	3.360	-	-	-	-	Tara + muestra Seca
N° 8	2.380	111.0	3.4	100.0	0.0	Contenido de Humedad (%)
N° 10	2.000	-	-	-	-	Muestra Seca
N° 16	1.190	-	-	-	-	
N° 20	0.840	-	-	-	-	
N° 30	0.590	-	-	-	-	
N° 40	0.426	-	-	-	-	
N° 50	0.297	-	-	-	-	Proporciones Agregados.
N° 80	0.177	-	-	-	-	Agregado Grueso.
N° 100	0.149	-	-	-	-	Agregado Fino.
N° 200	0.074	-	-	-	0.0	Fino Malla 200.
-200	-	-	-	-	-	

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



**OBSERVACIONES:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Carlos Palma Cornejo ASESOR DE TESIS

**ANEXO 33: Granulometría del agregado fino para ensayo Marshall con incorporación de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

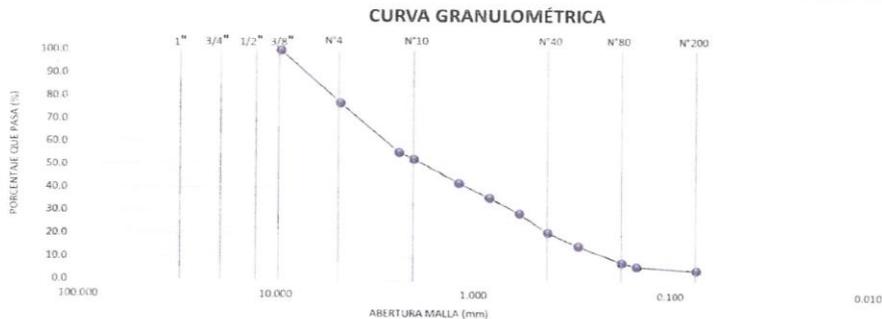
www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
-------------------------------------	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 09/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400	-	-	-	100.0	
3/4"	19.050	-	-	-	100.0	<b>Calculos.</b>
1/2"	12.700	-	-	-	100.0	Tara
3/8"	9.525	-	-	-	100.0	Peso de Tara
1/4"	6.350	-	-	-	100.0	Tara + muestra Humeda
N° 4	4.760	218.8	22.7	22.7	77.3	Tara + muestra Seca
N° 6	3.360	-	-	22.7	77.3	Contenido de Humedad (%)
N° 8	2.380	207.5	21.5	44.2	55.8	
N° 10	2.000	26.9	2.8	47.0	53.0	<b>Muestra Seca</b>
N°16	1.190	101.8	10.6	57.6	42.4	
N° 20	0.840	60.4	6.3	63.8	36.2	
N° 30	0.590	65.3	6.8	70.6	29.4	
N° 40	0.426	79.9	8.3	78.9	21.1	
N° 50	0.297	56.0	5.8	84.7	15.3	<b>Proporciones Agregados.</b>
N° 80	0.177	68.4	7.1	91.8	8.2	Agregado Grueso.
N° 100	0.149	16.8	1.7	93.5	6.5	Agregado Fino.
N° 200	0.074	15.0	1.6	95.1	4.9	Fino Malla 200.
-200	-	47.3	4.9	100.0		



**OBSERVACIONES:**  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	 <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. <small>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</small>	 <small>ASESOR DE TESIS</small>

**ANEXO 34: Análisis granulométrico del caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

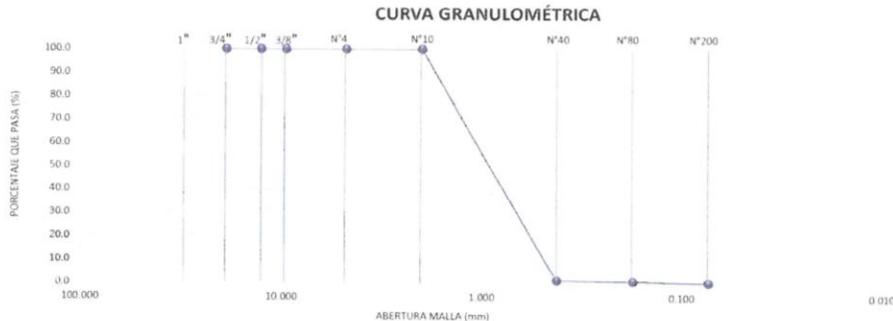
www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b>
--	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

