

“RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE  
MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%,  
1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR  
RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

Jhan Deybis Malca Hernandez  
Erick Jhoel Quispe Fernandez

**Asesor:**

Mg. Ing. Carlos Elder Rudecindo Calua Carrasco  
<https://orcid.org/0000-0002-7791-0251>

Cajamarca - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1	Mario Carranza Liza	26602358
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Tulio Guillen Sheen	26676774
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Erlyn Salazar Huamán	71106769
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### "RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023"

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>repository.ucatolica.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.ucp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.uandina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>

Excluir citas      Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía      Activo

## DEDICATORIA

Lleno de amor, esperanza, dedico este proyecto primeramente a Dios y a cada uno de mis seres queridos, por habernos apoyado y ser ese pilar clave para seguir adelante, dándonos ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo cumplir mi objetivo.

*Erick Jhoel Quispe Fernández*

A Dios, y especialmente a mi madre por su apoyo moral, ser mi inspiración y fuerza para poder cumplir mis metas en este proceso, sinceramente si en ella no habría llegado hasta aquí, te obsequio este trabajo por la paciencia y amor incondicional constante que a su vez me lleva por el buen camino hacia el éxito.

*Jhan Deybis Malca Hernández*

## AGRADECIMIENTO

Agradecer primeramente a Dios, por estar en todo modo conmigo ya que nos brinda la fuerza, paciencia, así como la sabiduría necesaria para poder llevar a cabo nuestras metas y nuestro camino. Mi agradecimiento al Mg. Ing. Carlos E. Calua Carrasco, por ser nuestro guía, ya que sin su apoyo no se hubiese podido realizar el presente trabajo.

*Erick Jhoel Quispe Fernández*

A Dios, a mis padres por darme una educación construida en principios y valores para cumplir mis metas y sueños de llegar a ser un profesional ético y cabal. Así mismo agradecer a mi asesor de tesis, Mg. Ing. Carlos E. Calua Carraco y las personas más cercanas a mí que me demostraron su más sincero apoyo incondicional, y a mis abuelos en el cielo, gracias por estar conmigo.

*Jhan Deybis Malca Hernández*

## Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
Tabla de contenido.....	6
Índice de tablas.....	7
Índice de figuras.....	10
Índice de ecuaciones.....	12
RESUMEN.....	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. <b>Realidad problemática</b> .....	15
1.2. <b>Formulación del problema</b> .....	49
1.3. <b>Objetivos</b> .....	49
1.4. <b>Hipótesis</b> .....	50
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	51
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	126
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	185
Referencias.....	192

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Clasificación de los Polímeros .....	25
<b>Tabla 2</b> <i>Causas y Efectos de la Inestabilidad en el Pavimento</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Causas y Efectos de Poca Durabilidad</i> .....	34
<b>Tabla 4</b> <i>Causas y Efectos de la Permeabilidad</i> .....	35
<b>Tabla 5</b> <i>Causas y Efectos de la Trabajabilidad</i> .....	36
<b>Tabla 6</b> <i>Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga</i> .....	37
<b>Tabla 7</b> <i>Requerimientos para Agregado Grueso</i> .....	38
<b>Tabla 8</b> <i>Especificaciones técnicas para agregado fino</i> .....	39
<b>Tabla 9</b> <i>Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso</i> .....	48
<b>Tabla 10</b> <i>Cantidad de Briquetas Elaboradas por Muestra Patrón (MAC)</i> .....	52
<b>Tabla 11</b> <i>Ensayos Necesarios para el Agregado Grueso</i> .....	55
<b>Tabla 12</b> <i>Ensayos Necesarios para el Agregado Fino</i> .....	57
<b>Tabla 13</b> <i>Ensayos Necesarios con Briquetas en Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC)</i> ..	58
<b>Tabla 14</b> <i>Ubicación de la Cantera "Bazán"</i> .....	61
<b>Tabla 15</b> <i>Ubicación de la Recicladora de Caucho</i> .....	63
<b>Tabla 16</b> <i>Ubicación del Laboratorio de Concreto – UPN</i> .....	64
<b>Tabla 17</b> <i>Requerimientos para los Agregados Gruesos</i> .....	65
<b>Tabla 18</b> <i>Cantidad Mínima de Muestra de Agregado Grueso</i> .....	66
<b>Tabla 19</b> <i>Cuadro para Identificar Fracciones Representativas del Agregado Grueso Basado en su Distribución de Tamaño</i> .....	68
<b>Tabla 20</b> <i>Requisitos para la Última Etapa de Tamizado de Agregados Según el Tamaño de las Partículas</i> .....	71
<b>Tabla 21</b> <i>Carga Respecto a la Gradación de la Muestra</i> .....	74
<b>Tabla 22</b> <i>Muestra Mínima en Base del Tamaño Nominal de la Partícula</i> .....	77
<b>Tabla 23</b> <i>Peso Mínimo en Base del Tamaño Máximo Nominal</i> .....	83
<b>Tabla 24</b> <i>Masa Mínima de la Muestra con Respecto a su Tamaño</i> .....	86

<b>Tabla 25</b>	<i>Ensayos para el Control de Calidad de los Agregados Finos.....</i>	<b>89</b>
<b>Tabla 26</b>	<i>Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso.....</i>	<b>106</b>
<b>Tabla 27</b>	<i>Ejemplo de Primer Diseño de Combinación de Agregado (Grava Triturada Más Arena Gruesa).....</i>	<b>109</b>
<b>Tabla 28</b>	<i>Muestra Mínima por Tamaño de la Partícula .....</i>	<b>119</b>
<b>Tabla 29</b>	<i>Resultado Durabilidad al Sulfato de Magnesio con Agregado Grueso .....</i>	<b>127</b>
<b>Tabla 30</b>	<i>Resultado Durabilidad al Sulfato de Magnesio del Agregado Grueso .....</i>	<b>128</b>
<b>Tabla 31</b>	<i>Resultado de Índice de Aplanamiento (Partículas Chatas) .....</i>	<b>129</b>
<b>Tabla 32</b>	<i>Resultado de Índice de Aplanamiento (Partículas Alargadas).....</i>	<b>129</b>
<b>Tabla 33</b>	<i>Resultado con Dos o Más Caras Facturadas.....</i>	<b>130</b>
<b>Tabla 34</b>	<i>Resultado con una Cara Facturada .....</i>	<b>131</b>
<b>Tabla 35</b>	<i>Resultado Sales Solubles Totales Agregado Grueso.....</i>	<b>132</b>
<b>Tabla 36</b>	<i>Resultado de Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos .....</i>	<b>132</b>
<b>Tabla 37</b>	<i>Resultado Equivalente de Arena.....</i>	<b>134</b>
<b>Tabla 38</b>	<i>Resultado de Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos.....</i>	<b>135</b>
<b>Tabla 39</b>	<i>Resultado Azul de Metileno del Agregado Fino .....</i>	<b>135</b>
<b>Tabla 40</b>	<i>Resultado Azul de Metileno del Agregado Fino .....</i>	<b>136</b>
<b>Tabla 41</b>	<i>Combinación de Agregados para Mezcla Convencional (MAC1).....</i>	<b>137</b>
<b>Tabla 42</b>	<i>Combinación de Agregados para Mezcla Patrón (MAC1).....</i>	<b>138</b>
<b>Tabla 43</b>	<i>Resumen de Combinación de Agregados.....</i>	<b>139</b>
<b>Tabla 44</b>	<i>Resumen Ensayo Marshall con Combinaciones de Diferente % de Contenido de Asfalto Convencional.....</i>	<b>141</b>
<b>Tabla 45</b>	<i>Diferente Porcentaje de Contenido de Asfalto de Muestras Patrón.....</i>	<b>142</b>
<b>Tabla 46</b>	<i>Parámetros Marshall con Contenido Óptimo de Asfalto de la Mezcla Convencional.....</i>	<b>148</b>
<b>Tabla 47</b>	<i>Granulometría de caucho .....</i>	<b>149</b>
<b>Tabla 48</b>	<i>Granulometría de Caucho 0.5%.....</i>	<b>152</b>
<b>Tabla 49</b>	<i>Granulometría de Caucho 1.5%.....</i>	<b>154</b>

<b>Tabla 50</b> <i>Granulometría de Caucho 2.5%</i> .....	157
<b>Tabla 51</b> <i>Porcentaje de Combinación de Agregados</i> .....	160
<b>Tabla 52</b> <i>Porcentajes de Agregados para Mezcla Modificada con Caucho Granulado</i> ..	160
<b>Tabla 53</b> <i>Marshall con Contenido Óptimo de Asfalto de Muestras Modificadas con Caucho Granulado</i> .....	161
<b>Tabla 54</b> <i>Gravedad Específica Teórica Máxima de Muestra Patrón</i> .....	162
<b>Tabla 55</b> <i>Gravedad Específica Teórica Máxima de Muestra con Reemplazo de Caucho Reciclado</i> .....	164
<b>Tabla 56</b> <i>Comparación de Ensayos de Calidad del Agregado Grueso con Norma MTC (Manual de Carreteras)</i> .....	165
<b>Tabla 57</b> <i>Comparación de Ensayos de Calidad del Agregado Fino con Norma MTC (Manual de Carreteras)</i> .....	167
<b>Tabla 58</b> <i>Comparación de Mezcla Patrón con Parámetros de la Norma MTC (Manual de Carreteras)</i> .....	168
<b>Tabla 59</b> <i>Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral</i> .....	170
<b>Tabla 60</b> <i>Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto</i> .....	170
<b>Tabla 61</b> <i>Comparación de una Mezcla con Reemplazo de Caucho con Parámetros de la Norma MTC (Manual de Carreteras)</i> .....	171
<b>Tabla 62</b> <i>Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral</i> .....	173
<b>Tabla 63</b> <i>Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto</i> .....	173
<b>Tabla 64</b> <i>Comparación de Diseño Marshall de mezcla Asfáltica Convencional Versus Mezcla con Reemplazo de Caucho Reciclado</i> .....	174
<b>Tabla 65</b> <i>Comparación de RICE Convencional VS Mezcla con Reemplazo de Caucho</i>	182
<b>Tabla 66</b> <i>Comparación de Propiedades con Reemplazo de 0.5%, 1.5% y 2.5 % de Caucho Reciclado</i> .....	183

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Cemento Asfáltico a Temperatura Ambiente y Agregados Pétreos.</i> .....	24
<b>Figura 2</b> <i>Elastómeros (Caucho reciclado)</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Estructura Típica de Pavimentos Asfálticos.</i> .....	26
<b>Figura 4</b> <i>Mezcla Asfáltica (Grava, Arena y Asfalto).</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Densidad de la Mezcla Compactada.</i> .....	28
<b>Figura 6</b> <i>Vacíos de aire</i> .....	29
<b>Figura 7</b> <i>Vacíos de Agregado Mineral (VMA) en una Briqueta de Mezcla Compactada</i> ..	30
<b>Figura 8</b> <i>Contenido Óptimo de Asfalto</i> .....	31
<b>Figura 9</b> <i>Equipo Requerido Para el Ensayo Marshall: Preparación de Ensayos, y Ensayo de Estabilidad y Flujo</i> .....	46
<b>Figura 10</b> <i>Ejemplo de Protocolo de Laboratorio Para la Acumulación de Información</i> .....	54
<b>Figura 11</b> <i>Ensayos a Seguir para Determinar los Requerimientos para el Agregado Fino</i> .....	56
<b>Figura 12</b> <i>Ensayos a seguir para determinar los requerimientos para el agregado fino</i> ...58	
<b>Figura 13</b> <i>Ensayos a Seguir de las Mezclas Asfálticas en Caliente</i> .....	59
<b>Figura 14</b> <i>Procedimiento a seguir</i> .....	60
<b>Figura 15</b> <i>Ubicación de la Cantera</i> .....	62
<b>Figura 16</b> <i>Ubicación de la Recicladora de Caucho</i> .....	63
<b>Figura 17</b> <i>Ubicación del Laboratorio de Concreto - UPN</i> .....	64
<b>Figura 18</b> <i>Equipo Maquina de los Ángeles</i> .....	73
<b>Figura 19</b> <i>Preparación del Equipo (Altura del Sifón) para el Presente</i> .....	92
<b>Figura 20</b> <i>Muestras del Suelo en al Aparato de Casagrande</i> .....	95
<b>Figura 21</b> <i>Representación de Halo Azul</i> .....	100
<b>Figura 22</b> <i>Granulometría de Agregado Grueso</i> .....	126
<b>Figura 23</b> <i>Resultado de Peso Específico y Absorción de Agregado Gruesos</i> .....	133

<b>Figura 24</b> <i>Combinación de Agregados para Mezcla Patrón (MAC1)</i> .....	140
<b>Figura 25</b> <i>Peso Unitario de Briqueta VS Porcentaje de Contenido de Asfalto (CA)</i> .....	143
<b>Figura 26</b> <i>Vacíos (%) VS Contenido de Asfalto (%)</i> .....	144
<b>Figura 27</b> <i>V.M.A (%) VS Contenido de Asfalto (%)</i> .....	145
<b>Figura 28</b> <i>LL.C. A (%) VS Contenido de Asfalto (%)</i> .....	146
<b>Figura 29</b> <i>Flujo VS Contenido de Asfalto (%)</i> .....	147
<b>Figura 30</b> <i>Estabilidad VS Contenido de Asfalto (%)</i> .....	148
<b>Figura 31</b> <i>Análisis Granulométrico de Caucho</i> .....	150
<b>Figura 32</b> <i>Combinación de Agregados con Caucho a 0.5% (MAC1)</i> .....	153
<b>Figura 33</b> <i>Combinación de Agregados con Caucho a 1.5% (MAC1)</i> .....	156
<b>Figura 34</b> <i>Combinación de Agregados con Caucho a 1.5% (MAC1)</i> .....	158
<b>Figura 35</b> <i>Gravedad Específica Teórica Máxima Muestra Patrón</i> .....	163
<b>Figura 36</b> <i>Comparación de Peso Unitario Muestra convencional VS Muestra Con Caucho</i> .....	175
<b>Figura 37</b> <i>Comparación de Vacíos (%) convencional VS Muestra con Caucho</i> .....	176
<b>Figura 38</b> <i>Comparación de Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral en Muestra convencional VS Muestra con Caucho</i> .....	177
<b>Figura 39</b> <i>Comparación de porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto en Muestra Convencional VS Muestra con Caucho</i> .....	178
<b>Figura 40</b> <i>Comparación de Relación Polvo/Asfalto convencional VS Muestra con Caucho</i> .....	179
<b>Figura 41</b> <i>Comparación de Flujo en Convencional VS Muestra con Caucho</i> .....	180
<b>Figura 42</b> <i>Comparación de Resistencia a la Deformación (Estabilidad) en Muestra convencional VS Muestra con Caucho</i> .....	181

**Índice de ecuaciones**

<b>Ecuación 1</b> Cálculo del Porcentaje de la Pérdida Corregida .....	71
<b>Ecuación 2</b> Porcentaje de pérdida .....	75
<b>Ecuación 3</b> El Índice de Aplanamiento de la Fracción.....	78
<b>Ecuación 4</b> El Índice de Alargamiento de la Fracción .....	79
<b>Ecuación 5</b> Cálculos del Porcentaje de Sales Solubles .....	82
<b>Ecuación 6</b> Porcentaje de Partículas con una Cara Fracturada .....	85
<b>Ecuación 7</b> Porcentaje de Partículas con Dos o Más Caras Fracturadas.....	85
<b>Ecuación 8</b> Porcentaje de Absorción del Agregado .....	88
<b>Ecuación 9</b> Porcentaje de Equivalente de Arena .....	93
<b>Ecuación 10</b> Fórmula Limite Liquido (a).....	97
<b>Ecuación 11</b> Fórmula Limite Liquido (b).....	97
<b>Ecuación 12</b> Índice de Plasticidad .....	97
<b>Ecuación 13</b> Valor de Azul de Metileno .....	101
<b>Ecuación 14</b> Porcentaje de Sales Solubles.....	103
<b>Ecuación 15</b> Peso Específico de Masa .....	104
<b>Ecuación 16</b> Peso Específico del Material Saturado .....	105
<b>Ecuación 17</b> Peso específico aparente .....	105
<b>Ecuación 18</b> Absorción del Agregado Fino .....	105
<b>Ecuación 19</b> Cantidad de Muestra para Bachadas Múltiples .....	111
<b>Ecuación 20</b> Peso Específico Bulk.....	114
<b>Ecuación 21</b> Peso Específico Bulk de la Briqueta.....	116
<b>Ecuación 22</b> Porcentaje de vacíos.....	116
<b>Ecuación 23</b> Relación polvo/asfalto .....	117
<b>Ecuación 24</b> Vacíos en el Agregado Mineral .....	117
<b>Ecuación 25</b> Porcentaje de Vacíos Llenos con Cemento Asfáltico.....	118
<b>Ecuación 26</b> Agua desplazada .....	120

**Ecuación 27** Peso Específico Máximo Teórico de la Muestra ..... 120

## RESUMEN

La investigación se realizó en la ciudad de Cajamarca para poder atenuar el uso excesivo de desecho de residuos de caucho y de esta manera cuidar el medio ambiente, con el objetivo de determinar la resistencia a la deformación con reemplazando el 0.5%, 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho en la mezcla asfáltica. Se trabajó en laboratorio con ensayos experimentales, se realizó por el método Marshall para un diseño (convencional) y otro diseño con reemplazo de caucho. Inicialmente, se elaboró ensayos de requerimiento para agregados, con la finalidad de verificar que cumplieran la norma MTC EG - 2013, luego se determinó el valor óptimo de asfalto entre 4.0%; 4.5%; 5.0%, 5.5% y 6.0% del cual fue 5.40% la combinación óptima para trabajar, con base en ello realizamos la muestra patrón. Y para los especímenes con contenido de caucho reciclado de 0.5%; 1.5% y 2.5% el resultado que argumentó la hipótesis del presente estudio fue mediante el reemplazo de caucho en un 2.5%, teniendo como resultados los porcentajes de vacíos es 4.82%, vacíos con porcentaje de agregado mineral de 18.14% (V.A.M), porcentaje con vacíos llenos de asfalto de 75.34% (V.LL.C.A) relación polvo-asfalto de 3.71%, flujo de 13.78 mm, resistencia a la deformación(estabilidad) de 11.11 KN, una relación de estabilidad y flujo de 3235.76 kg/cm. Se concluye que el 2.5 % de caucho cumple con la norma MTC(EG-2013) con una resistencia a la deformación de 11.11KN y mejora en un 13.0% en comparación de la mezcla convencional.

**PALABRAS CLAVES:** Mezcla asfáltica, Diseño de Marshall, caucho reciclado, Gradación, resistencia a la deformación, agregado fino, grava, asfalto.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Actualmente, en todo el mundo, existe una alerta por la conservación y preservación del medio ambiente. Surgen iniciativas para motivar la implementación de materiales alternativos como los modificadores de cemento asfáltico. El uso de materiales alternativos puede contribuir a mejorar algunas características y proporcionar una forma de eliminación ambientalmente correcta. (Huang, RN, Bird, Y. y Heidrich, O. 2007. )

(Marcela Ramírez Jiménez), detalla en su tesis "pavimentos con reciclados" que Colombia se encuentra actualmente en un estado crítico porque la mayor parte de su infraestructura de transporte carece de las características necesarias para satisfacer las demandas de la economía de rápido crecimiento de la nación. Esta falta de características se evidencia en el continuo deterioro de los pavimentos del país. Sin embargo como resultado de los altos costos asociados con el uso de nuevas tecnologías en la planificación y construcción de los pavimentos. Como resultado de este problema, surge el concepto de utilizar aditivos como el caucho reciclados como modificadores del asfalto, fomentando el pensamiento ecológico que ahora se practica en muchos países y que busca mejorar el desempeño del pavimento.

Otra problemática que se presenta en los pavimentos asfálticos es su baja vitalidad a la fatiga y a su alteración persistente; causada por la incorrecta dosis de ligantes - agregados, su interacción, el método de colocación, combinación y la compactación de las uniones asfálticas, así como el comportamiento de sus materiales ante los cambios de temperatura. (A. Figueroa y E. Fonseca).

En Perú, un problema ambiental preocupante en el país son los residuos de caucho, particularmente la contaminación provocada por el uso de llantas, no ha sido manejada adecuadamente. Según el Instituto Nacional de Estadística e Información (INEI), los cambios departamentales del GPC a nivel de Perú se muestran para el año 2012, tomando en cuenta la generación de residuos en kg/día.

Otro ejemplo se encuentra en el informe sobre gestión de residuos municipales y no municipales para los años 2010-2011. En este informe se realiza una comparación de los residuos de caucho entre los años 2011 y 2012, y se menciona el porcentaje de residuos que están conformados por caucho. A partir de esto se puede observar cómo los residuos de caucho han aumentado desde el año 2011, cuando tenía un valor de 0,9. Estas estadísticas muestran que la cantidad de residuos de caucho ha aumentado como consecuencia del crecimiento de los aparcamientos de automóviles en Perú y la falta de concientización sobre la correcta eliminación de residuos de caucho, lo que provoca problemas medioambientales en el Perú.

(Malone Vásquez, 2016) Detalla en sus tesis: "niveles de severidad de las fallas en el pavimento" en Cajamarca hay obras de pavimentos que presentan fallas como ahuellamiento, piel de cocodrilo, desgaste superficial, abrasiones, desplazamiento de juntas y fracturas. Claramente, existen fallas estructurales en su diseño que pueden clasificarse como fallas de gravedad baja, media y alta, ya que hacen que transportarse sea incómodo e inseguro.

En el pavimento en estas zonas se observan fisuras, grietas, ahuellamientos y piel de cocodrilo como consecuencia de fenómenos en el medio

ambiente. Estos fenómenos, combinados con los cambios en las temperaturas durante el día, así como con el peso de los vehículos que pasan, también provocan daños en el pavimento, lo que a su vez genera problemas en la estructura del pavimento.

## JUSTIFICACIÓN

En fin de la presente investigación es analizar la resistencia a la deformación de mezcla asfáltica reemplazando el 0.5%, 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho, en donde se mejorará la (estabilidad) en un 13%. En la ciudad de Cajamarca hay pocas investigaciones con el reemplazo de caucho reciclado en mezclas asfálticas de pavimentos, y el crecimiento poblacional de la ciudad de Cajamarca va en aumento, donde se ha podido precisar un aumento significativo en el volumen de flujo vehicular y la gran cantidad de residuos de caucho almacenados que generan contaminación ambiental, es un gran problema para la ciudad por que en su mayoría de pavimentos presentan irregularidades en el pavimento que no cumplen con especificaciones técnicas adecuadas, debido a ello presentan fallas y deficiencias estructurales en los pavimentos en un periodo de tiempo mínimo al de su vida útil. Lo que permitirá su uso en la industria de infraestructura de vial y reducirá fallas estructurales en pavimentaciones sostenibles.

Debido a la problemática existente, investigadores han realizado estudios sobre este tema con el objetivo de mejorar la resistencia a la deformación en las mezclas asfálticas para potenciar la estructura en pavimentos. presentándose los siguientes:

**A nivel internacional:**

- (CHAMBA & BENAVIDES, 2019) En su tesis sobre: "Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá", tuvo como objetivo la formulación de una mezcla asfáltica que incorporara caucho de neumáticos reciclados como componente agregado, seguido del análisis del desempeño de las propiedades físicas y mecánicas de esta mezcla en comparación con una mezcla asfáltica convencional. Este análisis tenía el propósito de determinar el porcentaje óptimo de caucho a incorporar en el diseño. El enfoque de esta investigación fue principalmente aplicado y de naturaleza experimental.

La población objeto de estudio estuvo conformada por 45 probetas. El proceso de elaboración de la mezcla con caucho en laboratorio se asemejó en gran medida al método utilizado para una mezcla asfáltica convencional, involucrando etapas como la preparación de la granulometría de los agregados pétreos, y la determinación de las proporciones adecuadas de caucho triturado.

Los resultados obtenidos indicaron que se lograron los mejores desempeños en cuanto a estabilidad, fluidez y otros parámetros Marshall relevantes para el tráfico pesado al emplear porcentajes de caucho reciclado del 0.5% y 1%. Concluyendo que el reemplazo de caucho reciclado a las mezclas asfálticas, ya sea a través del proceso seco o húmedo, conlleva una mejora significativa en las propiedades mecánicas de los pavimentos.

(LEMUS, MOSQUERA, & VIRVIESCAS, 2018), en su investigación "Estudio de mezclas asfálticas densas con adición de materiales alternativos", tuvo como objetivo evaluar los parámetros de resistencia Marshall de una mezcla asfáltica con adición de materiales alternativos. Las actividades que se realizaron fueron de una naturaleza experimental. La población está constituida por cuatro mezclas que se realizaron, teniendo 4 probetas por cada mezcla, dando un total de 16 probetas ensayadas. Los resultados arrojaron que la mezcla de control (MAR) que contenía un 6.5% de asfalto caucho y una relación de volumen de aire del 4%, tuvo valores de Estabilidad Mínima de 16.472 N, un Flujo de 3.63 (mm) y una Relación Estabilidad/Flujo de 4.65 (kN/mm). Concluyendo así que, una mezcla con asfalto modificado con GCR y el porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 6.5% cumplen con la respectiva especificación del Instituto Nacional de Vías INVIAS – Colombia; así mismo al agregar un porcentaje de pavimento asfáltico reciclado en la mezcla asfáltica se puede observar que la estabilidad aumenta al igual que la relación estabilidad/flujo.

#### **A nivel nacional:**

- (Villagaray Medina, 2017) en la tesis mencionada: "Aplicación de caucho reciclado en un diseño de mezcla asfáltica para el tránsito vehicular de la avenida Trapiche-Comas (Remanso) 2017", tuvo como objetivo determinar la viabilidad de emplear caucho reciclado como componente en un tipo de asfalto modificado, con la finalidad de diseñar una mezcla que fuera más flexible y duradera. Esta investigación tuvo un enfoque aplicado experimental. La población de estudio abarcó todo el tramo de 4.5 kilómetros de la carretera

Trapiche, en donde fueron se realizaron 11 ensayos necesarios para poder obtener un pavimento de acuerdo al reglamento de diseño de pavimentos.

Los resultados obtenidos indicaron un incremento del 13.24% en el factor de rigidez en comparación con el asfalto convencional, lo que resultó en una mayor resistencia del asfalto modificado.

Concluyendo que el asfalto modificado con caucho reciclado ofrece una mejora del 3.54% en la resistencia a la deformación en comparación con el asfalto convencional, lo que contribuye a una mayor resistencia frente a las deformaciones permanentes.

- (Alvarez Briceño & Carrera Sanchez, 2017) en su tesis nombrada: "Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica", tuvo como objetivo la inclusión de partículas trituradas de neumáticos reciclados en las mezclas asfálticas, utilizando la metodología Marshall. Esta investigación tuvo un enfoque experimental. La población de estudio consistió en los tres especímenes correspondientes para cada porcentaje de caucho reciclado, y la muestra se definió como cada briqueta fabricada para cada porcentaje de caucho. muestras, que se fabricaron a altas temperaturas, entre 140°C y 170°C. Estas muestras se sometieron a ensayos utilizando el método Marshall.

Los resultados de esta investigación indicaron que el uso de partículas de caucho reciclado es viable como componente en las mezclas asfálticas, siempre que se empleen porcentajes iguales o menores al 1.5% del total de la mezcla. Es importante destacar que a medida que se aumenta la cantidad de caucho reciclado, se observa una disminución en la estabilidad y un aumento

en el flujo de la mezcla. Concluyendo que el valor de resistencia a la compresión de las muestras (briquetas) disminuye a medida que aumenta el porcentaje de caucho reciclado.

#### **A nivel local:**

- (Borja, 2016) en su tesis llamada: "Influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos, Cajamarca, 2016", tuvo como objetivo emplear partículas de caucho reciclado (PCR) como agregado en la fabricación de pavimentos flexibles, sin alterar la composición del cemento asfáltico. Esta investigación tuvo un enfoque experimental.

La población de estudio consistió en un total de 24 briquetas asfálticas, divididas en dos grupos: 12 briquetas como muestra patrón y 12 briquetas con la incorporación de un 1.5% de caucho reciclado granular. La metodología empleada para llevar a cabo esta investigación se basó en el uso de un asfalto PEN 85/100, con la elaboración de mezclas asfálticas en caliente que cumplieran con los requisitos de estabilidad y flujo para pavimentos flexibles.

Los resultados obtenidos en esta investigación indicaron que la dosificación óptima de caucho reciclado triturado de neumáticos fuera de uso en una mezcla asfáltica PEN 85/100 en caliente con un 6.10% de cemento asfáltico es del 1%. Se concluye que, con esta proporción de caucho reciclado, se logra una mezcla asfáltica modificada que cumple plenamente con las especificaciones técnicas de la EG-2013 (MTC, 2013), alcanzando valores de estabilidad, relación de fluencia y flujo de 1189.67 kg, 3702.67 kg/m y 12.67 mm, respectivamente.

(IBÁÑEZ, 2015), en su tesis llamada: "Uso de Polímeros en un Nuevo Diseño

Para Mejorar las Propiedades Físico – Mecánicas del Asfalto: Contribución Para El Tramo de la Carretera Chilete – Cajamarca", tuvo como objetivo encontrar mediante ensayos en laboratorio, una combinación entre el asfalto convencional PEN 120/150 con el polímero Elvaloy® 4170 y ácido polifosfórico, que mejore el rendimiento de la misma. Esta investigación tuvo un enfoque experimental. La muestra seleccionada está constituida por los 46 ensayos elegidos que son la totalidad de las pruebas necesarias que las normas internacionales, como nacionales en materia de asfaltos (AASTHTO T51 y la NTP 321.051:2014), fijan. Los resultados obtenidos mostraron que con el 1.3% dio como resultado un PEN de 92mm, superando la especificación mínima fijada por la norma nacional (90mm); posteriormente esta decisión se confirmó con los resultados de los ensayos físicos y mecánicos evaluables. Se concluye que, la modificación del asfalto elegido PEN 120-150 lo convierte en un material con habilidades que lo hace resistente a una deformación permanente.

Considerando la importancia del estudio, se presenta la definición de los conceptos básicos de los componentes básicos requeridos para el estudio.

- a) **Agregados pétreos**, son el producto del proceso de fabricación de otros materiales (por ejemplo, la fabricación de acero genera escoria como un subproducto que se ha utilizado como un agregado). Los agregados son un ingrediente importante de los materiales utilizados en la construcción de carreteras. Ellos constituyen el 70% a 85% en peso de concreto hidráulico (PCC) y de mezcla de asfalto caliente (HMA). Por volumen, las

proporciones correspondientes son de 60% a 75% en el caso del PCC y el 75% a 85% para HMA, respectivamente. se define normalmente como aquellos agregados que pasan la malla 3 pulgadas (75 milímetros) y son retenidos en la malla N° 4 (4, 75 milímetros). La grava se define normalmente como aquellos agregados que pasan la malla 3 pulgadas (75 milímetros) y son retenidos en la malla N° 4 (4, 75 milímetros). La arena por lo general pasa el 100% por el tamiz N° 4. (Ing. J. Rafael MenéndezAcurio, 2016, pág. 131).

- b) **Asfalto**, Según ASTM, se describe como un material ligante de tonalidad oscura y estabilidad ya que su rigidez depende de la temperatura ambiente. El asfalto es un material denso que pasa ser semidenso a temperatura ambiente y se vuelve líquido a temperaturas más altas; esta propiedad permite que la grava y la arena se incorporen durante la mezcla. El asfalto utilizado en pavimentos, comúnmente conocido como cemento asfáltico, es poco rígido a altas temperaturas (135°C), lo que le permite adherirse fácilmente a las partículas de agregado. Como resultado, es un cemento asfáltico excelente para unir los agregados en mezclas calientes. (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006, pág. 45).

**Figura 1**

*Cemento Asfáltico a Temperatura Ambiente y Agregados Pétreos.*



*Nota:* Fuente: Propia.

- c) **Asfalto modificado**, Como material viscoelástico, una mezcla bituminosa debe ser lo suficientemente flexible a bajas temperaturas de servicio para evitar el agrietamiento térmico y lo suficientemente resistente para soportar deformaciones permanentes. Estas características son necesarias para que el pavimento pueda soportar el crecimiento del tráfico provocado por las variaciones climáticas. El objetivo principal del uso de modificadores de caucho en mezclas asfálticas en caliente es aumentar la rigidez de la mezcla a altas temperaturas, haciéndola más elástica y resistente al agrietamiento por fatiga a temperaturas de servicio, mientras que a bajas temperaturas de servicio la deja sin cambios para resistir el agrietamiento térmico. (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006, pág. 67).

Existen numerosas formas de clasificar los polímeros según las necesidades; sin embargo, la clasificación más común es:

**Tabla 1**

*Clasificación de los Polímeros*

<b>Polímeros</b>	<b>Características</b>
Termo rígidos	Son aquellos que, a consecuencia del calor, se vuelven rígidos de forma irreversible.
Termoplásticos	son aquellos que están sujetos a altas temperaturas se ablanda de forma alterable, llegando a una rigidez cuando se enfrían. Ejemplo: polietileno.
Elastómeros	Cuando se someten a ser calentados se descomponen antes de ablandarse y presentan propiedades de elasticidad que se asemejan al cucho.
Elastómero-termoplástico	Cuando son calentados se comportan como termoplásticos, y a temperatura bajas presentan propiedades elásticas, como por ejemplo el SBS.

*Nota.* Fuente: (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006, pág. 67)

## Figura 2

### *Elastómeros (Caucho reciclado)*

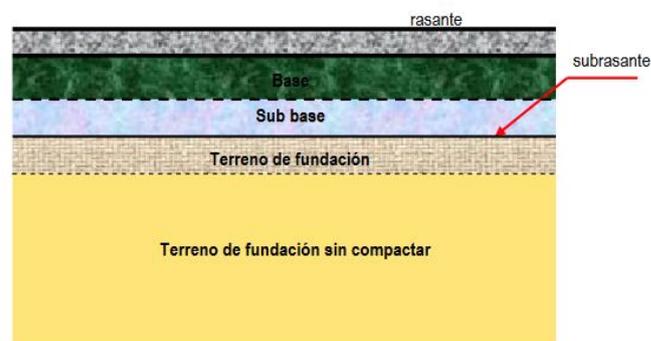


Nota: Fuente: Propia.

- d) **Pavimento asfáltico**, Son aquellos que están ubicados en la carpeta asfáltica sobre dos capas no son rígidas, base y sub base. La distribución típica de las capas que conforman la estructura del pavimento se muestra en la Figura 3.

## Figura 3

### *Estructura Típica de Pavimentos Asfálticos*



Nota: Fuente: Propia.

- e) **Mezcla Asfáltica**, Son una mezcla de agregados pétreo y asfalto, según la situación, modificadores o aditivos. Los áridos se obtienen triturando rocas y normalmente se almacenan separados por tamaño. El pasante de la malla N° 4 se conoce como "agregado fino" o "arena", pero aquellas adiciones a la malla N° 4 que son más grandes se conocen comúnmente como "agregado grueso". La arena suele estar formada tanto por arenas naturales obtenidas mediante zarandeo como por arenas producidas durante el proceso de molienda de los áridos. Cuando el pasante de la malla N°. 200 es insuficiente para llenar el espacio, generalmente se agrega hidrato de cal o cemento como relleno (relleno) para completar el espacio. (Ing. J. Rafael MenéndezAcurio, 2016, pág. 170).

#### **Figura 4**

*Mezcla Asfáltica (Grava, Arena y Asfalto).*



*Nota:* Fuente: Propia.

- f) **Consideraciones de diseño de mezcla asfáltica**, Los ensayos de mezcla asfáltica en caliente preparada en el laboratorio se somete a una prueba de para determinar su desempeño real en la estructura del pavimento. El análisis se basa en cuatro características importantes en la mezcla

asfáltica, y cómo influye su comportamiento de la mezcla asfáltica, la característica del diseño de mezclas comprende:

- a) **Densidad de la mezcla**, es la relación entre el peso de la mezcla por unidad de volumen. Si bien es cierto que esta característica no se utiliza en el diseño de la mezcla, sí en los controles de compactación. La mezcla asfáltica compactada en laboratorio recibirá la designación de densidad de patrón, y ésta servirá como punto de control.

La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

### Figura 5

*Densidad de la Mezcla Compactada.*



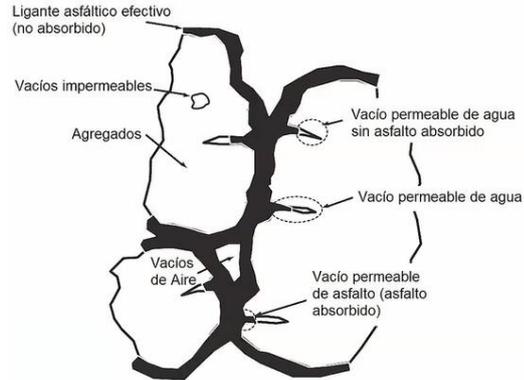
*Nota.* Fuente: Propia

- b) **Vacíos de aire**, Se forman la cantidad de aire que se encuentra en mezcla compactada. Un porcentaje menor de huecos de aire hará que la mezcla sea menos porosa. En el diseño de mezclas convencionales, el % de los vacíos de aire varían del 3 al 5% en el laboratorio, pero en la obra, los vacíos de aire se limitan al 8% o

menos, lo que permite que el asfalto se compacte mientras hay una carga vehicular.

## Figura 6

### Vacíos de aire

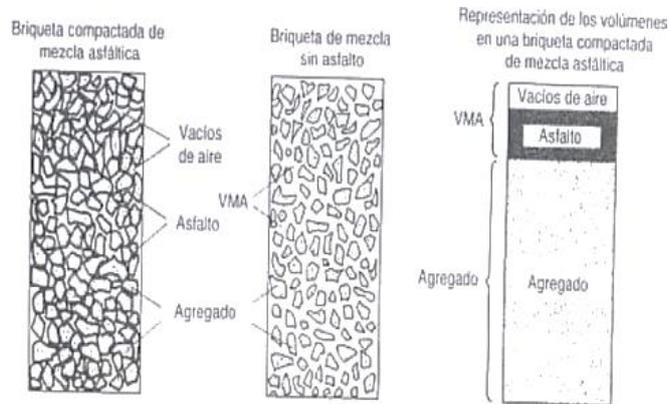


Nota. Fuente: Propia

- c) **Vacíos de agregado mineral (VMA)**, Tienen en cuenta los espacios ocupados por los huecos de aire comprimido y el asfalto efectivo. Dependiendo del tamaño del componente agregado, según los parámetros considera un porcentaje mínimo de vacíos de agregado mineral. Si el porcentaje de VMA es bajo, la capa asfáltica se deteriorará y la mezcla será vulnerable a la oxidación. Un alto contenido de VMA hará que la capa de asfalto sea más gruesa y la mezcla más duradera. Una gradación densa puede reducir el porcentaje de VMA, lo que baja la capa asfáltica y, como resultado, reduce la durabilidad de la mezcla y le da una apariencia seca.

## Figura 7

### *Vacíos de Agregado Mineral (VMA) en una Briqueta de Mezcla Compactada*

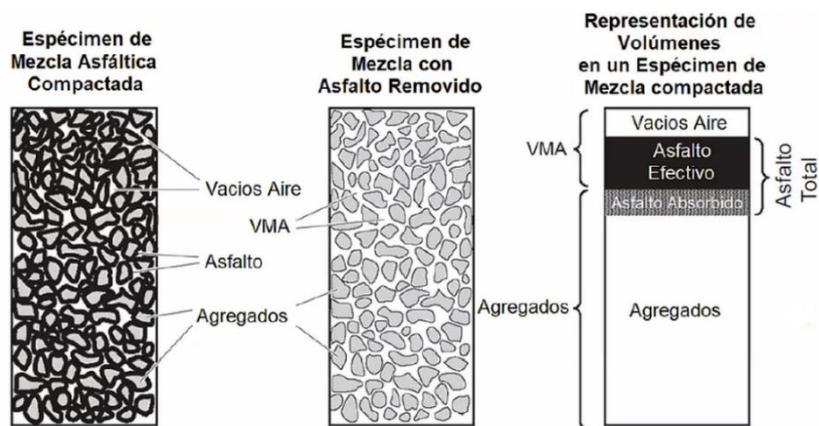


Nota. Fuente: Propia

- d) **Contenido de asfalto**, es la cantidad de asfalto que se agrega a la mezcla. El agregado absorberá una porción del asfalto, dejando que el asfalto restante forme una capa sobre las partículas. Tanto el primero como el segundo se denominan "asfalto que ha sido absorbido eficazmente". La cantidad ideal de asfalto en la mezcla depende de la tasa de absorción y granulometría del material. Las mezclas con alto contenido de filler (grandes superficies específicas) necesitan un mayor contenido de asfalto.

**Figura 8**

*Contenido Óptimo de Asfalto*



Nota. Fuente: propia.

g) **Propiedades consideradas en el diseño de mezclas**, las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

a) **Estabilidad**, La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla. (Asphalt Institute, 2020).

Valores de estabilidad extremadamente altos dan como resultado un pavimento demasiado rígido y, como resultado, menos duradero de lo deseado. La estabilidad de una mezcla depende de su cohesión interna y de su fricción. La fricción entre partículas, o fricción interna en las partículas de agregados, está relacionada con las características de los agregados, incluida la forma y la textura de la superficie. Debido a la capacidad de ligante en el asfalto, existe cohesión. El grado de fricción interna y cohesión de la mezcla asegura que las partículas añadidas se moverán independientemente unas de otras debido a las fuerzas ejercidas por el flujo del tráfico. (Asphalt Institute, 2020).