TAMIZ ASTM	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
	ABERT. mm	Peso, g	% Retenido	% Acum.	% Pasa	
1"	25.400					<b>Calculos.</b> Tara A-1 Peso de Tara 100.00 g Tara + muestra Humeda 600.00 g Tara + muestra Seca 600.00 g Contenido de Humedad (%) 0.0 % Muestra Seca 500.0 g
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
N° 4	4.760					
N° 6	3.360					
N° 8	2.380					
N° 10	2.000				100.0	
N° 16	1.190	339.7	67.9	67.9	32.1	
N° 20	0.840	114.8	23.0	90.9	9.1	<b>Proporciones Agregados.</b> Agregado Grueso. 0.0 % Agregado Fino. 100.0 % Fino Malla 200. 0.0 %
N° 30	0.590	32.4	6.5	97.4	2.6	
N° 40	0.426	6.8	1.4	98.7	1.3	
N° 50	0.297	0.7	0.1	98.9	1.1	
N° 80	0.177	1.5	0.3	99.1	0.9	
N° 100	0.149	1.1	0.2	99.4	0.6	
N° 200	0.074	1.5	0.3	99.7	0.3	
-200	-	1.7	0.3	100.0		



**OBSERVACIONES:**  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221453 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 Carlos Eder Calvo Carrasco ASESOR DE TESIS

**ANEXO 35: Análisis granulométrico (Combinación de agregados) para mezcla con caucho**



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

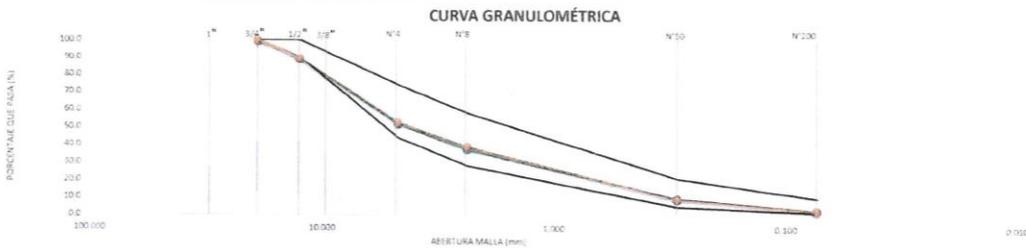
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (COMBINACIÓN DE AGREGADOS)</b>
--	---

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISEP (72494249)  
 Proyecto : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 12/01/2023

TAMIZ ASTM	ABERT. mm	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				1 2 3			ASTM D 3515 "D 5"	
		Grava triturada	Arena triturada	Caucho	Filler	% Pasa	% Pasa	% Pasa		
1"	25.400									
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.700	70.6	100.0	100.0	100.0	89.7	89.7	89.7	90.0	100.0
3/8"	9.525									
1/4"	6.350									
N° 4	4.760	3.4	77.3	100.0	100.0	52.0	52.4	52.9	44.0	74.0
N° 6	3.360									
N° 8	2.380	0.0	55.8	100.0	100.0	37.1	38.2	39.1	28.0	58.0
N° 10	2.000									
N° 16	1.190									
N° 20	0.840									
N° 30	0.590									
N° 40	0.426									
N° 50	0.297		15.3	1.1	98.0	9.9	9.6	9.4	5.0	21.0
N° 80	0.177									
N° 100	0.149									
N° 200	0.074		4.9	0.3	90.0	3.4	3.3	3.2	2.0	10.0
-200	-									

Mezcla N° 01 (2.0% Caucho)	35.0	52.7	2.0	0.3
Mezcla N° 02 (4.0% Caucho)	35.0	50.7	4.0	0.3
Mezcla N° 03 (6.0% Caucho)	32.0	52.7	6.0	0.3



OBSERVACIONES:  
 \* Prohíbe la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASOULL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221455 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Carlos Elder Calvo Carrasco ASESOR DE TESIS

**ANEXO 36: Ensayo Marshall con 2.0% de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2

Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MARSHALL
-------------------------------------	-----------------------------------

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Núcleos moldeados con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (2.0% de caucho)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D 6927)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	No 4	No 6	No 50			No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	89.7	52.0	37.3	9.9			3.4
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	90 - 100	44 - 74	28 - 58	5 - 21			2 - 10
BRIQUETA N°				1	2	3	PROMEDIO		ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla								
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla								
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla								
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla								
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc								
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc								
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc								
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc								
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)								
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)								
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)								
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)								
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta								
17	Peso especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)								
18	% de Vacios (ASTM D 3203)								
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total								
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total								
21	Asfalto Absorbido por el Agregado								
22	% de Asfalto Efectivo								
23	Relación Polvo/Asfalto								
24	V.M.A.								
25	% Vacios llenos con C.A.								
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)								
27	Estabilidad sin corregir (Kg)								
28	Factor de estabilidad								
29	Estabilidad Corregida								
30	Estabilidad / Flujo								

<p>Elaborado por:</p>  <p>Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p>  <p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221493 JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC</p> <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p>  <p>Carlos Elder Galvo Corvoro</p> <p>ASESOR DE TESIS</p>
--	---	--

**ANEXO 37: Ensayo de inmersión – compresión para 2% de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO INMERSIÓN - COMPRESIÓN
-------------------------------------	---

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 12/01/2023

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
 Descripción : Nucleos moldeados con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (2.0% d

INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN						
		Grupo seco			Grupo húmedo	
	Nº DE PROBETAS	01	02	03	04	
1	Diametro	10.10	10.11	10.11	10.12	
2	Espesor	6.85	6.90	6.93	6.95	
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55	
4	Peso Probeta al Aire	1204.6	1200.3	1203.3	1199.9	
5	Peso de la Probeta Saturada (60')	1208.3	1204.6	1207.1	1203.8	
6	Peso de la Probeta en el Agua	685.2	682.0	684.1	684.0	
7	Volumen de la Probeta	523.1	522.6	523.0	519.8	
8	Peso Especifico Bulk de la Probeta	2.303	2.297	2.301	2.308	
9	Estabilidad sin corregir	987	1026	797	791	
10	Factor Estabilidad	0.96	0.96	0.96	1.00	
11	Estabilidad corregida (kg)	948	985	765	791	
12	Promedio Estabilidad ( 30 Minutos ) ( kg )	966				
13	Promedio Estabilidad ( 24 Horas ) ( kg )			778		
14	<b>Resistencia retenida (%)</b>			<b>81</b>		
15	<b>Resistencia a la compresión ( Mpa )</b>			<b>4.0</b>		

**Obsevaciones :**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL, CIP Nº 221473 JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Carlos Elder Calva Carrasco ASESOR DE TESIS

ANEXO 38: Ensayo Marshall con 4.0% de caucho



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2

Carabayllo - Lima

www.jcgeotecniasac.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MARSHALL
-------------------------------------	-----------------------------------

**Solicitante:** ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto:** ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE  
**Ubicación:** CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo:** 12/01/2023

**Tipo de muestra:** Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción:** Nucleos moldeados con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (4.0% de caucho)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D 6927)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	No 4	No 8	No 50			No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	89.7	52.4	38.2	9.6			3.3
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	90 - 100	44 - 74	28 - 58	5 - 21			2 - 10
BRQUETA N°				1	2	3	PROMEDIO		ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla				5.55				
2	% Grava > N°4 en peso de la Mezcla				44.93				
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla				49.24				
4	% Cemento Portland en peso de la Mezcla				0.28				
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc				1.018				
6	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc				2.560				
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc				2.600				
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc				3.110				
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc								
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc								
11	Altura promedio de la briqueta cm								
12	Peso de la briqueta al aire (gr)			1204.5	1202.0	1206.0			
13	Peso de la briqueta al agua por 60 (gr)			1211.8	1209.6	1213.7			
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)			673.3	671.7	672.7			
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)			538.5	537.9	541.0			
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta			2.237	2.235	2.229	2.234		
17	Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)				2.377				
18	% de Vacios (ASTM D 3203)			5.9	6.0	6.2	6.0	3 - 5	
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total				2.582				
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total				2.580				
21	Asfalto Absorbido por el Agregado				-0.04				
22	% de Asfalto Efectivo				5.59				
23	Relación Polvo/Asfalto				0.59		0.59	0.6 - 1.3	
24	V.M.A.			18.2	18.3	18.5	18.3	14	
25	% Vacios llenos con C.A.			67.5	67.1	66.3	67.0		
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)			16.0	14.0	15.0	15.0	8 - 14	
27	Estabilidad sin corregir (kg)			838	882	867			
28	Factor de estabilidad			0.93	0.93	0.93			
29	Estabilidad Corregida			779	820	806	802	MIN 815	
30	Estabilidad / Flujo			1948	2344	2150	2147	1700 - 4000	

<p>Elaborado por:</p> <p>Jefe de Laboratorio</p>	<p>Revisado por:</p> <p>ABEL MARCELO PISCO INGENIERO CIVIL - CIP N° 271473 JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC</p> <p>Ingeniero de Suelos y Pavimentos</p>	<p>Aprobado por:</p> <p>Carlos Eder Alva Carrasco</p> <p>ASESOR DE TESIS</p>
--	---	--

**ANEXO 39: Ensayo de inmersión – compresión para 4% de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO INMERSIÓN - COMPRESIÓN</b>
-------------------------------------	---

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Nucleos moldeados con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (4.0% d

INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN						
N° DE PROBETAS		Grupo seco			Grupo húmedo	
		01	02	03	04	
1	Diámetro	10.10	10.11	10.11	10.12	
2	Espesor	6.97	6.98	6.95	6.98	
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55	
4	Peso Probeta al Aire	1202.1	1203.7	1205.0	1201.3	
5	Peso de la Probeta Saturada (60')	1209.4	1210.6	1212.5	1208.8	
6	Peso de la Probeta en el Agua	673.2	672.5	674.0	674.3	
7	Volumen de la Probeta	536.2	538.1	538.5	534.5	
8	Peso Especifico Bulk de la Probeta	2.242	2.237	2.238	2.248	
9	Estabilidad sin corregir	856	826	637	640	
10	Factor Estabilidad	0.93	0.93	0.93	0.96	
11	Estabilidad corregida (kg)	796	768	592	614	
12	Promedio Estabilidad ( 30 Minutos) ( kg )	782				
13	Promedio Estabilidad ( 24 Horas ) ( kg )				603	
14	<b>Resistencia retenida (%)</b>				<b>77</b>	
15	<b>Resistencia a la compresión ( Mpa )</b>				<b>3.1</b>	