Los agregados que componen las mezclas asfálticas deben tener caras de forma cuboide y superficies rugosas, típicamente provenientes del chancado ya que tienen un mejor comportamiento y una mayor resistencia al corte. Caso contrario ocurre con los que tienen estas características con partes redondas que se deslizan una sobre otra. (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006)

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

La estabilidad de la mezcla se ha medido respecto del porcentaje de asfalto. A mayor porcentaje de asfalto la mezcla se hace más estable hasta determinado límite, luego la estabilidad de la mezcla disminuye. A medida que se incrementa el porcentaje de asfalto en la mezcla, la película de asfalto que rodea los agregados permite que estos se acomoden. Si la película de asfalto es muy gruesa impide la trabazón entre las partículas. (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006).

**Tabla 2**

*Causas y Efectos de la Inestabilidad en el Pavimento*

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización.

*Nota.* Fuente: (Asphalt Institute, 2020)

- b) **Durabilidad**, la durabilidad de un pavimento es su capacidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la división, diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad. (Asphalt Institute, 2020).

### Tabla 3

#### *Causas y Efectos de Poca Durabilidad*

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado

*Nota.* Fuente: (Asphalt Institute, 2020)

c) **Impermeabilidad**, es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento. (Asphalt Institute, 2020)

**Tabla 4**

*Causas y Efectos de la Permeabilidad*

<b>Causas</b>	<b>Efectos</b>
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

*Nota.* Fuente: (Asphalt Institute, 2020)

d) **Trabajabilidad**, esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Controlar la temperatura de compactación en la mezcla es muy importante, debido a que las mezclas frías son semi-rígidas a rígidas y no permiten su compactación dejando alto porcentaje de vacíos de aire.

**Tabla 5**

*Causas y Efectos de la Trabajabilidad*

Causas	Efectos
Tamaño máximo de agregado: grande	Superficie rugosa, difícil de colocar.
Tamaño máximo de agregado: grande	Complicado para su compactación
Temperatura demasiado baja de mezcla	Agregado sin cubrir, mezcla poco durable superficie rugosa, difícil compactación
Demasiado agregado fino de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de agregado mineral	Mezcla fresca, altamente permeable
Mezcla tierna, altamente permeable	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

*Nota.* Fuente: (Asphalt Institute, 2020)

e) **Flexibilidad**, resistente a la deformación sin agrietarse. El terreno de fundación se asentará con los años debido al servicio, este asentamiento se reflejará en la superficie y la carpeta deberá acomodarse sin agrietarse.

La carpeta asfáltica está soportando constantemente la acción de cargas cíclicas, este tipo de cargas origina que la carpeta se flexione constantemente. La resistencia a la fatiga es la resistencia a esta flexión, esta característica está íntimamente relacionada al asfalto, asfaltos oxidados no son resistentes a la fatiga. (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006).

**Tabla 6**
*Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga*

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Tamaño máximo de partícula: grande	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Mezcla tierna, altamente permeable	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: (Asphalt Institute, 2020)

- h) **Ensayo de calidad de los agregados**, Para verificar los requerimientos para un agregado fino y agregado grueso, estos deben ser sujeto a ensayos de suelos según los protocolos que corresponda, debiendo cumplir con las especificaciones técnicas emitidas por el (MTC) EG-2013. (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006)

- a) **Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204)**. Se usa para determinar la granulometría de los áridos que se ofrecen para su uso como aditivos o que ya se utilizan como tales. Los resultados se utilizarán para evaluar si la distribución del tamaño de las partículas cumple con los requisitos establecidos en la especificación técnica del proyecto y proporcionarán los datos

necesarios para el control de la producción de áridos. (ver el anexo 05) (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016).

**Tabla 7**

*Requerimientos para Agregado Grueso*

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

*Nota.* Fuente: (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013) ,  
Tabla 423 – 01.

**Tabla 8**
*Especificaciones técnicas para agregado fino*

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

Nota. Fuente: (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013),  
 Tabla 423 – 02.

- b) **Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC).** La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberá ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones. El material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas

deleznables según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos. La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los usos granulométricos, especificados en la Tabla 423-03. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto. (*ver el anexo 53*) (MTC, Especificaciones técnicas generales para construcción, 2013).

- c) **Ensayo de abrasión (ASTM C-131, MTC E 207).** Los agregados extraídos de la cantera deben tener la capacidad de resistir a la degradación y los desgastes irreversibles durante su ejecución en proyectos de carreteras, pero especialmente durante la vida útil del pavimento. Por esta razón, los materiales utilizados en la base y la carpeta asfáltica, que están cerca de la superficie del pavimento, deben lograr una rigidez que los materiales utilizados en las capas que se encuentran debajo de la subbase de la estructura del pavimento. Esto se debe a que el pavimento superficial está sujeta a la mayor presión y desgaste de las cargas de vehículos. Por otro lado, los agregados pétreos transfieren las cargas a través de los puntos de contacto donde se aplican altas cargas vehiculares. El ensayo de abrasión de Los Ángeles, ASTM C-131 o MTC E 207, mide principalmente la rigidez en los puntos de contacto de un agregado pétreo a la abrasión y/o al desgaste. (*ver el anexo 12*). (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006)

d) **Ensayo de durabilidad, con sulfato de sodio o magnesio (ASTM**

**C 88 ó MTC E 209).** En este ensayo vamos a tener un porcentaje de agregado perdido en una combinación de agregados pétreos durante un experimento que prueba la durabilidad de superficies golpeadas con sulfato de sodio o magnesio. Este estudio calcula la rigidez del árido al deterioro provocada por los cambios climáticos durante la vida útil del proyecto. Es aplicable tanto a adiciones finas y gruesas. El experimento se lleva a cabo añadiendo una muestra a ciclos de baño alternos que implican sumergir en una solución de sulfato de magnesio y secado en horno. Al sumergir y evaporar se convierte en un ciclo de durabilidad. Las sales se disparan en los espacios vacíos del agregado durante la fase secado. Cuando se realiza un ciclo más se sumergen nuevamente, y estas sales se rehidratan y ejercen fuerzas de expandirse internamente que imitan las fuerzas de expandirse del agua congelada. La conclusión de este ensayo es el porcentaje perdido en peso en varios tamices durante los cinco ciclos elaborados. Las pérdidas máximas están entre el 10 y el 20 por ciento durante cinco ciclos de sumergido-escurrido. (*ver el anexo 47*). (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006)

e) **Porcentaje de gravas chatas y alargadas. (ASTM D-4791; MTC E 211).** Numerosos estudios han demostrado que tener demasiadas partículas chatas y alargadas podría perjudicar el comportamiento de los componentes estructurales del pavimento. La carga relacionada con el tráfico puede romper las partículas y alterar la

estructura original. Chata es el término utilizado cuando la relación entre el ancho y el espesor es mayor a  $1/3$ , y alargada cuando la relación entre el largo y el ancho es mayor a  $1/3$ . (*ver el anexo 27*) (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006)

f) **Porcentaje con Caras Fracturadas (ASTM D-5821; MTC E 210).**

Según los requerimientos de grava incluyen parámetros relativos a la cantidad de grava con caras fracturadas con el objetivo de aumentar la fricción de las partículas y maximizar la resistencia al esfuerzo de corte. Otro objetivo es proporcionar resistencia a los agregados utilizados en pavimento asfáltico y proporcionar la fricción y una textura en los agregados utilizados en pavimentos.

A los agregados pétreos que tienen una cierta irregularidad y de forma angular normalmente llegan a tener una resistencia eficaz dentro del pavimento porque quedan atrapadas después de ser compactadas y generan una mayor rigidez. El mejor entrelazado suele realizarse utilizando partículas producidas casi siempre por trituración que tienen bordes afilados y tienen forma de Cuboide. (*ver el anexo 30*) (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006)

g) **Ensayo de equivalente en arena (ASTM D 2419; MTC E 114).** Este

método de evaluación asigna un valor empírico a la cantidad, acabado y propiedades del material de grano fino presente en una muestra de evaluación hecha de suelo granular que pasa por el tamiz N° 4. El ensayo de equivalente de arena transmite la idea de que la mayoría de las arenas son mezclas de agregado abrasivos y

sobre todo finitas. La relación entre la altura de la arena y la altura de la arcilla, expresada en porcentaje, a esto se denomina equivalente de arena. Este método ofrece una forma rápida en el campo de identificar cambios en la calidad del agregado durante la producción o colocación. (*ver el anexo 15*) (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006)

- h) **Sales solubles totales (ASTM D 1888; MTC E 219).** El objetivo de este ensayo es calcular la cantidad de cloruros solubles en agua en los agregados finos y gruesos, utilizada en bases y mezclas bituminosas. Este método ayuda con los controles de calidad porque puede identificar y calcular rápidamente si hay presencia de sales en los agregados. Una muestra de agregado pétreo añadido se lava continuamente con agua destilada mediante ebullición. La presencia de sales está determinada por reacciones químicas que, incluso con el más mínimo signo de sales, producen señales de sales en el agregado fácilmente observables. Para determinar la cantidad de sales presentes, se toma y cristaliza una porción del total del agua realizando varios ciclos de filtro. (*ver el anexo 39*) (M.Sc. Silene Minaya G. & M.Sc. e Ing. Abel Ordóñez H., 2006)
- i) **Azul de metileno (ASSTHO TP 57).** Esta norma específica cómo se encuentra presente la cantidad de material que es dañino (arcilla y material orgánico) presente en el agregado fino mediante la reacción del valor de azul de metileno (*ver el anexo 09*).
- j) **Ensayo de gravedad específica y absorción en el agregado fino. (MTC E 205).** La finalidad es establecer un peso seco determinado,

un peso específico saturado con superficie seca, un peso aparente específico y la absorción del peso final de agregado fino después de 24 horas en agua. Se emplea para calcular el peso específico seco, el peso saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y el peso de absorción para utilizar estos valores tanto en el cálculo y corrección del diseño de mezclas como en el control de uniformidad de características físicas. (MTC, 2016, pág. 309)

k) **Peso específico o Absorción del Agregado grueso (MTC E 205).**

En este ensayo la finalidad es determinar un peso específico en seco, un peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y la absorción específica (después de 24 horas) del agregado grueso. El peso de saturación específico para superficies secas y la absorción se basan en materiales agregados que se han disuelto en agua después de 24 horas. Durante unas 24 horas, se sumerge una muestra de árido en agua hasta llenar los poros por completo. Luego se retira el agua, se seca la superficie de las partículas y se realiza el peso. El espécimen se pesa más después de ser sumergida en agua. Finalmente, el espécimen se coloca en el horno y se pesa por tercera vez. Es posible calcular tres tipos diferentes de absorción utilizando los pesos y fórmulas obtenidos de peso específico. (MTC, Ensayo de Materiales , 2016)

i) **Método Marshall de diseño de mezclas asfálticas (AASHTO T 245; ASTM D1559.** Este método fue desarrollado por Bruce Marshall en las décadas de 1940 y 1950 en EE. UU. AASHTO aprobó este procedimiento y diseño de la mezcla como AASHTO R-12 "Norma práctica recomendada

para el diseño de mezclas asfálticas en caliente mediante los procedimientos Marshall y Hveem. Actualmente es el método más utilizado para la elaboración de fórmulas de mezcla. El criterio para conseguir una mezcla satisfactoria está basado en requisitos mínimos de resistencia a la deformación, densidad y porcentaje de vacíos.

Este método establece el procedimiento para la realización de ensayos de resistencia a la deformación de mezclas asfálticas en caliente utilizando el equipo Marshall, establece las características físicas de las mezclas y examina los parámetros que especifican el contenido de asfalto. La estabilidad se determina aplicando el principio semiconfinado de compresión mientras se somete a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60°C (140°F). La aplicación del esfuerzo y la rotura de las muestras son posibles gracias al equipo Marshall diseñado específicamente para ensayos de estabilidad.

El dato de estabilidad, que mide la resistencia estructural de la mezcla, está influenciado principalmente por la cantidad de asfalto, la composición de la gradación y el tipo de agregado pétreo. El valor de estabilidad sirve como indicador de la calidad del agregado pétreo.

Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para poder compactarse hasta la densidad requerida y proporcionar la textura superficial adecuada. El valor del Flujo representa la deformación de la especie en la dirección de su diámetro antes de su fractura. Este valor representa la resistencia a alcanzar una condición de indicador y, en consecuencia, la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que la atraviesan. (UMSS, 2020, pág. 255).



Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación existe una tendencia a pensar que, si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor. Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad. (Asphalt Institute, 2020)

- b) **Valor de fluencia Marshall.** La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.

**Tabla 9**
*Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso*

Parámetros de Diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504.			
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.	Tabla 423-10 (MTC)		
Inmersión - compresión (MTC E 518)			
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		

Nota. Fuente: (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013),

Tabla 423 – 06.

El fin de esta investigación es determinar la resistencia a la deformación de mezcla asfáltica reemplazando el 0.5%; 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho. La finalidad, en esta investigación está orientada en reemplazar pequeños porcentajes de caucho reciclado y reemplazar el agregado fino en mezclas asfálticas en caliente, monitoreando la resistencia a la

deformación cumpla con los requisitos para la mezcla de concreto bituminoso que se indica según la norma MTC (EG–2013), Tabla 423.06. Con todo este proceso llegaremos a la conclusión de tener un nuevo enfoque al uso de caucho reciclado, proponiéndose como una alternativa medio ambiental en la construcción de pavimentos flexibles y así fomentar en su mejora de su resistencia a la deformación y disminuir el impacto medio ambiental que genera. Además, servirá como antecedentes para otras investigaciones.

## **1.2. Formulación del problema**

Debido al impacto del aumento en la contaminación ambiental de residuos de caucho reciclado y las fallas estructurales en los pavimentos, se formuló la siguiente pregunta: ¿Cómo influye reemplazar el 0,5%, 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho; en la resistencia a la deformación de mezclas asfálticas, Cajamarca 2023?

## **1.3. Objetivos**

Para poder responder a la pregunta planteada, se tiene como objetivo general "Determinar la resistencia a la deformación reemplazando el 0.5%, 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho, Cajamarca 2023". Para lo cual se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los requerimientos del agregado grueso y fino para una mezcla asfáltica en caliente según la norma MTC(EG-2013).
- Obtener el contenido óptimo de asfalto a través del método Marshall para una muestra convencional en mezclas asfálticas calientes.

- Determinar los parámetros de mezcla convencional y de la mezcla con reemplazo de 0.5%, 1.5% y 2.5% de caucho reciclado según la norma MTC(EG-2013).
- Comparar ambos diseños de mezcla asfáltica en caliente (Convencional y con reemplazo de 0.5%, 1.5% y 2.5% caucho reciclado) de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma MTC (EG – 2013).
- Determinar el porcentaje más favorable de reemplazo de caucho reciclado.

#### **1.4. Hipótesis**

Teniendo en cuenta el problema de investigación se generó la siguiente hipótesis: "El reemplazo de porcentajes de caucho reciclado en mezclas asfálticas mejorará la resistencia a la deformación de la carpeta asfáltica en un 10%".

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

(Ñaupas, 2018) Las investigaciones aplican Métodos estadísticos que son aplicados en investigaciones cuantitativas para obtener la información requerida. Debido a esto, el estudio actual se considera de naturaleza cuantitativa, ya que los datos se recopilan mediante mediciones numéricas de varios parámetros. Además, hay que tener en cuenta que este estudio presenta un diseño experimental.

Es experimental porque se prepararán briquetas de mezclas asfálticas para diversas pruebas de laboratorio mediante muestreo y rotura, con el objetivo de determinar si la resistencia a la deformación aumenta o disminuye con la sustitución de los residuos de caucho en el agregado fino, y así confirmar o rechazar la hipótesis planteada.

En este sentido, este estudio se clasifica como cuantitativo, ya que implica la recopilación de datos mediante la medición numérica de varios parámetros.

### **UNIDAD DE ESTUDIO:**

El objeto de la investigación es una briqueta de mezcla asfáltica en caliente (HMA) con una altura y un diámetro medios de 64 mm y 102 mm, respectivamente (2,5" y 4").

### **POBLACIÓN:**

La población son las briquetas elaboradas a base de mezclas asfálticas en caliente (MAC) en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte – Cajamarca, según (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013), (MTC, Ensayo de Materiales , 2016), ASTM y AASTHO TP 57.

## MUESTRA:

Para este estudio la muestra está conformada por 32 briquetas, convencionales y las briquetas con reemplazo de caucho, como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 10**

*Cantidad de Briquetas Elaboradas por Muestra Patrón (MAC)*

	Porcentaje de Contenido Asfáltico	Ensayo Marshall	RICE	N° BRIQUETAS
<b>MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL</b>	4.0%	3	1	4
	4.5%	3	1	4
	5.0%	3	1	4
	5.5 %	3	1	4
	6.0%	3	1	4
<b>MEZCLA ASFÁLTICA CON CAUCHO</b>	0.5%	3	1	4
	1.5%	3	1	4
	2.5%	3	1	4
<b>TOTAL DE BRIQUETAS =</b>				<b>32</b>

*Nota:* En la tabla se aprecia el número total de briquetas patrón a ser utilizadas en toda la investigación. Fuente: propia.

Es importante señalar que esta investigación no utilizará una muestra aleatoria debido a su metodología cuantitativa. Esto se debe a que la selección de los componentes del estudio se basará más en los entornos y propiedades de los elementos que en la probabilidad.

Esta investigación, fundamentada en pruebas de laboratorio, utilizó principalmente la técnica de observación directa o participante para recopilar datos. Con la ayuda de esta técnica, pudimos obtener la información necesaria para estudiar las variables previamente establecidas, lo que nos permitió obtener resultados confiables en los ensayos que realizamos. Los datos se registrarán en protocolos y luego se procesarán en hojas de cálculo de Excel, que son herramientas útiles para recopilar datos. Los resultados de cada ensayo se presentarán en forma de gráficos y tablas estadísticas para una interpretación adecuada de análisis de datos.

Figura 10

Ejemplo de Protocolo de Laboratorio Para la Acumulación de Información

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
ENSAYO:		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (COMBINACIÓN DE AGREGADOS) PARA MEZCLA CON CAUCHO DE 2.5%							
NORMA:		MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012							
TESIS:		"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE RESIDUOS DE CAUCHO EN 0.5%, 1.5%, Y 2.5%, CAJAMARCA 2023."							
CANTERA:		"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."				TM:			
UBICACIÓN:		CAJAMARCA				TMN:			
FECHA DE MUESTRA:		25/09/2023				GRAVA NATURAL:			
FECHA DE ENSAYO:		27/09/2023				ARENA NATURAL:			
RESPONSABLE:		MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.							
REVISADO POR:									
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</u>									
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	CAUCHO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO (%)	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
	(pulg)	(mm)						Límite inferior	Límite superior
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
4	1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
5	3/4"	19	511.50	0.00	10.23	10.23	89.77	80	100
6	1/2"	12.5	1128.80	0.00	22.58	32.81	67.19	67	85
7	3/8"	9.5	285.10	0.00	5.70	38.51	61.49	60	77
8	N° 4	4.75	673.00	0.00	13.46	51.97	48.03	43	54
9	N° 10	2	894.16	32.04	17.32	69.29	30.71	29	45
10	N° 40	0.425	786.50	28.00	15.89	85.18	14.82	14	25
11	N° 80	0.18	275.90	0.00	5.52	90.70	9.30	8	17
12	N° 200	0.075	365.20	0.00	7.30	98.00	2.00	4	8
9	Bandeja	—	99.80	0.00	2.00	100.00	0.00	2	
TOTAL=			4999.96	60.04	60.04				
			5000.00						
CURVA GRANULOMETRICA									
OBSERVACIONES:									
RESPONSABLE DEL ENSAYO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DEL LABORATORIO		ASESOR			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybia		Bach. Quispe Fernández Erick Joel		Ing. Lufa Elias Hernan Terán		Ing. Carlos Calus Carrasco			
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023			

Nota: En la figura se muestra el modelo del protocolo para los diversos ensayos a realizar.

Fuente: propia.

Los datos se recopilan utilizando los protocolos de la Universidad Privada del Norte, que se ajustan según el tipo de ensayo y las regulaciones pertinentes. Esto permite la recolección de información de manera adecuada.

A continuación, se describen los ensayos necesarios para los agregados y las mezclas asfálticas en caliente:

**Tabla 11**

*Ensayos Necesarios para el Agregado Grueso*

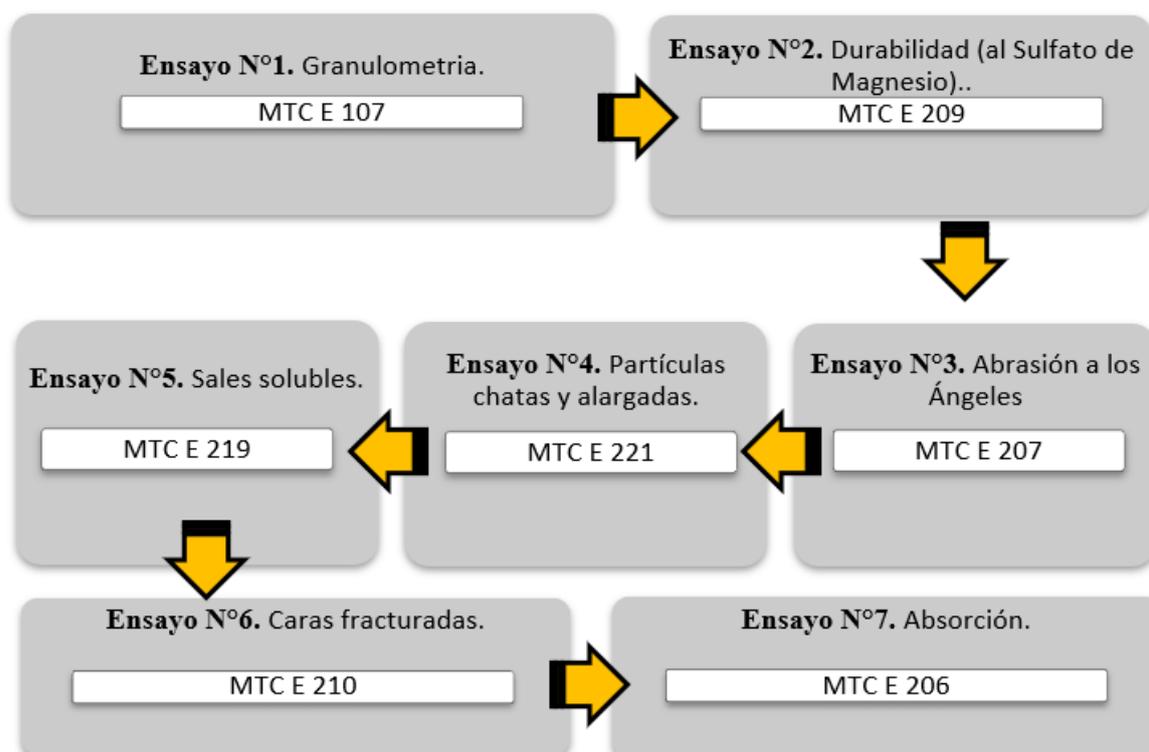
<b>ENSAYO Y/O PROTOCOLO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>NORMA</b>
<b>Granulometría</b>	Este análisis implica el procedimiento para calcular las proporciones de suelo que atraviesan los diferentes tamices de la serie utilizada en la prueba, hasta llegar al tamiz de 74 mm (N° 200).	MTC E 107
<b>Durabilidad (Sulfato de Magnesio)</b>	Este ensayo permite determinar si los áridos gruesos y finos se desintegran en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio.	MTC E 209
<b>Abrasión a los Ángeles</b>	Este análisis define un método para agregados gruesos con dimensiones menores a 37.5 mm (1 ½ pulgadas) para evaluar su resistencia a la degradación utilizando la máquina de ensayo de Los Ángeles.	MTC E 207
<b>Partículas chatas y alargadas</b>	Este método describe cómo determinar los índices de alargamiento y aplanamiento de los áridos gruesos.	MTC E 223
<b>Sales solubles</b>	Este método describe el proceso analítico de cristalización utilizado para cuantificar la cantidad de cloruros y sulfatos que son solubles en agua en los agregados pétreos que se utilizan en bases estabilizadas y	MTC E 219

ENSAYO Y/O PROTOCOLO	DESCRIPCIÓN	NORMA
	mezclas asfálticas.	
<b>Caras fracturadas</b>	En este proceso de evaluación, el porcentaje de una muestra de árido grueso que cumple los requisitos y contiene partículas fracturadas se calcula en términos de masa o cantidad.	MTC E 210
<b>Absorción</b>	Implica calcular la gravedad específica aparente, la gravedad específica seca, la gravedad específica saturada con superficie seca y la absorción de áridos gruesos.	MTC E 206

Nota: La tabla proporciona una descripción detallada de cada prueba que se llevará a cabo, junto con la normativa asociada a cada una. Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 11**

*Ensayos a Seguir para Determinar los Requerimientos para el Agregado Fino*



Fuente: elaboración propia

**Tabla 12**

*Ensayos Necesarios para el Agregado Fino*

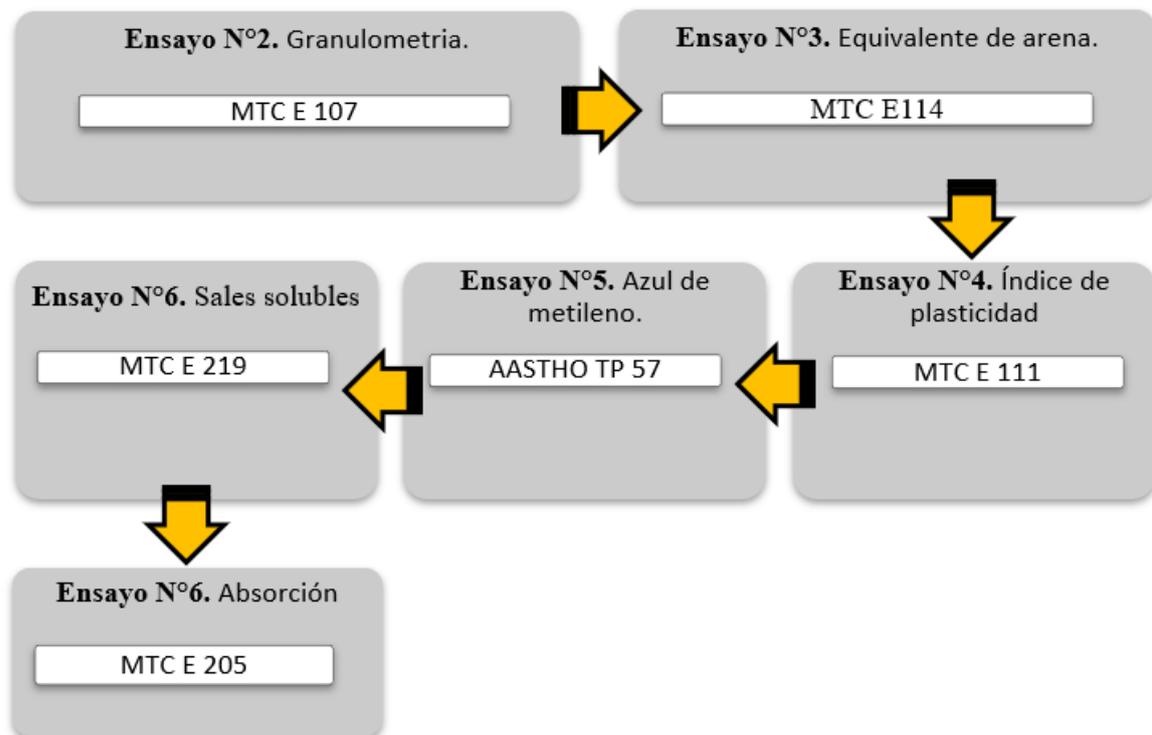
<b>ENSAYO Y/O PROTOCOLO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>NORMA</b>
<b>Granulometría</b>	Este procedimiento implica la técnica para calcular las proporciones de suelo que atraviesan los diversos tamices de la serie utilizados en el ensayo, hasta llegar al tamiz de 74 mm (N° 200).	MTC E107
<b>Equivalente de arena</b>	En condiciones normales, este método establece las proporciones relativas de suelos con características arcillosas o de finura extrema, así como partículas finas en suelos granulares y agregados de tamaño menor al tamiz N°4 (4,75 mm).	MTC E 114
<b>Sales solubles</b>	Para determinar el contenido de sulfato soluble en agua de los áridos utilizados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas, este ensayo establece el procedimiento analítico de cristalización.	MTC E 219
<b>Azul de Metileno</b>	El propósito principal del ensayo azul es proporcionar una caracterización completa de la parte arcillosa de un suelo, y el resultado de la prueba está directamente influenciado por la cantidad y la composición mineralógica de la fracción arcillosa.	AASTHO TP 57
<b>Índice de plasticidad</b>	Este proceso tiene como finalidad definir las propiedades de las fracciones de grano fino presentes en los suelos y determinar la parte de grano fino en materiales de construcción.	MTC E 111
<b>Absorción</b>	Con este método de evaluación se calculan el peso específico en seco, la superficie saturada en seco, la superficie aparente y la absorción	MTC E 205

ENSAYO Y/O PROTOCOLO	DESCRIPCIÓN	NORMA
	de un árido fino tras sumergirlo en agua durante 24 horas.	

Nota: La tabla presenta un desglose de la definición de cada prueba que se llevará a cabo junto con la regulación correspondiente a cada una de ellas. Fuente: elaboración propia

**Figura 12**

*Ensayos a seguir para determinar los requerimientos para el agregado fino*



Fuente: elaboración propia

**Tabla 13**

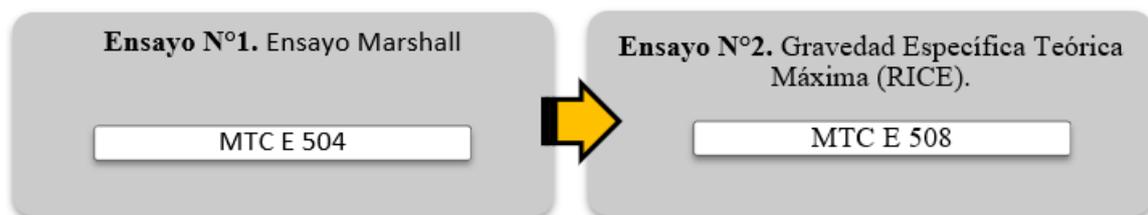
*Ensayos Necesarios con Briquetas en Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC)*

ENSAYO Y/O PROTOCOLO	DESCRIPCIÓN	NORMA
<b>Ensayo Marshall</b>	El propósito de este ensayo es identificar la cantidad óptima de cemento asfáltico en la mezcla y obtener información sobre las propiedades físicas y mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente. Esto se logra utilizando briquetas con una altura nominal de 2.5 pulgadas y un diámetro de 4 pulgadas.	MTC E 504
<b>Gravedad Específica Teórica Máxima (RICE)</b>	El objetivo de este procedimiento de evaluación es determinar la densidad y el peso específico máximo teórico (Gmm) de la mezcla bituminosa caliente a una temperatura de 25 °C que aún no se ha compactado.	MTC E 508

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 13**

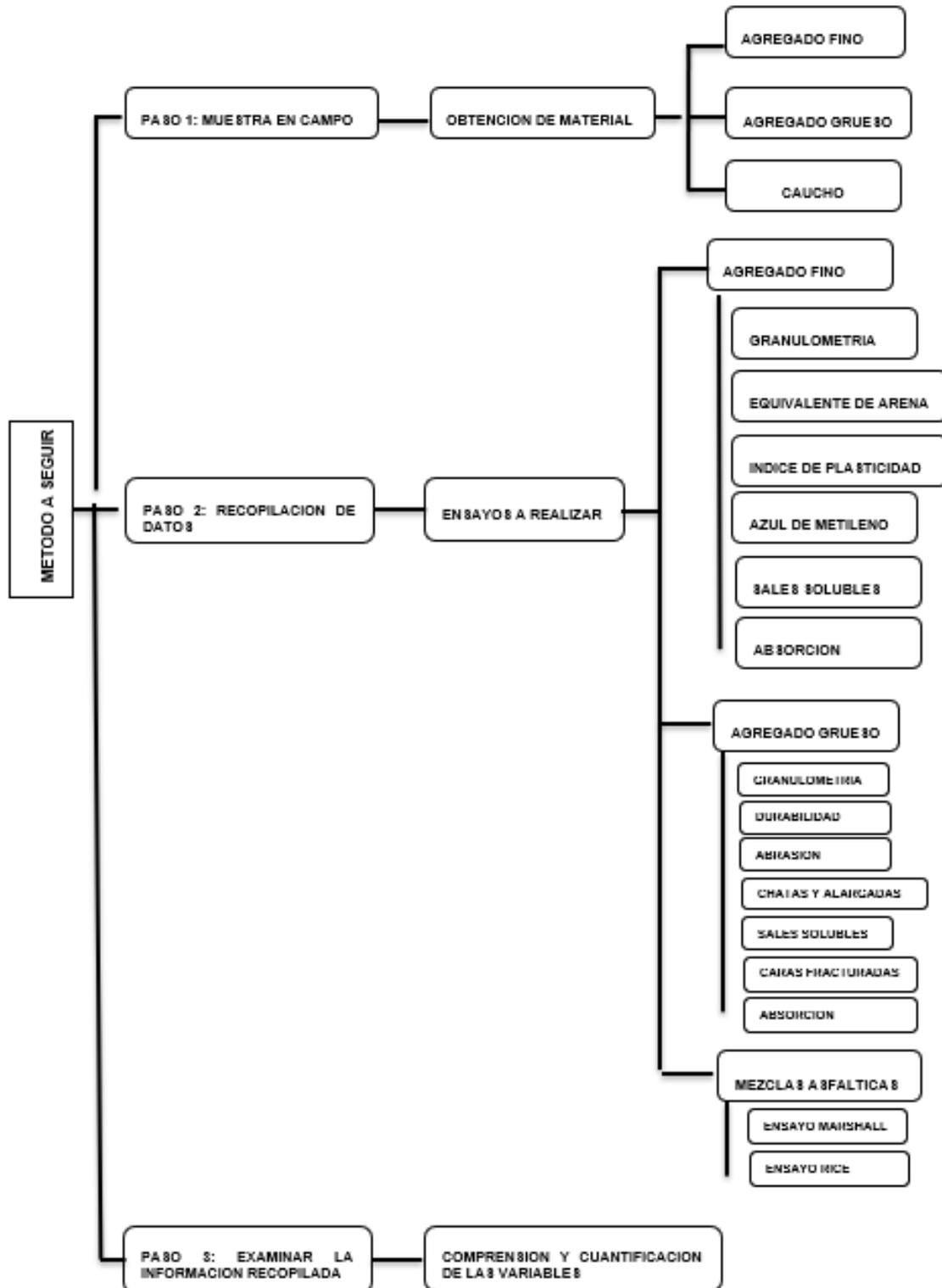
*Ensayos a Seguir de las Mezclas Asfálticas en Caliente*



Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 14**

*Procedimiento a seguir*



Nota: En la imagen se realiza un detalle del procedimiento a seguir.

## **PASO 1: MUESTRA EN CAMPO:**

Se detalla la ubicación y adquisición de los materiales para este estudio, como, agregado fino, agregado grueso y caucho reciclado.

- a. Agregado grueso**, se conseguirá el agregado grueso de la cantera "Bazán" ubicado en la Av. Miguel Carducci 696 carretera a Bambamarca km. 1.5, a través del método del cuarteo.
- b. Agregado fino**, se conseguirá este agregado de la cantera "Bazán" ubicada en la Av. Miguel Carducci 696 carretera a Bambamarca km. 1.5, realizado mediante el método del cuarteo.

**Tabla 14**

*Ubicación de la Cantera "Bazán"*

<b>Ubicación geopolítica</b>		
Departamento	Provincia	Distrito
Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca
<b>Ubicación geográfica</b>		
Norte	Este	Elevación
9210583.00	773424.00	2732.00

*Nota:* En esta tabla se muestra la ubicación geopolítica y geográfica de la cantera.

**Figura 15**

*Ubicación de la Cantera.*



*Nota:* La cantera Bazán se encuentra en la Av. Miguel Carducci 696 carretera a Bambamarca km. 1.5. Fuente: Google Earth Pro, 2018.

- c. **Caucho reciclado**, se obtendrá el caucho reciclado de la recicladora de caucho, que se encuentra ubicada en la Av. Nuevo Cajamarca cdra. 10, mediante el método del cuarteo.

**Figura 16**

*Ubicación de la Recicladora de Caucho*



Fuente: Google Maps.

**Tabla 15**

*Ubicación de la Recicladora de Caucho*

UBICACIÓN GEOPOLÍTICA		
DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA
UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
-78.493631	-7.184534	2750

Fuente propia.

**Tabla 16**

*Ubicación del Laboratorio de Concreto – UPN*

Ubicación Geopolítica		
Departamento	Provincia	Distrito
Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca
Ubicación Geográfica		
Norte	Este	Elevación
9208857.00	775444.00	2697.00

**Nota:** Las unidades de la ubicación geográfica se encuentran en metros (m).

**Figura 17**

*Ubicación del Laboratorio de Concreto - UPN*



*Nota:* Ubicación del laboratorio de concreto – UPN.

Fuente: Google Earth Pro, 2018.

**PASO 2: RECOPIACION DE DATOS**

Se explica el proceso de todos los análisis efectuados en el laboratorio universitario, organizándolos en función del material sometido a ensayo.

### a. Agregado grueso:

A continuación, se presenta una tabla que enumera los análisis necesarios como parte del control de calidad para el agregado grueso:

**Tabla 17**

*Requerimientos 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.

*Nota:* Fuente: (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013),  
 Tabla 423 – 01.

#### a.1. Granulometría:

Para llevar a cabo la evaluación de durabilidad, se aplicará el proceso especificado en el Manual de Pruebas de Materiales MTC E 107.

 Equipos y materiales.

- ❖ Balanzas: Utilizado en esta prueba de agregados, el peso debe tener una precisión del 0,1% del peso de la muestra y medirse con una aproximación de 0,5 g.

- ❖ Estufa: de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ .

#### ✚ Materiales.

- ❖ Tamices: Tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.

#### ✚ Procedimiento.

- ❖ La cantidad de muestra de agregado grueso, después de secado, debe ser de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.

**Tabla 18**

*Cantidad Mínima de Muestra de Agregado Grueso*

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada		Cantidad mínima de muestra de ensayo
mm	(pulg)	Kg
9,5	(3/8)	1
12,5	(1/2)	2
19,0	(3/4)	5
25,0	(1)	10
37,5	(1 1/2)	15
50,0	(2)	20
63,0	(2 1/2)	35
75,0	(3)	60
90,0	(3 1/2)	100
100,0	(4)	150
125,0	(5)	300

*Nota:* Fuente: (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013).

- ❖ Seleccionar la serie de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones de material a ensayar.
- ❖ Prevenir sobrecarga de material sobre tamiz individual colocando un tamiz adicional con abertura intermedia entre el tamiz que va a ser sobrecargado.

- ❖ Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido.
- ❖ El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad refiere en más del 0.3% del peso seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.

 Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

### **a.2. Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).**

Para realizar la evaluación de durabilidad, se empleará el procedimiento detallado en el Manual de Pruebas de Materiales MTC E 209.

 Equipos y materiales.

- ❖ Tamices: Se emplearán tamices de ensayo con aberturas cuadradas de los tamaños indicados, que estén en conformidad con la normativa referente a tamices normalizados según NTP 350.001.
- ❖ Envases: Estos se emplean para sumergir las muestras de agregados en la solución.
- ❖ Balanzas: Deben contar con una capacidad de al menos 5000 gramos y una precisión de al menos 1 gramo para la pesada del agregado grueso.

- ❖ Horno de secado: El horno deberá ser capaz de mantener una temperatura constante dentro del rango de 105 a 110 °C de forma continua.
- ❖ Solución de sulfato de magnesio: La solución saturada de sulfato de magnesio, de alta pureza, se obtiene disolviendo la sal en agua a una temperatura que oscile entre 25 y 30 °C. Se aconseja utilizar una cantidad de sal de no menos de 350 g por litro de agua en forma anhidra o 750 g por litro en forma hexahidratada.

 Procedimiento.

- ❖ El agregado grueso utilizado en la prueba consistirá en el material que queda retenido en el tamiz normalizado de 4.75 mm (Nº 4). La cantidad de la muestra estará ajustada de tal manera que, después de tamizar, se obtendrán las siguientes cantidades de cada uno de los diferentes tamaños.

**Tabla 19**

*Cuadro para Identificar Fracciones Representativas del Agregado Grueso  
Basado en su Distribución de Tamaño*

Fracción del agregado	Pasa	Retiene	Masa (g)
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
Total			5000±300
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
Total			1500±50
19.0 mm a 9.5 mm	19.0 mm (¾")	12.5 mm (½")	670±10

	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	330±5
		Total	1000±10
9.5 mm a 4.75 mm	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (No. 4)	300±5
		Total	300±5

Nota: Fuente: (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

- ❖ El árido grueso se tamiza en las distintas fracciones después de lavarse, secarse y pesarse hasta peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$ ). La cantidad necesaria de cada una de estas fracciones se mide y se coloca de manera individual en los recipientes destinados para la prueba.
- ❖ Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de magnesio durante un lapso que oscila entre 16 y 18 horas, asegurándose de que el nivel de la solución esté al menos 13 mm por encima de la muestra.
- ❖ El contenedor se protege para prevenir la evaporación y evitar la contaminación por elementos ajenos.
- ❖ Durante el período de inmersión, las muestras que estaban sumergidas en la solución se mantuvieron a una temperatura constante de  $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $70 \pm 2 \text{ }^\circ\text{F}$ ).
- ❖ Después de sumergir la muestra, esta se retira de la solución y se permite escurrir durante un periodo de  $15 \pm 5$  minutos, luego se introduce en el horno, el cual previamente se ha ajustado a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$ ).