Observaciones :

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASCO INGENIERO CIVIL - CIP N° 62146 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 Carlos Elder Calvo Carrasco ASESOR DE TESIS

**ANEXO 40: Ensayo Marshall con 6.0% de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO MARSHALL
-------------------------------------	-----------------------------------

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER UISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 12/01/2023

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
 Descripción : Nucleos moldeados con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (6.0% de caucho)

INFORME DE ENSAYO MARSHALL (ASTM D 6927)									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"		No 4	No 8	No 50		No 200
% PASA MATERIAL	100.0	100.0	89.7		52.9	39.1	9.4		3.2
ESPECIFICACIONES	100	100 - 100	90 - 100		44 - 74	28 - 58	5 - 21		2 - 10
BRIQUETA N°					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1 % C.A. en Peso de la Mezcla						5.55			
2 % Grava > N°4 en peso de la Mezcla						44.50			
3 % Arena < N°4 en peso de la Mezcla						49.66			
4 % Cemento portland en peso de la Mezcla						0.28			
5 Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc						1.018			
6 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Bulk) gr/cc						2.560			
7 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc						2.600			
8 Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc						3.110			
9 Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc									
10 Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc									
11 Altura promedio de la briqueta cm									
12 Peso de la briqueta al aire (gr)					1199.7	1202.4	1199.9		
13 Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)					1210.0	1213.2	1210.0		
14 Peso de la briqueta desplazado (gr)					648.0	646.2	645.6		
15 Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc)					562.0	567.0	564.4		
16 Peso especifico Bulk de la Briqueta					2.135	2.121	2.126	2.127	
17 Peso Especifico Maximo - Rice (ASTM D 2041)						2.350			
18 % de Vacios (ASTM D 3203)					9.2	9.8	9.5	9.5	3 - 5
19 Peso Especifico Bulk Agregado Total						2.582			
20 Peso Especifico Efectivo Agregado total						2.546			
21 Asfalto Absorbido por el Agregado						-0.56			
22 % de Asfalto Efectivo						6.08			
23 Relacion Polvo/Asfalto						0.52		0.52	0.6 - 1.3
24 V.M.A.					21.9	22.4	22.2	22.2	14
25 % Vacios llenos con C.A.					58.2	56.5	57.1	57.3	
26 Flujo 0,01(0,25 mm)					16.0	16.0	17.0	16.3	8 - 14
27 Estabilidad sin corregir (Kg)					725	734	709		
28 Factor de estabilidad					0.86	0.86	0.86		
29 Estabilidad Corregida					624	631	610	621	MIN 815
30 Estabilidad / Fijo					1559	1578	1435	1524	1700 - 4000

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221458 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 Carlos Elder Calva Carrasco
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 41: Ensayo de inmersión – compresión para 6% de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO INMERSIÓN - COMPRESIÓN</b>
-------------------------------------	---

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 12/01/2023

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
 Descripción : Nucleos moldeados con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (6.0% d

INFORME DE ENSAYO DE INMERSIÓN - COMPRESIÓN						
Nº DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo		
	01	02		03	04	
1	Diametro	10.10	10.11		10.11	10.12
2	Espesor	7.01	7.05		7.03	7.04
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.55	5.55		5.55	5.55
4	Peso Probeta al Aire	1199.1	1202.5		1204.2	1201.8
5	Peso de la Probeta Saturada (60°)	1209.5	1213.6		1214.5	1212.8
6	Peso de la Probeta en el Agua	643.2	642.5		644.0	644.3
7	Volumen de la Probeta	566.3	571.1		570.5	568.5
8	Peso Especifico Bulk de la Probeta	2.117	2.106		2.111	2.114
9	Estabilidad sin corregir	741	732		545	539
10	Factor Estabilidad	0.86	0.86		0.86	0.86
11	Estabilidad corregida (kg)	637	630		469	464
12	Promedio Estabilidad ( 30 Minutos) ( kg )	633				
13	Promedio Estabilidad ( 24 Horas ) ( kg )				466	
14	<b>Resistencia retenida (%)</b>				<b>74</b>	
15	<b>Resistencia a la compresión ( Mpa )</b>				<b>2.5</b>	

**Observaciones :**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	<p>ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.</p>	<p>Carlos Elder Colos Corrosio</p>
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 42:** *Ensayo de Gravedad específica teórica máxima para asfalto con caucho*



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA
-------------------------------------	---

Solicitante : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
 Proyecto : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
 Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA  
 Fecha de ensayo : 12/01/2023