- ❖ Durante el proceso de secado, se extraerán las muestras del horno y se enfriarán hasta alcanzar la temperatura ambiente. A intervalos de tiempo no inferiores a 4 horas, se realizarán pesajes de las muestras. Se puede determinar que se ha alcanzado un peso constante cuando dos mediciones sucesivas de una muestra no difieren en más de 1.0 gramo.
- ❖ Las muestras se sumergieron de nuevo en la solución una vez alcanzado el peso constante, y los procedimientos de inmersión y secado se repitieron hasta completar un total de cinco ciclos. Recuérdese que un ciclo es el proceso de sumergir un agregado en una solución saturada y luego secarlo hasta alcanzar una masa constante.

Lavado de la muestra:

- ❖ Luego de llevar a cabo el último ciclo y permitir que las muestras se enfríen, procedemos a realizar un lavado minucioso de las muestras en los recipientes utilizando agua caliente. Esto se hace con el propósito de eliminar completamente la solución de saturación, que en este caso es sulfato de magnesio.
- ✚ Para concluir, una vez que hemos eliminado por completo el sulfato de magnesio, a continuación, las muestras se secan hasta que alcanzan un peso constante en el horno a una temperatura constante de 110 5 °C.

Expresión de resultados.

- ❖ En este ensayo, los resultados se presentan como la variación entre cada una de estas cantidades y el peso inicial de la fracción sometida al ensayo, lo que se conoce como la pérdida de peso, y se expresa como un porcentaje del peso inicial utilizado.
- ❖ Para determinar el porcentaje de durabilidad, tamizar cada porción de árido grueso utilizando la malla adecuada en función del tamaño del árido. Este tamizado se realiza manualmente con una agitación suficiente para garantizar que el material pase a través de la malla. Es importante evitar un tamizado brusco, ya que podría causar la rotura de las partículas y, por lo tanto, alterar la muestra.

## Tabla 20

*Requisitos para la Última Etapa de Tamizado de Agregados Según el Tamaño de las Partículas.*

Tamaño del Agregado	Tamiz 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)

*Nota:* Fuente: (MTC, Ensayo de Materiales , 2016)

## Ecuación 1

*Cálculo del Porcentaje de la Pérdida Corregida*

$$\%PC = \frac{C \times A}{100}$$

Donde:

% PC : Porcentaje de pérdida corregida

C : Porcentaje de pérdida total

A : Gradación original que retiene

 Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

### **a.3. Abrasión a los Ángeles.**

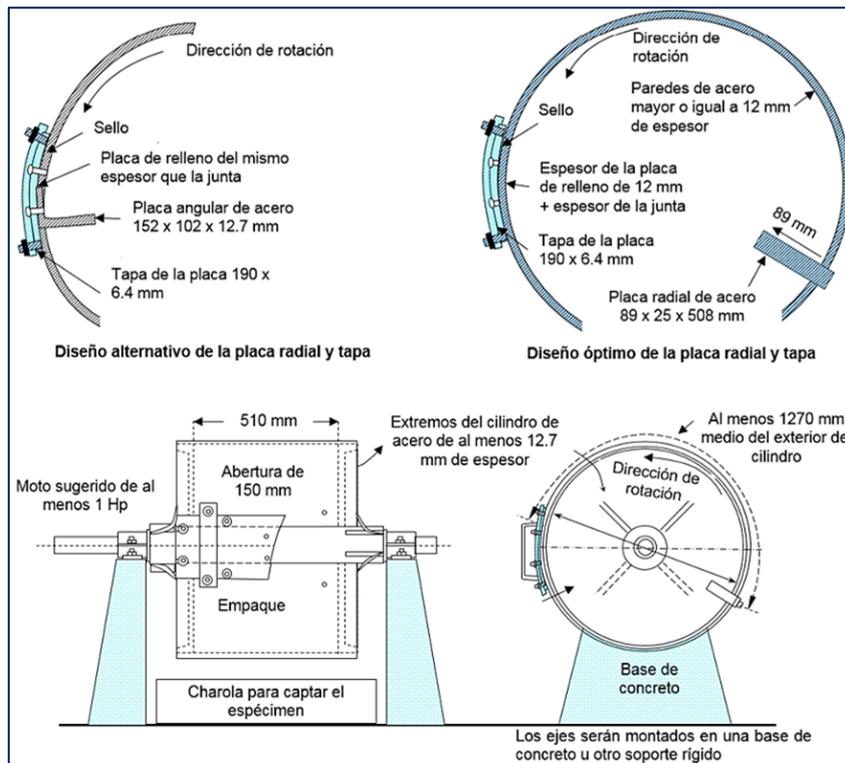
Para la determinación del ensayo de abrasión, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 207.

 Equipos y materiales.

- ❖ Máquina de Los Ángeles: La máquina de los ángeles tendrá las características esenciales.

**Figura 18**

*Equipo Maquina de los Ángeles*



*Nota:* Fuente: (MTC, Ensayo de Materiales , 2016).

- ❖ Tamices: Conforme con la NTP 350.001.
- ❖ Balanza: Para realizar esta prueba, necesita una báscula o balanza con una precisión del 0,1% de la carga de prueba.
- ❖ Carga: La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g. La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo como se describe, será como sigue.

**Tabla 21**
*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

*Nota:* Fuente: (MTC, Ensayo de Materiales , 2016)

 Procedimiento.

- ❖ Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a 110 ± 5 °C, separar cada fracción individual y recombinar a la gradación, lo más cercano correspondiendo al rango de medidas en el agregado.
- ❖ Tomar nota del peso de la muestra antes de realizar el ensayo, con una aproximación de 1 gramo.
- ❖ Cargue la probeta en la máquina de Los Ángeles, introdúzcala y gírela durante 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto (rpm).
- ❖ Descargue el material de la máquina tras el número de rotaciones requerido y, a continuación, separe previamente la muestra utilizando un tamiz estándar de 1,70 mm (n.º 12). Para determinar la masa, utilizar una aproximación de 1 g al lavar el material más

grosso que la malla de 1,70 mm y secarlo en la estufa a 110 5 oC hasta peso constante.

- ❖ La diferencia entre los coeficientes de variación de dos ensayos bien realizados en el mismo agregado grosso no debe exceder el 5.7% de su promedio.
- ❖ Para concluir, anotamos el peso de la muestra al término del ensayo.

#### Expresión de resultados.

La diferencia entre las masas inicial y final de la muestra expresada como proporción de la masa inicial de la muestra de ensayo. Este número representa el porcentaje de pérdida.

### **Ecuación 2**

*Porcentaje de pérdida*

$$\text{Desgaste de los Ángeles \%} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Dónde:

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

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

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

#### Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

#### **a.4. Partículas chatas y alargadas.**

- ✚ Se empleará el método descrito en el Manual de ensayos de materiales MTC E 223 para evaluar las partículas planas y alargadas del agregado grueso.
- ✚ Equipos y materiales.
  - ❖ Tamices: Con perforaciones de los siguientes diámetros de apertura: 6,3 mm (1/4"); 9,5 mm (3/8"); 12,5 mm (1/2"); 19 mm (3/4"); 25 mm (1"); 37,5 mm (1 1/2"); 50 mm (2"); y 63 mm (2 1/2").
  - ❖ Balanza: Que tenga una capacidad de detección de al menos el 0,1% del peso de la muestra del agregado a evaluar.
  - ❖ Horno: Controlado para asegurar una temperatura constante de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✚ Equipamiento auxiliar y suministros de laboratorio, como cuarteadores de agregados, bandejas, entre otros.
- ✚ Procedimiento.
  - ❖ El material entregado en el laboratorio se divide por cuarteo hasta lograr una muestra que sea representativa y que tenga la cantidad necesaria para llevar a cabo el ensayo. Esto implica tomar cantidades específicas de peso del agregado, excluyendo previamente los tamaños que no se encuentren en el rango de 63,0 mm (2 1/2") a 6,3 mm (1/4"), dependiendo del tamaño nominal de la muestra ensayada.

**Tabla 22**

*Muestra Mínima en Base del 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

*Nota:* Fuente: (MTC, Ensayo de Materiales , 2016)

- ❖ Luego de haber separado de esta manera la muestra destinada al ensayo, se somete a un proceso de secado en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta que alcance un peso constante. Posteriormente, se realiza el análisis granulométrico de acuerdo con la norma MTC E 204, utilizando los tamices especificados.
- ❖ Se calcula el peso  $P_i$ , con una precisión de hasta el 0,1%, de cada porción retenida, y se colocan en bandejas individuales que están claramente etiquetadas con el tamaño correspondiente de la fracción.
- ❖ El porcentaje de peso que se queda atrapado entre cada par de tamices consecutivos utilizados en el ensayo se identifica como  $R_i$ , siendo "i" la abertura más pequeña del tamiz. Las partes del agregado cuyo peso represente menos del 10% de la muestra no se someten al ensayo.
- ❖ Para distinguir y separar las partículas de forma plana en cada fracción del ensayo, se requiere que cada partícula pase a través

del calibrador de espesores, cuya apertura se corresponda con la fracción bajo análisis. Para separar las partículas alargadas en cada fracción del ensayo, es necesario que cada partícula atraviese el calibrador de alargamiento, ajustando la distancia entre barras según la fracción que esté siendo evaluada.

- ❖ Se pesa con una precisión de 0,1% del peso total de la muestra de ensayo la suma total de partículas contenidas en cada fracción retenida entre las dos barras respectivas.

#### Expresión de resultados.

Los índices de aplanamiento y alargamiento del agregado se calcularán siguiendo la siguiente fórmula.

- ❖ El índice de aplanamiento de cada fracción de ensayo se determina como un porcentaje, utilizando la proporción entre el peso de las partículas ( $P_i$ ) que pasan a través de la ranura específica y el peso inicial ( $P_i$ ) de esa fracción.

### **Ecuación 3**

*El Índice de Aplanamiento de la Fracción*

$$(Ipc) = \frac{P_i}{W_i} \times 100$$

Donde:

IPC= índice de las partículas chatas de la fracción ensayada.

$P_i$ = Peso de las partículas pasantes por la ranura correspondiente.

$W_i$ = Peso inicial de la fracción.

- ❖ El índice de alargamiento de cada fracción de ensayo se calcula, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas,  $P_{li}$ , retenidas entre las correspondientes barras y el peso inicial,  $P_i$ , de dicha fracción.

#### **Ecuación 4**

*El Índice de Alargamiento de la Fracción*

$$(Ipa) = \frac{R_i}{W_i} \times 100$$

Donde:

IPA= Índice de partículas alargadas de la fracción ensayada.

$R_i$ = Peso de las partículas pasantes por la ranura correspondiente.

$W_i$ = Peso inicial de la fracción.

- ❖ El valor resultado para cada fracción examinada, tanto para el porcentaje de aplanamiento como para el porcentaje de alargamiento, se aproximará al número entero más cercano.
- ❖ Para expresar los índices totales de aplanamiento y alargamiento, se determina el promedio ponderado de los índices individuales de todas las fracciones sometidas al ensayo, utilizando los porcentajes retenidos,  $R_i$ , como factores de ponderación.

#### Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

#### **a.5. Sales solubles.**

Para llevar a cabo la evaluación de las sales solubles en el agregado grueso, se aplicará el método descrito en el Manual de ensayos de materiales MTC E 219.

#### Equipos y materiales.

- ❖ Balanza analítica: Con una sensibilidad de 0,01 g.
- ❖ Estufa: Con la capacidad de mantener temperaturas de  $105 \pm 5$  °C.
- ❖ Plancha de calentamiento.
- ❖ Mechero.
- ❖ Matraces aforados.
- ❖ Vasos de precipitado.
- ❖ Pipetas.
- ❖ Tubos de ensayo.
- ❖ Agua destilada.

#### Procedimiento.

- ❖ Se requieren al menos 1000 gramos de muestra y un volumen de 500 mL para el ensayo de agregados gruesos.
- ❖ La muestra se somete a un proceso de secado en un horno a una temperatura constante de  $110 \pm 5$ °C hasta que alcance un peso constante, con un margen de aproximación de 0,01 gramo. Este peso se registra como "A".
- ❖ La muestra se introduce en un recipiente adecuado, seguido de la adición de una cantidad suficiente de agua destilada para que cubra aproximadamente 3 centímetros por encima del nivel de la muestra. Luego, se calienta hasta que el líquido comience a hervir.

- ❖ Se procede a realizar una agitación durante 1 minuto, repitiendo esta agitación en intervalos regulares hasta alcanzar un total de cuatro agitaciones en un lapso de 10 minutos.
- ❖ Se lleva a cabo un proceso de decantación durante al menos 10 minutos hasta que el líquido se vuelva claro, y luego se transfiere el líquido sobrenadante a otro recipiente. Posteriormente, se procede a analizar las sales solubles de manera separada en dos tubos de ensayo. Se repite el paso segundo y cuarto hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes.
- ❖ Se toma todo el líquido sobrenadante recolectado, una vez que se haya enfriado, y se vierte en un matraz aforado. Luego, se llena hasta el punto de aforo con agua destilada. En caso de que el volumen sea mayor, se debe concentrar mediante evaporación. El volumen aforado se registra como "B".
- ❖ Se extrae una parte de la muestra, que debe tener un volumen comprendido entre 50 y 100 ml, de la solución previamente mezclada en el matraz aforado, y se anota el volumen extraído como "C". Luego se cristaliza la alícuota en un horno a  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta masa constante y se registra dicha masa como D.

#### Expresión de resultado.

Se representará como un porcentaje de sales solubles, determinado a través de la siguiente fórmula:

## Ecuación 5

### *Cálculos del Porcentaje de Sales Solubles*

$$\text{Sales Solubles (\%)} = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B}} \times 100$$

#### Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

#### **a.6. Caras fracturadas.**

El ensayo de caras fracturadas en el agregado grueso se llevará a cabo siguiendo el procedimiento establecido en el Manual de ensayos de materiales MTC E 210.

#### Equipos y materiales.

- ❖ Balanza: Con una precisión de al menos el 0,1% de la masa de la muestra.
- ❖ Tamices: De acuerdo a la Especificación ASTM E 11.
- ❖ Separador o cuarteador: Un dispositivo adecuado para subdividir la muestra de campo al tamaño requerido para el ensayo.
- ❖ Espátula: Un utensilio u objeto similar utilizado para facilitar la mezcla de las partículas del agregado.

#### Procedimiento.

- ❖ Se debe secar la muestra hasta que se logre una distinción evidente entre el material fino y el grueso durante el proceso de tamizado. Después de esto, tamizar la muestra a través de una

malla de tamaño N°4 (4,75 mm), o cualquier otra malla que esté especificada para retener el material en este ensayo. Luego, reducir la parte que quedó retenida en la malla utilizando un cuarteador.

**Tabla 23**

*Peso Mínimo en Base del 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

*Nota:* Fuente: (MTC, Ensayo de Materiales , 2016)

- ❖ La cantidad de muestra de ensayo debe ser lo suficientemente grande para garantizar que la partícula más grande represente menos del 1% del total de la muestra. En ningún caso la muestra de ensayo debe ser menor a la cantidad indicada a continuación.
- ❖ Elimine cualquier resto de material fino enjuagando la muestra en el tamiz diseñado para analizar partículas fracturadas y, a continuación, séquela hasta obtener un peso constante. Con respecto a la masa de la muestra inicial seca, determinar la masa

de la muestra, así como cualquier masa adicional que sea necesaria con una precisión de al menos el 0,1%.

- ❖ La muestra de ensayo seca debe colocarse sobre una superficie larga y limpia que sea plana y permita examinar de cerca cada partícula. Sujete la partícula de árido de forma que la cara sea claramente visible para determinar si una partícula cumple el requisito de estar fracturada. Se considera que una cara tiene fracturas si constituye al menos una cuarta parte de la sección transversal máxima de la partícula de roca.
- ❖ Con la ayuda de una espátula u otra herramienta parecida, divide las partículas en dos categorías: (1) las que son consideradas fracturadas según el número requerido de caras fracturadas y (2) aquellas que no cumplen con el criterio especificado. Si el número necesario de caras fracturadas no se ajusta a las especificaciones correspondientes, la determinación se realizará considerando al menos una cara fracturada como mínimo.
- ❖ Determine la masa o cantidad de partículas que entran en la categoría de partículas fracturadas, así como la masa de partículas que no cumplen los criterios de una fractura. A menos que la proporción se haya especificado basándose en el recuento de partículas, utilice la masa para calcular el porcentaje de partículas fracturadas.

 Expresión de resultados.

### Ecuación 6

*Porcentaje de Partículas con una Cara Fracturada*

$$P_1 = \frac{U}{F + U + N} \times 100$$

### Ecuación 7

*Porcentaje de Partículas con Dos o Más Caras Fracturadas*

$$P_2 = \frac{F}{F + U + N} \times 100$$

Donde:

**P1 (%)** = Porcentaje de partículas con una cara fracturada ( $\pm 1\%$ ).

**P2 (%)** = Porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas ( $\pm 1\%$ ).

**F (g)** = Masa de las partículas con dos o más caras fracturadas ( $\pm 1\%$ ).

**U (g)** = Masa de las partículas con una cara fracturada ( $\pm 0.1$  g).

**N (g)** = Masa de las partículas sin caras fracturadas ( $\pm 0.1$  g).

 Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

#### **a.6. Absorción.**

Para la determinación del ensayo de absorción del agregado grueso, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 206.

 Equipos y materiales.

- ❖ Balanza: Con una precisión de 0,5 g y una capacidad de 5 000 g o superior.
- ❖ Cesta de alambre con una malla que tiene una abertura igual o menor que la del tamiz N° 6, y una capacidad que oscila entre 4 y 7 litros. La cesta debe estar diseñada de manera que evite que se acumule aire cuando se sumerja.
- ❖ Contenedor de líquido: Un recipiente apropiado para calar la cesta metálica en agua, junto con un mecanismo para suspenderla desde el centro de la escala de la balanza.
- ❖ Tamices: Un tamiz con dimensiones normalizadas de 4,75 mm (N° 4), o cualquier otro tamaño requerido para el ensayo.
- ❖ Horno: Con la capacidad de mantener una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.

## Procedimiento.

- ❖ Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria. Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales.
- ❖ El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 24**

*Masa Mínima de la Muestra con Respecto a su Tamaño*

Tamaño nominal, mm (pulg)	Masa Mínima de la muestra (g)
------------------------------	-------------------------------

12.5 (1/2)	2 000
19.0 (3/4)	3 000
25.0 (1)	4 000
37.5 (1 ½)	5 000

---

Nota: Fuente: (MTC, Ensayo de Materiales , 2016)

- ❖ Secar la muestra a 110 oC + 5 oC manteniendo un peso constante.  
Para probetas con tamaños nominales máximos de 37,5 mm (1 1/2 pulg.) o mayores, dejar enfriar a temperatura ambiente durante un mínimo de una hora y un máximo de tres horas en una zona bien ventilada. Deje que el agregado se enfríe a una temperatura soportable al tacto, o a unos 50 °C (122 °F), para tamaños aún mayores. Vierta agua a temperatura ambiente sobre la mezcla durante 24 + 4 horas.
- ❖ Retire la muestra del agua y, con un paño grande y absorbente, hágala rodar hasta que desaparezca cualquier película de agua visible. Luego, determine el peso de la muestra en condiciones de saturación de superficie (seca).
- ❖ Se utiliza una temperatura de aproximadamente 100 oC más o menos 5 oC para llevar la muestra seca a un peso constante. A continuación, se deja enfriar el agregado a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas, o hasta que alcance una temperatura de unos 50 oC en la que se pueda tocar sin sentir molestias. Finalmente se anota el peso.

 Expresión de resultados.

Se expresará como porcentaje en función con la siguiente fórmula.

### **Ecuación 8**

*Porcentaje de Absorción del Agregado*

$$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Dónde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos.
- B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos

 Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

#### **b. Agregado fino**

A continuación, presentamos una tabla que detalla los ensayos requeridos para garantizar la cantidad de agregado.

**Tabla 25**
*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.

*Nota:* Fuente: (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013), Tabla 423 – 02.

**b.1 Análisis granulométrico del agregado fino.**

Para la determinación del ensayo de durabilidad, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 107.

 Equipos y materiales.

- ❖ Balanzas: Usadas en el ensayo de agregados estas deben tener las siguientes características: con aproximación a 0.5 g y exactitud a 0.1% del peso de la muestra a ser ensayada.
- ❖ Estufa: de tamaño adecuado y capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ .

 Materiales.

- ❖ Tamices: Tamices seleccionados de acuerdo con las especificaciones del material que va a ser ensayado.

 Procedimiento.

- ❖ La cantidad de muestra de agregado fino, una vez que se ha completado el proceso de secado.
- ❖ Elegir un conjunto de tamices con dimensiones apropiadas que se ajusten a las especificaciones del material que se va a analizar.
- ❖ Evitar la sobrecarga de material en un tamiz específico agregando un tamiz adicional con una abertura intermedia entre el tamiz que podría recibir sobrecarga.
- ❖ Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido.
- ❖ El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad refiere en más del 0.3% del peso seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.

 Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

**b.2 Equivalente de arena.** Equipos y materiales:

- ❖ Recipiente cilíndrico de plástico: Con un diámetro interior de aproximadamente 31.75 mm y una altura de alrededor de 430.0 mm, con marcas de graduación desde la parte inferior hasta una altura de 381 mm.

- ❖ Tapón de caucho o goma: Hecho de caucho o goma y diseñado para encajar en el cilindro.
- ❖ Tubo de irrigación: Fabricado en acero inoxidable, cobre o bronce, con un diámetro exterior de 6.35 mm, un espesor de 0.89 mm y una longitud de 510 mm, con un extremo cerrado que forma un borde.
- ❖ Tubo flexible: Elaborado en plástico o caucho, con un diámetro de aproximadamente 4.7 mm y una longitud de alrededor de 1.20 m. Está equipado con una pinza que permite cortar el flujo de la sustancia a través de él. Este tubo conecta el sifón con el tubo de irrigación.
- ❖ Botellas de un galón: Estas botellas tienen una capacidad de un galón y se utilizan para contener soluciones de cloruro cálcico.
- ❖ Recipiente de metal: Con un diámetro de aproximadamente 57 mm y una capacidad de  $85 \pm 5$  ml.
- ❖ Embudo de boca ancha: Con una base de 100 mm de diámetro.
- ❖ Cronómetro: Utilizado para registrar minutos y segundos.
- ❖ Espátula: Adecuada para eliminar el exceso de reactivos de la solución de reserva que contiene formaldehído.
- ❖ Reactivos para la solución de reserva con formaldehído: Incluye formaldehído, cloruro de calcio anhidro de calidad técnica, glicerina y agua destilada.
- ❖ Reactivos para la solución de reserva con glutaraldehído: Comprende glicerina USP y agua destilada.

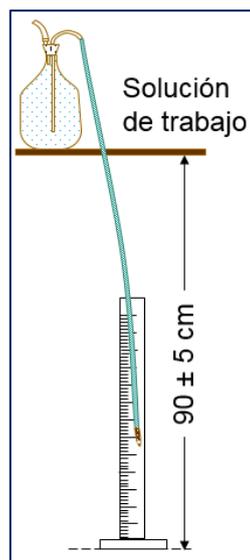
Procedimiento:

Preparación del equipo y la solución:

- ❖ Comenzamos disolviendo 454 gramos de sal de cloruro de calcio en 1.89 litros (equivalente a 1/2 galón) de agua destilada, luego la enfriamos y la filtramos utilizando papel filtro.
- ❖ A continuación, incorporamos 2050 gramos de glicerina y 47 gramos de formaldehído a la solución filtrada, mezclamos de manera uniforme y diluimos con agua destilada hasta obtener un volumen total de 3.78 litros de solución.
- ❖ Luego, preparamos la solución de trabajo en una botella de 3.78 litros (equivalente a 1 galón) agregando  $85 \pm 5$  ml de solución de reserva y completando el volumen restante con agua destilada. Para la configuración del equipo, ajustamos el sifón a la botella que contiene la solución y lo ubicamos en un soporte a una altura de  $90 \pm 5$  cm sobre la superficie de trabajo. (ver figura 19).

### Figura 19

*Preparación del Equipo (Altura del Sifón) para el Presente*



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

#### Lectura de arcilla:

- ❖ Después, procedemos a realizar la medición del contenido de arcilla, para lo cual permitimos que la probeta repose durante un período de 20 minutos, con un margen de variación de  $\pm 15$  segundos.
- ❖ Una vez completado el tiempo de reposo, registramos la lectura de arcilla, que corresponde al nivel superior de la suspensión de arcilla (B). Asimismo, anotamos el tiempo completo de sedimentación.

#### Lectura de arena:

- ❖ Procedemos con la medición del contenido de arena, para lo cual posicionamos el pistón en la probeta y lo bajamos con cuidado hasta que repose sobre la capa de arena.
- ❖ Luego, alineamos el extremo del pistón con las marcas de graduación de la probeta hasta que el pistón entre en contacto con la superficie interna de la probeta. Restamos 10 pulgadas (equivalentes a 25.4 cm) al nivel indicado por la base del pistón. Registramos este valor como la medición de arena (A).

### Ecuación 9

*Porcentaje de Equivalente de Arena*

$$SE = \frac{A}{B} \times 100$$

Donde:

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

**A (pulg)** = Lectura de altura de arena ( $\pm 0.1$  g).

**B (pulg)** = Lectura de arcilla ( $\pm 0.1$  g).

 Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

### **b.3 Índice de Plasticidad**

Para la determinación del ensayo índice de plasticidad del agregado fino, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 111.

Determinación del Limite Líquido:

 Equipos y materiales.

- ❖ Espátula: de aproximadamente 75 mm de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- ❖ Recipiente: De almacenaje, de porcelana o similar.
- ❖ Aparato del límite líquido (o de Casagrande).
- ❖ Balanza: Con un peso aproximado a 0,01 g.
- ❖ Horno: Regulado a  $110 \pm 5$  °C.
- ❖ Tamiz: N° 200.
- ❖ Agua destilada.
- ❖ Vidrios de reloj: O recipientes correctos para determinación de humedades.

- ❖ Superficie de rodadura: Este se utiliza en forma de un vidrio grueso esmerilado

✚ Procedimiento.

- ❖ Se selecciona una cantidad de alrededor de 150 a 200 gramos de la fracción que pasa a través del tamiz de 426 mm (Nº 40).
- ❖ Luego, se mezcla con agua destilada hasta que la masa de suelo pueda ser moldeada con facilidad en forma de una esfera.
- ❖ Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo del límite líquido en el punto que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aprox. 10mm.

**Figura 20**

*Muestras del Suelo en al Aparato de Casagrande*



Nota: Fuente: (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

- ❖ Utilizando un acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo.
- ❖ Asegurarse de que no queden restos de suelo debajo de la copa. Luego, levantar y soltar la copa mientras se gira el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que ambas

mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura, que debe tener una longitud de 13 mm (1/2 pulgada).

- ❖ Si una burbuja de aire provoca que la ranura se cierre antes de tiempo, se debe reconstruir el suelo en la copa, añadiendo una pequeña cantidad de suelo para compensar cualquier pérdida durante el proceso de ranurado, y repetir la operación con un contenido de humedad más elevado.
- ❖ En caso de que, después de realizar varias pruebas con contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo continúe deslizándose en la copa o si el número de golpes requeridos para cerrar la ranura siempre sea inferior a 25, se debe informar que el límite no se pudo determinar y se considera que el suelo es no plástico, sin necesidad de llevar a cabo el ensayo de límite plástico.
- ❖ Registrar el número de golpes, N, necesarios para cerrar la ranura. Luego, tomar una porción de suelo de aproximadamente el ancho de una espátula, extendiéndola de un extremo al otro de la taza de suelo en ángulo recto a la ranura, incluyendo la parte de la ranura donde el suelo se deslizó juntamente. Colocar esta muestra en un recipiente de peso conocido y cubrirlo.
- ❖ Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en la placa de mezclado, añadiendo agua destilada para aumentar el contenido de humedad y reducir el número de golpes requeridos para cerrar la ranura. Repetir el proceso de 6.1 a 6.6 para al menos dos

pruebas adicionales, generando números de golpes cada vez más bajos para cerrar la ranura.

- ❖ Luego, determinar el contenido de humedad,  $W_n$ , del espécimen de suelo de cada prueba según el método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben ser registrados inmediatamente después de completar el ensayo.

### **Ecuación 10**

*Fórmula Limite Liquido (a)*

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

### **Ecuación 11**

*Fórmula Limite Liquido (b)*

$$LL = kW^n$$

### **Ecuación 12**

*Índice de Plasticidad*

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= índice de Plasticidad

LL= Límite Líquido

LP= Límite Plástico.

 Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

#### **b.4 Azul de Metileno.**

##### Equipos, herramientas y materiales:

- ❖ Bureta: Con una graduación de 0.1ml, de color ámbar de por lo menos 50 ml de capacidad
- ❖ 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.
- ❖ Platón y tamiz No. 200:
- ❖ Matraz volumétrico: Con capacidad de 1000ml
- ❖ Papel filtro.
- ❖ Tres vasos de precipitación: De 500ml tipo Griffin.
- ❖ El azul de metileno de calidad reactiva que tiene fecha de caducidad se conserva en el laboratorio durante un máximo de cuatro meses en un armario oscuro a temperatura ambiente. También se envuelve en papel de aluminio y se coloca en un recipiente marrón.
- ❖ Agua destilada.
- ❖ Horno: Capaz de regular una temperatura de 110°C.

##### Procedimiento:

- ❖ Comenzamos preparando la solución de azul de metileno colocando  $1 \pm 0.01$  g de azul de metileno en un vaso de precipitado de 1000 ml.
- ❖ A continuación, llenar el vaso de precipitados con 1000 ml de agua destilada y agitar utilizando la barra de agitación magnética y el agitador durante al menos 20 minutos.

- ❖ Al finalizar, almacenamos la solución en una botella de color ámbar, envuelta en papel de aluminio, en un lugar oscuro y a una temperatura de  $20 \pm 5$  °C.
- ❖ A continuación, llenamos la bureta con la solución de azul de metileno y la aforamos, asegurándonos de que no haya aire en la salida de la bureta.
- ❖ Realizamos la agitación manual.
- ❖ Para la preparación de la muestra, tomamos material que pase por el tamiz No. 200 y lo secamos a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta que alcance una masa constante.
- ❖ Luego, colocamos  $1.0 \pm 0.05$  g de la muestra seca en un vaso de precipitado de 100 ml.
- ❖ Añadimos  $30 \pm 0.1$  g de agua destilada al vaso de precipitado, ya que necesitaremos agregar más posteriormente.
- ❖ Ahora, con agitación manual, incorporamos 1.0 ml de la solución de azul de metileno a la suspensión y agitamos durante 1 minuto. Sin detener la agitación, retiramos una gota de la suspensión con la punta de la varilla de vidrio y la colocamos en el papel de filtro.
- ❖ Luego, observamos la apariencia de la gota en el papel de filtro. Si no se percibe 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 minuto de agitación, retirando una gota de la suspensión por cada incremento.
- ❖ La prueba se considera finalizada cuando se observa el halo azul alrededor de la gota, como se muestra en la Figura 21.

## Figura 21

### *Representación de Halo Azul*



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

#### ✚ Cálculo del valor de azul de metileno

- ❖ El valor del azul de metileno (MBV) se corresponde con la cantidad de mililitros de la solución de azul de metileno empleados hasta que se alcanza la saturación (cuando aparece el halo) y se informa en miligramos de azul de metileno por gramo del material en análisis.

### Ecuación 13

*Valor de Azul de Metileno*

$$MBV = \frac{C \times V}{W}$$

Dónde:

**C** = La cantidad de azul de metileno en la solución.

**V** = Solución de azul de metileno requerida.

**W** = Peso del material seco de la muestra.

 Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

#### b.5 Sales Solubles

 Equipos y materiales.

- ❖ Balanza analítica: Con una 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.

 Preparación de la muestra

- ❖ La cantidad mínima de muestra para el ensayo de finos es de 100 gramos con un aforo de 500 ml.
- ❖ Comenzamos secando la muestra en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C hasta que alcance una masa constante, con una aproximación de 0.01 gramos. Este valor se registra como A.

Ejecución del ensayo:

- ❖ Procedemos llenando un vaso de precipitado con la muestra y añadiendo suficiente agua destilada para que cubra aproximadamente 3 centímetros por encima del nivel de la muestra, luego calentamos hasta que comience a hervir. Después, realizamos 4 agitaciones de 1 minuto cada una.
- ❖ Dejamos que la muestra repose durante al menos 10 minutos, hasta que el líquido esté claro, y luego transferimos el líquido sobrenadante a otro recipiente.
- ❖ A continuación, determinamos las sales solubles de forma separada en dos tubos de ensayo utilizando los reactivos químicos apropiados.
- ❖ Una vez que los líquidos acumulados se han enfriado, los vertemos en un matraz aforado y añadimos agua destilada hasta alcanzar la marca de aforo, registrando este valor como B.
- ❖ Luego, tomamos una alícuota de entre 50 y 100 ml de la muestra previamente homogeneizada del matraz aforado, y anotamos su volumen como C.
- ❖ Por último, secamos la alícuota en un horno a  $100 \pm 5$  °C hasta que alcance una masa constante, y registramos la masa como D.

✚ Cálculos:

## Ecuación 14

*Porcentaje de Sales Solubles*

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

✚ Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

### b.5 Gravedad específica y absorción del agregado fino.

✚ Equipos y materiales.

- ❖ Balanza: Sensible a 0,5 g.
- ❖ Cesta con malla de alambre: Con abertura al tamiz N° 6 o abertura menor.
- ❖ Depósito de agua: Recipiente que permite sumergir en agua la cesta de alambre y dispositivo que la suspende del centro de la balanza.
- ❖ Tamices: Un tamiz de 4,75 mm (N° 4) o de otros tamaños y como sean necesarios.
- ❖ Estufa.

✚ Procedimiento.

- ❖ Para este ensayo, se comenzó identificando y registrando el peso de las taras que se utilizarían. Luego, se tomó una muestra de 5 kg de

material seco y se sumergió en agua durante 24 horas. Posteriormente, se extendió el material sobre una superficie plana y se secó uniformemente hasta que el agregado fino no se adhiriera entre sí. Se tomó una porción del material y se colocó en un molde cónico, golpeándolo 25 veces con una barra de metal para asegurar que, al levantarlo, la muestra se desmoronara, indicando que había alcanzado la saturación deseada.

- ❖ Se registró el peso del recipiente lleno de agua hasta la marca de calibración. Luego, se pesaron 500 gramos de agregado fino saturado y se colocaron en el recipiente con agua, asegurándose de homogeneizar los materiales y eliminar las burbujas. Se registró el peso del recipiente lleno de agua con la arena. Luego, se vació la muestra en una tara y se colocó en un horno a una temperatura constante durante 24 horas.
- ❖ Finalmente, se aplicaron las ecuaciones correspondientes para determinar el peso específico de masa, el peso específico saturado, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino.

### **Ecuación 15**

#### *Peso Específico de Masa*

$$PeM = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

PeM= Peso específico de la masa

A= Peso de la muestra seca después de estar en el horno.

B = Peso del frasco lleno de agua.

C= Peso del frasco + arena + agua

### Ecuación 16

*Peso Específico del Material Saturado*

$$PeSSS = \frac{S}{B + S - C}$$

Donde:

PeSSS= Peso específico del material saturado

S= Peso de la muestra saturada.

B = Peso del frasco lleno de agua.

C= Peso del frasco + arena + agua

### Ecuación 17

*Peso específico aparente*

$$PeA = \frac{A}{B + A - C}$$

Donde:

PeA= Peso específico aparente

A= Peso de la muestra seca después de estar en el horno por 24h.

B = Peso del frasco lleno de agua.

C= Peso del frasco + arena + agua

### Ecuación 18

*Absorción del Agregado Fino*

$$Ab \% = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde:

Ab= Absorción del agregado fino en porcentaje

A= Peso de la muestra seca después de estar en el horno por 24h.

S= Peso de la muestra saturada.

Después de concluir las pruebas de control de calidad de los agregados pétreos, seguimos llevando a cabo los ensayos necesarios para evaluar las características de las mezclas asfálticas en caliente (MAC), de acuerdo con las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras (EG – 2013). Esto implica analizar los parámetros Marshall, y Peso específico teórico máximo.

#### Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

Se determinó la clase "A" de la mezcla para el diseño, la cual se selecciona en función de la cantidad y tipo de vehículos que circulen por la carretera.

**Tabla 26**

*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	2.1	2.1	1.4

mín.	75	75	75
2. Resistencia retenida % (mín.)			
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 en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283		80 mín.	

Nota: Fuente: (MTC, Ensayo de Materiales , 2016);Tabla 423-06.

### c. Diseño muestra patrón.

En primero lugar realizamos el diseño de la muestra patrón:

#### c.1. Ensayo Marshall

 Equipos y procedimiento:

- Molde de compactación (4" de diámetro por 3" de altura, con collar de extensión)
- Martillo de compactación:
- Pedestal de compactación.
- 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 una primera etapa, se confeccionaron los especímenes sin añadir caucho reciclado. A continuación, se describe el procedimiento y los cálculos necesarios para establecer el contenido óptimo de asfalto en la mezcla patrón:

Preparación de la muestra:

- Comenzamos preparando el agregado al colocar cada muestra en bandejas individuales y llevándolas al horno a una temperatura de 110°C durante un período de 12 horas o hasta que alcancen un peso constante.
- Luego, procedemos a realizar el análisis granulométrico tanto del agregado grueso como del agregado fino, siguiendo las especificaciones del tipo de Material Asfáltico Continuo (MAC) que estamos utilizando, en este caso, se trata de un MAC tipo 1, según lo indicado en la tabla 423.03 de la EG – 2013.
- Después, recopilamos los resultados de los ensayos de peso específico y absorción previamente realizados en el control de calidad de los agregados.
- A continuación, con base en los resultados del análisis granulométrico, realizamos una combinación teórica de los agregados y polvo mineral, siguiendo las pautas de la especificación MAC 1.

- Esta combinación de los agregados la efectuamos a través de los "HUSOS", probando diferentes valores de manera experimental que se ajusten a las curvas granulométricas establecidas. Siempre tenemos en cuenta que el porcentaje de grava no debe ser demasiado bajo, ya que esto podría afectar negativamente su resistencia, siguiendo recomendaciones teóricas y el juicio de expertos. Si el porcentaje de grava fuera muy bajo, se procedería a disminuirlo.
- A medida que realizamos la combinación teórica, ajustamos la dosificación según sea necesario. Para la distribución adecuada, seguimos un método experimental por tanteo y trabajamos generalmente con solo dos porcentajes.

### Tabla 27

*Ejemplo de Primer Diseño de Combinación de Agregado (Grava Triturada Más Arena Gruesa)*

<b>Material</b>	<b>Porcentaje</b>
Grava	52%
Arena triturada	48%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

*Nota:* Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación, incorporamos datos en el sistema, incluyendo el peso específico aparente del cemento asfáltico y el peso específico aparente del cemento Portland. Estos valores se obtienen de las hojas técnicas proporcionadas por los fabricantes. Asimismo, integramos el peso

específico BULK del agregado fino y del agregado grueso, los cuales han sido previamente calculados mediante los ensayos de calidad correspondientes.

Preparación de la mezcla:

Mezclamos la mezcla después de calcular las temperaturas de compactación y mezcla. Para obtener varias muestras a la vez, empezamos preparando una cantidad de mezcla; así, cada lote contiene material suficiente para crear tres o cuatro especímenes.

Para crear un espécimen compactado con una altura nominal de 2.5 pulgadas, se requieren aproximadamente 1200 gramos de mezcla. Por lo tanto, para este caso, preparamos la mezcla para cada uno de los porcentajes de contenido de asfalto, que fueron 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%. Dado que cada contenido de asfalto tiene tres especímenes para ensayar y uno adicional para la determinación de la gravedad específica teórica máxima (RICE), trabajamos con lotes de mezcla múltiple que proporcionan material suficiente para fabricar cuatro especímenes.

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

- Calculamos la cantidad de material en gramos necesaria para preparar una bachada múltiple que permita obtener cuatro especímenes en función del porcentaje de cada material establecido previamente en el diseño teórico. Para ilustrar este proceso, tomemos como ejemplo un

contenido de 5.0% de cemento asfáltico. Las cantidades se determinan de la siguiente manera.

- El Manual de Ensayo de Materiales del MTC – 14 establece que se requieren aproximadamente 1200 gramos de muestra para preparar una bachada destinada a compactar un solo espécimen. En este caso, estamos preparando bachadas múltiples que nos proporcionarán material suficiente para cuatro especímenes compactados, por lo que multiplicamos los 1200 gramos por la cantidad de especímenes.

### **Ecuación 19**

*Cantidad de Muestra para Bachadas Múltiples*

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

- Necesitamos un total de 4800 gramos de material para preparar cuatro briquetas compactadas, y de este total, un porcentaje corresponderá al cemento asfáltico, mientras que la diferencia estará compuesta por la grava triturada y la arena gruesa.
- Creamos la mezcla asfáltica en caliente tras determinar la dosificación de cada componente en gramos. Para ello, elevamos las temperaturas de los áridos pétreos ya preparados y del cemento asfáltico a 160°C y 140°C, respectivamente.
- Pesar los áridos de acuerdo con la cantidad calculada, combinarlos en una bandeja y calentarlos en una estufa industrial hasta que alcancen la temperatura adecuada son los primeros pasos de este proceso. También calentamos el ligante asfáltico a la temperatura adecuada en

una bandeja aparte, siempre controlándolo con un termómetro bimetalico Dial.

Pesamos la mezcla de áridos y vertemos la cantidad calculada de ligante asfáltico una vez que ambos componentes han alcanzado la temperatura adecuada. El siguiente paso es mezclar el material hasta que esté completamente homogéneo, asegurándonos de que el asfalto recubre uniformemente toda la piedra.

Compactación de las mezclas:

- Preparamos la mezcla y luego utilizamos gasolina para limpiar el molde y el pistón. A continuación, calentamos ambos durante unos 30 minutos a una temperatura de entre 90 °C y 150 °C en agua hirviendo.
- Una vez transcurridos los 30 minutos, montamos el molde colocando su base y el cuello de extensión antes de cubrir la base con papel de filtro u otro tipo de papel no absorbente.
- Con el molde listo y ya habiendo determinado la composición de mezcla adecuada para el contenido de asfalto deseado, utilizamos un cucharón para verter aproximadamente 1200 gramos de mezcla en cada molde. A continuación, aplicamos 15 golpes alrededor del perímetro y 10 golpes en la parte inferior del molde, asegurándonos de nivelar los bordes y eliminar cualquier exceso de material con una espátula caliente.
- A continuación, apoyamos la zapata sobre la mezcla mientras sujetamos el molde con el arco de ajuste correspondiente, colocándolo sobre el pedestal de compactación. Utilizamos el martillo compactador para aplicar un total de 75 golpes.

- Una vez completada la compactación, retiramos el molde y desmontamos la base y el collar de extensión. Volvemos a montar el dispositivo y aplicamos la misma cantidad de golpes en la cara superior de la muestra, que antes era la inferior.
- A continuación, se retira el molde del pedestal, se separan el cuello y la base y se dejan enfriar las briquetas durante 12 horas a temperatura ambiente.
- Este procedimiento se repitió para las otras briquetas del grupo con diferentes porcentajes de cemento asfáltico (4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, y 6.0%), con ajustes en las cantidades de los materiales en función de cada porcentaje de asfalto.
- Volvimos a montar el collarín de extensión en el molde y utilizamos un extractor para retirar cada una de las muestras compactadas después de que el molde se hubiera enfriado durante 12 horas.
- Por último, tras identificar cada briqueta, medimos su grosor tres veces, promediamos los resultados e introducimos la información en nuestros registros.
- Del mismo modo, tras identificar cada briqueta y tomar sus medidas (lo que se conoce como peso en condiciones atmosféricas), registramos su peso.
- A continuación, la briqueta se sumergió en agua utilizando un baño de agua durante 60 minutos a una temperatura constante de 25°C, y se registró su peso sumergido, también conocido como peso seco superficial saturado (SSS) o peso en condiciones de agua.

- Después, pesamos la briqueta desprendida colocando la muestra en una cesta hermética y equilibrándola.

- Una vez que tenemos las briquetas compactadas, procedemos a realizar los siguientes ensayos en el siguiente orden:

1. Determinación del peso específico "Bulk."
2. Ensayo de estabilidad y flujo.
3. Análisis de la densidad y los vacíos.

- Iniciamos realizando la determinación del peso específico "Bulk", para ello usamos la siguiente expresión.

### **Ecuación 20**

*Peso Específico Bulk*

$$G_b = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

Dónde:

$W_a$  = Peso de la probeta seca en el aire

$W_w$  = Peso de la probeta en el agua

$W_{ss}$  = Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca

- Luego, procedemos a realizar el ensayo de estabilidad y flujo Marshall, y a continuación se detalla el procedimiento.
- Comenzamos preparando las briquetas para el ensayo de estabilidad y flujo Marshall sumergiéndolas en un baño de agua a una temperatura

de 60°C. Cada grupo de briquetas, compuesto por tres especímenes, se somete a esta inmersión durante un período de 45 a 60 minutos.

- A continuación, preparamos el equipo Marshall. El personal técnico del laboratorio se encargará de llevar a cabo el mantenimiento adecuado antes de cada ensayo y de añadir un manómetro para la medición de la estabilidad, ya que el equipo no dispone de su propio medidor para esta medida.
- Una vez que el aparato de carga Marshall esté listo, retiramos las briquetas del agua y secamos su superficie de manera rápida y cuidadosa.
- Colocamos la probeta en la mordaza inferior de prueba y la centramos. Luego, ajustamos el anillo superior en su posición y centramos el conjunto en el mecanismo de carga.
- Posteriormente, ubicamos el medidor de flujo, también conocido como deformímetro, sobre la barra guía marcada y llevamos su aguja a la posición cero.
- Por último, aplicamos la carga a la probeta a una velocidad constante de 2 pulgadas por minuto hasta que ocurra la falla. El valor de la carga en el momento de la falla se registra como Estabilidad Marshall.
- Al mismo tiempo, tomamos la lectura del medidor de flujo, que debe permanecer firmemente en su posición en la barra guía, y este valor se denomina Flujo y se expresa en centésimas de pulgada o en unidades de 0,25 mm.

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

- Luego, procedemos a calcular el promedio de los pesos específicos "bulk" de todas las probetas elaboradas con el mismo porcentaje de asfalto. Para obtener el peso específico promedio del agregado total, aplicamos la siguiente fórmula.

### **Ecuación 21**

*Peso Específico Bulk de la Briqueta*

$$G_{esp} = \frac{P1}{V_b}$$

Dónde:

P1= Peso de la briqueta al aire.

Vb= Volumen de la briqueta por desplazamiento.

- Luego, determinamos el peso específico máximo teórico (RICE) de la muestra para cada porcentaje de asfalto.
- Luego, calculamos el porcentaje de vacíos que viene a ser mediante la siguiente fórmula:

### **Ecuación 22**

*Porcentaje de vacíos.*

$$\%Vacios = \frac{(Rice - Pesp Bulk)}{Rice} \times 100$$

Dónde:

Pesp. Bulk= Peso específico Bulk de la briqueta.

- Luego, calculamos la relación polvo/asfalto que viene a ser mediante la siguiente fórmula:

### Ecuación 23

*Relación polvo/asfalto*

$$\text{polvo/asfalto} = \frac{\%Asf \text{ efectivo}}{\% \text{ pasante } N^{\circ}200}$$

- Luego, calculamos porcentaje de vacíos en el agregado mineral que viene a ser mediante la siguiente fórmula:

### Ecuación 24

*Vacíos en el Agregado Mineral*

$$V. M. A. = 100 - (\%Grava + \%Arena + \text{Pesp CA}) * \left( \frac{\text{Pesp Bulk briq}}{\text{Pesp Bulk agreg}} \right)$$

Dónde:

Pesp CA= Peso específico del cemento asfáltico.

Pesp Bulk briq. = Peso específico Bulk de la briqueta.

Pesp Bulk agreg. = Peso específico Bulk del agregado.

- Luego, calculamos porcentaje de Vacíos llenos con Cemento Asfáltico que viene a ser mediante la siguiente fórmula:

## Ecuación 25

*Porcentaje de Vacíos Llenos con Cemento Asfáltico.*

$$V.LL.C.A. = 100 \times \left( \frac{V.M.A - \%VACIOS}{V.M.A.} \right)$$

Dónde:

V.LL.C.A. = Porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico.

V.M.A. = Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

% Vacíos = Porcentaje de vacíos con aire.

- Una vez que todos estos datos se han identificado, estamos en condiciones de generar gráficos y extraer conclusiones respecto al diseño óptimo.

## C2. Peso específico máximo teórico (RICE)

El peso específico teórico máximo es útil para calcular los espacios de aire en las mezclas compactadas y para estimar la cantidad de betún absorbido por el agregado.

 Equipos, materiales:

- Recipiente: Tipo B: Un frasco volumétrico con una capacidad de por lo menos 2000 ml.
- Balanza.

 Muestra:

El tamaño de la muestra deberá estar de acuerdo con los siguientes requerimientos:

**Tabla 28**
*Muestra Mínima por Tamaño de la Partícula*

<b>Tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra Mm(pulg)</b>	<b>Muestra Mínima (g)</b>
50,0 (2)	6000
37.5 (1 1/2)	4000
25,0 (1)	2500
19,0 (3/4)	2000
12,5 (1/2)	1500
9,5 (3/8)	1000
4,75 (N°4)	500

*Nota:* Fuente: (MTC, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, 2013)

 Procedimiento:

- El frasco volumétrico (Tipo B) debe calibrarse con precisión determinando la cantidad de agua necesaria para llenarlo completamente a  $25 \pm 0,5$  °C, garantizando un sellado hermético.
- Se debe preparar la mezcla asfáltica con cada porcentaje de cemento asfáltico.
- Pesar la mezcla asfáltica antes de agregar al envase de vidrio y cubrir con agua.
- Realizar la aplicación de la evacuación de vacíos del recipiente manualmente durante un tiempo de 15 min.
- Inmediatamente después de la remoción del aire atrapado, procédase a una de las siguientes determinaciones:

**Ecuación 26***Agua desplazada*

$$A_{desp} = (\text{Peso del frasco} + \text{agua} + \text{vidrio}) - (\text{diferencia del peso})$$

**Ecuación 27***Peso Específico Máximo Teórico de la Muestra*

$$RICE = \frac{\text{Peso Neto Muestra}}{A_{desp}}$$

Dónde:

A desp = Agua desplazada

En segundo lugar, se preparó los especímenes con reemplazo de caucho reciclado:

A continuación, se explica los ensayos y procesos llevados a cabo en las mezclas asfálticas en caliente (MAC) que incluyen el reemplazo de caucho reciclado. Aunque los pasos son similares, la variación reside en la proporción de los materiales, ya que se reemplaza caucho reciclado en porcentajes de 0.5%, 1.5% y 2.5% con respecto al material fino.

Iniciamos el proceso con la preparación de nuestros agregados, siguiendo esencialmente los mismos pasos que en la muestra de referencia, con la diferencia de que incluimos la evaluación de la granulometría del caucho reciclado. Después, procedemos a establecer la temperatura de mezcla y compactación, siguiendo el mismo procedimiento que en la muestra de referencia convencional. Luego, avanzamos a la fase de preparación de la mezcla, ahora reemplazando el caucho.

### Preparación de la mezcla:

- De manera similar, comenzamos preparando una cantidad de mezcla que sea suficiente para permitir la fabricación de varias briquetas, generalmente entre tres o cuatro especímenes por grupo. Para este estudio en particular, trabajamos con un contenido óptimo de asfalto previamente calculado (CA = 5.40%) y fabricamos cuatro briquetas para cada nivel de reemplazo de caucho reciclado.
- El cálculo de la cantidad de material necesario en gramos se realiza según el porcentaje especificado. En este caso, se determinó para un porcentaje de reemplazo de caucho del 0.5%.
- La cantidad total de material requerida para la fabricación de cuatro briquetas compactadas (cada una compuesta por un 5.40% de cemento asfáltico) es de 4800 gramos. El porcentaje del contenido de asfalto se mantiene constante, mientras que la diferencia se divide entre los agregados pétreos, arena triturada y el caucho reciclado.
- Una vez que se han calculado las cantidades específicas de cada material en gramos, procedemos a la mezcla en caliente. Para ello, calentamos el cemento asfáltico y los agregados pétreos junto con el caucho reciclado a temperaturas de 160°C y 140°C, respectivamente. Se verifica continuamente la temperatura con un termómetro bimetálico.
- Posteriormente, pesamos los agregados junto con el caucho reciclado de acuerdo a las cantidades calculadas, los combinamos en una

bandeja y luego los calentamos en una estufa industrial a las temperaturas especificadas.

- De manera similar, calentamos el ligante asfáltico en otra bandeja, siempre asegurándonos de mantener un control de la temperatura utilizando el termómetro bimetálico de Dial.
- Una vez que todos los materiales han alcanzado la temperatura adecuada, llevamos la combinación de los agregados junto con el caucho reciclado hacia la balanza y vertemos la cantidad de ligante asfáltico calculado en gramos. Luego, mezclamos minuciosamente hasta obtener una muestra completamente homogénea, asegurándonos de que el cemento asfáltico (CA) cubra de manera uniforme todos los componentes pétreos.

#### Compactación de las mezclas

- Tras preparar la mezcla, se procedió a la limpieza del molde y el pistón utilizando gasolina, seguido de un calentamiento en agua hirviendo a una temperatura que oscilaba entre 90 y 150°C durante 30 minutos.
- Transcurrido este período, se ensambló el molde, colocando su base y el collar de extensión, y se insertó un papel de filtro o papel no absorbente en la base del molde.
- Con los moldes listos, aproximadamente 1200 gramos de la mezcla se vertieron en cada uno, y se aplicaron 15 golpes alrededor del perímetro

y 10 en su parte inferior. Luego, se nivelaron los bordes y se retiró el exceso de material utilizando una espátula caliente.

- A continuación, se fijó el molde con el arco de ajuste fabricado especialmente, se colocó en el pedestal de compactación y la zapata del pistón se apoyó en la mezcla. En este caso, se utilizó un martillo compactador para asestar 75 golpes.
- Una vez finalizada la serie de golpes, se retiraron el molde, la placa base y el collarín de extensión. A continuación, se dio la vuelta al molde y se volvió a montar la herramienta sin dejar de aplicar la misma cantidad de golpes en la cara superior de la muestra.
- El molde se retiró del pedestal, y se quitaron el collar y la base para dejar enfriar las briquetas a temperatura ambiente durante 12 horas.
- Este mismo proceso se repitió para las briquetas con diferentes contenidos de caucho reciclado, como las que contenían un 4.0% y un 6.0% de caucho. La única variación en estos casos fue la cantidad de materiales utilizados en relación a cada porcentaje de cemento asfáltico.
- El collarín de extensión se volvió a colocar en cada molde después del período de enfriamiento de 12 horas, y se utilizó un extractor para extraer cada espécimen compactado.
- Finalmente, se procedió a la identificación de cada biqueta, se tomaron tres medidas de su espesor, se calculó el promedio y se registraron los datos en los protocolos o fichas de recolección de datos.

- Tras la identificación y medición, se anotó el peso de cada briqueta (peso de la briqueta en el aire). A continuación, se midió el peso de la briqueta en agua, también conocido como su peso seco superficial saturado (SSS), después de sumergir las briquetas en un baño de agua a una temperatura de 25 °C durante 60 minutos.
- A continuación, se pesó la briqueta desplazada, para lo que fue necesario colocar la muestra en una cesta sumergible diseñada como balanza.
- Las siguientes pruebas se realizan en el orden que se indica a continuación una vez que se dispone de las muestras compactadas:
  - Determinación del peso específico "bulk."
  - Realización del ensayo de estabilidad y flujo.
  - Análisis de la densidad y vacíos.

A continuación, la información recopilada se utiliza para elaborar gráficos que evalúan las ventajas y los inconvenientes de eliminar el caucho reciclado de la mezcla asfáltica.

#### Análisis de datos.

El procesamiento de datos y resultados obtenidos para el presente ensayo se desarrollan en el protocolo correspondiente.

### **PASO 3: EXAMINAR LA INFORMACION RECOPIlada**

Para el análisis de datos ver en anexos de protocolos de cada ensayo realizado.

## ASPECTOS ÉTICOS

En esta investigación, se recurrió a fuentes de alta reputación y confiabilidad, que incluyeron artículos de páginas reconocidas, tesis obtenidas del repositorio de la Universidad Privada del Norte (UPN) en sus sedes de Cajamarca, Trujillo y Lima. Todas estas fuentes se citaron y referenciaron de manera precisa. Además, se consultó el "Manual de Ensayo de Materiales" – MTC; "Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción – EG 2013". En esta investigación, se aplicaron las pautas de la séptima edición del estándar APA. Asimismo, se siguieron rigurosamente los principios y prácticas éticas que guían la labor de un investigador. Se empleó el método científico, y los resultados se presentaron de manera imparcial, sin alterar los datos para obtener ventajas. Todo esto se hizo con la debida autorización y respaldo de las instituciones de las cuales se obtuvo la información.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

A continuación, se da a conocer los resultados obtenidos, plasmándolos en tablas y gráficos, presentando los ensayos calidad del agregado grueso y fino para una mezcla asfáltica en caliente.

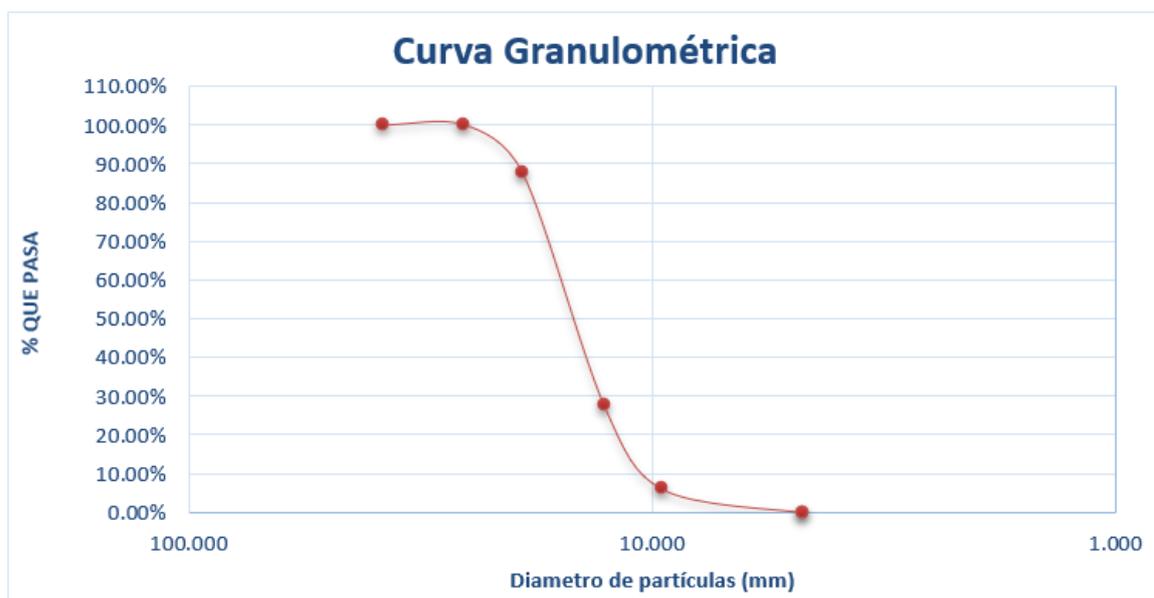
- **SE DETALLA LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO PARA DAR RESPUESTA AL OBJETIVO N° 1**

Cantera "Bazán" se tienen los siguientes resultados.

a) Granulometría (MTC E 107).

**Figura 22**

*Granulometría de Agregado Grueso*



Nota: Fuente: Elaboración propia

La figura 22 muestra el resultado de la curva granulométrica del agregado grueso, se verifica que la curva está dentro de los límites establecidos en la tabla norma MTC E 107.

## b) Durabilidad al Sulfato de Magnesio (MTC E 209).

**Tabla 29**
*Resultado Durabilidad al Sulfato de Magnesio con Agregado Grueso*

TAMAÑO DE LOS TAMICES		GRADACION ORIGINAL	PESO DE LA FRACCION ENSAYADA (g) (B)	PERDIDA TOTAL % (C)	PERDIDA CORREGIDA (D)
% PASA	% RETIENE	%QUE RETIENE (A)			
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	98.2	500	1.8	1.77
3/4"	1/2"	98.4	670	1.6	1.59
1/2"	3/8"	98.7	300	1.3	1.32
3/8"	N° 4	98.7	300	1.3	1.32
<b>TOTALES</b>			1770		<b>6.0 %</b>

Nota: Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de la tabla 29, ensayo con agregado grueso con sulfato de magnesio fue un total de 6.0% cumpliendo con los parámetros establecidos en la norma MTC E 209. según la ecuacion N°14. Según la ecuacion N°01

## c) Abrasión Los Ángeles MTC E 207.

**Tabla 30**

*Resultado Desgaste a la abrasión*

DESGASTE A LA ABRASIÓN (MTC E 207)						
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso muestra total	gr	5000.0	5005.0	5008.0	
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	3782.9	3812.3	3796.8	
D	Desgaste a la abrasión Los Ángeles D=(A-B) *100/A	%	24.3	23.85	24.2	<b>24.14%</b>

Nota: Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de la tabla 30, el ensayo de abrasión de la grava colocado en la máquina de los ángeles obtuvimos un resultado de desgaste con un promedio total de 24.14%. Por el cual es un agregado óptimo para la aplicación en mezclas asfálticas en caliente según el MTC E 207. Según la ecuación N°02.

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

TAMAÑO DE AGREGADO		PESO(Gr)		% DE LAS CHATAS [C=(B/A) *100]	PORCENTAJE PARCIAL (D)	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS E=CxD
		MUESTRA TOTAL (A)	PARTICULAS CHATAS (B)			
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1369	58	4.2	97.86	414.58
1/2"	3/8"	30	8	26.7	2.14	57.18

3/8"	1/4"				
<b>TOTAL</b>		1399	66		100
<b>% DE PARTICULAS CHATAS (S E/SD) =</b>		<b>4.72%</b>			

**Tabla 31**

*Resultado de Índice de Aplanamiento (Partículas Chatas)*

*Nota:* Fuente: Elaboración propia

Según los resultados en la Tabla 31 el ensayo de agregado con chatas y alargadas según las normas ASTM D 4791 o MTC E 223 como se muestra, utilizamos 1399.0 g de muestra de grava el cual obtuvimos un promedio total del 4.72 % partículas chatas. Según la ecuación N°03

**Tabla 32**

*Resultado de Índice de Aplanamiento (Partículas Alargadas)*

TAMAÑO DE AGREGADO		PESO (Gr)		% DE LAS CHATAS [C=(B/A) *100]	PORCENTAJE PARCIAL (D)	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS E=CxD
		MUESTRA TOTAL (A)	PARTICULAS CHATAS (B)			
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	1948	45	2.3	98.48	227.50
1/2"	3/8"	30	11	36.7	1.52	55.61
3/8"	1/4"					
<b>TOTAL</b>		1978	56		100	283.11
<b>% DE PARTICULAS ALARGADAS (S E/SD) =</b>		<b>2.83%</b>				

*Nota:* Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 32 en este ensayo de partículas alargadas según la ASTM D 4791 o MTC E 223 como se muestra, utilizamos 1978.0 g de espécimen de grava del cual se determinó un promedio total del 2.83 % partículas alargadas, por lo tanto, como resultado total de partículas chatas y alargadas tenemos 7.55%. Según la ecuación N°04

e) Caras Fracturadas MTC E 210.

**Tabla 33**

*Resultado con Dos o Más Caras Fracturadas*

TAMAÑO I AGREGAC		MUESTRA TOTAL (A) (gr)	CARAS FRACTURADAS (B)gr	% CARAS FRACTURADAS $C=(B/A)$ *100	PORCENTAJE PARCIAL	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS $E=CxD$
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2800.03	2350.00	83.928	56.00	47.0
1/2"	3/8"	2200.05	1780.00	80.907	44.00	35.6
		5000.08				82.6%
<b>Porcentaje con 2 o más caras fracturadas (SE/SD)</b>				<b>82.6%</b>		

Nota: Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 33, utilizamos 5000.08 gr de espécimen de grava del cual como resultado se llegó a un total de 82.6 % con 1 o más caras fracturadas según MTC E 210. según la ecuación N°03

**Tabla 34**

*Resultado con una Cara Fracturada*

TAMAÑO DE AGREGADO	MUESTRA TOTAL (A) (gr)	CARAS FRACTURADAS (B)gr	% CARAS FRACTURADAS $C=(B/A) *100$	PORCENTAJE PARCIAL	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS $E=CxD$	
Pasa tamiz 1 1/2"	Retenido en tamiz 1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2910.04	2010.00	69.071	58.20	<b>40.2</b>
1/2"	3/8"	2090.03	1500.00	71.769	41.80	30.0
		5000.07				70.2
<b>Porcentaje con una o más caras fracturadas</b>			<b>70.2%</b>			

Nota: Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 34, utilizamos 5000.08 gr de espécimen de grava como resultado se tuvo 70.2 % con 1 o más caras fracturadas según MTC E 210. según la ecuación N°03

f) Sales Solubles en agregados gruesos MTC E 219.

**Tabla 35**
*Resultado Sales Solubles Totales Agregado Grueso*

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN			PROMEDIO
	1	2	3	
(1) peso de tarro (Biker 250ml.)	71.6	71.6	71.6	
(2) peso de tarro+agua+sal	166	169.2	158.4	
(3) peso de tarro seco+sal	71.8	71.9	71.7	
(4) peso de sal (3-1)	0.2	0.3	0.1	
(5) peso de agua (2-3)	94.2	97.3	86.7	
(6) porcentaje sal	0.04%	0.06%	0.02%	<b>0.04%</b>

Nota: Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 35 el ensayo de sales solubles obtenidas en la grava fue de 0.04% de sales incorporadas en las gravas, según la ecuación N°05

g) Peso específico y Absorción de agregados gruesos MTC E 206.

**Tabla 36**
*Resultado de Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos*

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS						
ID	DESCRIPCIÓN	Und.	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra seca	gr.	2985.2	2992.4	2980.6	N.A.
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr.	3031.5	3042.3	3026.7	N.A.
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada. (Utilizando canasta)	gr.	1859.8	1866.5	1850.3	N.A.
D	Peso específico aparente (Seco)	gr./cm3	2.548	2.545	2.534	2.542
E	Peso específico aparente (SSS)	gr./cm3	2.587	2.587	2.573	2.583

<b>F</b>	Peso específico nominal (Seco)	gr./cm <sup>3</sup>	2.653	2.658	2.637	2.649
<b>% DE ABSORCIÓN. [(A-D) /D]*100</b>		<b>%</b>	1.55	1.67	1.55	<b>1.59%</b>

Nota: Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la tabla 36 se trabajó con tres especímenes en la cual se obtuvo un porcentaje de absorción de 1.55, 1.67 y 1.55 respectivamente se tuvo un resultado final de absorción de 1.59%. promedio total. Según la ecuación N°8

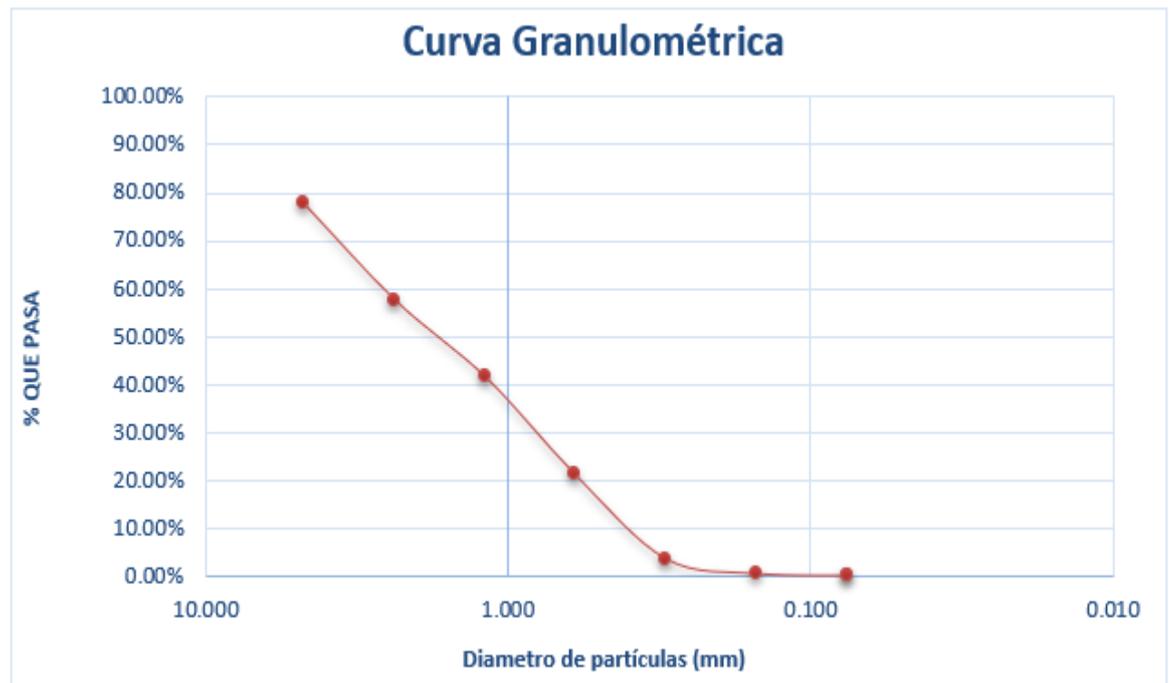
- Se detalla los resultados obtenidos en los ensayos de calidad del agregado fino.

de la cantera "Bazán" se tienen los siguientes resultados.

- Granulometría (MTC D 422).

### Figura 23

Resultado de Peso Específico y Absorción de Agregado Gruesos



Nota: Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 23, la granulometría del agregado fino, se ha tenido en cuenta que la curva se encuentre dentro de los límites establecidos por la norma MTC D 422.

b) Ensayo de equivalente de arena MTC E 114.

**Tabla 37**

*Resultado Equivalente de Arena*

<b>MUESTRA</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Hora de entrada a saturación	8:10 PM	8:12 PM	8:13 PM
Hora de salida de saturación (más 10')	8:20 PM	8:22 PM	8:23 PM
Hora de entrada a decantación	8:23 PM	8:25 PM	8:25 PM
Hora de salida de decantación (más 20')	8:43 PM	8:45 PM	8:45 PM
Altura de nivel de material fino(A)	5	6.1	5.2
Altura de nivel de arena (B)	3.3	3.29	3
Equivalente de Arena (Bx100/A)	66.00	53.93	57.69
<b>PROMEDIO</b>		<b>59.21%</b>	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Como lo muestra la Tabla 37, se trabajó con tres especímenes en la cual obtuvimos un porcentaje de 66.0, 53.0 y 57.69 con un resultado final promedio en las tres muestras de 59.21 % en el ensayo de equivalente de arena. Según la ecuación N°09

c) Ensayo de gravedad específica o absorción del agregado fino (MTC E 205).

**Tabla 38**
*Resultado de Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos*

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS</b>						
<b>ID</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>Und.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>A</b>	Peso al aire de la muestra desecada	gr.	498	497.5	497.9	N.A.
<b>B</b>	Peso del picnómetro aforado lleno de agua	gr.	1257.5	1257.3	1257.6	N.A.
<b>C</b>	Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	gr.	1556.7	1556	1556.9	N.A.
<b>S</b>	Peso de la muestra Saturada Superficie Seca	gr.	500.00	500.00	500.00	N.A.
<b>E</b>	Peso específico aparente (Seco)	gr./cm <sup>3</sup>	2.48	2.47	2.48	2.48
<b>F</b>	Peso específico aparente (SSS)	gr./cm <sup>3</sup>	2.49	2.48	2.49	2.49
<b>G</b>	Peso específico nominal (Seco)	gr./cm <sup>3</sup>	2.51	2.50	2.51	2.50
<b>H</b>	Absorción	(%)	0.40	0.50	0.42	<b>0.44</b>

*Nota:* Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 38, se trabajó con tres muestras como resultado se obtuvo una absorción de 0.40, 0.50 y 0.42 como promedio final de las tres muestras fue de 0.44 %. Según la ecuación N°15

d) Ensayo de azul de metileno para el agregado Fino. (ASTHO TP 57).

**Tabla 39**
*Resultado Azul de Metileno del Agregado Fino*

<b>AZUL DE METILENO (ASTHO TP 57)</b>			
<b>MUESTRA:</b>	10gr	Pasa tamiz N° 200	
	<b>UND</b>	<b>VALOR</b>	
<b>C:</b> Concentración de la solución de Azul de Metileno	mg/ml	0.5	
<b>V:</b> Solución de azul de metileno requerida	ml	7.5	

W: Peso del material seco utilizado en la prueba	gr	10
VA: Valor de azul de metileno	mg/gr	<b>0.375</b>

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 39, el contenido de azul de metileno obtenido para el agregado fino fue de 0.375 mg/g.

e) Sales solubles en agregado fino MTC E 219.

**Tabla 40**

*Resultado Sales solubles para agregado fino*

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA		
1	Recipiente	gr	1	2	3
2	Peso (Biker 600ml.)	gr	72.2	72.2	72.2
3	Peso+Sal+Biker 600ml.	gr	72.3	72.4	72.5
4	Peso Sal (2-3)	gr	0.1	0.2	0.3
5	Peso de agregado	gr	100	100	100
6	Aforo de agua total Cc.	gr	300	300	300
7	Volumen de agua Utilizado Cc.	%	45	45	45
8	Sales Solubles $(1/((6*5)/4*6)) * 100$	%	0.1%	0.2%	0.3%
<b>9</b>	<b>PROMEDIO SALES SOLUBLES</b>	<b>%</b>			<b>0.2%</b>

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 40 las sales solubles se obtuvieron con un total de 0.2% para el ensayo de agregado fino según MTC E 209. Según la ecuación N°13

- **RESULTADO DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO A TRAVÉS DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO MTC (EG-2013) PARA DAR RESPUESTA AL OBJETIVO N°2.**

Aquí se va a mostrar los resultados obtenidos en los ensayos asfálticos, desde la granulometría para los agregados hasta el método de Marshall.

a) Diseño Marshall muestra patrón (Convencional):

Los ensayos siguieron un procedimiento con la normativa MTC E 504. Se ensayaron tres briquetas por cada combinación o porcentaje de asfalto, se agregó una briqueta más para el ensayo RICE, en este caso realizamos la gradación para el caso MAC1 de los agregados combinados, sabiendo que la grava y agregado fino cumplen con los requerimientos exigidos por el Manual de Carreteras del MTC – EG 2013.

**Tabla 41**

*Combinación de Agregados para Mezcla Convencional (MAC1)*

N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)
	(pulg)	(mm)		
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00
2	2"	50.8	0.00	0.00
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00
4	1"	25	0.00	0.00
5	3/4"	19	511.50	10.23
6	1/2"	12.5	1128.80	22.58
7	3/8"	9.5	285.10	5.70
8	N° 4	4.75	673.00	13.46
9	N° 10	2	866.20	17.32
10	N° 40	0.425	794.50	15.89
11	N° 80	0.18	275.90	5.52
12	N° 200	0.075	365.20	7.30
9	Bandeja	---	99.80	2.00

<b>TOTAL DE MUESTRA</b>	<b>5000.00</b>	<b>0.00</b>
-------------------------	----------------	-------------

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 42**

*Combinación de Agregados para Mezcla Patrón (MAC1)*

PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO (%)	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
		Límite inferior	Límite superior
0.00	100.00		
0.00	100.00		
0.00	100.00		
0.00	100.00	100	100
10.23	89.77	80	100
32.81	67.19	67	85
38.51	61.49	60	77
51.97	48.03	43	54
69.29	30.71	29	45
85.18	14.82	14	25
90.70	9.30	8	17
98.00	2.00	4	8
100.00	0.00	2	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 42, se tiene una gradación de combinación de agregados, teniendo en cuenta que la curva está dentro de los límites establecidos según la norma MTC(EG-2013).

**Tabla 43***Resumen de Combinación de Agregados*

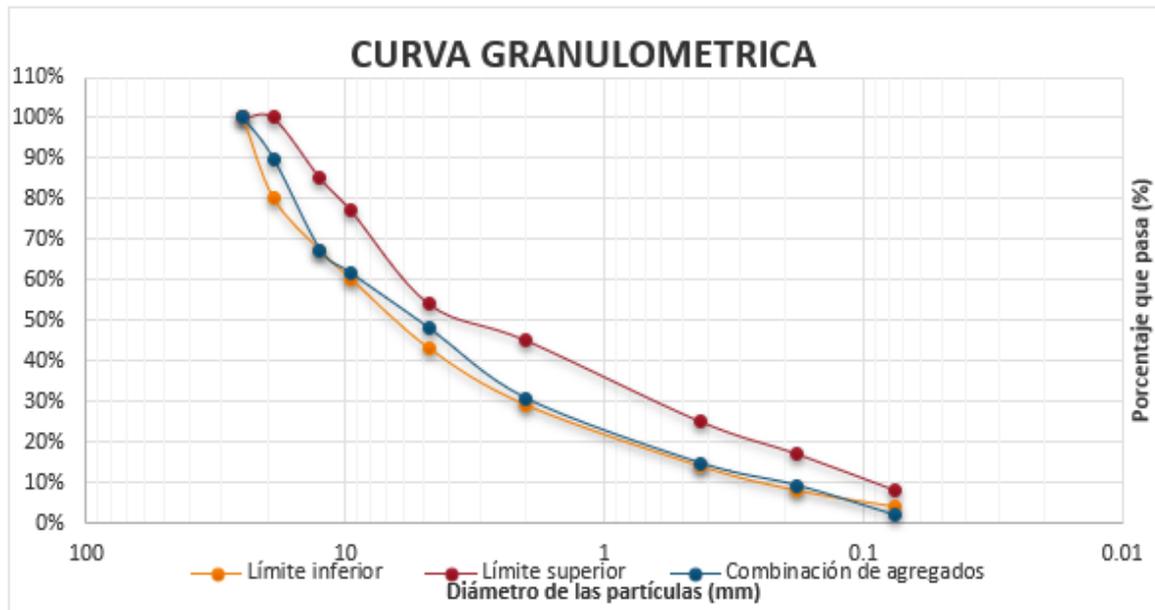
<b>Tabla de Resumen</b>	
Agregado grueso TM 3/4" (%)	52.00
Agregado fino (%)	48.00

*Nota:* Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 43, podemos observar que la granulometría de peso en porcentaje de agregados como resultado tenemos el porcentaje de agregado grueso será de 52% y agregado fino 48% de la mezcla, ya que cada briqueta con cada combinación tendrá un peso aproximado de 1200g.

**Figura 24**

*Combinación de Agregados para Mezcla Patrón (MAC1)*



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se elaboró la dosificación de materiales pétreos, se determinó el contenido óptimo de asfalto en la mezcla mediante el método Marshall, con la elaboración de briquetas de distintas combinaciones con porcentaje de asfalto, ya que de esta manera se obtuvieron los parámetros Marshall. Los porcentajes de asfalto fueron (4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%).

Según la tabla 24 se observa los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica convencional para cada porcentaje de asfalto. Para un 4.0% de CA se obtiene vacíos (%) de 7.20, V.M. A (%) de 16.51%, V.LL. A (%) de 56.47%, flujo de 10.15 mm y resistencia a la deformación(estabilidad) de 7.6 KN, Estabilidad-flujo de 2961.21kg/cm. Para un 4.5% de CA es 6.24, V.M.A(%) de 16.75%, V.LL.A(%) de 62.80%, flujo 11.14 mm y para la resistencia a la

deformación(estabilidad) de 8.63 kn, y con 5.0% de CA se obtienen vacíos de (%) 4.84, V.M.A (%) de 16.27%, V.LL.C.A de 70.32%, flujo 12.20 mm y una resistencia a la deformación (estabilidad) de 9.86 KN, con 5.5% de contenido de asfalto CA se vacíos(%) de 3.77, V.M.A (%) de 16.14%, V.LL.C.A (%) de 76.64%, flujo 12.59 mm y una resistencia a la deformación(estabilidad) de 10.0 KN y finalmente para 6% de CA se obtiene vacíos(%) de 2.08, V.M.A (%) de 15.85%, V.LL.C.A(%) de 87.11%, flujo 3.30 mm y resistencia a la deformación (estabilidad) de 10.1 KN.

**Tabla 44**

*Resumen Ensayo Marshall con Combinaciones de Diferente % de Contenido de Asfalto Convencional*

<b>RESUMEN ENSAYO MARSHALL CON DIFERENTE PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO (CA) PEN (60 -70)</b>					
<b>% C.A.</b>	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
<b>P.U. BRIQUETA</b>	2.17	2.17	2.20	2.21	2.23
<b>VACIOS</b>	7.20	6.24	4.84	3.77	2.08
<b>V.M.A.</b>	16.51	16.75	16.27	16.14	15.85
<b>V.LL.C.A.</b>	56.47	62.80	70.32	76.64	87.11
<b>POLVO / ASF.</b>	2.40	2.68	2.86	3.06	3.36
<b>FLUJO (mm)</b>	2.58	2.83	3.10	3.20	3.30
<b>ESTABILIDAD</b>	764.49	863.36	986.68	1009.42	1103.53
<b>ESTABILIDAD/FLUJO</b>	2961.21	3046.76	3182.02	3154.39	3345.17

*Nota.* Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Con estos valores se obtuvo un contenido óptimo de asfalto (%CA) el cual fue de 5.40%. Según la ecuación de la N°19 – N°25.