Tipo de muestra : Diseño de mezcla asfáltica en caliente  
 Identificación : Cantera  
 Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando caucho molido en la composición granulométrica (2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho)

MUESTRA N°	Núcleo con 2 % de caucho	Núcleo con 4 % de caucho	Núcleo con 6 % de caucho		
1.- PESO DEL FRASCO	6047.0	6047.0	6047.0		
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	8191.0	8191.0	8191.0		
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	7692.0	7682.0	7674.0		
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	8888.0	8892.0	8889.0		
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1196.0	1210.0	1215.0		
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	499.0	509.0	517.0		
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.397	2.377	2.360		
CONTENIDO % C.A.	5.55	5.55	5.55		

Observaciones :  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL- CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 Carlos Elder Colva Corrao ASESOR DE TESIS

**ANEXO 43: Comparación de mezcla convencional con mezcla con incorporación de caucho**



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

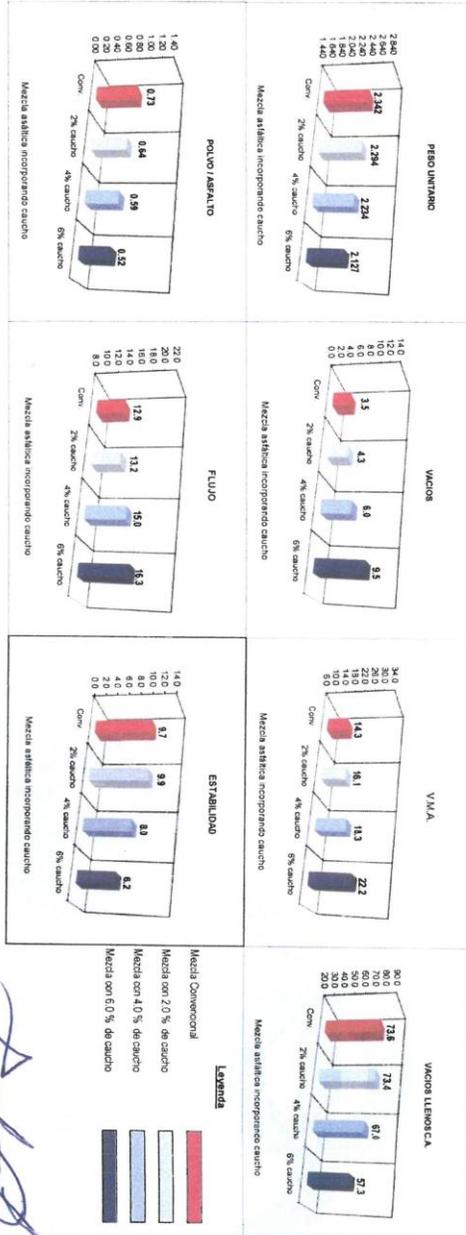
Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

MEZCLA ASFÁLTICA	CONV.	2.0% caucho	4.0% caucho	6.0% caucho
PUL. BLOQUETA	2.342	2.294	2.294	2.127
VACIOS	3.5	4.3	6.0	9.5
V.M.A.	14.3	16.1	18.3	22.2
POVO / ABR.	73.6	73.4	67.0	57.3
ESTABILIDAD	9.7	9.9	8.0	6.2
ESTIA / FLUIDO	3016.5	3015.9	2147.4	1523.8



**ABEL MARCELO PASQUEL**  
INGENIERO CIVIL - CIP Nº 221456  
JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**

**CERTIFICADO DE ENSAYO**

**COMPARATIVO DE RESULTADOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MEZCLA ASFÁLTICA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS**

Solicitante : ALEX JAVIER GUILLE RUIZ (7238388) - GERENTE LUIS PALMA QUISEP (7246248)

Proyecto : ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA

Ubicación : CIUDAD DE CAJAMARCA

Fecha de ensayo : 12/07/2023

Tipo de muestra : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Descripción : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando caucho molido en la composición granulométrica (2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho)

**COMPARATIVO DE RESULTADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCORPORANDO CAUCHO MOLIDO EN LA COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA GRÁFICOS DE BARRAS**

**ANEXO 44:** Resumen de ensayo Marshall para mezcla con incorporación de caucho y mezcla convencional



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO COMPARATIVO DE MEZCLA EN CALIENTE MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO</b>
--	--

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Comparativo de mezcla asfáltica en caliente incorporando caucho molido en la composición granulométrica (2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho)

**COMPARATIVO DE MEZCLA EN CALIENTE  
MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO  
(RESUMEN)**

**1.- Mezcla de agregados (Dosificación)**

Agregado grava triturada TM 3/4" (Cantera Bazan)  
Agregado arena triturada (Cantera Bazan)  
Caucho molido  
Filler

35.0	35.0	35.0	35.0
64.7	62.7	60.7	58.7
0.0	2.0	4.0	6.0
0.3	0.3	0.3	0.3

Gradación : ASTM 3515 - D5 "Especificación técnica MTC EG -2013 sección (423)"