- **RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y DE LA MEZCLA CON REEMPLAZO DE 0.5%, 1.5% Y 2.5% DE CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICO SEGÚN LA TABLA 423-06 (REQUISITOS PARA UN CONCRETO BITUMINOSO). PARA DAR RESPUESTA EL OBJETIVO N° 3**

b) Diseño Marshall (Muestra Patrón):

Se ha determinado el contenido óptimo de asfalto después realizar varias combinaciones con diferentes porcentajes, para ello vamos a generar las siguientes graficas:

**Tabla 45**

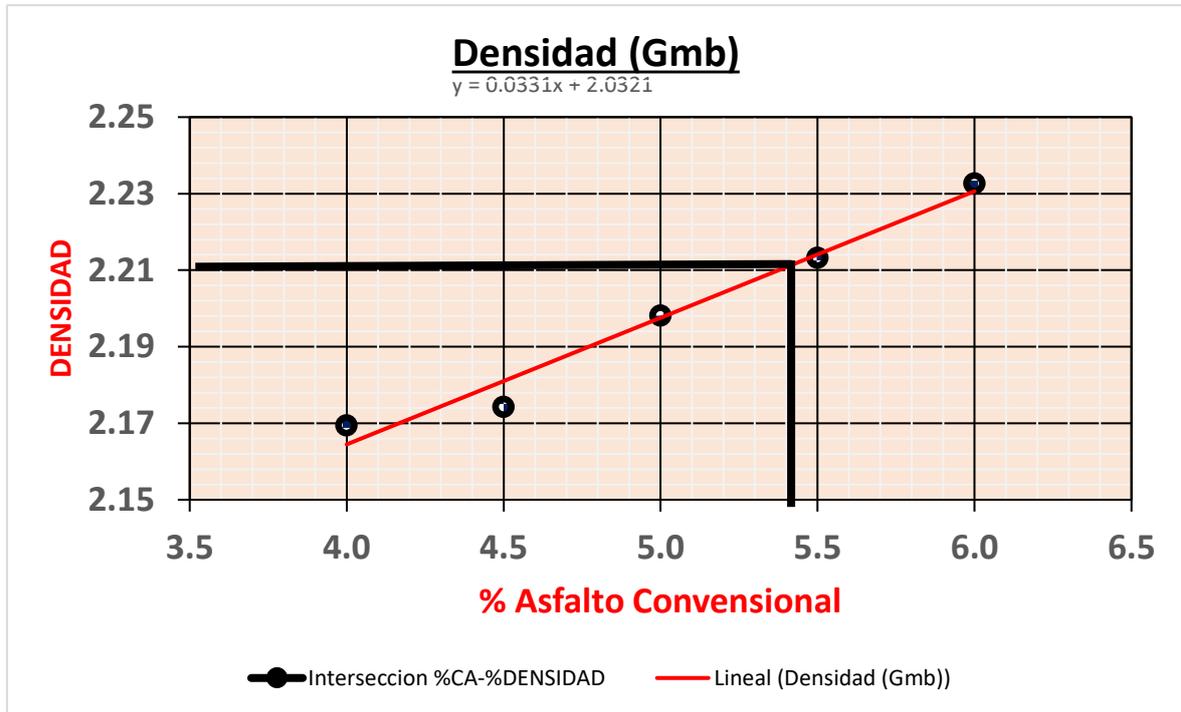
*Diferente Porcentaje de Contenido de Asfalto de Muestras Patrón*

<b>RESUMEN ENSAYO MARSHALL CON DIFERENTE PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO (CA) PEN (60 -70)</b>					
<b>% C.A.</b>	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
<b>P.U. BRIQUETA</b>	2.17	2.17	2.20	2.21	2.23
<b>VACIOS</b>	7.20	6.24	4.84	3.77	2.08
<b>V.M.A.</b>	16.51	16.75	16.27	16.14	15.85
<b>V.LL.C.A.</b>	56.47	62.80	70.32	76.64	87.11
<b>POLVO / ASF.</b>	2.40	2.68	2.86	3.06	3.36
<b>FLUJO (mm)</b>	2.58	2.83	3.10	3.20	3.30
<b>ESTABILIDAD</b>	764.49	863.36	986.68	1009.42	1103.53
<b>ESTABILIDAD/FLUJO</b>	2961.21	3046.76	3182.02	3154.39	3345.17
	<b>X</b>			<b>Y</b>	

*Nota:* Fuente: Elaboración propia.

**Figura 25**

*Peso Unitario de Briqueta VS Porcentaje de Contenido de Asfalto (CA)*

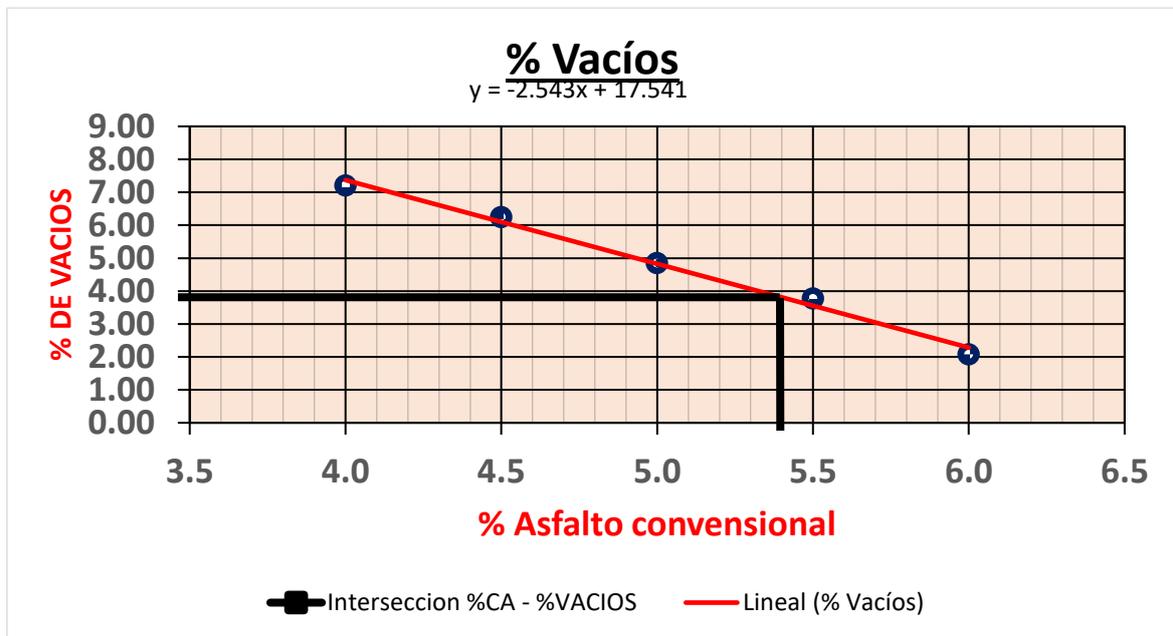


Nota: Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 25 se puede observar la densidad de la briqueta la cual es de 2.209 kg/m<sup>3</sup> se obtiene al unir el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.40% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con la densidad respectiva.

**Figura 26**

Vacíos (%) VS Contenido de Asfalto (%)

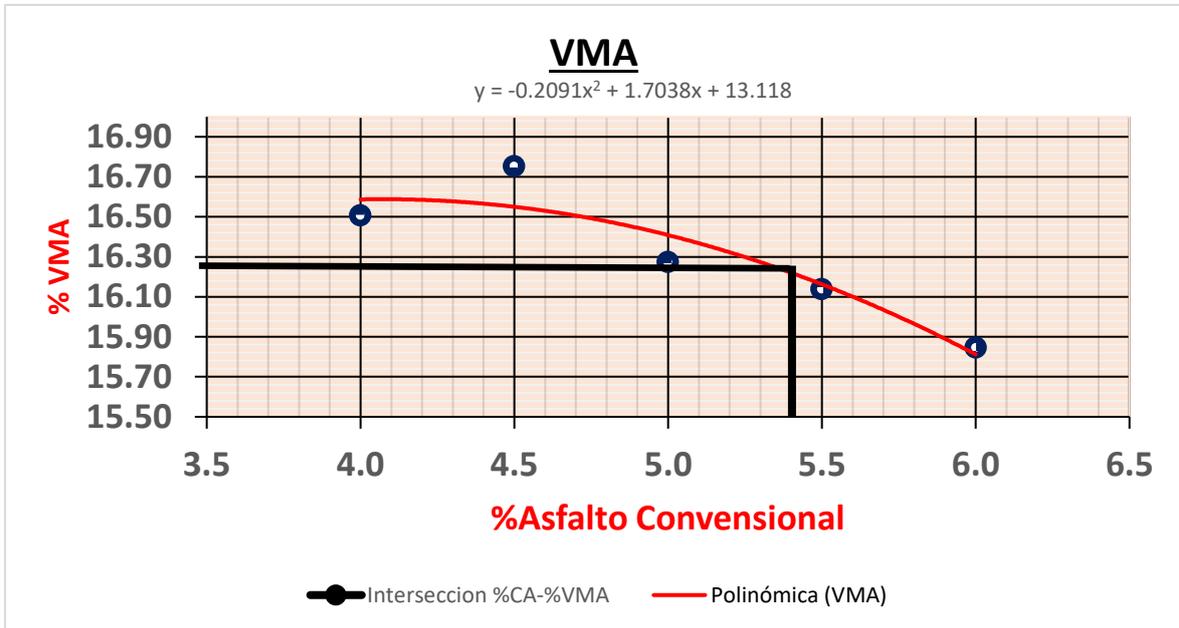


Nota: Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 26 podemos apreciar vacíos (%) de la briqueta la cual es de 4.0 % esto se obtiene al unir el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.40% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus vacíos (%).

**Figura 27**

V.M.A (%) VS Contenido de Asfalto (%)

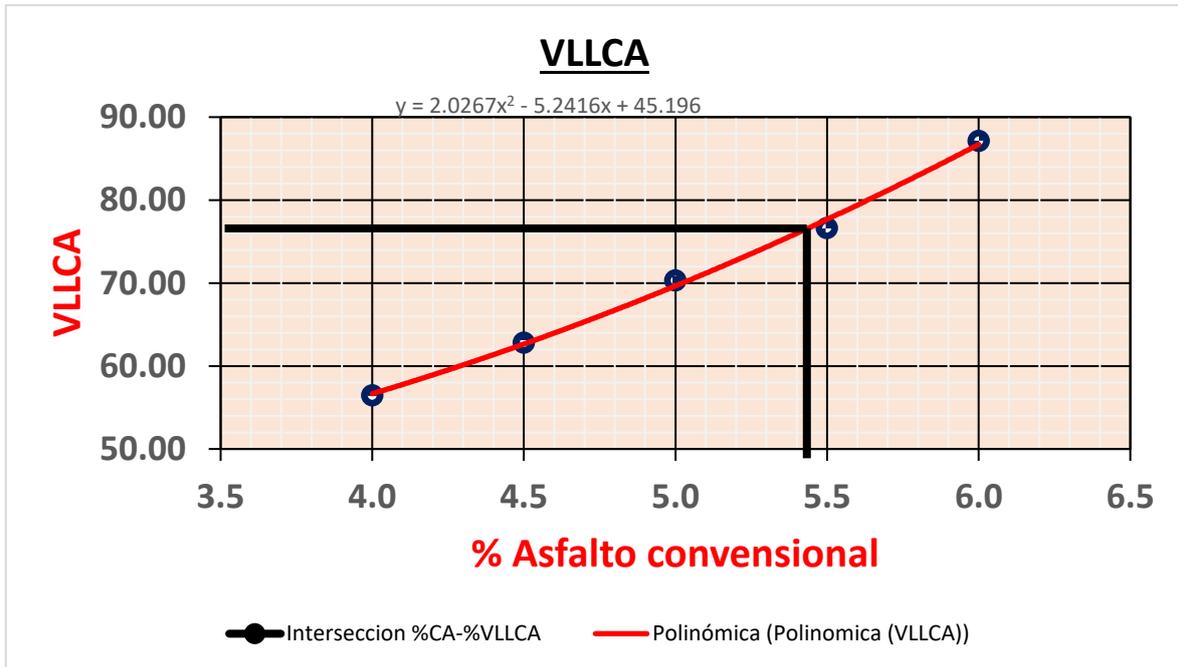


Nota: Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 27 podemos observar el porcentaje de VMA (%) la cual es de 16.25 % esto se obtiene al unir el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.40% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus porcentajes de V.M.A (%).

**Figura 28**

LL.C. A (%) VS Contenido de Asfalto (%)

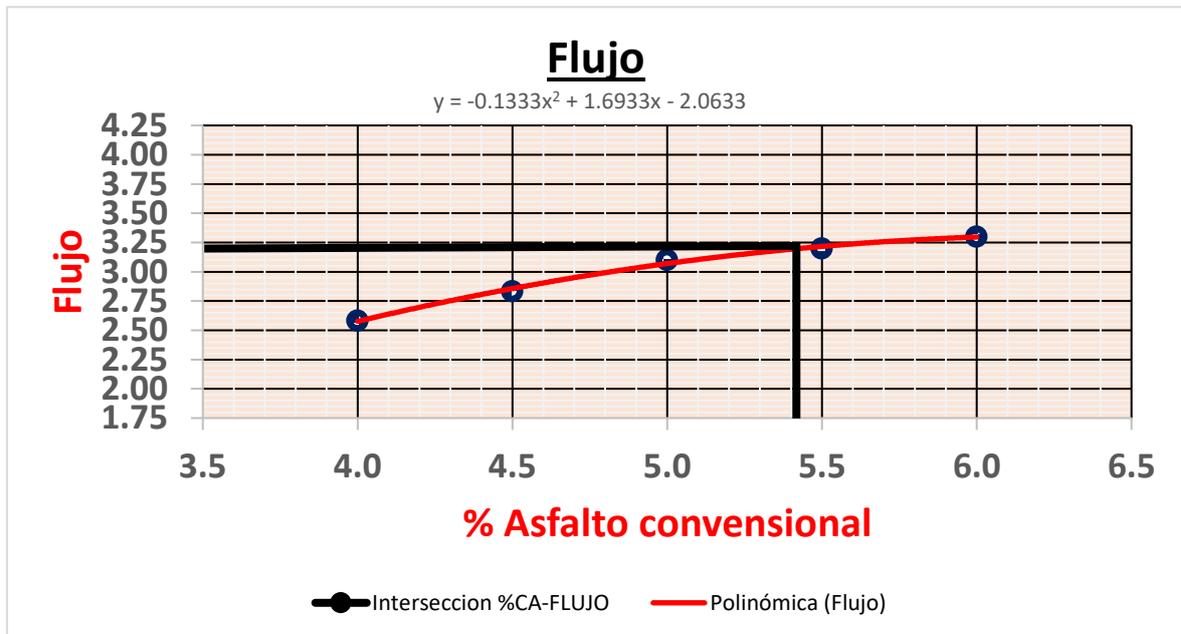


Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la figura 28 podemos apreciar el V. LL.C. A (%) el cual es de 75.00 % esto se obtiene al unir el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.40% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus V.LL.C. A (%)

**Figura 29**

*Flujo VS Contenido de Asfalto (%)*

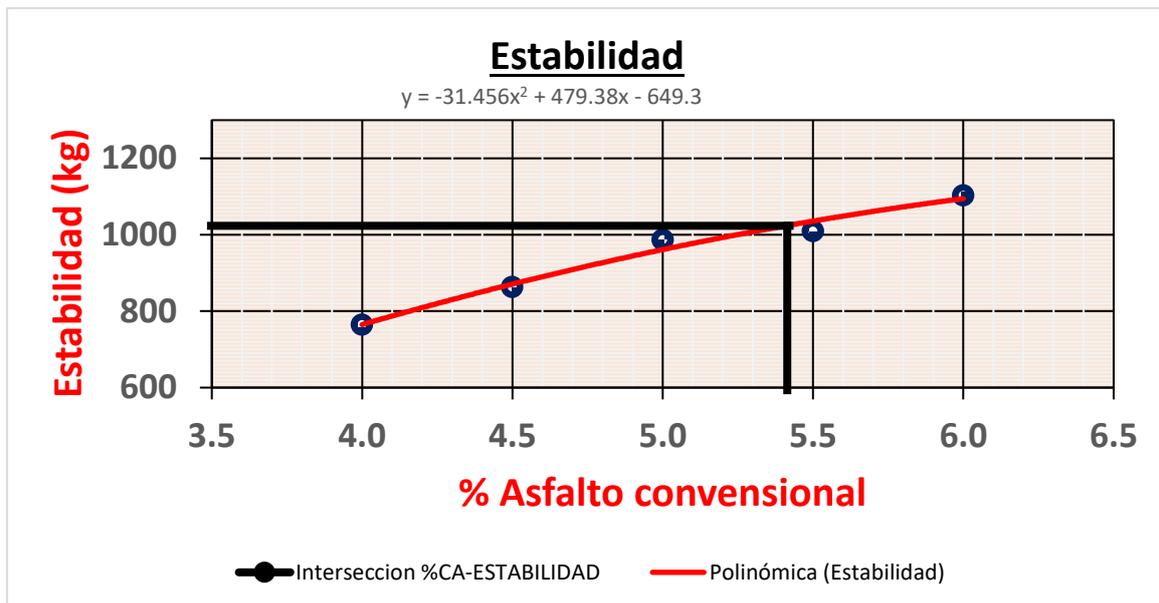


Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la figura 29 podemos observar el Flujo (mm) el cual es de 12.75 esto se obtiene al unir el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.40% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto con sus respectivos flujos.

**Figura 30**

*Estabilidad VS Contenido de Asfalto (%)*



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la figura 32 podemos apreciar la resistencia a la deformación (estabilidad) la cual es de 10.00 KN esto se obtiene al unir el contenido óptimo de asfalto el cual es 5.40% con la curva obtenida de los diferentes contenidos de asfalto (%).

**Tabla 46**

*Parámetros Marshall con Contenido Óptimo de Asfalto de la Mezcla Convencional*

RESUMEN DEL MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO			
Parámetros de Diseño	-0.2%	% óptimo	+0.2%
Golpes N°		75.0	
Cemento Asfáltico %	5.20	<b>5.40</b>	5.60
Peso Unitario Kg/m3	2.201	<b>2.209</b>	2.342
Vacíos %	4.45	<b>4.0</b>	3.20
V.M.A. %	16.37	<b>16.29</b>	16.09

<b>V.L.L.C.A. %</b>	73.0	<b>75.0</b>	79.0
<b>Polvo/asfalto %</b>	2.98	<b>3.00</b>	3.10
<b>Flujo (mm)</b>	3.14	<b>3.24</b>	3.24
<b>Estabilidad (kn)</b>	9.76	<b>10.0</b>	10.28
<b>Estabilidad/flujo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3170.0	<b>3200.0</b>	3245.0

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 45, los parámetros Marshall para la mezcla asfáltica convencional arrojaron un contenido final de asfalto de 5.40%. Con este contenido de asfalto (CA), porcentaje de vacíos de 4,0, V.M. A. del 14,3%, V.L.L.C.A. Se obtuvo de 75.0%, flujo 3.24 mm, resistencia a la deformación (estabilidad) de 10.0 KN y una relación estabilidad-flujo de 3200.0 kg/cm<sup>2</sup>. Según la ecuación de la N°19 – N°25.

Luego de obtener los parámetros de una mezcla convencional con la cantidad ideal de CA (5,40%), se decidió crear las briquetas para cada cantidad de caucho (0,5%, 1,5% y 2,5%) utilizando asfalto PEN 60-70

- **Diseño Marshall de Asfalto con 0.5%, 1.5% y 2.5% de Caucho reciclado:**

a) Análisis Granulométrico Caucho

**Tabla 47**

*Granulometría de caucho*

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE CAUCHO</b>					
<b>Malla</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Masa Retenida (gr)</b>	<b>%Retenido Parcial</b>	<b>%Retenido Acumulado</b>	<b>% que pasa</b>

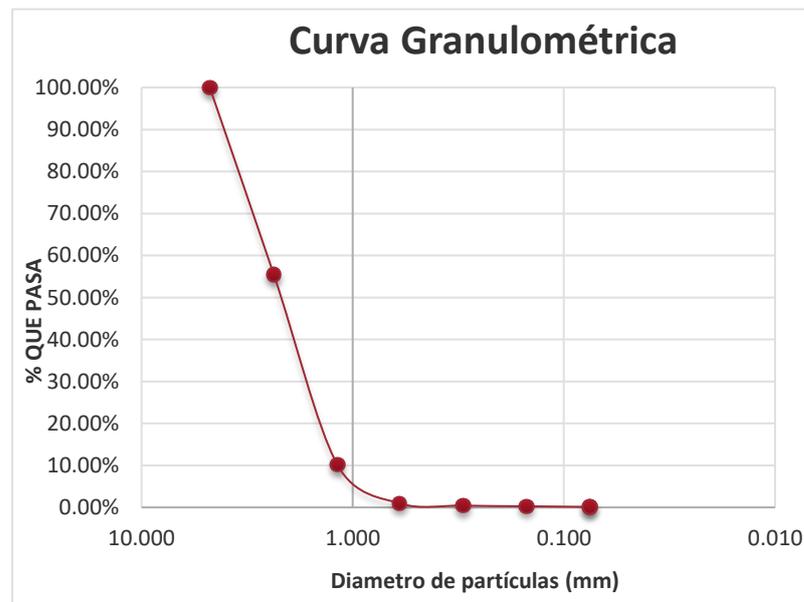
N° 04	4.750	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 08	2.360	223.23	44.65%	44.65%	55.35%
N° 16	1.180	226.26	45.25%	89.90%	10.10%
N° 30	0.600	45.68	9.14%	99.03%	0.97%
N° 50	0.300	2.65	0.53%	99.56%	0.44%
N° 100	0.150	0.80	0.16%	99.72%	0.28%
N° 200	0.075	0.76	0.15%	99.88%	0.12%
<b>Cazoleta</b>	0.000	0.62	0.12%	100.00%	
<b>Total</b>		<b>500.00</b>	100.00%		

Nota. Resultados de la granulometría de caucho. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis granulométrico del caucho que utilizamos para nuestra mezcla de asfáltica, contienen 500 g de caucho, se muestran en la Tabla 47.

### Figura 31

#### Análisis Granulométrico de Caucho



Nota: Fuente: Elaboración propia

La granulometría observada en la figura 31 satisface los requisitos identificados en estudios anteriores realizados con caucho añadido a mezclas que contienen asfalto.

b) Análisis Granulométrico 0.5% (Combinación de Agregados).

**Tabla 48**

*Granulometría de Caucho 0.5%*

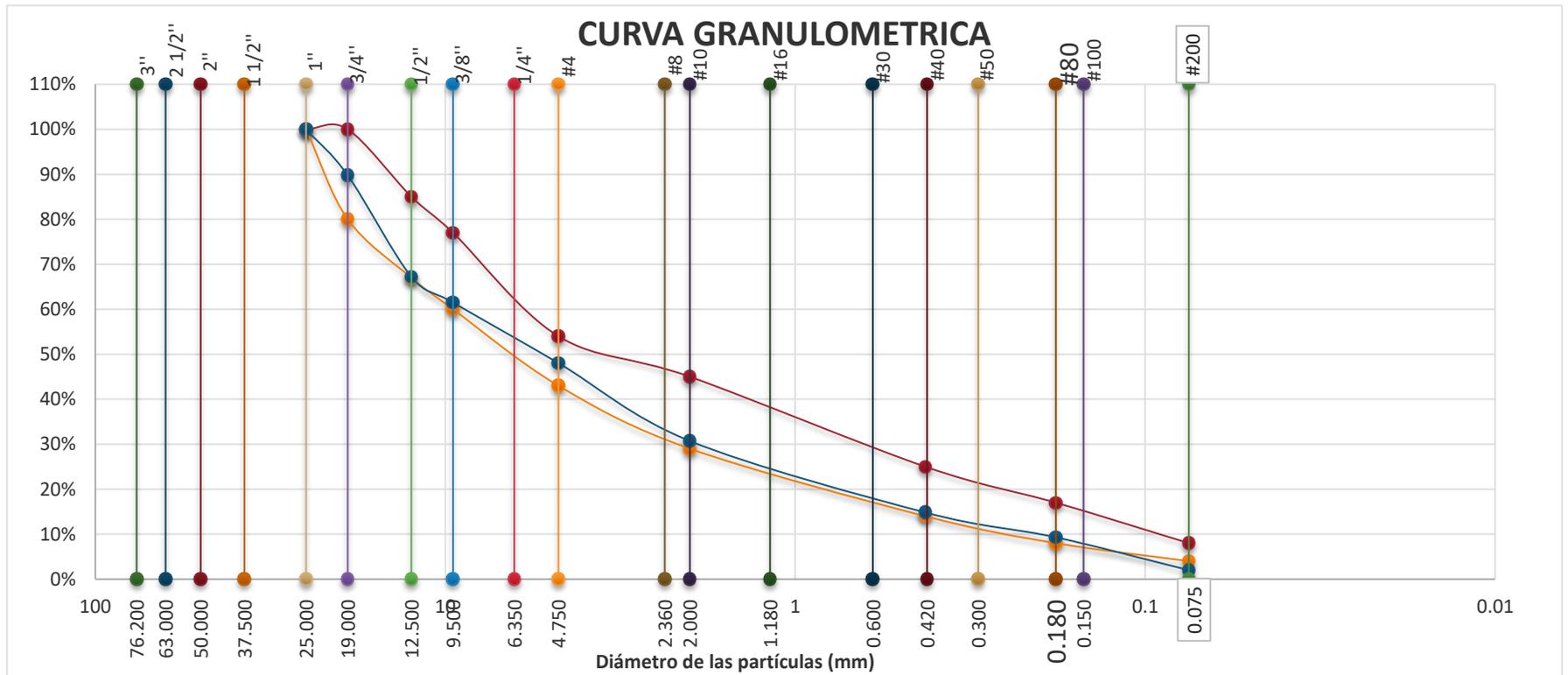
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	CAUCHO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO (%)	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
	(pulg)	(mm)						Límite inferior	Límite superior
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
4	1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
5	3/4"	19	511.50	0.00	10.23	10.23	89.77	80	100
6	1/2"	12.5	1128.80	0.00	22.58	32.81	67.19	67	85
7	3/8"	9.5	285.10	0.00	5.70	38.51	61.49	60	77
8	N° 4	4.75	673.00	0.00	13.46	51.97	48.03	43	54
9	N° 10	2	860.19	6.01	17.32	69.29	30.71	29	45
10	N° 40	0.425	788.50	6.00	15.89	85.18	14.82	14	25
11	N° 80	0.18	275.90		5.52	90.70	9.30	8	17
12	N° 200	0.075	365.20		7.30	98.00	2.00	4	8
	Bandeja	---	99.80		2.00	100.00	0.00	2	

*Nota.* Resultados de la granulometría de caucho 0.5%. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 48 podemos apreciar el análisis granulométrico al 0.5%, reemplazando como agregado fino caucho reciclado en el tamiz N°10, 6.01 gr de caucho y N°40, 6.0 gr de caucho.

**Figura 32**

*Combinación de Agregados con Caucho a 0.5% (MAC1)*



Nota: Fuente: Elaboración propia

En la figura 32 se muestra la granulometría de agregados con reemplazo de caucho a 0.5%, considerando que la curva está dentro de los parámetros establecidos en la norma para una mezcla asfáltica en caliente.

c) Análisis Granulométrico 1.5% (Combinación de Agregados con caucho).

**Tabla 49**

*Granulometría de Caucho 1.5%*

N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	CAUCHO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO (%)	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
	(pulg)	(mm)						Límite inferior	Límite superior
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
4	1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
5	3/4"	19	511.50	0.00	10.23	10.23	89.77	80	100
6	1/2"	12.5	1128.80	0.00	22.58	32.81	67.19	67	85
7	3/8"	9.5	285.10	0.00	5.70	38.51	61.49	60	77
8	N° 4	4.75	673.00	0.00	13.46	51.97	48.03	43	54
9	N° 10	2	847.18	<b>19.02</b>	17.32	69.29	30.71	29	45
10	N° 40	0.425	777.50	<b>17.00</b>	15.89	85.18	14.82	14	25
11	N° 80	0.18	275.90	0.00	5.52	90.70	9.30	8	17
12	N° 200	0.075	365.20	0.00	7.30	98.00	2.00	4	8

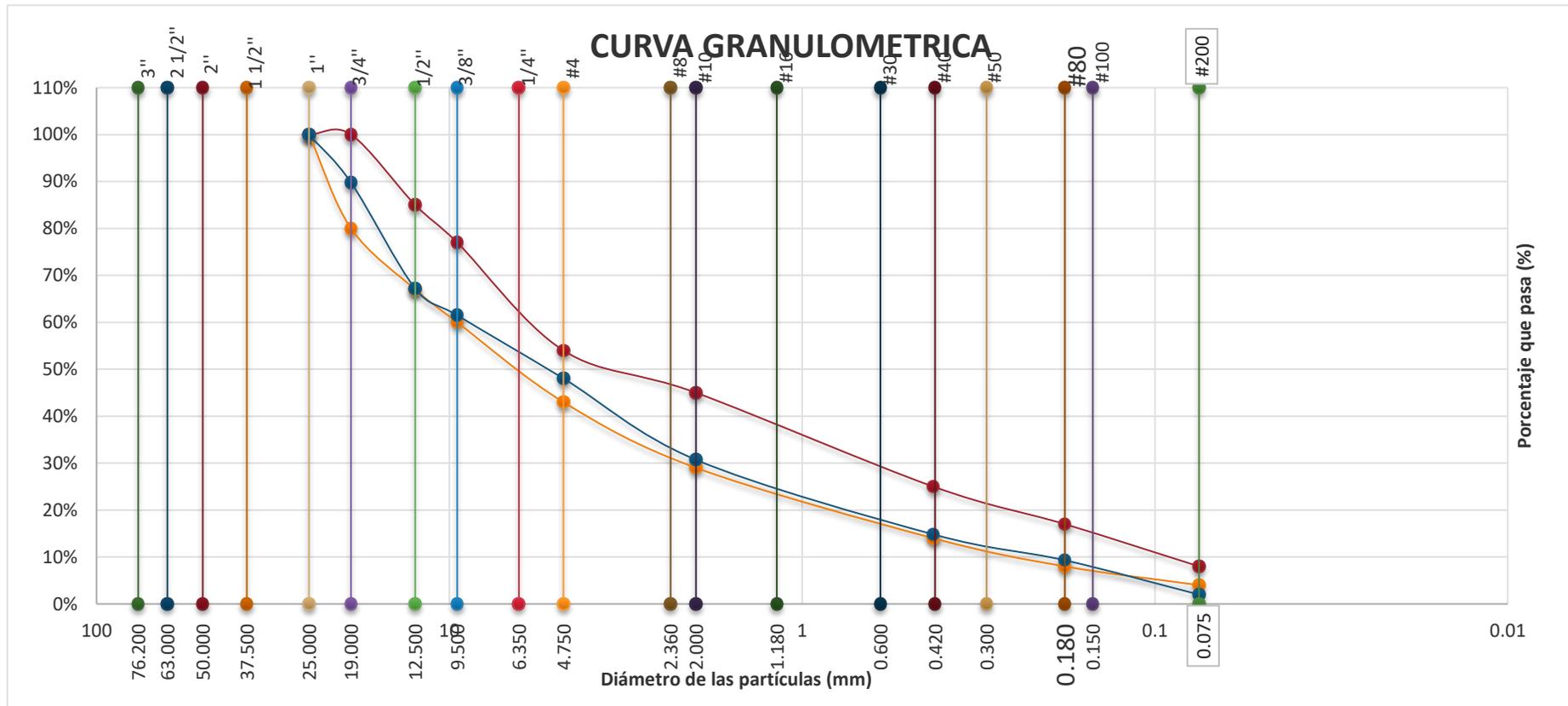
9	Bandeja	---	99.80	0.00	2.00	100.00	0.00	2
---	---------	-----	-------	------	------	--------	------	---

*Nota.* Resultados de la granulometría de caucho 0.5%. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 49 podemos apreciar el análisis granulométrico al 1.5%, con reemplazo en el agregado fino caucho reciclado en el tamiz N°10, 19.02 gr de caucho y N°40, 17.00 gr de caucho.

**Figura 33**

*Combinación de Agregados con Caucho a 1.5% (MAC1)*



Nota: Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se muestra la granulometría de agregados con reemplazo de caucho a 1.5%, considerando que la curva está dentro de los parámetros establecidos en la norma para una mezcla asfáltica en caliente.

d) Análisis Granulométrico 2.5% (Combinación de Agregados con caucho).

**Tabla 50**

*Granulometría de Caucho 2.5%*

N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	CAUCHO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO (%)	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
	(pulg)	(mm)						Límite inferior	Límite superior
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
4	1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
5	3/4"	19	511.50	0.00	10.23	10.23	89.77	80	100
6	1/2"	12.5	1128.80	0.00	22.58	32.81	67.19	67	85
7	3/8"	9.5	285.10	0.00	5.70	38.51	61.49	60	77
8	N° 4	4.75	673.00	0.00	13.46	51.97	48.03	43	54
9	N° 10	2	834.16	<b>32.04</b>	17.32	69.29	30.71	29	45
10	N° 40	0.425	766.50	<b>28.00</b>	15.89	85.18	14.82	14	25
11	N° 80	0.18	275.90	0.00	5.52	90.70	9.30	8	17
12	N° 200	0.075	365.20	0.00	7.30	98.00	2.00	4	8

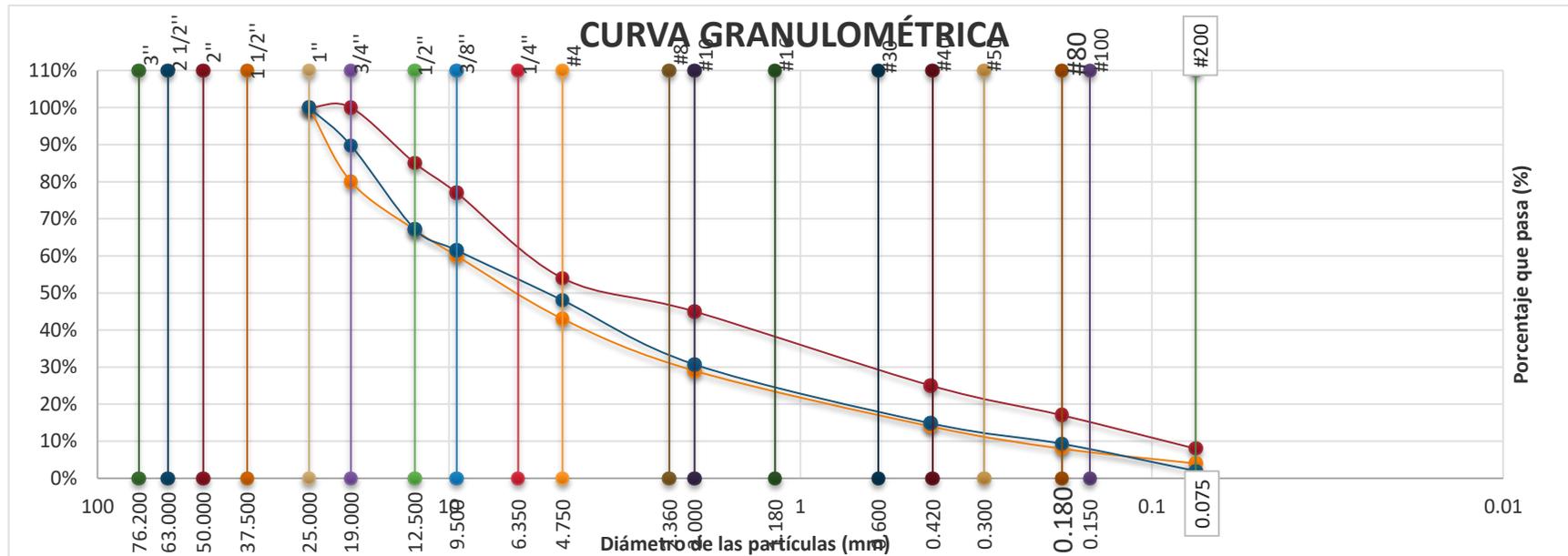
9	Bandeja	---	99.80	0.00	2.00	100.00	0.00	2
---	---------	-----	-------	------	------	--------	------	---

Nota. Resultados de la granulometría de caucho 0.5%. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 50 podemos apreciar el análisis granulométrico al 2.5%, reemplazando en el agregado fino caucho reciclado en el tamiz N°10, 32.04 gr de caucho y N°40, 28.00 gr de caucho.

**Figura 34**

*Combinación de Agregados con Caucho a 1.5% (MAC1)*



Nota: Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 se muestra la granulometría de agregados con reemplazo de caucho a 2.5%, considerando que la curva está dentro de los parámetros establecidos en la norma para una mezcla asfáltica en caliente.

**Tabla 51***Porcentaje de Combinación de Agregados*

	<b>Agregado grava triturada TM ¾ (%)</b>	<b>Agregado arena triturada (%)</b>	<b>Caucho reciclado (%)</b>
<b>Mezcla N° 01 (0.5% Caucho)</b>	52.0	47.80	0.5
<b>Mezcla N° 02 (1.5% Caucho)</b>	52.0	47.00	1.5
<b>Mezcla N° 03 (2.5% Caucho)</b>	52.0	46.80	2.5

*Nota.* Resultados de la granulometría de caucho 0.5%. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 51, podemos observar la granulometría de la combinación de agregados con reemplazo del caucho por tres combinaciones en las que se pudo obtener para un reemplazo de 0.5% de caucho, grava 52.0%, agregado fino 47.0%, 1.5 % de caucho, grava 52.0%, y 2.5% de caucho, grava 52.0%, agregado fino 46.80%. Debido a esto, cada briqueta pesará alrededor de 1200 g.

- **Resumen método Marshall**

**Tabla 52***Porcentajes de Agregados para Mezcla Modificada con Caucho reciclado*

<b>Agregado grava triturada TM 3/4" (%)</b>	52.0	52.0	52.0
<b>Agregado arena triturada (%)</b>	47.8	47.0	46.8
<b>Caucho reciclado (%)</b>	0.5	1.5	2.5

*Nota:* Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 53**

*Marshall con Contenido Óptimo de Asfalto de Muestras Modificadas con Caucho reciclado.*

<b>RESUMEN MÉTODO ILLINOIS - MARSHALL MODIFICADO</b>			
<b>Parámetros de diseño</b>	<b>0.5 % de caucho</b>	<b>1.5 % de caucho</b>	<b>2.5 % de caucho</b>
<b>GOLPES (N°)</b>	75	75	75
<b>CEMENTO ASFÁLTICO (%)</b>	5.40	5.40	5.40
<b>PESO UNITARIO (Kg/m3)</b>	2.26	2.21	2.13
<b>VACIOS (%)</b>	1.03	1.95	4.82
<b>V.M.A. (%)</b>	14.13	16.21	18.14
<b>V. LL.C.A. (%)</b>	92.84	88.04	75.34
<b>POLVO / ASFALTO (%)</b>	3.16	3.51	3.71
<b>FLUJO (0.01", 0.25 mm)</b>	17.40	17.57	13.78
<b>ESTABILIDAD (KN)</b>	9.65	11.56	11.11
<b>ESTABILIDAD/ FLUJO (Kg/cm)</b>	2236.90	2714.70	3235.76

*Nota:* Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 53, los parámetros del método Marshall de la mezcla de asfalto con reemplazo de caucho reciclado se observan en tres porcentajes. Para un caucho al 0,5% se tiene 2,26 kg/m<sup>3</sup> de densidad, 1,03% de vacío, 14,13% de VMA, 92,84% de VLLCA, 3,16% de polvo-asfalto, 17,40 milímetros de fluencia, 9,65 KN de resistencia a la deformación y 2236,90 kg/cm. de la relación estabilidad-fluidez. Actualmente para caucho 1,5% se obtienen los siguientes valores: densidad 2,21 kg/m<sup>3</sup>, vacíos (%) 1,95%, V.M.A (%) 16,21%, V.LL.C. A (%) 88,04%, relación polvo/asfalto 3,51%, flujo 17,57 mm, resistencia a la deformación (estabilidad) 11,56 KN y relación estabilidad/flujo

2714,70 kg/cm. Los resultados finales incluyen para un 2.5% tenemos: una densidad de 2,13 kg/m<sup>3</sup>, vacíos (%) del 4,82%, V.M. A (%) de 18,14, V.LL.C.A (%) de 75,34%, relación polvo-asfalto de 3,71%, fluencia de 13,78 mm, resistencia a la deformación (estabilidad) de 11,11 KN y relación estabilidad-flujo de 3235,76 kg/cm. Según la ecuación de la N°19 – N°25.

- **Gravedad específica Teórica Máxima (RICE)**

a) Asfalto Convencional sin Caucho Reciclado:

**Tabla 54**

*Gravedad Específica Teórica Máxima de Muestra Patrón*

<b>ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>					
<b>MUESTRA N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>05</b>
<b>1.- PESO DEL FRASCO</b>	759.62	759.62	759.62	759.62	759.62
<b>2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO</b>	2694.77	2694.77	2694.77	2694.77	2694.77
<b>3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)</b>	2170.75	2170.21	2136.10	2121.38	2139.17
<b>4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA</b>	3395.75	3386.71	3416.51	3414.88	3380.97
<b>5.- PESO NETO DE LA MUESTRA</b>	1225.00	1216.50	1280.41	1293.50	1241.80
<b>6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)</b>	524.02	524.56	558.67	573.39	555.60
<b>PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)</b>	<b>2.34</b>	<b>2.32</b>	<b>2.31</b>	<b>2.30</b>	<b>2.28</b>
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>4.00</b>	<b>4.50</b>	<b>5.00</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>

Nota. Resultados de porcentajes de agregados para mezcla modificada. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de gravedad especifican teórica o más conocida como (RICE) de nuestra muestra convencional se muestran en la Tabla 54. Sin embargo, como se muestra en la Figura 35, nuestro contenido de asfalto ideal (CA), que es 5,40%, debe estar interceptado con contenido de asfalto ideal, que fue de 5,40, y la gravedad máxima de (4.000%, 4,50%, 5,0%, 5,5% y 6.000%). Según la ecuacion de la N°27

**Figura 35**

*Gravedad Específica Teórica Máxima Muestra Patrón*



Nota: Fuente: Elaboración propia.

La Figura 35 muestra la interceptación del contenido óptimo de asfalto, donde el 5.40% se obtuvo un RICE de 2.999

b) Asfalto con diferentes porcentajes de Caucho Reciclado.

**Tabla 55**

*Gravedad Específica Teórica Máxima de Muestra con Reemplazo de Caucho Reciclado*

<b>ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>			
<b>% DE CAUCHO RECICLADO</b>	<b>0.5</b>	<b>1.5</b>	<b>2.5</b>
<b>MUESTRA Nº</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
1.- PESO DEL FRASCO	757.54	757.54	757.54
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	2716.92	2716.92	2716.92
3.- DIFERENCIA DEL PESO (04) - (05)	2209.00	2186.19	2183.18
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3370.80	3381.89	3374.88
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1161.80	1195.70	1191.70
6.- AGUA DESPLAZADA (2) - (3)	507.92	530.73	533.74
<b>PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA (5) / (6)</b>	<b>2.29</b>	<b>2.25</b>	<b>2.23</b>
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>5.40</b>	<b>5.40</b>	<b>5.40</b>

*Nota.* Resultados de Gravedad específica teórica máxima de muestra con reemplazo de Caucho reciclado. Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 55, los resultados de nuestro estudio de RICE para cada uno del caucho oscilaron entre 2,29 (RICE) para el 0,5%. 2,25(RICE) para el 1,5% de 2,23(RICE) para el 2,5% de porcentaje de caucho.

- **RESULTADO DE COMPARAR AMBOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y CON REEMPLAZO DE 0.5%, 1.5% Y 2.5% DE CAUCHO RECICLADO. DE ACUERDO AL MANUAL DE MTC(EG-2013). PARA DAR RESPUESTA AL OBJETIVO N° 4**

Verificación de agregados según la norma MTC (EG-2013).

a) Agregado Grueso:

**Tabla 56**

*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
<b>Durabilidad (al sulfato de Magnesio)</b>	<b>6.00%</b>	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
<b>Abrasión los ángeles</b>	<b>24.14%</b>	MTC E 207	40%max.	35% máx.
<b>Adherencia</b>	-	MTC E 517	+95	+95
<b>Índice de Durabilidad</b>	-	MTC E 214	35% min.	35% min.
<b>Partículas Chatas y alargadas</b>	<b>7.55%</b>	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
<b>Caras fracturadas</b>	<b>76.40%</b>	MTC E 210	85/50	90/70
<b>Sales solubles totales</b>	<b>0.04%</b>	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
<b>Absorción *</b>	<b>1.59%</b>	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

*Nota.* Comparación de ensayos de calidad del agregado grueso con Norma MTC (Manual de Carreteras). Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 56 podemos ver todos los resultados del agregado grueso así como los datos de los parámetros de especificación que tenemos tanto para una elevación menor como igual a 3000 m.s.n.m. y una elevación mayor de 3000 m.s.n.m. El material pétreo que se ha utilizado en los ensayos fue procedente de Cajamarca, que se encuentra a 2750 metros sobre el nivel del mar y por debajo de los 3000 metros. por lo que tomamos estos datos para compararlas. Durabilidad (al sulfato de magnesio) se tuvo 6.0%, las especificaciones nos dice 18% máximo lo cual cumple, en el ensayo Abrasión de los Ángeles obtuvimos 24.14% la norma nos dice 40% máximo lo cual cumple, en partículas chatas y alargadas se tuvo 7.55%, las especificaciones nos dice 10% máximo lo cual cumple, para caras fracturadas se obtuvo 76.40%, las especificaciones nos dice 85/50 lo cual cumple, en sales solubles. Por lo tanto, recopilamos estos datos y los comparamos. En términos de durabilidad (sulfato de magnesio), alcanzamos el 6,0%, mientras que las especificaciones establecen que la cantidad máxima que se puede alcanzar es el 18%; en cuanto a la abrasión de los ángeles logramos un 24,14%, mientras que el valor máximo que se puede alcanzar es un 40%; en cuanto a partículas chatas y alargadas, logramos un 7,55%, mientras que las especificaciones indican que la cantidad máxima que se puede alcanzar es 85-50; y en cuanto a sales solubles se obtuvo 0.04%, las especificaciones nos dice 0.5% máximo lo cual cumple, finalmente en el ensayo de Absorción se obtuvo 1.59%, las especificaciones nos dice que como máximo debe ser 1% en lo cual estamos sobrepasando en un 0.59% los estándares establecidos.

b) Agregado Fino:

**Tabla 57**

*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
<b>Equivalente de Arena</b>	<b>59.21%</b>	MTC E 114	60	70
<b>Angularidad del agregado fino</b>		MTC E 222	30	40
<b>Azul de metileno(mg/g)</b>	<b>0.375%</b>	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
<b>Índice de plasticidad (malla N.º 40)</b>	<b>NP</b>	MTC E 111	NP	NP
<b>Durabilidad (al sulfato de Magnesio)</b>	-	MTC E 209	-	18% máx.
<b>Índice de durabilidad</b>		MTC E 214	35 min	35 min
<b>Índice de Plasticidad (malla N.º 200)</b>		MTC E 111	4 máx.	NP
<b>Sales Solubles Totales</b>	<b>0.2%</b>	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
<b>Absorción **</b>	<b>0.44%</b>	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

*Nota.* Comparación de ensayos de calidad del agregado fino con Norma MTC (Manual de Carreteras). Fuente: Elaboración propia.

Podemos ver todos los resultados de los agregados finos realizados según la Tabla 57. Equivalente de Arena obtuvo un valor de 59.21%, y la especificación nos dice que debe ser un 60% como máximo lo cual estamos al límite por la cual estamos cumpliendo, pero en el ensayo Azul de Metileno se tuvo un valor de

0.375, y la especificación nos dice 8% máximo por ende cumple. Debido a que en este caso la especificación no proporciona ningún valor, nuestro estudio sobre la durabilidad del aditivo (al sulfato de magnesio) no se realizó. Además, nuestro estudio de sales solubles arrojó un resultado de 0,2% a pesar de que en la especificación se indica que el valor máximo debe ser 0,5%, lo cual cumple con los estándares establecidos. Finalmente, nuestro estudio de absorción arrojó un resultado del 0,44%. Según la norma dice que como máximo debe ser 0.5% en lo cual cumple los estándares establecidos.

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

**Tabla 58**

*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.	<b>75</b>	75	50	35
2. Cemento Asfáltico %	<b>5.40</b>	-	-	-
3. Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	<b>2.209</b>	-	-	-
4. Estabilidad (mínimo).	<b>10.01</b>	8,15KN	5,44KN	4,53KN
5. Flujo 0,01" (0,25 mm).	<b>12.75</b>	8-14	8-16	8-20
6. porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505).	<b>4.0</b>	3-5	3-5	3-5
7. Vacíos en el agregado mineral.	<b>16.29</b>		Tabla 61	
8. Vacíos llenos de asfalto.	<b>75.0</b>		Tabla 62	

**Inmersión - compresión**
**(MTC E 518)**

1.Resistencia a la compresión Mpa min.	-	2,1	2,1	1,4
2.Resistencia retenida % (min).	-	75	75	75
Relación polvo – asfalto (2)	<b>3.0</b>	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (Kg/cm) (3)	<b>3200.0</b>		1.700 - 4.000	
Resistencia conservada a la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	-		80 min	

*Nota.* Comparación de mezcla Patrón con parámetros de la Norma MTC (Manual de Carreteras).  
 Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 58, podemos comparar los datos del Diseño Marshall con los datos establecidos por el estándar MTC(EG-2013). Hay tres métodos estándar (A, B y C), pero se eligió "A" porque tenía 75 tiempos de compactación, un C.A de 5,40%, una densidad de 2.209 kg/m<sup>3</sup>, un porcentaje de vacío de 4,0%, que es dentro de los parámetros de las especificaciones porque puede variar entre 3% y 5%, y un porcentaje de V.M.A de 16.29%. En la tabla 60 vemos que cumple para el agregado de ¾ ya que el mínimo es de 14%, y el valor de V.LL.C.A. (%) que obtuvimos fue de 75.0%, que comparado con los estándares de la tabla 61,cumple, sin embargo no cumplimos con el parámetro Polvo-Asfalto que está entre 0.6 y 1.13% , con un valor de polvo-asfalto de 3% y nuestro resultado de fluencia fue de 12.75 mm, que está dentro del está dentro de los parámetros 12-14. De acuerdo con las especificaciones se debe tener una resistencia a la deformación (estabilidad) de 10.01 KN, la cual es suficiente ya que las especificaciones establecen que debe haber un mínimo de 8.15 KN, y una

relación de flujo de estabilidad de 3200 kg/cm<sup>2</sup>, lo que cae dentro de los parámetros de 1700–4000.

**Tabla 59**

*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")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 1/2")	12	11
50,0 mm (2")	11.5	10,5

*Nota.* Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 59, vemos los Parámetros para ver el porcentaje de vacíos en el agregado mineral concerniente al ensayo Marshall.

**Tabla 60**

*Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto*

Tráfico (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.* Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto. Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 60, observamos los requisitos para el porcentaje de vacíos

llenos con asfalto concerniente al ensayo Marshall.

- d) Mezclas asfálticas modificadas con caucho con parámetros del Manual de carreteras EG-2013.

**Tabla 61**

*Comparación de una Mezcla con Reemplazo de Caucho con Parámetros de la Norma MTC (Manual de Carreteras)*

Parámetros de Diseño	Porcentajes de Caucho			Clase de mezcla (EG 2013)
	0.5%	1.5%	2.5%	
<b>Marshall MTC E 504.</b>	<b>0.5%</b>	<b>1.5%</b>	<b>2.5%</b>	<b>A</b>
1. Compactación, número de golpes por lado.	75	75	75	75
2. Cemento Asfáltico %	5.40	5.40	5.40	-
3. Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	2.26	2.21	2.13	-
4. Estabilidad (mínimo).	9.65	11.56	11.11	8,15KN
5. Flujo 0,01" (0,25 mm).	17.40	17.57	13.78	8-14
6. porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505).	1.03	1.95	4.82	3-5
7. Vacíos en el agregado mineral.	14.13	16.21	18.14	Tabla 64
8. Vacíos llenos de asfalto.	92.84	88.04	75.34	Tabla 65
<b>Inmersión - compresión (MTC E 518)</b>				
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	-	-	-	2,1
2. resistencia retenida % (min).	-	-	-	75
Relación polvo – asfalto (2)	3.16	3.51	3.71	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (Kg/cm) (3)	2236.90	2214.70	3235.76	1.700 - 4.000
Resistencia conservada a la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	-	-	-	80 min

*Nota.* Comparación de una mezcla con reemplazo de Caucho con parámetros de la Norma MTC (Manual de Carreteras) Fuente:

De acuerdo a la Tabla 61, podemos comparar los parámetros a satisfacer por el diseño Marshall con reemplazo de Caucho con los datos establecidos por el

MTC EG-2013. Para los tres porcentajes de caucho utilizados, el número de golpes fue de 75 y la cantidad de asfalto óptimo obtenido fue de 5.40%; las densidades obtenidas para 0.5%, 1.5% y 2.5% de caucho fueron 2.26 kg/m<sup>3</sup>, 2.21 kg/cm<sup>2</sup> y 2.13 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Los vacíos (%) para un caucho al 0,5% fueron 1,03%, 1,5% fueron 1,95% y 2,5% fueron 4,82%. De los tres, este es el único que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el MTC (EG-2013). Según los resultados, el rango que puede variar entre 3,0% y 5,0% es con 2,5% de caucho; con 0.5% de caucho obtuvimos un V.M.A (%) de 14.13%; para el 1,5% de caucho, el 16,21%; y para el 2,5% del caucho, el 18,14%; en la Tabla 63 vemos que cumple con el requisito porque el valor mínimo para nuestra reemplazo de 3/4 es del 14%; para V.LL.C.A (%) En la tabla 64 obtuvimos valores de 92.84% para 0.5% de caucho, 88.04% para 1.5% de caucho y 75.34 para 2.5% de caucho, todos los cuales cumplen con los estándares establecidos. Sin embargo, en la relación entre Polvo y Asfalto obtuvimos valores de 3.16%, 3.51% y 3.71%, que están fuera de los parámetros que son 0.6-1.13%, respectivamente.

En cuanto a la fluencia, obtuvimos resultados de 17,40 mm, 17,57 mm y 13,78 mm, que sólo satisfacen los parámetros 12 a 14 especificados por la norma en la cual solo cumple con un 2,5% de caucho. Adicionalmente obtuvimos resultados de resistencia a la deformación (estabilidad) de 9.65 kN, 11.56 kN y 11.11 kN, los cuales solo satisfacen los parámetros de la norma MTC (EG-2013) cuando se encuentra en 2.5% de caucho. Según los resultados, la resistencia mínima a la deformación debería ser de 8,15 KN, y la relación estabilidad-flujo de 2236.90 kg/cm<sup>2</sup>, 2214.70 kg/cm<sup>2</sup> y 3235.76 kg/cm<sup>2</sup> lo cual cumple para los

porcentajes de caucho del 0.5% 1.5% y 2.5% ya que está dentro del rango de 1700- 4000.

**Tabla 62**

*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")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 1/2")	12	11
50,0 mm (2")	11.5	10,5

*Nota.* Porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados en la Tabla 62, podemos ver los parámetros para determinar el porcentaje de vacíos minerales relacionados con el estudio Marshall.

**Tabla 63**

*Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto*

Tráfico (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.* Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 63, podemos ver los parámetros relacionados con el estudio Marshall con un porcentaje de espacios vacíos llenos de asfalto.

- **Resultado de la comparación de los parámetros obtenidos de la mezcla asfáltica(convencional) y de la mezcla con reemplazo de caucho de 0.5%, 1.5% y 2.5% de caucho reciclado.**

a) Ensayo Marshall.

**Tabla 64**

*Comparación de Diseño Marshall de mezcla Asfáltica Convencional Versus Mezcla con Reemplazo de Caucho Reciclado*

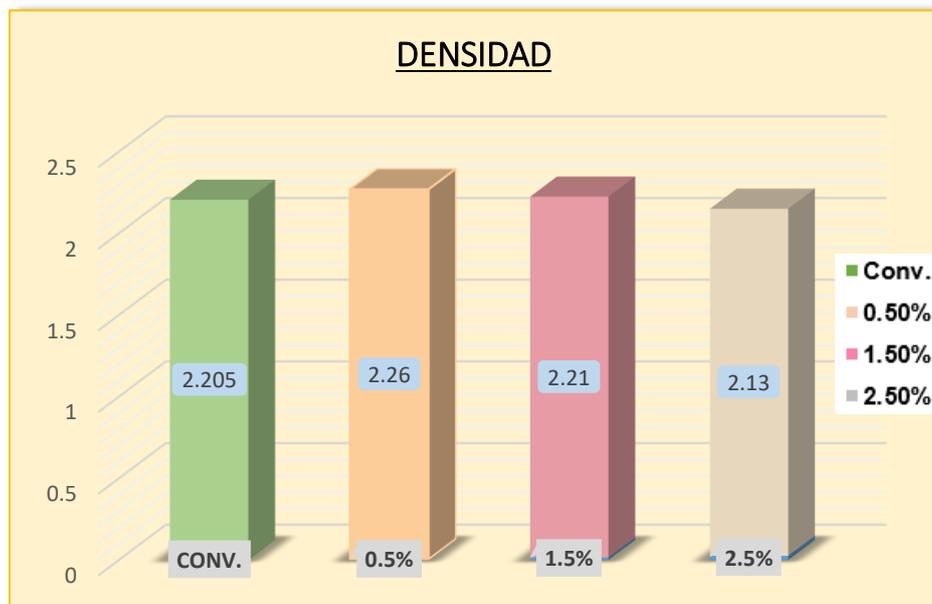
Parámetros de Diseño	Asfalto convencional	Porcentajes de Caucho		
		0.5%	1.5%	2.5%
Golpes N°	75	75	75	75
Cemento Asfáltico %	5.40	5.40	5.40	5.40
Peso Unitario Kg/m <sup>3</sup>	2.205	2.26	2.21	2.13
Vacíos %	4.0	1.03	1.95	4.82
V.M.A. %	16.29	14.13	16.21	18.14
V.L.L.C.A. %	74.50	92.84	88.04	75.34
Polvo/asfalto %	3.02	3.16	3.51	3.71
Flujo (mm)	12.40	17.40	17.57	13.78
Estabilidad (kn)	10.01	9.65	11.56	11.11
Estabilidad/flujo (kg/cm <sup>2</sup> )	3238.10	2236.90	2714.70	3235.76

*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de la Tabla 64, podemos ver los datos del estudio Marshall utilizando tanto nuestra mezcla asfáltica estándar (modelo patrón) como un método de reemplazo de caucho. Las siguientes figuras se utilizarán para describir cada una de las comparaciones de las mismas.

**Figura 36**

*Comparación de Peso Unitario Muestra convencional VS Muestra Con Caucho*

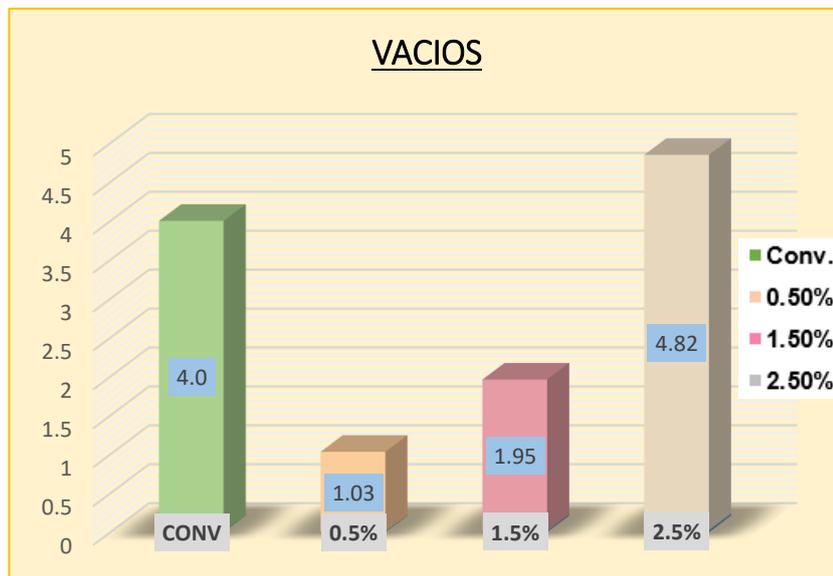


Nota: Fuente: Elaboración propia

Según la figura 36 correspondiente a densidad para la mezcla convencional es superior a la densidad del 2.5%, y la densidad de 0.5% y 1.5% son mayores, es decir a medida que aumentamos el porcentaje de caucho añadido a la mezcla, la densidad va disminuyendo.

**Figura 37**

*Comparación de Vacíos (%) convencional VS Muestra con Caucho*



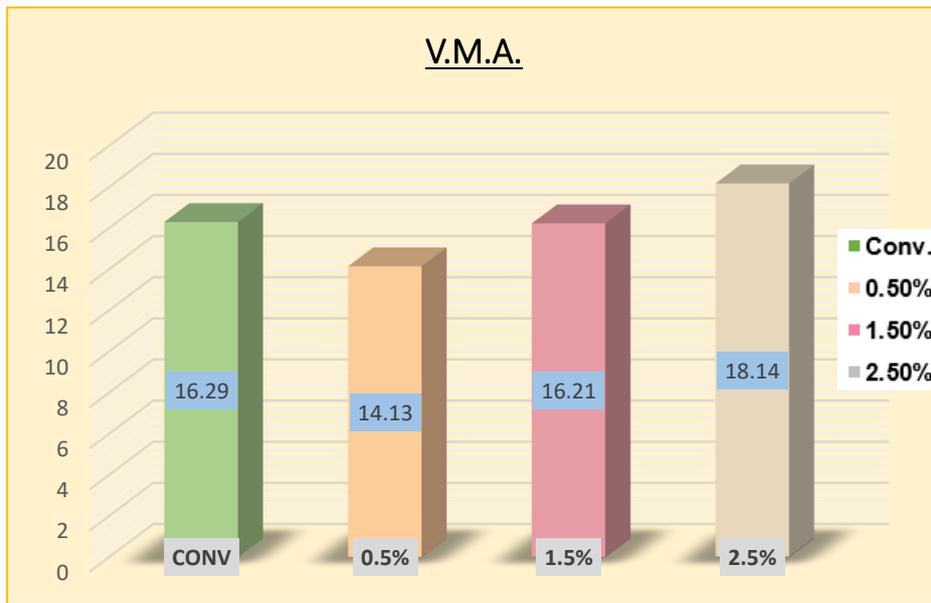
Nota: Fuente: Elaboración propia

De la figura 37 correspondiente a vacíos con aire, para una mezcla asfáltica convencional es de 4.0%, para 0.5% de caucho de 1.03%, con 1.5% de caucho 1.95% y con 2.5% de caucho 4.82% como resultado se tiene un aumento de los vacíos a medida que se va reemplazando en mayor porcentaje el caucho. Este parámetro requiere un cierto contenido de aire en cada mezcla densamente clasificada para permitir una mayor compactación bajo el pavimento y proporcionar espacio para el flujo de asfalto durante la compactación adicional. La cantidad de vacío también afecta la duración de un pavimento asfáltico porque, a medida que disminuye la cantidad de vacío, aumenta la permeabilidad de la mezcla. Un vacío demasiado alto crea espacios mediante la mezcla, a través de los cuales pueden entrar aire y agua y provocar degradación. Por último, pero no menos importante, un vacío demasiado bajo puede provocar una exudación de

asfalto; por lo que se recomienda no exceder significativamente los parámetros especificados por nuestra norma.

### Figura 38

*Comparación de Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral en Muestra convencional VS Muestra con Caucho*

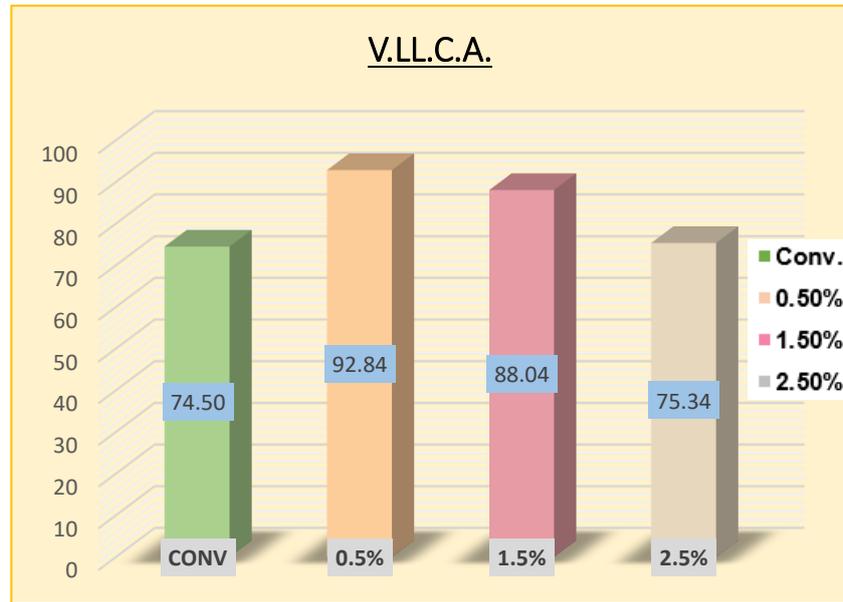


Nota: Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 38, los vacíos de agregado mineral para el mezclado convencional son superiores al 0,5% y 1,5% con contenido caucho reciclado pero inferiores al 2,5%. Los vacíos de agregado mineral van disminuyendo a medida que reducimos el contenido de caucho reciclado a la mezcla, por lo que se recomienda reducir el contenido de caucho.

**Figura 39**

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

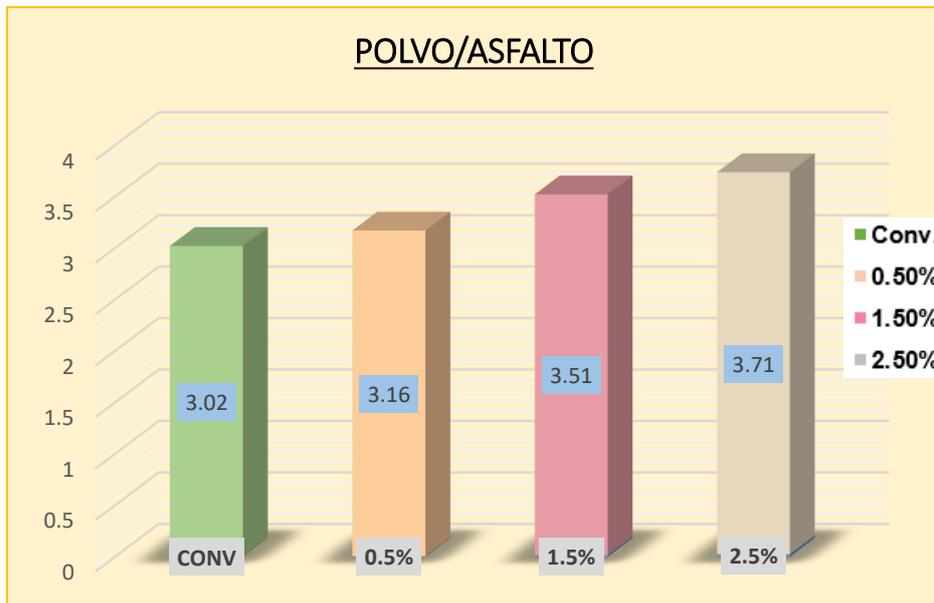


Nota: Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 39, los vacíos llenos de agregado para la mezcla convencional están por debajo de los porcentajes de caucho, y a medida que se reduce la cantidad de caucho en la mezcla, la cantidad de vacíos llenos en la mezcla aumenta, por lo que se recomienda bajar los porcentajes de caucho.

**Figura 40**

*Comparación de Relación Polvo/Asfalto convencional VS Muestra con Caucho*

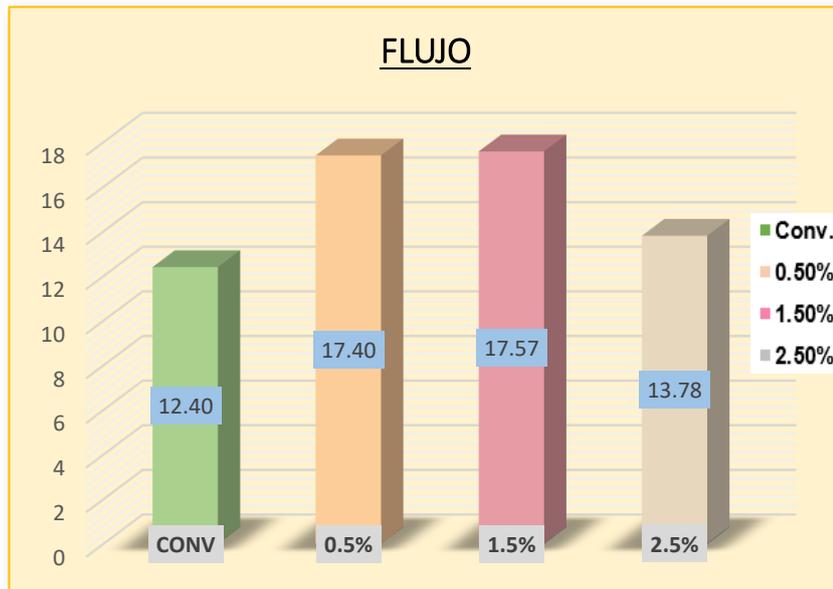


*Nota:* Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 40, la relación Polvo/Asfalto para el mezclado convencional está por debajo de 0.5%, 1.5% y 2.5% de caucho. Esto significa que a medida que subimos la cantidad de caucho a la mezcla, la relación Polvo/Asfalto aumenta, lo que resulta que no cumple con los parámetros de la norma MTC(EG-2013) Tabla 423-06 y la recomendación de utilizar filler como material adicional.

**Figura 41**

*Comparación de Flujo en Convencional VS Muestra con Caucho*



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 41, los parámetros de fluencia para las mezclas asfálticas con 0.5%, 1.5% y 2.5% de caucho han aumentado en comparación con la mezcla asfáltica convencional, lo que indica que la deformación de la briqueta ha aumentado bajo una carga producida en la mezcla. Sin embargo, estos valores no deben exceder el límite superior ya que hacerlo hace que el pavimento sea demasiado frágil o inestable. Por otro lado, no necesariamente deberían bajar el límite inferior ya que la mezcla sería demasiado rígida.

**Figura 42**

*Comparación de Resistencia a la Deformación (Estabilidad) en Muestra convencional VS Muestra con Caucho*



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 42, la resistencia a la deformación (estabilidad) de la mezcla asfáltica se incrementa con 0.5%, 1.5% y 2.5% de caucho en comparación con la mezcla convencional. Esta propiedad, consiste en la capacidad de soportar deformaciones y desplazamientos bajo cargas de tráfico, da como resultado un pavimento estable que puede mantener su forma bajo cargas repetidas. Sin embargo, en un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento (canales), ondulaciones (corrugación) y otros signos de cambios en la mezcla. La cantidad de asfalto de caucho que se puede utilizar en esta situación es del 2,5%, lo cual es aceptable para diseños de pavimentos. Sin embargo, se debe tener en cuenta

que agregar mucha estabilidad podría dar como resultado un pavimento más rígido y menos duradero.

b) Gravedad específica Teórica Máxima (RICE)

**Tabla 65**

*Comparación de RICE Convencional VS Mezcla con Reemplazo de Caucho*

<b>ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA (ASTM D2041)</b>				
<b>Muestra N°</b>	<b>Asfalto Convencional</b>	<b>0.5% de caucho</b>	<b>1.5% de caucho</b>	<b>2.5% de caucho</b>
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	5.40	5.40	5.40	5.40
<b>Peso específico máximo de la muestra</b>	<b>2.299</b>	<b>2.290</b>	<b>2.250</b>	<b>2.230</b>

*Nota:* Fuente: Elaboración propia.

Como podemos ver en la Tabla 65, cuando comparamos la gravedad específica de la muestra convencional con la del caucho, los resultados son 2.29 para la muestra convencional, 2.25 para la muestra de caucho y 2.23 para la muestra de caucho. Esto muestra que a medida que aumentamos la proporción de reemplazo de caucho, la gravedad específica disminuye.

- **RESULTADO DEL PORCENTAJE MÁS FAVORABLE ENTRE EL REEMPLAZO DE 0.5%, 1.5% Y 2.5% DE CAUCHO RECICLADO PARA DAR RESPUESTA AL OBJETIVO N°5**

**Tabla 66**

*Comparación de Propiedades con Reemplazo de 0.5%, 1.5% y 2.5 % de Caucho Reciclado*

Parámetros de Diseño	Porcentajes de Caucho		
	0.5%	1.5%	2.5%
Golpes N°	75	75	<b>75</b>
Cemento Asfáltico %	5.40	5.40	<b>5.40</b>
Peso Unitario Kg/m <sup>3</sup>	2.26	2.21	<b>2.13</b>
Vacíos %	1.03	1.95	<b>4.82</b>
V.M.A. %	14.13	16.21	<b>18.14</b>
V.L.L.C.A. %	92.84	88.04	<b>75.34</b>
Polvo/asfalto %	3.16	3.51	<b>3.71</b>
Flujo (mm)	17.40	17.57	<b>13.78</b>
Estabilidad (kn)	9.65	11.56	<b>11.11</b>
Estabilidad/flujo (kg/cm <sup>2</sup> )	2236.90	2714.70	<b>3235.76</b>

*Nota:* Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 66 se puede apreciar la comparación entre las mezclas asfálticas modificadas con caucho ensayadas con el porcentajes óptimo de cemento asfáltico, en cuanto a la mezcla con 2.5% de caucho influye dando 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 2.5% de caucho se obtuvo un resultado de 11.11KN, para 0.5% de caucho 9.65KN y para 1.5% de caucho 11.56KN con lo cual se aprecia que la mezcla con contenido de caucho de 2.5% supera a las otras dos mezclas, a la primera en un 13% y a la segunda en un 4%.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### LIMITACIONES

La presente investigación se vio afectada por la carencia de información de la aplicación de asfalto-caucho en mezclas asfálticas en caliente a diferencia de otros países, por lo que tuvimos que adquirir libros, papers para poder realizar nuestra investigación.

Además, otra limitación fue que conseguir residuos de caucho reciclado, ya que las diferentes plantas recicladoras de caucho tienen el producto para venta solo en toneladas para obras de gran envergadura, mas no en bajas proporciones como en kilogramos, por ello la muestra requerida de residuos de caucho se consiguió de canchas sintética.

### DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos en este estudio, se confirma la hipótesis planteada de que el reemplazo de caucho reciclado en el agregado fino en la mezcla asfáltica mejorará de manera efectiva las propiedades físicas y mecánicas. Por lo tanto, esta incorporación será ideal para su aplicación, ya que este compuesto tiene cualidades destacadas. Esta conclusión se puede respaldar al comparar con estudios anteriores relacionados con el tema, como en el caso de:

(CHAMBA & BENAVIDES, 2019) En su tesis sobre: "Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá", obtuvo como resultados: con el 0.5% y 1% de GCR se obtienen los mejores resultados en

estabilidad, flujo y demás parámetros Marshall consideradas para un tráfico pesado. En nuestra investigación con una incorporación de 2.5% de caucho la estabilidad aumentó en un 11.07% más a comparación de la mezcla convencional, y el flujo aumentó en un 11.13%. Por lo cual, en ambas investigaciones se obtuvo resultados favorables, ya que el caucho mejora las propiedades del asfalto.

Po otro lado, (Villagaray Medina, 2017) en la tesis mencionada: "Aplicación de caucho reciclado en un diseño de mezcla asfáltica para el tránsito vehicular de la avenida Trapiche-Comas (Remanso) 2017", concluyeron que el asfalto modificado con caucho reciclado mejora en la resistencia a la deformación con un 3.54% a comparación del asfalto convencional, en la presente investigación la resistencia a la deformación aumento en un 11.13% con respecto a la muestra convencional, lo cual cumplió con lo establecido en MTC DG-2013, por ello el asfalto modificado ayuda a la resistencia ante las deformaciones permanentes.

También, (Alvarez Briceño & Carrera Sanchez, 2017) en su tesis nombrada: "Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica", llegaron a obtener resultados de esta investigación que el GCR puede funcionar como agregado de las mezclas asfálticas, pero con porcentajes igual o menores al 1.5% del total de la mezcla, teniendo en cuenta que a medida que se incorpora GCR disminuyen los valores de estabilidad y aumenta su flujo. Aquí se discuten las conclusiones a las que llegaron, puesto que mientras más aumentamos el porcentaje de caucho reciclado, aumenta también las propiedades de las mezclas asfálticas; así como

en el porcentaje de 2.5% aumentó la deformación a la resistencia de 11.07% con respecto a la muestra convencional.

(Borja, 2016) en su tesis llamada: "Influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos, Cajamarca, 2016", obtuvieron resultados que la dosificación óptima de caucho reciclado triturado de neumáticos fuera de uso, en una mezcla asfáltica 85/100 en caliente con 6.10% de cemento asfáltico es 1%, con este porcentaje de caucho reciclado se logra una mezcla asfáltica modificada que alcanza un valor de estabilidad, relación de fluencia y flujo de 1189.67 kg, 3702.67 kg/m y 12.67 mm, respectivamente, por lo que cumple totalmente con las especificaciones técnicas de la EG-2013 (MTC, 2013). En nuestra investigación, se obtuvieron resultados que la dosificación óptima de caucho reciclado fuera de uso, en una mezcla asfáltica PEN 60/70 en caliente con 5.4% de cemento asfáltico es de 2.5%, con este porcentaje de caucho reciclado se logra una mezcla asfáltica modificada que alcanza valor de estabilidad, relación de estabilidad/ flujo y flujo de 1132.93 kg, 3235.76kg/m y 13.78 mm, respectivamente, valores que cumplen con las especificaciones técnicas de la EG-2013 (MTC,2013). Coincidiendo con las conclusiones que obtuvieron en las mejoras de las propiedades con el aumento del caucho reciclado.

## IMPLICANCIAS

La implicancia es que, a consecuencia de esta investigación realizada, se desea determinar la resistencia a la deformación en una mezcla asfáltica en caliente con reemplazo de caucho reciclado en diferentes combinaciones o porcentajes donde se obtuvieron resultados favorables en la resistencia de una

mezcla asfáltica obteniendo aumentos y descensos en los porcentajes de manera favorable para las propiedades como son: El porcentaje de vacíos, relación polvo asfalto, la estabilidad y flujo. 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 estudios ya realizados con anterioridad con lo cual se realizó comparaciones para obtener una vista más amplia sobre la investigación elaborada.

La resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica modificada en caliente con residuos de caucho reciclado, obtenidas de la presente investigación, demostraron que, al agregarle caucho a una mezcla asfáltica convencional, mejoró la resistencia a la deformación, 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 reemplazo en las mezclas asfáltica a realizar, solo se debe obtener un adecuado porcentaje de caucho el cual fue del 2.5% en la mezcla asfáltica, la cual se comparó con una mezcla asfáltica tradicional (convencional), obteniendo una mejor resistencia a la deformación como son la estabilidad, flujo y relación estabilidad/flujo, 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 su resistencia a la deformación. Es por ello que se da a entender con estos resultados, de que el asfalto modificado con residuos de caucho reciclado tendrá mejores tendrá mejor resistencia a la

deformación lo cual conllevará a una mejor vida útil en los pavimentos, lo cual puede conllevar a su utilización en proyectos futuros.

## CONCLUSIONES

- **En relación a la resistencia a la deformación con 0.5%,1.5% y 2.5% se obtuvo que:**
  - Se determinó la resistencia a la deformación de mezcla reemplazando el 0.5%. 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho, mediante el método Marshall, logrando una resistencia a la deformación de **9.65KN, 11.56KN y 11.11KN** respectivamente según la norma MTC(EG-2013) superando y argumentando la expectativa de nuestra hipótesis, del mismo modo ayuda a contribuir con el problema ambiental provocado por los residuos de caucho.
- **En relación a los requerimientos del agregado grueso y fino se obtuvo que:**
  - Se realizó los ensayos de requerimiento para agregado grueso y fino de una mezcla asfáltica en caliente los cuales estaban dentro de los parámetros según el MTC (EG – 2013).
- **En relación al óptimo de asfalto se obtuvo que:**
  - Luego de realizar pruebas con 4.0%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%, establecimos el porcentaje de contenido de asfalto ideal para diseñar mezclas asfálticas en caliente. Con este porcentaje 5.40% trabajamos para los diseños con reemplazo con caucho.
- **En relación a los parámetros de diseño muestra patrón y con reemplazo de caucho se obtuvo que:**

- Determinamos los parámetros de las mezclas asfálticas reemplazando 0.5%, 1.5% y 2.5% de residuos de caucho reciclado y las mezclas asfálticas convencionales elaboradas de acuerdo con MTC (EG-2013), donde un porcentaje de vacío fue de 3.5%, un porcentaje de agregado vacío mineral es 16.29% , se obtuvo un porcentaje de vacío lleno de asfalto de 74,50%, una relación estabilidad-asfalto de 3,02%, una fluencia de 12,40 mm y una resistencia a la deformación(estabilidad) de 10,01 KN; Mientras que para la mezcla con reposición de caucho al 0.5%, los resultados fueron 1.03% para el porcentaje de vacío, 14.13 para el vacío en el agregado mineral, 94.84% para el vacío en el asfalto lleno, 3.16% para la relación polvo-asfalto, 17.40 mm para la fluencia y 9,65 KN para la resistencia a la deformación (estabilidad). ahora para 1.5% de caucho se obtuvo un porcentaje de vacíos de 1.95%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) de 16.21%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C.A) de 88.04%, relación polvo-asfalto de 3.51%, fluencia de 17.57mm, resistencia a la deformación(estabilidad) de 11.56 KN; Finalmente, para un reemplazo de caucho del 2.5%, un porcentaje de vacíos de 4.82%, un porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M. A), un porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.LL.C. A), un porcentaje de vacíos de 3.71%, se obtuvo una fluencia de 13,78 mm y una resistencia a la deformación de 11,11 KN. Según estos resultados se confirma que con un reemplazo adecuado del caucho aumenta su resistencia a la deformación en 13%.

➤ **En relación a la comparación muestra patrón (convencional) vs reemplazo de caucho se obtuvo que:**

- Dado que los siguientes datos obtenidos para una mezcla convencional y una mezcla reemplazada con 2.5% de caucho indican que el porcentaje de vacíos en una mezcla convencional y una mezcla con 2.5% de caucho reemplazado el porcentaje de vacíos de 4% y 4.82% está dentro de los parámetros de las especificaciones según el MTC (EG - 2013), estas pueden variar entre EL 3% Y 5%. Los resultados para el flujo fueron 12,40 mm y 13,78 mm, que se encuentran dentro de los parámetros de 12 a 14 de las especificaciones. Los resultados para la estabilidad fueron 10,01 kn y 11,11 kn, que cumplen con el requisito mínimo de 8,15 kn de las especificaciones. Finalmente, la relación estabilidad-flujo fue de 3238.10 kg/cm<sup>2</sup> y 3235.76 kg/cm<sup>2</sup>, lo que se encuentra dentro de los parámetros de las especificaciones de 1700 a 4000 Kg/cm<sup>2</sup>.

➤ **En relación al porcentaje más favorable de reemplazo de caucho se obtuvo que:**

- Cuando se compararon las propiedades de una mezcla convencional y una mezcla con reemplazo de caucho de 0.5%, 1.5% y 2.5%, quedó claro que la mezcla con el mejor reemplazo de caucho de 2.5% cumplió con los requisitos del MTC (EG). -2013).

Finalmente;

Se recomienda que investigaciones futuras evalúen los porcentajes de caucho de 3,0%, 3,5% y 4,0% para el contenido de asfalto del 5,40% para ver si satisface los requisitos de Marshall según lo establecido en el Manual de Carreteras de la MTC (EG-2013).

## REFERENCIAS

- Abalde Paz, E., & Muñoz Cantero, J. M. (1992). *Metodología Cuantitativa Vs. Cualitativa*. La Coruña: Universidad De La Coruña.
- Alvarez Briceño, L. A., & Carrera Sanchez, E. T. (2017). Influencia De La Incorporacion De Particulas De Caucho Reciclado Como Agregados En El Diseño De Mezcla Asfáltica . Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Asphalt Institute. (2020). Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.
- Borja, C. A. (2016). Influencia En Las Propiedades Mecánicas De Una Mezcla Asfáltica Incorporando Caucho Reciclado De Neumáticos, Cajamarca, 2016. *Universidad Privada Del Norte*, 14.
- Chamba, F., & Benavides, J. (2019). "Diseño De Mezcla Asfáltica En Caliente Incorporando Caucho Triturado De Neumático Reciclado". La Libertad, Ecuador: Universidad Estatal Península De Santa Elena.
- Hoyos Díaz, L. M., Puicon Herrera, K. d., & 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.
- Ing. J. Rafael Menéndezacurio, P. P. (2016). Ingeniería De Pavimentos. Icg.
- M.Sc. Silene Minaya G. , & M.Sc. E Ing. Abel Ordóñez H. (2006). *Diseño Moderno De Pavimentos*. Lima: Instituto De La Construcción Y Gerencia(Icg).
- Malone Vásquez, C. (2016). Niveles De Severidad De Las Fallas En Pavimentos.
- Mtc. (2013). Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción. Lima: Eg-2013 Mtc.
- MTC. (2016). *Ensayo de Materiales* . Lima: MTC-2016.
- UMSS. (2020). Manual completo diseño de pavimentos .
- Villagaray Medina, E. J. (2017). "Aplicación De Caucho Reciclado En Un Diseño De Mezcla Asfáltica Para El Transito Vehicular De La Avenida Trapiche-Comas (Remanso) 2017. Lima, Perú: Universidad César Vallejo.