**2.- Ligante asfáltico**

Tipo de asfalto : PEN 85/100  
% óptimo de asfalto residual : 5.55

**3.- Características marshall modificado**

Parámetros de diseño	% Óptimo diseño convencional	2.0 % de caucho	4.0 % de caucho	6.0 % de caucho	Especificación EG 2013
GOLPES N°	75	75	75	75	75
CEMENTO ASFÁLTICO %	5.55	5.55	5.55	5.55	
PESO UNITARIO kg/m <sup>3</sup>	2.342	2.294	2.234	2.127	
VACIOS %	3.5	4.3	6.0	9.5	3 - 5
V.M.A. %	14.3	16.1	18.3	22.2	14
V.L.L.C.A. %	73.6	73.4	67.0	57.3	
POLVO / ASFALTO %	0.73	0.64	0.59	0.52	0.6 - 1.3
FLUJO 0.01", 0.25 mm	12.9	13.2	15.0	16.3	8 - 14
ESTABILIDAD kN	9.7	9.9	8.0	6.2	8.15
ESTABILIDAD/ FLUJO kg/cm	3016.5	3019.9	2147.4	1623.8	1700 - 4000

**Observaciones:**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
	 <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 <b>Carlos Eldor Colva Carrero</b> ASESOR DE TESIS

**ANEXO 45: Resistencia conservada de asfalto convencional**



**JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC**  
SUELOS-CONCRETO-ASFALTO

Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabaylo - Lima

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)</b>
--	---

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC (Asfalto convencional)

**INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)**

N° DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo	
	01	02	Promedio	04	05
1 Diámetro	10.13	10.15		10.16	10.15
2 Espesor	7.04	7.01		6.87	6.95
3 Contenido de Cemento Asfáltico	5.55	5.55		5.55	5.55
4 Peso Probeta al Aire	1207.1	1203.5		1206.3	1199.0
5 Peso de la Probeta Saturada (60°)	1220.6	1218.8		1221.7	1214.4
6 Peso de la Probeta en el Agua	885.3	884.0		888.3	883.0
7 Volumen de la Probeta	535.3	534.8		533.4	531.4
8 Peso Especifico Bulk de la Probeta	2.255	2.250		2.282	2.256
9 % de Vacíos	7.3	7.5		7.0	7.2
10 Estabilidad sin corregir	536	543		450	445
11 Factor Estabilidad	0.96	0.96		0.93	0.96
12 Estabilidad corregida (kg)	515	521		419	427
15 Promedio Estabilidad ( 30 Minutos) (kg)	<b>518</b>				
16 Promedio Estabilidad ( 24 Horas ) (kg)				<b>423</b>	
17 Resistencia conservada ( % )				<b>82</b>	

**Observaciones :**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Carlos Elder Calvo Carrojo ASESOR DE TESIS

**ANEXO 46: Resistencia conservada de asfalto con incorporación de 2% de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

www.jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)</b>
--	---

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (2.0% de caucho)

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)						
N° DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo		
	01	02	Promedio	04	05	
1	10.13	10.15		10.18	10.15	
2	7.21	7.20		7.25	7.24	
3	5.55	5.55		5.55	5.55	
4	1198.9	1203.5		1201.0	1199.0	
5	1215.4	1217.8		1216.7	1214.4	
6	676.0	677.0		676.0	674.0	
7	530.4	540.8		540.7	540.4	
8	2.223	2.225		2.221	2.219	
9	7.3	7.2		7.3	7.4	
10	488	518		426	409	
11	0.93	0.93		0.93	0.93	
12	454	480		396	380	
15	467					
16				388		
17				83		

**Observaciones :**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221163 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C. Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 Carlos Eldor Calvo Carrasco ASESOR DE TESIS

**ANEXO 47: Resistencia conservada de asfalto con incorporación de 4% de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242  
Fijo: 01 656 6232  
informes@jcgeotecniasac.com  
Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

[www.jcgeotecniasac.com](http://www.jcgeotecniasac.com)

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)</b>
--	---

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (4.0% de caucho)

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)						
N° DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo		
	01	02	Promedio	04	05	
1	Diametro	10.1	10.16	10.14	10.15	
2	Espesor	7.3	7.27	7.32	7.30	
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55	
4	Peso Probeta al Aire	1201.1	1205.5	1203.8	1202.0	
5	Peso de la Probeta Saturada (60°)	1219.6	1218.8	1220.7	1219.4	
6	Peso de la Probeta en el Agua	675.0	672.0	673.0	675.0	
7	Volumen de la Probeta	544.6	546.8	547.7	544.4	
8	Peso Especifico Bulk de la Probeta	2.205	2.205	2.198	2.208	
9	% de Vacios	7.2	7.3	7.5	7.1	
10	Estabilidad sin corregir	385	376	285	300	
11	Factor Estabilidad	0.89	0.89	0.89	0.89	
12	Estabilidad corregida (kg)	343	335	254	267	
15	Promedio Estabilidad ( 30 Minutos ) (kg)	<b>339</b>				
16	Promedio Estabilidad ( 24 Horas ) (kg)				<b>260</b>	
17	Resistencia conservada ( % )				<b>77</b>	