## ANEXOS

### Anexo N° 1: Panel fotográfico



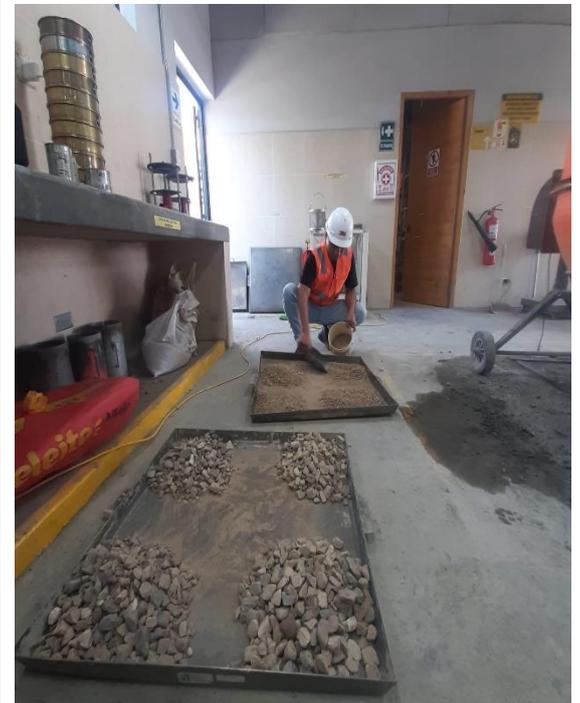
**Foto N° 1:** Cantera “Bazán contratistas S.R.L.”  
Obtención de agregado fino y grueso para  
ensayos de control de calidad.



**Foto N° 2:** Obtención del agregado fino a  
utilizar de la cantera “Bazán contratistas  
S.R.L.”



**Foto N° 3:** Clasificación por muestras, agregado  
fino y grueso.



**Foto N° 4:** Cuarteo de agregado grueso  
en el CAMPUS UPN – Laboratorio de

concreto



**Foto N° 5:** Análisis granulométrico de agregado fino MTC E 204.



**Foto N°6:** Toma de datos de granulometría de los agregados MTC E 204.



**Foto N° 7:** Pesos del análisis granulométrico de agregado grueso MTC E 204.



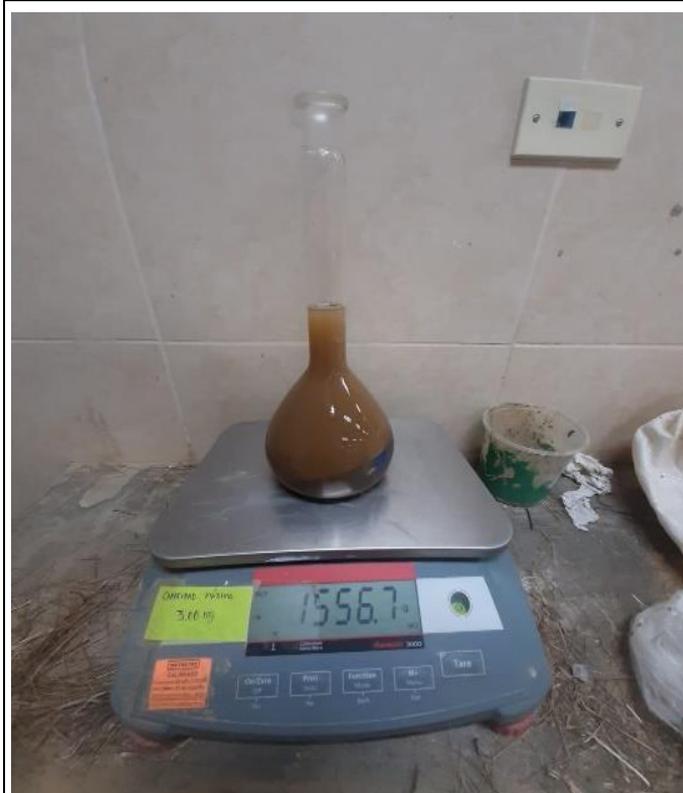
**Foto N° 8:** Peso específico y absorción de los agregados gruesos. MTC E 206



**Foto N° 9:** Peso específico y absorción de los agregados gruesos, peso sumergido. MTC E 206



**Foto N° 10:** Gravedad específica y absorción de los agregados finos. MTC E 205



**Foto N° 11:** Gravedad específica y absorción de los agregados finos. MTC E 205



**Foto N° 12:** Ensayo de Abrasión de los ángeles MTC E 207.



**Foto N° 13:** Verificando la calidad de material de la cantera "Bazán" en el equipo de los ángeles MTC E 207.



**Foto N° 14:** Supervisión del asesor de tesis Ing. Carlos Calua carrasco.



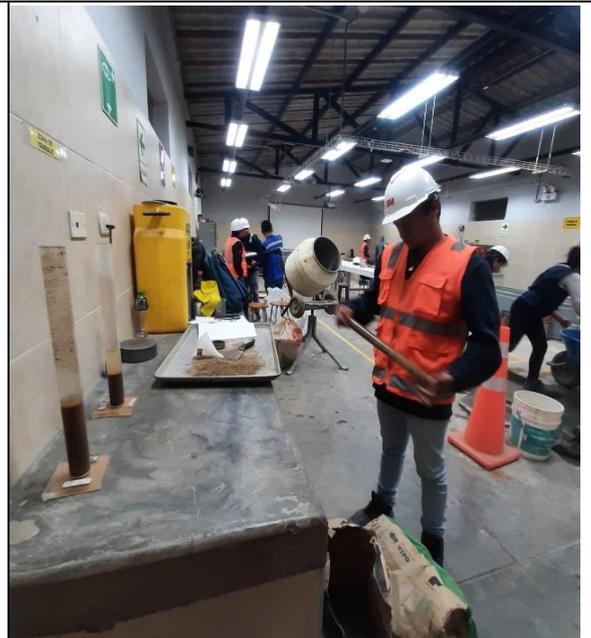
**Foto N° 15:** Ensayo de Equivalente de Arena, Incorporando solución de trabajo con asesoría del Coordinador de laboratorio. MTC E 114



**Foto N.º 16:** Ensayo de Equivalente de Arena, Preparación de muestra. MTC E 114



**Foto N.º 17:** Ensayo de Equivalente de Arena. MTC E 114



**Foto N.º 18:** Ensayo de Equivalente de Arena. MTC E 114



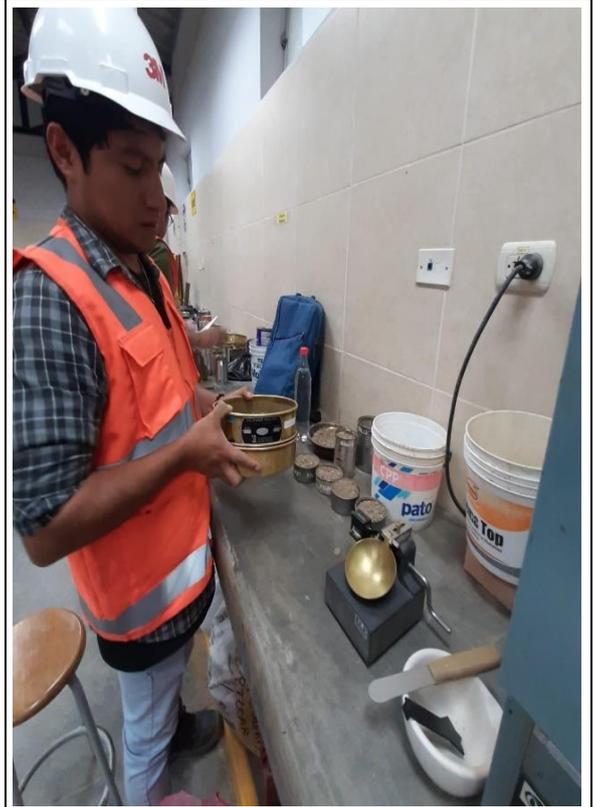
**Foto N.º 19:** Ensayo de Equivalente de Arena. MTC E 114



**Foto N.º 20:** Ensayo de Equivalente de Arena, separación de partículas.



**Foto N.º 21:** Ensayo de Equivalente de Arena, supervisión del Coordinador de Laboratorio.



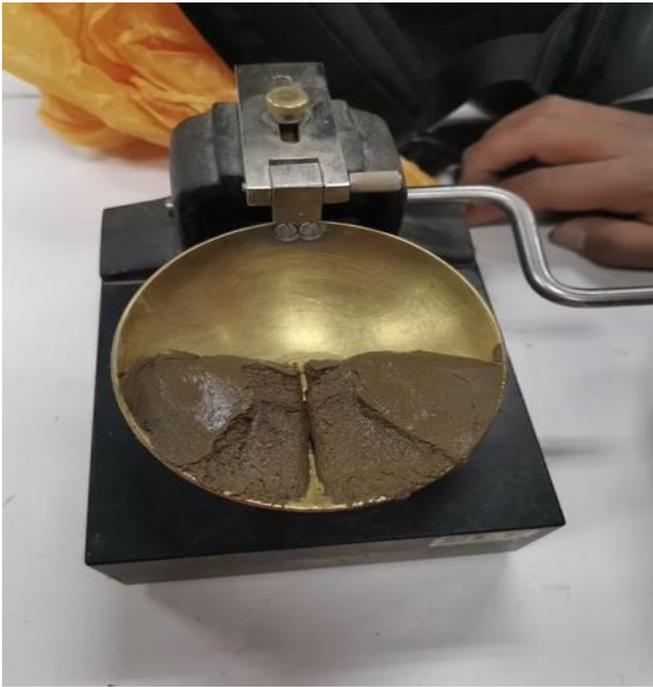
**Foto N.º 22:** Preparando Muestra para límites de consistencia. MTC E 111



**Foto N.º 23:** Muestra lista para límites de consistencia. MTC E 111.



**Foto N.º 24:** Proceso de límites de consistencia. MTC E 111.



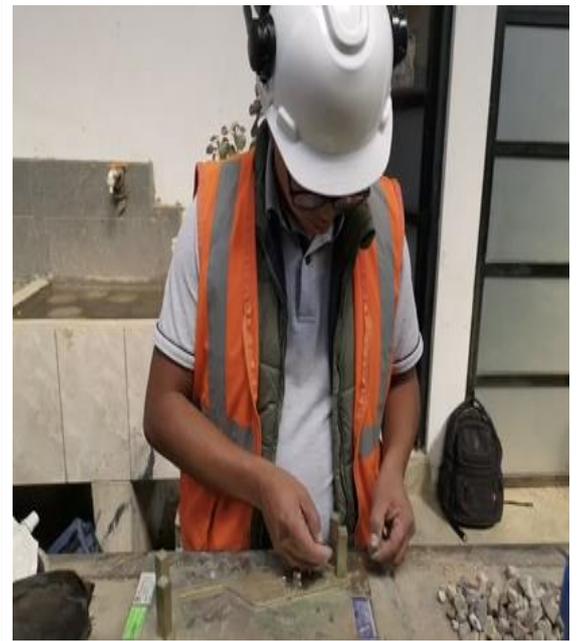
**Foto N° 25:** Ensayo Límites de Consistencia.  
MTC E 111



**Foto N° 26:** Peso para límites de  
Consistencia en la malla N° 200. MTC E  
111



**Foto N° 27:** Preparación de muestra para Ensayo  
de Partículas chatas y alargadas del agregado  
grueso. MTC E 223 ASTM D5821



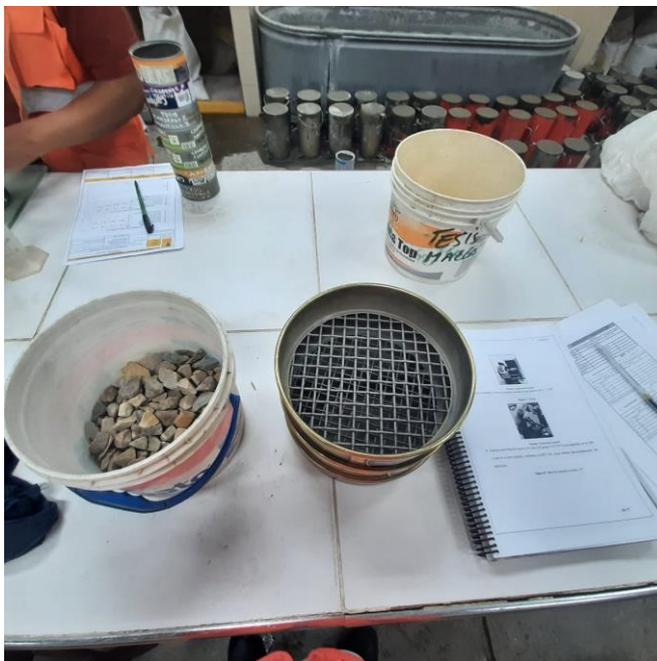
**Foto N° 28:** Equipo adecuado para  
ensayo de Partículas chatas y alargadas  
del agregado grueso. MTC E 223 ASTM  
D5821



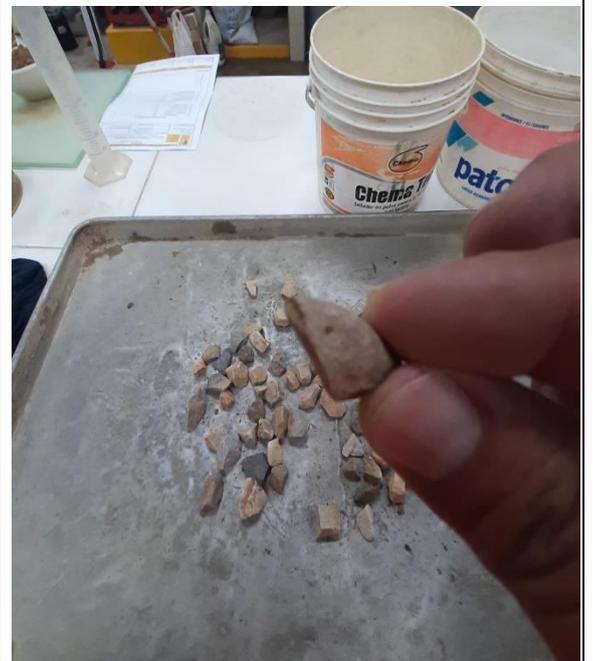
**Foto N° 29:** Ensayo de Partículas chatas del agregado grueso. MTC E 223 ASTM D5821



**Foto N° 30:** Determinación de partículas alargadas del agregado grueso. MTC E 223 ASTM D5821



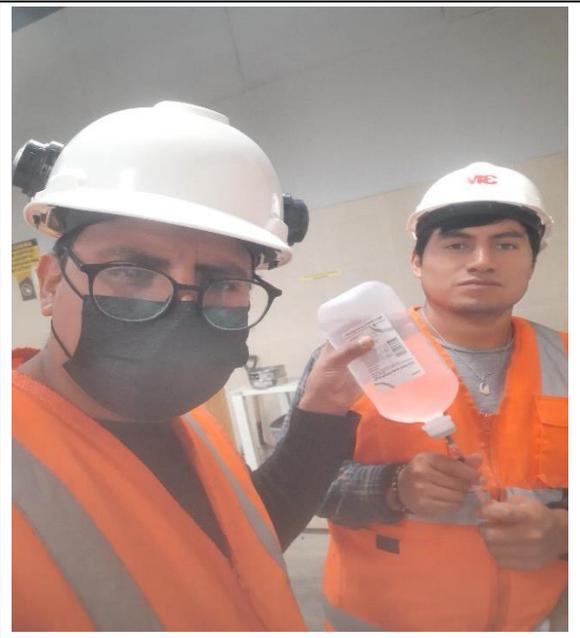
**Foto N° 31:** Muestra para partículas fracturadas del agregado grueso MTC E 223 ASTM D5821



**Foto N° 32:** Ensayo de Partículas fracturadas del agregado grueso MTC E 223 ASTM D5821



**Foto N° 33:** Ensayo Azul de Metileno del ASSTHO TP 57 / INVE E 235-07.



**Foto N° 34:** Colocación de agua destilada para el Ensayo Azul de Metileno. ASSTHO TP 57 / INVE E 235-07.



**Foto N° 35:** Ensayo Azul de Metileno del Agregado. ASSTHO TP 57/INVE E 235-07.



**Foto N° 36:** Incorporación de 0.5 ml de azul de metileno en el agregado.



**Foto N° 37:** Coloración en el papel filtro del agregado fino con el azul de metileno.



**Foto N° 38:** Supervisión del asesor de tesis Ing. Carlos Calua Carrasco.



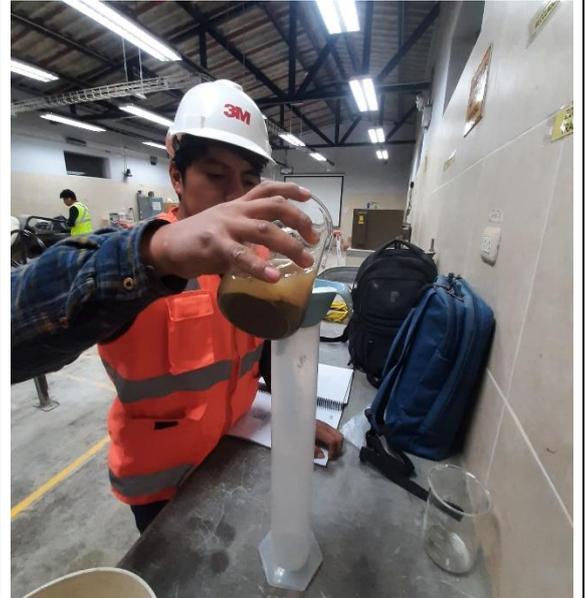
**Foto N° 39:** Ensayo de Sales Solubles del Agregado Grueso. MTC E219 / NTP 339.152



**Foto N° 40:** Proceso de filtración para sales solubles del agregado grueso.



**Foto N°41:** Muestra para ensayo de Sales Solubles del Agregado fino. MTC E219 / NTP 339.152



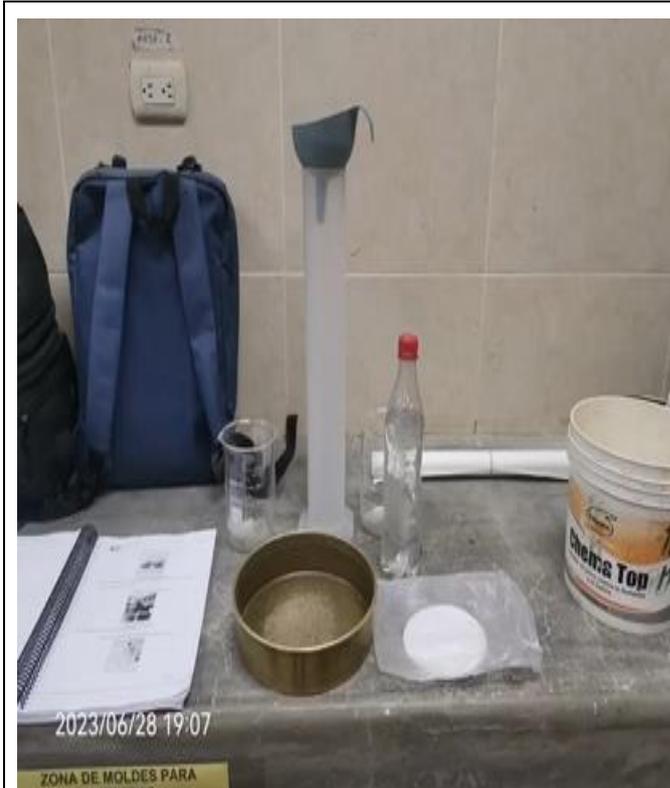
**Foto N° 42:** Proceso de filtración para ensayo de Sales Solubles del Agregado Grueso. MTC E219 / NTP 339.152



**Foto N° 43:** Peso de la solución para Proceso de filtración para sales solubles del agregado fino. MTC E219 / NTP 339.152



**Foto N° 44:** Filtrado de las sales solubles del agregado fino. MTC E219 / NTP 339.152



**Foto N° 45:** Proceso de filtración de sales solubles para el agregado grueso. MTC E219 / NTP 339.152



**Foto N° 46:** Peso de sales solubles en agua destilado del agregado grueso. MTC E219 / NTP 339.152



**Foto N° 47:** Ensayo de Sulfato de Magnesio del agregado grueso. MTC E209



**Foto N° 48:** Incorporación de la sustancia de magnesio en el agregado. MTC E209



**Foto N° 49:** Muestras de agregado grueso sumergido en sulfato de magnesio. MTC E209



**Foto N° 50:** Ensayo de caras fracturadas del agregado grueso. MTC E 210, ASTM D-5821



**Foto N° 51:** Determinación del peso de las partículas de 1/2" para caras fracturadas. MTC E 210, ASTM D-5821



**Foto N° 52:** Cuarteo de la muestra para el MAC-01 para el Ensayo Marshall. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 53:** Tamizado de los agregados para el MAC-01. MTC E504 – ASTM D692.



**Foto N° 54:** Pesado de los agregados para la elaboración de briquetas. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 53:** Tamizado de los agregados para el MAC-01. MTC E504 – ASTM D692.



**Foto N° 54:** Pesado de los agregados para la elaboración de briquetas. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 56:** colocación del cemento asfáltico para la elaboración de briquetas. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 54:** Peso de cemento asfáltico. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 55:** Calentamiento de los agregados para la elaboración de briquetas. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 56:** Calentamiento del cemento asfáltico y agregados para la elaboración de briquetas. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 57:** Control de temperatura de los agregados. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 58:** Combinación de los agregados con el cemento asfáltico. MTC E504 – ASTM D6926



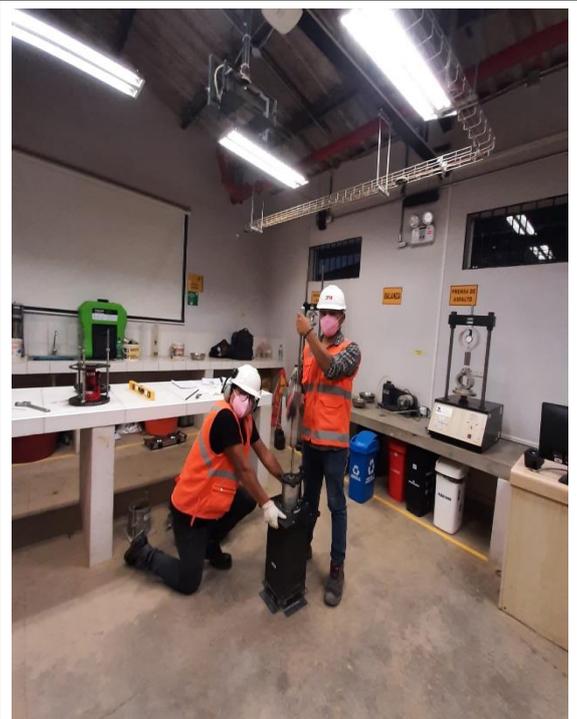
**Foto N° 59:** Control de temperatura de la mezcla asfáltica en caliente. MTC E504 – ASTM D6926



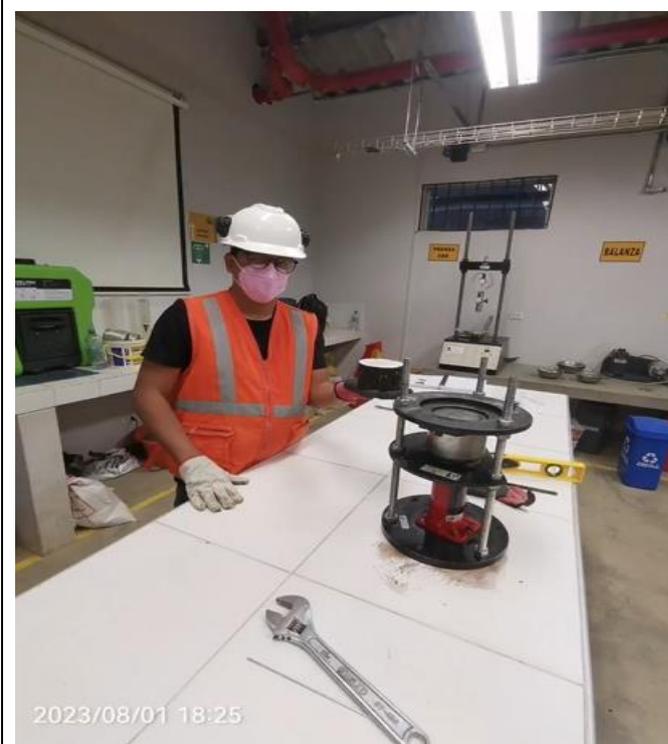
**Foto N° 60:** Equipo para la elaboración de las briquetas – Ensayo Marshall. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 61:** Calentamiento de los moldes para la elaboración de las briquetas. MTC E504 – ASTM D6926.



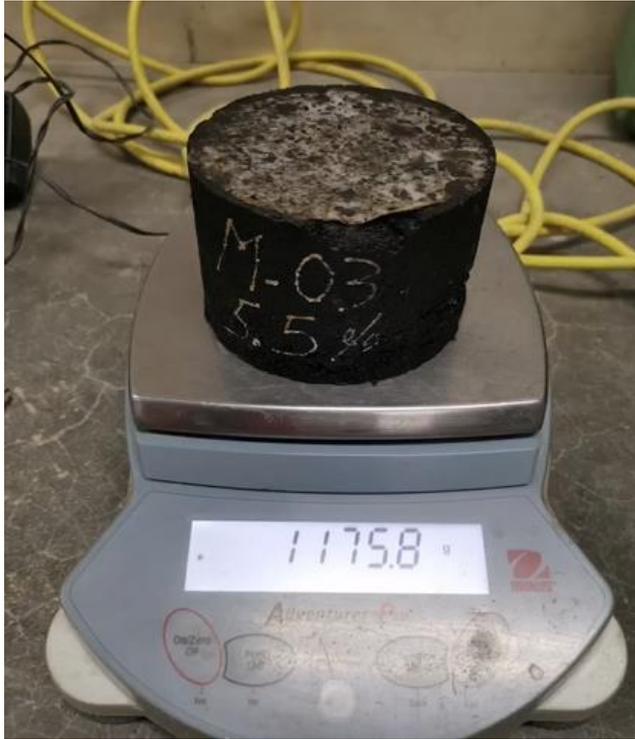
**Foto N° 62:** Compactación de las briquetas a través de los 75 golpes. MTC E504 – ASTM D6926.



**Foto N° 63:** Desmolde de las briquetas, luego del enfriamiento a temperatura ambiente. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 64:** Peso de la briketa al aire. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 65:** Peso de las briquetas sumergidas por 60'. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 66:** Peso de la briqueta desplazada. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 67:** Altura promedio de la briqueta. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 68:** Baño María a una T° de 60°C-Ensayo Marshall. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 69:** Determinación de la Resistencia a la Deformación (Estabilidad) de la briqueta.



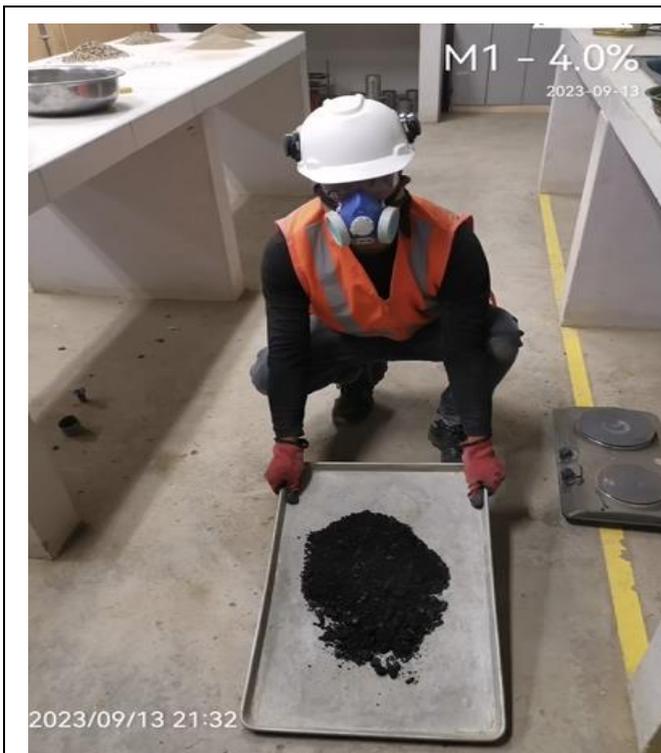
**Foto N° 70:** Supervisión del asesor de tesis Ing. Carlos Calua Carrasco.



**Foto N° 71:** Ensayo del Peso Específico Máximo de las Mezclas Asfálticas. MTC E 508/ASTM D 2041



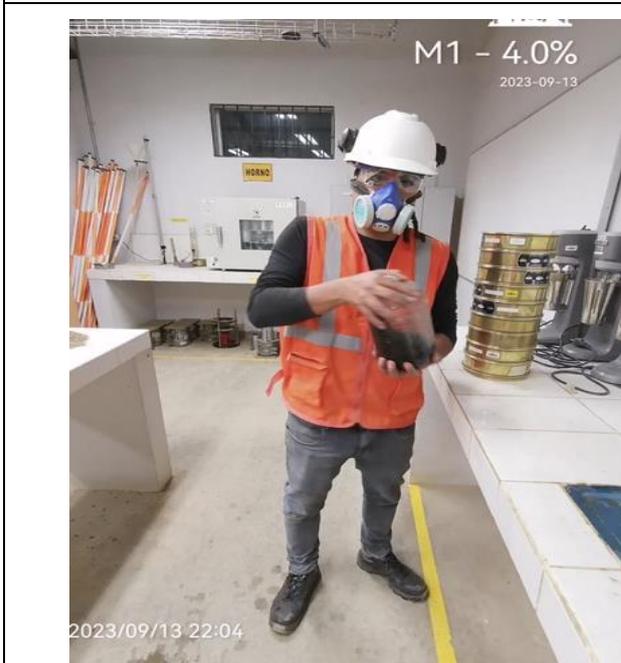
**Foto N° 72:** Peso del envase más agua para el ensayo RICE. MTC E 508/ASTM D 2041



**Foto N° 73:** Enfriamiento de la mezcla asfáltica para el ensayo RICE. MTC E 508/ASTM D 2041



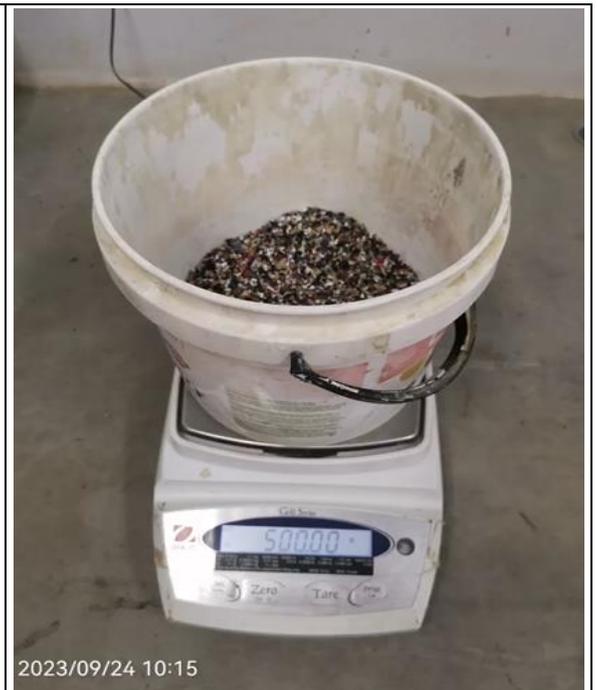
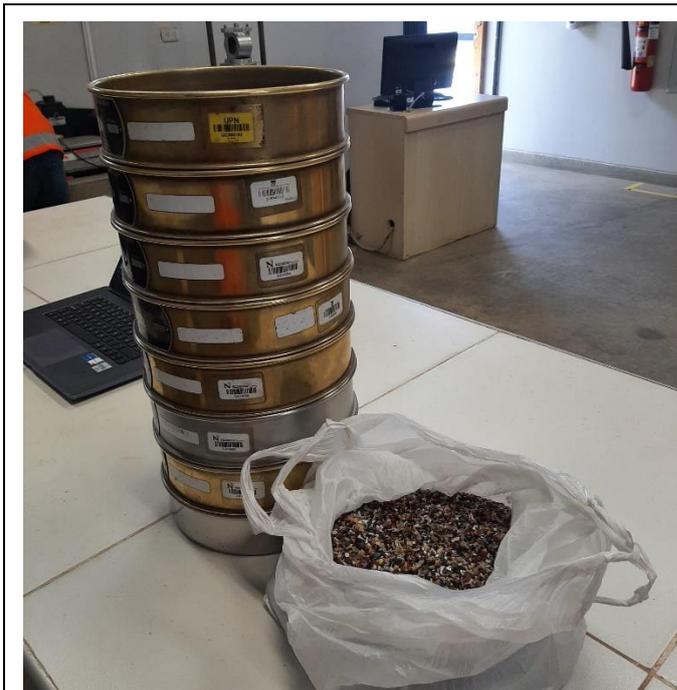
**Foto N° 74:** Peso de la mezcla asfáltica para el ensayo RICE. MTC E 508/ASTM D 2041



**Foto N° 75:** Eliminación de vacíos en la mezcla asfáltica sumergida en agua. MTC E 508/ASTM D 2041

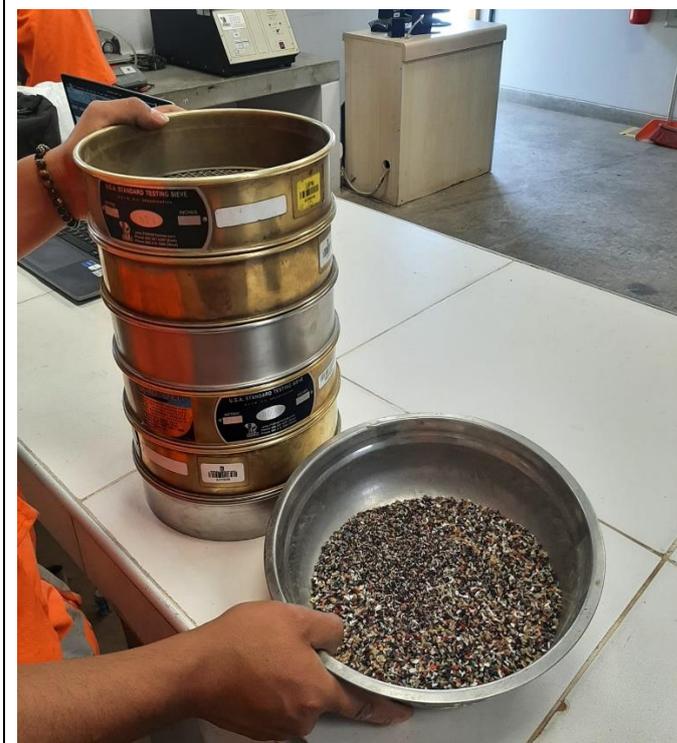


**Foto N° 76:** Peso de la mezcla asfáltica en agua para la determinación del valor RICE. MTC E 508/ASTM D 2041



**Foto N° 77:** Ensayo de granulometría del caucho.

**Foto N° 78:** Peso de la muestra de caucho para el tamizado.



**Foto N° 79:** Tamizado de la muestra de caucho

**Foto N° 80:** Caucho retenido en el tamiz N° 10 y N° 40 a ser reemplazado en el agregado fino. MTC E504 – ASTM D6926



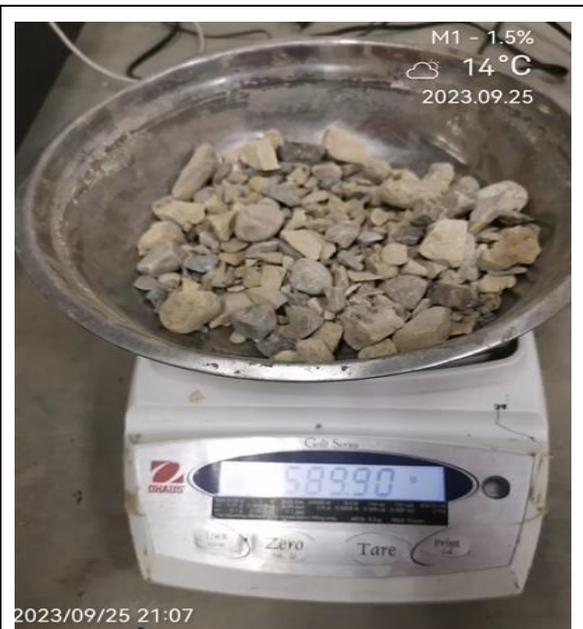
**Foto N° 81:** Combinación del caucho con el agregado fino, para el 0.5% de reemplazo. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 82:** Peso del cemento asfáltico para el porcentaje de 0.5% de caucho. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 83:** Combinación del agregado fino, con el porcentaje de 1.5% de caucho.



**Foto N° 84:** Peso del agregado grueso para el 1.5% de caucho.



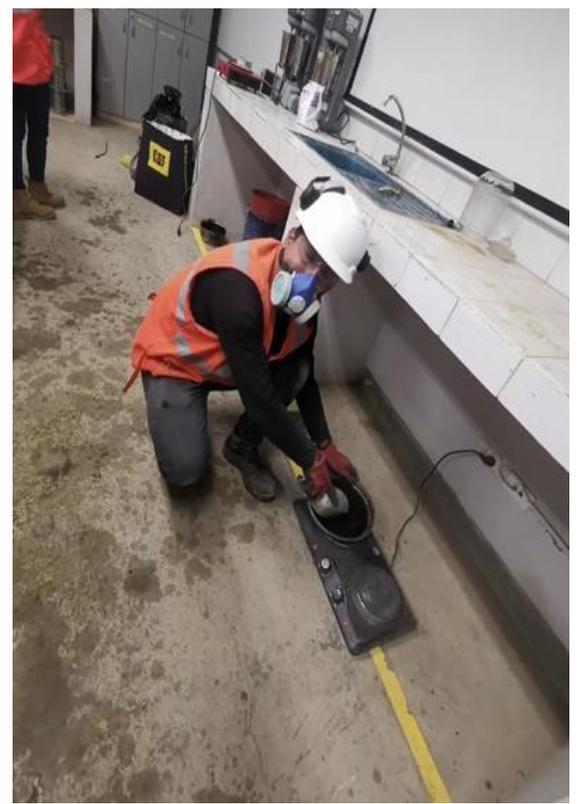
**Foto N° 85:** Combinación del caucho con el agregado fino, para el 2.5% de reemplazo. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 86:** Peso del agregado grueso para el 2.5% de caucho. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 87:** Calentamiento de los agregados y cemento asfáltico para los porcentajes de caucho respectivos. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 88:** Control de temperatura de la, mezcla asfáltica para los porcentajes de caucho respectivo. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 89:** Toma de la altura promedio de la briqueta con 2.5% de caucho. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 90:** toma de la altura promedio de la briqueta con 2.5% de caucho. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 91:** Curado de las briquetas por 20 minutos. MTC E504 – ASTM D6926



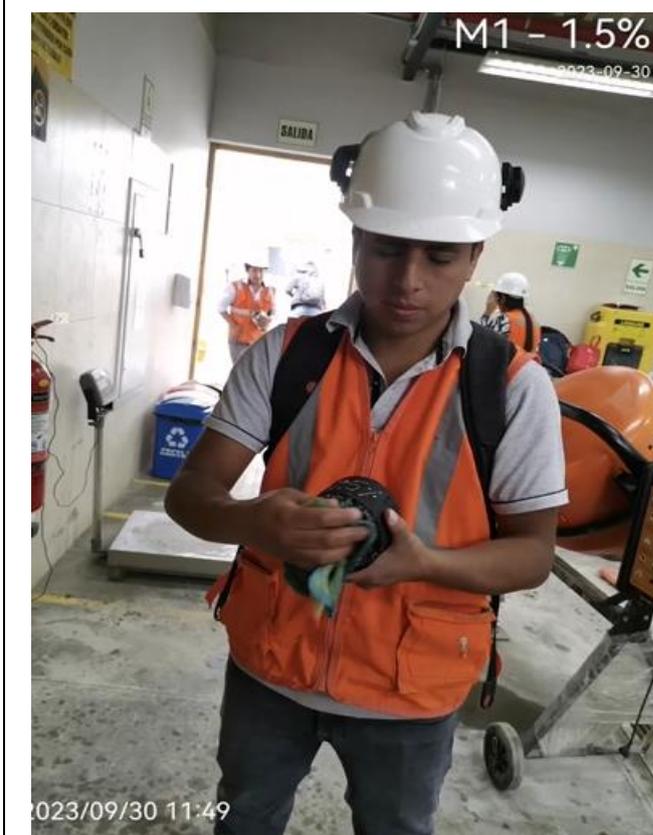
**Foto N° 92:** Curado de las briquetas por 20 minutos en envase con agua.