**Observaciones :**

\* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 ABEL MARCELO PASQUEL INGENIERO CIVIL - CIP N° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 Carlos Elder Calva Carrasco ASESOR DE TESIS

**ANEXO 48: Resistencia Conservada de asfalto con incorporación de 6% de caucho**



Cel.: 916 333 983 / 986 575 242

Fijo: 01 656 6232

informes@jcgeotecniasac.com

Asociación Villa Gloria Mz D Lt 2  
Carabayllo - Lima

www.jcgeotecniasac.com

<b>LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES</b>	<b>CERTIFICADO DE ENSAYO RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)</b>
--	---

**Solicitante** : ALEX JAIME CULQUE PUITIZA (72392826) - GEINER ULISES PALMA QUISPE (72494249)  
**Proyecto** : ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO GRANULADO DE NEUMÁTICOS  
**Ubicación** : CIUDAD DE CAJAMARCA  
**Fecha de ensayo** : 12/01/2023

**Tipo de muestra** : Mezcla asfáltica en caliente (MAC)  
**Descripción** : Diseño MAC con el % óptimo del diseño convencional incorporando caucho molido en la composición granulométrica (6.0% de caucho)

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA (AASHTO T283)						
Nº DE PROBETAS	Grupo seco			Grupo húmedo		
	01	02	Promedio	04	05	
1	Diametro	10.13	10.15	10.15	10.15	
2	Espesor	7.38	7.35	7.39	7.38	
3	Contenido de Cemento Asfáltico	5.55	5.55	5.55	5.55	
4	Peso Probeta al Aire	1205.0	1202.5	1204.0	1204.6	
5	Peso de la Probeta Saturada (60')	1222.6	1218.8	1218.7	1220.2	
6	Peso de la Probeta en el Agua	667.0	665.0	664.0	667.0	
7	Volumen de la Probeta	555.6	553.8	554.7	553.2	
8	Peso Específico Bulk de la Probeta	2.169	2.171	2.171	2.178	
9	% de Vacíos	7.7	7.6	7.6	7.3	
10	Estabilidad sin corregir	266	261	198	190	
11	Factor Estabilidad	0.86	0.86	0.86	0.86	
12	Estabilidad corregida (kg)	229	224	170	163	
13	Promedio Estabilidad ( 30 Minutos ) (kg)	227				
14	Promedio Estabilidad ( 24 Horas ) (kg)					167
15	Resistencia conservada ( % )	74				

**Observaciones :**  
 \* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de JC GEOTECNIA LABORATORIO.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
 Jefe de Laboratorio	 <b>ABEL MARCELO PASQUEL</b> INGENIERO CIVIL - CIPN° 221456 JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.	 <b>Carlos Eklor Calvo Carrasco</b>
	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	ASESOR DE TESIS

**ANEXO 49:** *Ficha RUC del laboratorio JC GEOTECNIA S.A.C.*

### Consulta RUC

Resultado de la Búsqueda
Número de RUC: 20605882031 - JC GEOTECNIA LABORATORIO S.A.C.
Tipo Contribuyente: SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Nombre Comercial: -
Fecha de Inscripción: 07/02/2020 Fecha de Inicio de Actividades: 07/02/2020
Estado del Contribuyente: ACTIVO
Condición del Contribuyente: HABIDO
Domicilio Fiscal: MZA. D LOTE. 02 A.V. VILLA GLORIA (AL COSTADO DEL COLEGIO SIR ISAC NEWTON) LIMA - LIMA - CARABAYLLO
Sistema Emisión de Comprobante: MANUAL/COMPUTARIZADO Actividad Comercio Exterior: SIN ACTIVIDAD
Sistema Contabilidad: MANUAL

**Actividad(es) Económica(s):**

Principal - 7110 - ACTIVIDADES DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA Y ACTIVIDADES CONEXAS DE CONSULTORÍA TÉCNICA

Secundaria 1 - 7120 - ENSAYOS Y ANÁLISIS TÉCNICOS

Secundaria 2 - 3100 - FABRICACIÓN DE MUEBLES

**Comprobantes de Pago c/aut. de impresión (F. 806 u 816):**

NINGUNO

**Sistema de Emisión Electrónica:**

FACTURA PORTAL DESDE 22/02/2020

BOLETA PORTAL DESDE 12/09/2020

**Emisor electrónico desde:**

22/02/2020

**Comprobantes Electrónicos:**

FACTURA (desde 22/02/2020),BOLETA (desde 12/09/2020)

**Afiliado al PLE desde:**

-

**Padrones:**

NINGUNO

Fecha consulta: 08/07/2023 10:25

ANEXO 50: *Certificado de calibración del equipo MARSHALL.*



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD  
NTP ISO / IEC 17025:2017

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 17259 - 2023

PROFORMA : 5341A

Fecha de emisión : 2023 - 03 - 29

Página 1

SOLICITANTE : JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC  
Dirección CAL.3 MZA. D LOTE.2 DT. CARABAYLLO-LIMA

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN PRENSA MARSHALL  
Marca No Indica  
Modelo MA - 75

N° de serie 156  
Intervalo de Indicación 0 - 5000Kg  
Procedencia PERUANA  
Identificación No Indica  
Fecha de Calibración 2023 - 03 - 21  
Ubicación LABORATORIO

TEST & CONTROL S.A.C. es un  
Laboratorio de Calibración y  
Certificación de equipo de

medición basados a la Norma  
Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda  
los servicios de calibración de  
instrumentos de medición con los  
más altos estándares de calidad  
garantizando la satisfacción de  
nuestros clientes

Este certificado de calibración  
documenta la trazabilidad a los  
Patrones Nacionales o  
Internacionales de acuerdo con el  
Sistema Internacional de Unidades  
(SI)

LUGAR DE CALIBRACIÓN  
Instalaciones de JC GEOTECNIA LABORATORIO SAC

Con el fin de asegurar la calidad de  
sus mediciones se le recomienda  
al usuario recalibrar sus  
instrumentos a intervalos apropiados

MÉTODO DE CALIBRACIÓN  
La calibración se realizó por comparación directa utilizando el PIC 023  
Procedimiento para la calibración de prensas, celdas y anillos de carga

CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	25,1 °C	24,9 °C
Humedad Relativa	50,5 %	47,4 %

Los resultados son válidos solamente  
para el ítem sometido a calibración,  
no deben ser utilizados como una  
certificación de conformidad con normas  
de producto o como certificado del  
sistema de calidad de la entidad que lo  
produce

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello



L.C. Nicolás Ramos Paucar  
Gerente Técnico  
C.F.P.: 0316

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

**Tabla 71**

*Matriz de consistencia*

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	Indicadores
<b>Formulación del problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>VARIABLES Dependiente</b>	
¿Cómo influye en el comportamiento de las mezclas asfálticas la incorporación de caucho granulado de neumático reciclado en la ciudad de Cajamarca?	Analizar el comportamiento de mezclas asfálticas mediante la incorporación de caucho granulado de neumáticos reciclados en la ciudad de Cajamarca			Contenido de asfalto Granulometría Ensayo Marshall Temperatura
	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar los ensayos calidad del agregado grueso y fino para una mezcla asfáltica en caliente.</li> <li>- Obtener el contenido óptimo de asfalto a través de los parámetros Marshall para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.</li> <li>- Determinar los parámetros de diseño de la mezcla asfáltica patrón (convencional) y de la mezcla con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado de neumático según la Tabla 423-06 (requisitos para un concreto bituminoso).</li> <li>- Comparar ambos diseños de mezcla asfáltica en caliente (patrón y con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% caucho granulado) de acuerdo a los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción (EG – 2013).</li> <li>- Comparar los parámetros obtenidas de la mezcla asfáltica patrón (convencional) y de la mezcla con incorporación de 2.0%, 4.0% y 6.0% de caucho granulado.</li> <li>- Determinar el porcentaje más favorable de incorporación de caucho granulado de neumático reciclado.</li> </ul>	La incorporación de caucho granulado de neumáticos reciclados mejora en un 10% el comportamiento de las mezclas asfálticas en la ciudad de Cajamarca.	Mezclas asfálticas      <b>VARIABLES Independientes</b>	Densidad Espesor Resistencia al deslizamiento  Adherencia  Porcentaje de adición

Fuente: Elaboración propia, 2023.

## Operacionalización de Variables

### Variable Independiente

Incorporación de caucho reciclado.

### Variable Dependiente

Mezclas asfálticas.

**Tabla 72**

*Operacionalización de la Variable Dependiente*

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad
		Contenido de Asfalto	% C. Asfáltico	%
		Granulometría	Combinación de agregados	%
Mezclas Asfálticas	Consiste en la combinación uniforme entre agregados pétreos (grava triturada, arena triturada, relleno mineral o filler) y ligante asfáltico, con el objetivo de que estos queden recubiertos por una capa delgada de asfalto y de esta manera garantice un rendimiento duradero como estructura del pavimento (Droguett, 2018).	Ensayo Marshall	Compactación, numero de golpes por lado	N°
			Estabilidad (mínimo)	kN
			Flujo 0.01" (0,25mm)	mm
			Porcentaje de vacíos con aire (1)	%
			Vacíos en el agregado mineral	%
			Inmersión - compresión	Mpa
			Relación polvo - asfalto	%
			Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	Kg/cm
		Resistencia al deslizamiento	Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	%

Fuente: Elaboración propia, 2023.