**Foto N° 93:** Peso al aire de la briqueta para los diferentes porcentajes de caucho. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 94:** Peso desplazado de la briqueta para los diferentes porcentajes de caucho. MTC E504



**Foto N° 95:** Se retira el exceso del agua en la briqueta para realizar el peso superficialmente seco. MTC E504 – ASTM



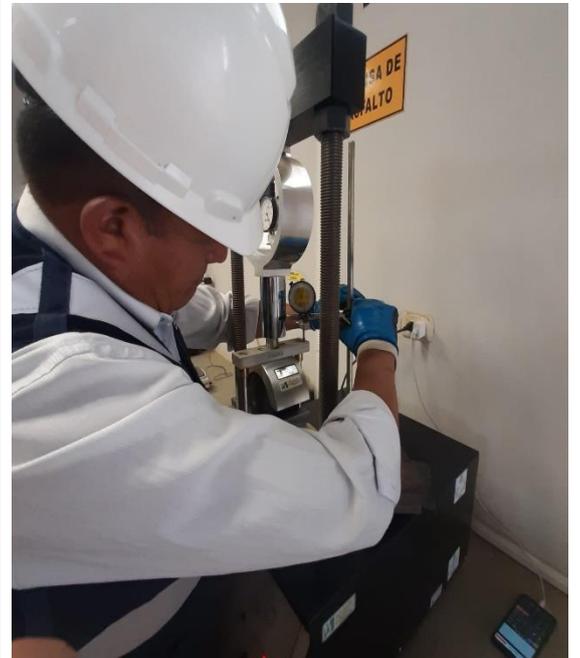
**Foto N° 96:** Peso de la briqueta al agua por 60'. MTC E504 – ASTM D6926

D6926



**Foto N° 97:** Briquetas sometidas a pruebas de resistencia a la deformación. MTC E504 – ASTM D6926

**Foto N° 98:** Procedimiento de Baños maría de las briquetas con caucho. MTC E504 – ASTM D6926



**Foto N° 99:** Baño maría de las briquetas con caucho, control de temperatura. MTC E504 – ASTM D6926

**Foto N° 100:** Prueba Marshall de las briquetas con caucho, determinación de resistencia a la deformación, MTC

E504 – ASTM D6926.



**Foto N° 101:** Muestra de las briquetas con reemplazo de caucho al 0.5%, 1.5% y 2.5% luego de la rotura por la máquina de Marshall. MTC E504 – ASTM D6926.



**Foto N° 102:** Determinación de la resistencia a la deformación (Estabilidad). Con supervisión de coordinador de laboratorio. MTC E504 – ASTM D6926.

## Anexo N° 2: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>			Granulometría	g	
<b>Resistencia a la deformación de mezcla asfáltica.</b>	Con el objetivo de cubrirlos con una fina capa de asfalto y garantizar un rendimiento duradero como estructura de pavimento, está compuesto por una combinación uniforme de áridos pétreos (grava triturada, arena triturada, relleno mineral o filler) y ligante asfáltico (Droguett, 2018)	Agregado Fino	Gravedad Específica	g/cm <sup>3</sup>	
			Azul Metileno	mg/gr	
			Equivalente de arena	%	
			Sales Solubles	%	
			Límites de consistencia	%	
			Granulometría	%	
		Agregado Grueso	Abrasión	%	
			Chatas y Alargadas	%	
			Caras fracturadas	%	
			Peso específico	g/cm <sup>3</sup>	
			Sulfato de Magnesio	%	
		Cemento asfáltico		% Cemento Asfáltico	%
		Mezclas Asfálticas		RICE	g/cm <sup>3</sup>
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>			Flujo	Pulg.	
<b>reemplazo de residuos de caucho en 0.5%, 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho.</b>	Se compone de una mezcla a partes iguales de agregados y un porcentaje de cemento asfáltico. (Zambrano, 2108)	Briquetas	Resistencia a la Deformación (Estabilidad)	Kg/f	

## Anexo N° 3: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<b>¿Cómo influye reemplazar el 0,5%, 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho; en la resistencia a la deformación de mezclas asfálticas, Cajamarca 2023?</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>
	Determinar la resistencia a la deformación reemplazando el 0.5%, 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho.		Reemplazo del 0.5%, 1.5% y 2.5% del agregado fino por residuos de caucho.
	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>		<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar los requerimientos del agregado grueso y fino para una mezcla asfáltica en caliente según la norma MTC(EG-2013).</li> <li>Obtener el contenido óptimo de asfalto a través del método Marshall para una muestra convencional en mezclas asfálticas calientes.</li> <li>Determinar los parámetros de mezcla convencional y de la mezcla con reemplazo de 0.5%, 1.5% y 2.5% de caucho reciclado según la norma MTC(EG-2013).</li> <li>Comparar ambos diseños de mezcla asfáltica en caliente (Convencional y con reemplazo de 0.5%, 1.5% y 2.5% caucho reciclado) de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma MTC (EG – 2013).</li> </ul>	<p>“El reemplazo de porcentajes de caucho reciclado en mezclas asfálticas mejorará la resistencia a la deformación de la carpeta asfáltica en un 10%”.</p>	Resistencia a la deformación de mezcla asfáltica.

- Determinar el porcentaje más favorable de reemplazo de caucho reciclado.
-

## Anexo N° 4: Matriz de metodología

TIPO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ANALISIS DE DATOS
<b>SEGÚN SU NIVEL</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>TÉCNICA</b>	<b>TÉCNICA</b>
Va a ser descriptivo, debido se especificarán las propiedades y características de la muestra con el fin de recoger toda la información disponible.	La población está conformada por 32 briquetas.	la técnica de recolección a utilizar es la observación directa de los ensayos que se realicen, además como nuestra variable dependiente es la resistencia a la deformación, este es un dato que se mide de manera visual.	La técnica de análisis de datos que se utilizó es la estadística descriptiva, lo cual permitirá describir y analizar los datos obtenidos en el laboratorio mediante cuadros, tablas y gráficos.
<b>SEGÚN SU ENFOQUE</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
Es cuantitativo, debido a que es objetivo y representa una serie de procedimientos secuenciales y probatorios con base en la medición numérica y el análisis estadístico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se tendrá 20 briquetas cilíndricas de manera convencional.</li> <li>Además, se tendrá 12 briquetas, las cuales se componen de diferentes porcentajes de caucho (0.5%, 1.5% y 2.5%).</li> </ul>	El instrumento que se utiliza para recolectar los datos son los protocolos proporcionados por la Universidad Privada del Norte, los cuales permiten la recolección de datos y varían dependiendo del tipo de ensayo y la normativa a utilizar.	El instrumento que se utilizó para el análisis de datos de la estadística descriptiva fue del software Excel 2016, permitiendo crear y organizar los datos obtenidos en laboratorio de todos los ensayos que se realizaron mediante tablas y gráficos, permitiendo el análisis e interpretación de los resultados.
<b>SEGÚN SU DISEÑO</b>			
Será experimental del tipo cuasi experimental, porque se va a realizar la manipulación intencional de las variables independientes para analizar los posibles resultados que tiene en la variable dependiente.			

## Anexo N° 5: Protocolos de los ensayos para mezcla asfáltica en caliente.

LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO		
NORMA	MTC E107 / ASTM D421		
TESIS	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE MUESTRA	MEZCLAS ASFÁLTICAS
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO FINO
FECHA DE MUESTRA:	14/06/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.
FECHA DE ENSAYO:	14/06/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN SECO					
Malla	Abertura (mm)	Masa Retenida (gr)	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que pasa
N° 04	4.750	644.00	22.13%	22.13%	77.87%
N° 08	2.360	590.80	20.30%	42.43%	57.57%
N° 16	1.180	471.30	16.19%	58.62%	41.38%
N° 30	0.600	588.60	20.22%	78.85%	21.15%
N° 50	0.300	513.30	17.64%	96.48%	3.52%
N° 100	0.150	88.50	3.04%	99.53%	0.47%
N° 200	0.075	12.40	0.43%	99.95%	0.05%
Cazoleta	0.000	1.40	0.05%	100.00%	
<b>Total</b>		2910.30	100.00%		

**Curva Granulométrica**

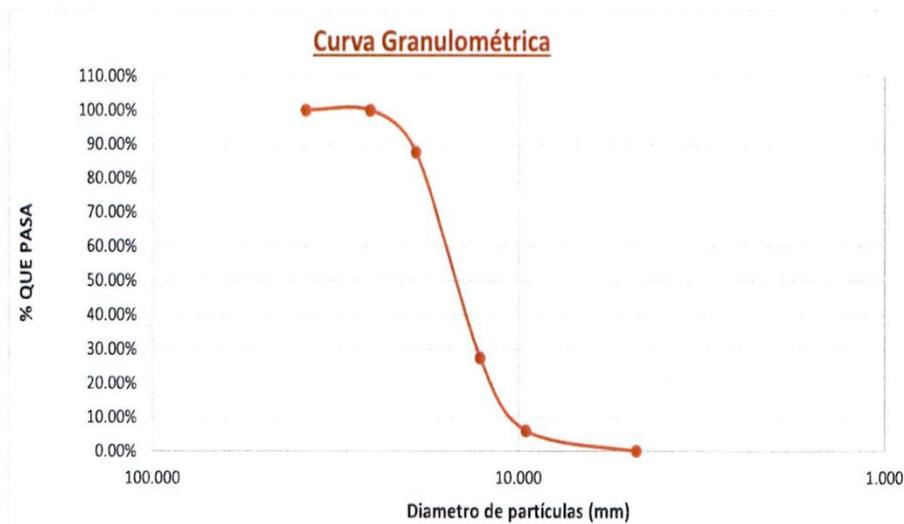
  

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

<b>LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
<b>ENSAYO</b>	ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO		
<b>NORMA</b>	MTC E107 / ASTM D421		
<b>TESIS</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE MUESTRA:	MEZCLAS ASFÁLTICAS
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO GRUESO
FECHA DE MUESTRA:	13/06/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.
FECHA DE ENSAYO:	13/06/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.

<b>PESO MUESTRA SECA, Ws</b>		gr			
<b>GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN SECO</b>					
Malla	Abertura (mm)	Masa Retenida (gr)	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que pasa
1 1/2"	38.100	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.400	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.050	274.5	12.44%	12.44%	87.56%
1/2"	12.700	1326.3	60.13%	72.57%	27.43%
3/8"	9.525	473.4	21.46%	94.03%	5.97%
N° 04	4.750	131.7	5.97%	100.00%	0.00%
Cazoleta	0.000	0	0.00%	100.00%	
<b>Total</b>		2205.9	<b>100.00%</b>		


**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>PROTOCOLO</b>																		
	<b>ENSAYO</b>	AZUL DE METILENO																	
	<b>NORMA</b>	AASHTO TP 57 / INV E 235-07																	
	<b>TESIS</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".																	
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	MEZCLAS																
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	AGREGADO FINO																
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	04/07/2023	<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA J. - QUISPE E.																
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	04/07/2023	<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS HERRERA T.																
<p><b>AZUL DE METILENO</b></p> <p>AGREGADO FINO</p>																			
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td><b>MUESTRA:</b></td> <td>10 gr</td> <td>Pasa tamiz N° 200</td> </tr> </table>				<b>MUESTRA:</b>	10 gr	Pasa tamiz N° 200													
<b>MUESTRA:</b>	10 gr	Pasa tamiz N° 200																	
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th></th> <th>UND</th> <th>VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C: Concentración de la solución de Azul de Metileno</td> <td>mg/ml</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>V: Solución de azul de metileno requerida</td> <td>ml</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>W: Peso del material seco utilizado en la prueba</td> <td>gr</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td> <b>VA: Valor de azul de metileno</b>  <math display="block">VA = \frac{CxV}{W}</math> </td> <td>mg/gr</td> <td><b>0.375</b></td> </tr> </tbody> </table>					UND	VALOR	C: Concentración de la solución de Azul de Metileno	mg/ml	0.5	V: Solución de azul de metileno requerida	ml	7.5	W: Peso del material seco utilizado en la prueba	gr	10	<b>VA: Valor de azul de metileno</b> $VA = \frac{CxV}{W}$	mg/gr	<b>0.375</b>	
	UND	VALOR																	
C: Concentración de la solución de Azul de Metileno	mg/ml	0.5																	
V: Solución de azul de metileno requerida	ml	7.5																	
W: Peso del material seco utilizado en la prueba	gr	10																	
<b>VA: Valor de azul de metileno</b> $VA = \frac{CxV}{W}$	mg/gr	<b>0.375</b>																	
<b>OBSERVACIONES:</b>																			
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>RESPONSABLE DEL ENSAYO</th> <th>RESPONSABLE DEL ENSAYO</th> <th>COORDINADOR DE LABORATORIO</th> <th>ASESOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bach. Malca Hernández Jhan Deybis</td> <td>Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel</td> <td>Ing. Luis Elias Herrera Terán</td> <td>Ing. Carlos Calua Carrasco</td> </tr> <tr> <td>FECHA: 29/09/2023</td> <td>FECHA 29/09/2023</td> <td>FECHA 29/09/2023</td> <td>FECHA: 29/09/2023</td> </tr> </tbody> </table>				RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR					Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco	FECHA: 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR																
																			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco																
FECHA: 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023																

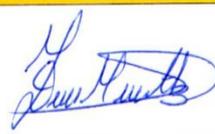
LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA				
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	PROTOCOLO			
	<b>ENSAYO</b>	ABRASION LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5mm (1 1/2")		
	<b>NORMA</b>	MTC E207 / ASTM C131 / NTP 400.019		
	<b>TESIS</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	MEZCLAS ASFÁLTICAS	
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	AGREGADO GRUESO	
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	15/06/2023	<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA J. - QUISPE E.	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	15/06/2023	<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS HERRERA T.	

GRANULOMETRÍA DE ENSAYO				
GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"
CARGA ABRASIVA (N° de esferas de acero)	12	11	8	6

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO					
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N° 4			2500 ± 10	
N° 4	N° 8				5000 ± 10
<b>TOTALES</b>		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

DESGASTE A LA ABRASIÓN							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROM EDIO	
A	Peso muestra total	gr	5000.0	5005.0	5008.0		
B	Peso retenido en tamiz N° 12	gr	3782.9	3812.3	3796.8		
D	Desgaste a la abrasión Los Angeles $D=(A-B)*100/A$	%	24.34	23.854	24.22		24.14%

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																																																																																																																		
PROTOCOLO																																																																																																																		
ENSAYO		ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS DEL AGREGADO																																																																																																																
NORMA		MTC E 223 - 2013																																																																																																																
TESIS		"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".																																																																																																																
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."		TIPO DE MUESTRA	MEZCLAS ASFÁLTICAS																																																																																																														
UBICACIÓN:	CAJAMARCA		TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO GRUESO																																																																																																														
FECHA DE MUESTRA:	28/06/2023		RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.																																																																																																														
FECHA DE ENSAYO:	28/06/2023		REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.																																																																																																														
MUESTREO:																																																																																																																		
<p><b>A. PIEDRA CHANCADA TAMALO MAX. 1/2"</b></p> <p><b>INDICE DE APLANAMIENTO(PARTICULAS CHATAS)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO DE AGREGADO</th> <th colspan="2">PESO EN GRAMOS</th> <th rowspan="2">% DE LAS CHATAS [C=(B/A)*100]</th> <th rowspan="2">PORCENTAJE PARCIAL (D)</th> <th rowspan="2">PROMEDIO CARAS FRACTURADAS E=C/D</th> </tr> <tr> <th>Pass tamiz</th> <th>Retenido en tamiz</th> <th>MUESTRA TOTAL (A)</th> <th>PARTICULAS CHATAS (B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>1"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>3/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>1369</td> <td>58</td> <td>4.2</td> <td>97.86</td> <td>414.58</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>30</td> <td>8</td> <td>26.7</td> <td>2.14</td> <td>57.18</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>1/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td></td> <td>1399</td> <td>66</td> <td></td> <td>100</td> <td>471.77</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>% DE PARTICULAS CHATAS (Σ E/ΣD)= 4.718</b></p> <p><b>INDICE DE APLANAMIENTO(PARTICULAS ALARGADAS)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO DE AGREGADO</th> <th colspan="2">PESO EN GRAMOS</th> <th rowspan="2">% DE LAS CHATAS [C=(B/A)*100]</th> <th rowspan="2">PORCENTAJE PARCIAL (D)</th> <th rowspan="2">PROMEDIO CARAS FRACTURADAS E=C/D</th> </tr> <tr> <th>Pass tamiz</th> <th>Retenido en tamiz</th> <th>MUESTRA TOTAL (A)</th> <th>PARTICULAS CHATAS (B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>1"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>3/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>1948</td> <td>45</td> <td>2.3</td> <td>98.48</td> <td>227.50</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>30</td> <td>11</td> <td>36.7</td> <td>1.52</td> <td>55.61</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>1/4"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td></td> <td>1978</td> <td>56</td> <td></td> <td>100</td> <td>283.11</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>% DE PARTICULAS ALARGADAS (Σ E/ΣD)= 2.831</b></p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td><b>TOTAL=</b></td> <td><b>7.55</b></td> </tr> </table>							TAMAÑO DE AGREGADO		PESO EN GRAMOS		% DE LAS CHATAS [C=(B/A)*100]	PORCENTAJE PARCIAL (D)	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS E=C/D	Pass tamiz	Retenido en tamiz	MUESTRA TOTAL (A)	PARTICULAS CHATAS (B)	1 1/2"	1"						1"	3/4"						3/4"	1/2"	1369	58	4.2	97.86	414.58	1/2"	3/8"	30	8	26.7	2.14	57.18	3/8"	1/4"						TOTAL		1399	66		100	471.77	TAMAÑO DE AGREGADO		PESO EN GRAMOS		% DE LAS CHATAS [C=(B/A)*100]	PORCENTAJE PARCIAL (D)	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS E=C/D	Pass tamiz	Retenido en tamiz	MUESTRA TOTAL (A)	PARTICULAS CHATAS (B)	1 1/2"	1"						1"	3/4"						3/4"	1/2"	1948	45	2.3	98.48	227.50	1/2"	3/8"	30	11	36.7	1.52	55.61	3/8"	1/4"						TOTAL		1978	56		100	283.11	<b>TOTAL=</b>	<b>7.55</b>
TAMAÑO DE AGREGADO		PESO EN GRAMOS		% DE LAS CHATAS [C=(B/A)*100]	PORCENTAJE PARCIAL (D)	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS E=C/D																																																																																																												
Pass tamiz	Retenido en tamiz	MUESTRA TOTAL (A)	PARTICULAS CHATAS (B)																																																																																																															
1 1/2"	1"																																																																																																																	
1"	3/4"																																																																																																																	
3/4"	1/2"	1369	58	4.2	97.86	414.58																																																																																																												
1/2"	3/8"	30	8	26.7	2.14	57.18																																																																																																												
3/8"	1/4"																																																																																																																	
TOTAL		1399	66		100	471.77																																																																																																												
TAMAÑO DE AGREGADO		PESO EN GRAMOS		% DE LAS CHATAS [C=(B/A)*100]	PORCENTAJE PARCIAL (D)	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS E=C/D																																																																																																												
Pass tamiz	Retenido en tamiz	MUESTRA TOTAL (A)	PARTICULAS CHATAS (B)																																																																																																															
1 1/2"	1"																																																																																																																	
1"	3/4"																																																																																																																	
3/4"	1/2"	1948	45	2.3	98.48	227.50																																																																																																												
1/2"	3/8"	30	11	36.7	1.52	55.61																																																																																																												
3/8"	1/4"																																																																																																																	
TOTAL		1978	56		100	283.11																																																																																																												
<b>TOTAL=</b>	<b>7.55</b>																																																																																																																	
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																																																																																		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>																																																																																																												
																																																																																																																		
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elias Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco																																																																																																												
FECHA: 29/09/2023		FECHA: 29/09/2023		FECHA: 29/09/2023		FECHA: 29/09/2023																																																																																																												

<b>LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>							
<b>PROTOCOLO</b>							
<b>ENSAYO</b>		CARAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO					
<b>NORMA</b>		MTC E 210, ASTM D-5821					
<b>TESIS</b>		"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023"					
CANTERA:		"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."		TIPO DE MUESTRA		MEZCLAS ASFÁLTICAS	
UBICACIÓN:		CAJAMARCA		TIPO DE MATERIAL:		AGREGADO GRUESO	
FECHA DE MUESTRA:		28/06/2023		RESPONSABLE:		MALCA J. - QUISPE E.	
FECHA DE ENSAYO:		28/06/2023		REVISADO POR:		ING. LUIS HERRERA T.	
MUESTREO:							

**A. CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS**

TAMAÑO DE AGREGADO		MUESTRA TOTAL (A) (gr)	CARAS FRACTURADAS (B)gr	% CARAS FRACTURADAS $C=(B/A)*100$	PORCENTAJE PARCIAL	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS $E=CxD$
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2800.03	2350.00	83.928	56.00	47.0
1/2"	3/8"	2200.05	1780.00	80.907	44.00	35.6
		<b>5000.08</b>				<b>82.6</b>
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (SE/SD)						

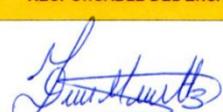
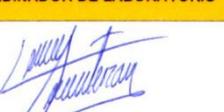
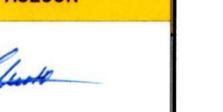
  

**B. CON UNA CARA FRACTURADA**

TAMAÑO DE AGREGADO		MUESTRA TOTAL (A) (gr)	CARAS FRACTURADAS (B)gr	% CARAS FRACTURADAS $C=(B/A)*100$	PORCENTAJE PARCIAL	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS $E=CxD$
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2910.04	2010.00	69.071	58.20	40.2
1/2"	3/8"	2090.03	1500.00	71.769	41.80	30.0
		<b>5000.07</b>				<b>70.2</b>
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS (SE/SD)						

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

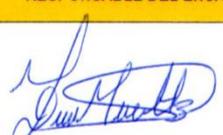
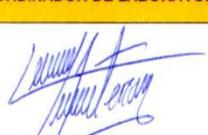
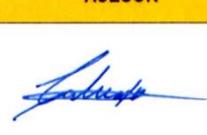
PROTOCOLO			
<b>ENSAYO</b>	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS		
<b>NORMA</b>	MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021		
<b>TESIS</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE MUESTRA	MEZCLAS ASFÁLTICAS
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO GRUESO
FECHA DE	14/06/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.
FECHA DE	14/06/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS						
ID	DESCRIPCIÓN	Und.	1	2	3	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra seca	gr.	2985.2	2992.4	2981	N.A.
B	Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	gr.	3031.5	3042.3	3027	N.A.
C	Peso sumergido en agua de la muestra saturada. (Utilizando canasta)	gr.	1859.8	1866.5	1850	N.A.
D	Peso específico aparente (Seco) $P. e. a(sec) = \frac{A}{B-C}$	gr./cm <sup>3</sup>	2.548	2.545	2.534	2.542
E	Peso específico aparente (SSS) $P. e. a(SSS) = \frac{B}{B-C}$	gr./cm <sup>3</sup>	2.587	2.587	2.573	2.583
F	Peso específico nominal (Seco) $P. e. a(SSS) = \frac{A}{A-C}$	gr./cm <sup>3</sup>	2.653	2.658	2.637	2.649
% DE ABSORCIÓN. [(A-D)/D]*100		%	1.55	1.67	1.55	<b>1.59</b>

N.A.: NO APLICA

OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

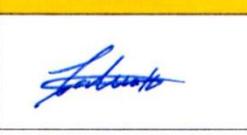
LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
<b>ENSAYO</b>	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS		
<b>NORMA</b>	MTC E205 / ASTM C128 / NTP 400.022		
<b>TESIS</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE MUESTRA:	MEZCLAS ASFÁLTICAS
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO FINO
FECHA DE MUESTRA:	16/06/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.
FECHA DE ENSAYO:	16/06/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS						
ID	DESCRIPCIÓN	Und.	1	2	3	RESULTADO
A	Peso al aire de la muestra desecada	gr.	475.5	474.1	476.3	N.A.
B	Peso del picnometro aforado lleno de agua	gr.	1257.5	1257.3	1257.6	N.A.
C	Peso total del picnometro aforado con la muestra y lleno de agua	gr.	1556.7	1556	1556.9	N.A.
S	Peso de la muestra Saturada Superficie Seca	gr.	500.00	500.00	500.00	N.A.
E	Peso específico aparente (Seco) $P.e.a(sec) = \frac{A}{B+S-C}$	gr./cm <sup>3</sup>	2.37	2.36	2.37	2.37
F	Peso específico aparente (SSS) $P.e.a(SSS) = \frac{S}{B+S-C}$	gr./cm <sup>3</sup>	2.49	2.48	2.49	2.49
G	Peso específico nominal (Seco) $P.e.n(sec) = \frac{A}{B+A-C}$	gr./cm <sup>3</sup>	2.70	2.70	2.69	2.70
H	Absorción $Abs(\%) = \frac{S-A}{A} \cdot 100\%$	(%)	5.15	5.46	4.98	5.20

N.A.: NO APLICA

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

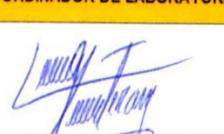
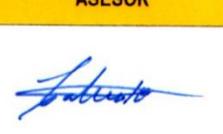
LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA					
PROTOCOLO					
ENSAYO	DURABILIDAD SULFATO DE MAGNESIO				
NORMA	MTC E209				
TESIS	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".				
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE CANTERA:	MEZCLAS ASFÁLTICAS		
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO GRUESO		
FECHA DE MUESTRA:	20/06/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.		
FECHA DE ENSAYO:	20/06/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.		
<b>ENSAYO DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO</b>					
TAMAÑO DE LOS TAMICES		GRADACION ORIGINAL %QUE RETIENE (A)	PESO DE LA FRACCION ENSAYADA (g) (B)	PERDIDA TOTAL % (C)	PERDIDA CORREGID A (D)
% PASA	% RETIENE				
1 1/2"	1"				
1"	3/4"	98.2	500	1.8	1.77
3/4"	1/2"	98.4	670	1.6	1.59
1/2"	3/8"	98.7	300	1.3	1.32
3/8"	Nº 4	98.7	300	1.3	1.32
TOTALES			1770		6.0
<p>B) Peso Opcionales de acuerdo el escalonada (A)</p> <p>D) % Pérdida corregidas = (C) x (A)/100</p> <p>E) Total de pérdida correspondientes a la suma de las Pérdidas parciales corregidas.</p>					
<b>OBSERVACIONES:</b>					
RESPONSABLE DEL ENSAYO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
					
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023		FECHA: 29/09/2023		FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>		
	<b>PROTOCOLO</b>		
	<b>ENSAYO</b>	ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA DEL AGREGADO FINO	
	<b>NORMA</b>	MTC E 114, ASTM D-2419	
<b>TESIS</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	MEZCLAS ASFÁLTICAS
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	AGREGADO FINO
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	23/06/2023	<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA J. - QUISPE E.
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	23/06/2023	<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS HERRERA T.

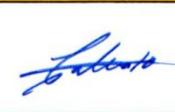
**AGREGADO FINO**

MUESTRA	1	2	3
Hora de entrada a saturación	8:10 PM	8:12 PM	8:13 PM
Hora de salida de saturación (más 10')	8:20 PM	8:22 PM	8:23 PM
Hora de entrada a decantación	8:23 PM	8:25 PM	8:25 PM
Hora de salida de decantación (más 20')	8:43 PM	8:45 PM	8:45 PM
Altura de nivel de material fino(A)	5	6.1	5.2
Altura de nivel de arena (B)	3.3	3.29	3
Equivalente de Arena (Bx100/A)	66.00	53.93	57.69
<b>PROMEDIO</b>	<b>59.21</b>		

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	LÍMITES DE CONSISTENCIA MALLA N° 200	
	NORMA	MTC E 111	
TESIS	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE MUESTRA:	MEZCLAS ASFÁLTICAS
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO FINO
FECHA DE MUESTRA:	01/09/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.
FECHA DE ENSAYO:	02/09/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.
MUESTREO:			
<b>Limite liquido</b>			
N° Tara	1	2	3
Peso de suelo humedo + tara (gr)	39.2	38.6	40.6
Peso de suelo seco + tara (gr.)	35.9	35.7	37.4
Peso de tara (gr.)	27.6	27.2	27.8
Peso de suelo seco (gr.)	8.3	8.5	9.6
Peso de agua (gr.)	3.3	2.9	3.2
Contenido de humedad (%)	39.76	34.12	33.33
N° DE GOLPES	20	19	20
<b>Limite plastico</b>			
N° Tara	4	5	
Peso de suelo humedo + tara (gr)	<b>N.P</b>		
Peso de suelo seco + tara (gr.)			
Peso de tara (gr.)			
Peso de suelo seco (gr.)			
Peso de agua (gr.)			
Contenido de humedad (%)			
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">LL= MATERIAL NO PLASTICO</div>			
<p>Nota: Si el Límite Líquido o el Límite Plástico no pudo ser determinado, en ese caso el Índice de Plasticidad se define como NP (No Plástico)</p>			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

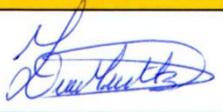
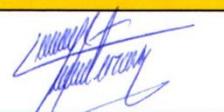
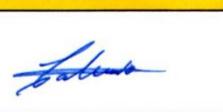
LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE				
	PROTOCOLO			
	ENSAYO	CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS		
	NORMA	MTC E219 / NTP 339.152		
	TESIS	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE CANTERA:	MEZCLAS ASFÁLTICAS	
UBICACIÓN	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO GRUESO	
FECHA DE MUESTRA:	08/08/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.	
FECHA DE ENSAYO:	08/08/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.	
MUESTREO:				
AGREGADO GRUESO				
	IDENTIFICACIÓN			Promedio
MUESTRA	1	2	3	
(1) peso de tarro (Biker 250ml.)	71.6	71.6	71.6	
(2) peso de tarro+agua+sal	166	169.2	158.4	
(3) peso de tarro seco+sal	71.8	71.9	71.7	
(4) peso de sal (3-1)	0.2	0.3	0.1	
(5) peso de agua (2-3)	94.2	97.3	86.7	
(6) porcentaje sal	0.04%	0.06%	0.02%	<b>0.04%</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>				
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR	
				
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco	
FECHA: 02/09/2023	FECHA: 02/09/2023	FECHA: 02/09/2023	FECHA: 02/09/2023	

LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE				
	PROTOCOLO			
	ENSAYO	CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS FINOS		
	NORMA	MTC E219 / NTP 339.152		
	TESIS	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE CANTERA:	MEZCLAS ASFÁLTICAS	
UBICACIÓN	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	AGREGADO FINO	
FECHA DE MUESTRA:	08/08/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.	
FECHA DE ENSAYO:	08/08/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.	
MUESTREO:				

### AGREGADO FINO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA		
			1	2	3
1	Recipiente	gr			
2	Peso (Biker 600ml.)	gr	72.2	72.2	72.2
3	Peso+Sal+Biker 600ml.	gr	72.3	72.4	72.5
4	Peso Sal (2-3)	gr	0.1	0.2	0.3
5	Peso de agregado	gr	100	100	100
6	Aforo de agua total Cc.	gr	300	300	300
7	Volumen de agua Utilizado Cc.	%	45	45	45
8	Sales Solubles $(1/((6*5)/4*6))*100$	%	0.1%	0.2%	0.3%
9	PROMEDIO SALES SOLUBLES	%	0.2%		

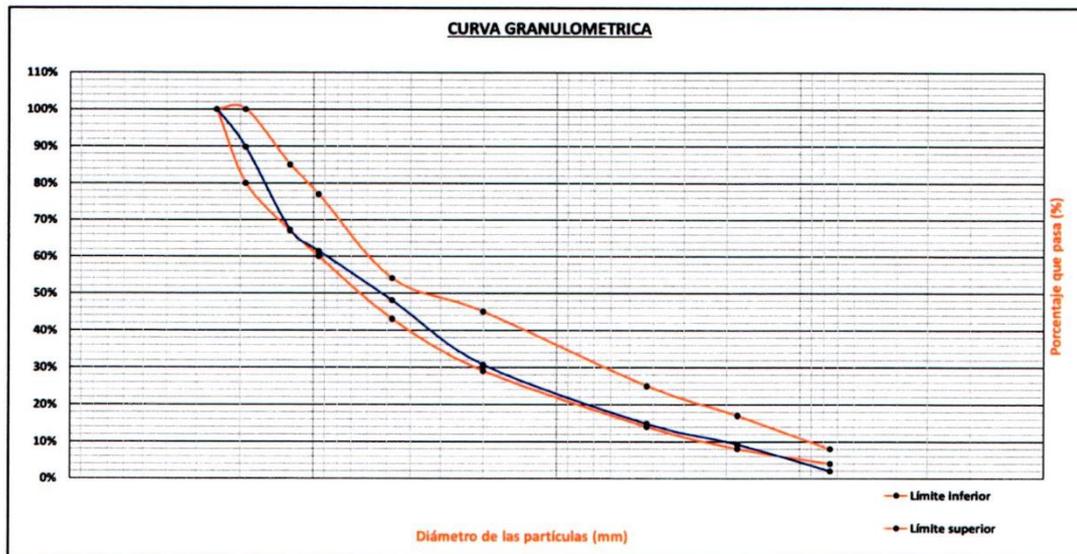
#### OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 02/09/2023	FECHA: 02/09/2023	FECHA: 02/09/2023	FECHA: 02/09/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
PROTOCOLO			
<b>ENSAYO:</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS		
<b>NORMA:</b>	MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012		
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
<b>CANtera:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>TM:</b>	1"
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>TMN:</b>	3/4"
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	26/07/2023	<b>GRAVA NATURAL:</b>	52%
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	26/07/2023	<b>ARENA NATURAL:</b>	48%
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.		

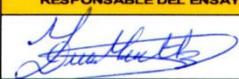
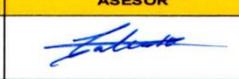
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

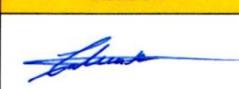
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	PORCENTA JE RETENIDO (%)	PORCEN TAJE RETENID O ACUMUL	PORCENTAJ E PASANTE ACUMULAD O (%)	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
	(pulg)	(mm)					Límite inferior	Límite superior
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00	0.00	100.00		
2	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	100.00		
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00		
4	1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
5	3/4"	19	511.50	10.23	10.23	89.77	80	100
6	1/2"	12.5	1128.80	22.58	32.81	67.19	67	85
7	3/8"	9.5	285.10	5.70	38.51	61.49	60	77
8	N° 4	4.75	673.00	13.46	51.97	48.03	43	54
9	N° 10	2	866.20	17.32	69.29	30.71	29	45
10	N° 40	0.425	794.50	15.89	85.18	14.82	14	25
11	N° 80	0.18	275.90	5.52	90.70	9.30	8	17
12	N° 200	0.075	365.20	7.30	98.00	2.00	4	8
9	Bandeja	---	99.80	2.00	100.00	0.00	2	
			5000.00	0.00				



#### OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Joel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL								
<b>NORMA:</b>	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559								
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".								
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."			<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)				
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA			<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)				
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	14/08/2023								
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	14/08/2023								
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.								
<b><u>INFORME ENSAYO MARSHALL</u></b>									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% PASA MATERIAL	100.00	89.77	67.19	61.49	48.03	30.71	14.82	9.30	2.00
ESPECIFICACIONES	100	80-100	67-85	60-77	43-54	29-45	14-25	8-17	4-8
N° BRIQUETA					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					4			
2	% Grava > N° 4 en peso de la mezcla					49.89			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					46.11			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					---			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.02			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc					2.56			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.48			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					---			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.59			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.49			
11	Altura promedio de la briqueta cm				6.90	6.73	6.73		
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1161.20	1145.37	1167.36		
13	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)= SSS				1168.70	1157.40	1175.50		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)= Canastilla				636.50	624.50	639.30		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				532.20	532.90	536.20		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.18	2.15	2.18	2.17	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (MTC E 508/ASTM D 2041)					2.34			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				6.7	8.1	6.9	7.20	3-5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.52			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.47			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					-0.82			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4)/100					4.79			
23	Relación Polvo/Asfalto					2.40		2.40	0.6-1.3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				16.03	17.28	16.21	16.51	MIN 14
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				58.42	53.37	57.63	56.47	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				2.50	2.60	2.65	2.58	8-14
27	Estabilidad sin corregir (Kg) según carta de calibración				796.79	800.82	816.97		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.93		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				764.92	768.79	759.78	764.49	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 10				3059.66	2956.88	2867.09	2961.21	1700-4000
31	Compactación, número de golpes por cara				75.00	75.00	75.00		
<b>OBSERVACIONES:</b>									
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>			
									
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elías Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco			
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023			

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL								
<b>NORMA:</b>	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559								
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".								
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."			<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)				
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA			<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)				
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	04/08/2023								
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	04/08/2023								
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.								
<b><u>INFORME ENSAYO MARSHALL</u></b>									
<b>TAMICES ASTM</b>	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
% PASA MATERIAL	100.00	89.77	67.19	61.49	48.03	30.71	14.82	9.30	2.00
ESPECIFICACIONES	100	80-100	67-85	60-77	43-54	29-45	14-25	8-17	4-8
<b>Nº BRIQUETA</b>					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					4.5			
2	% Grava > Nº 4 en peso de la mezcla					49.63			
3	% Arena < Nº4 en peso de la Mezcla					45.87			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					---			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.02			
6	Peso Especifico de la Grava > Nº4" (Bulk) gr/cc					2.56			
7	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Bulk) gr/cc					2.48			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					---			
9	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Aparente) gr/cc					2.59			
10	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Aparente) gr/cc					2.49			
11	Altura promedio de la briqueta cm				6.64	6.74	6.79		
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1157.70	1162.81	1163.16		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1166.20	1174.50	1176.10		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				638.40	637.20	638.90		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				527.80	537.30	537.20		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.19	2.16	2.17	2.17	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (MTC E 508/ASTM D 2041)					2.32			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				5.4	6.7	6.6	6.24	3-5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.52			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.47			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					-0.88			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4)/100					5.34			
23	Relación Polvo/Asfalto					2.68		2.68	0.6-1.3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				16.02	17.14	17.10	16.75	MIN 14
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				66.18	61.03	61.20	62.80	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				2.85	2.90	2.75	2.83	8-14
27	Estabilidad sin corregir (Kg) según carta de calibración				918.44	947.02	889.93		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.93	0.93		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				881.70	880.73	827.63	863.36	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				3093.69	3037.01	3009.58	3046.76	1700-4000
31	Compactación, número de golpes por cara				75.00	75.00	75.00		
<b>OBSERVACIONES:</b>									
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>			
									
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elias Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco			
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023			

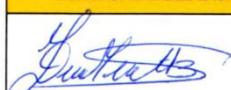
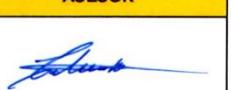
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
<b>PROTOCOLO</b>									
<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL								
<b>NORMA:</b>	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559								
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".								
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)						
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)						
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	14/08/2023								
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	14/08/2023								
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.								
<b><u>INFORME ENSAYO MARSHALL</u></b>									
<b>TAMICES ASTM</b>	1*	3/4*	1/2*	3/8*	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
% PASA MATERIAL	100.00	89.77	67.19	61.49	48.03	30.71	14.82	9.30	2.00
<b>ESPECIFICACIONES</b>	100	80-100	67-85	60-77	43-54	29-45	14-25	8-17	4-8
<b>Nº BRIQUETA</b>					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5			
2	% Grava > Nº 4 en peso de la mezcla					49.37			
3	% Arena < Nº4 en peso de la Mezcla					45.63			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					---			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.02			
6	Peso Especifico de la Grava > Nº4" (Bulk) gr/cc					2.56			
7	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Bulk) gr/cc					2.48			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					---			
9	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Aparente) gr/cc					2.59			
10	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Aparente) gr/cc					2.49			
11	Altura promedio de la briqueta cm				6.76	6.54	6.58		
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1162.90	1158.21	1152.95		
13	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)				1171.90	1163.60	1162.60		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				639.70	640.50	637.40		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				532.20	523.10	525.20		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.19	2.21	2.20	2.20	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (MTC E 508/ASTM D 2041)					2.31			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				5.4	4.2	5.0	4.84	3-5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.52			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.47			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					-0.76			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4)/100)					5.72			
23	Relación Polvo/Asfalto					2.86		2.86	0.6-1.3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				16.77	15.67	16.38	16.27	MIN 14
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				67.76	73.51	69.68	70.32	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				3.05	3.15	3.10	3.10	8-14
27	Estabilidad sin corregir (Kg) según carta de calibración				979.78	1062.12	1041.48		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				940.59	1019.63	999.82	986.68	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				3083.91	3236.93	3225.22	<b>3182.02</b>	1700-4000
31	Compactación, número de golpes por cara				75.00	75.00	75.00		
<b>OBSERVACIONES:</b>									
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>			
									
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elías Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco			
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023			

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
PROTOCOLO			
<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL		
<b>NORMA:</b>	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559		
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	15/08/2023		
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	15/08/2023		
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.		

**INFORME ENSAYO MARSHALL**

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
% PASA MATERIAL	100.00	89.77	67.19	61.49	48.03	30.71	14.82	9.30	2.00
ESPECIFICACIONES	100	80-100	67-85	60-77	43-54	29-45	14-25	8-17	4-8
Nº BRIQUETA					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.5			
2	% Grava > Nº 4 en peso de la mezcla					49.11			
3	% Arena < Nº4 en peso de la Mezcla					45.39			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					---			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.02			
6	Peso Especifico de la Grava > Nº4" (Bulk) gr/cc					2.56			
7	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Bulk) gr/cc					2.48			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					---			
9	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Aparente) gr/cc					2.59			
10	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Aparente) gr/cc					2.49			
11	Altura promedio de la briqueta cm				7.01	6.57	6.62		
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1234.20	1159.33	1167.90		
13	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)				1242.30	1167.90	1175.80		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				685.30	642.30	649.30		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				557.00	525.60	526.50		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.22	2.21	2.22	2.21	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (MTC E 508/ASTM D 2041)					2.30			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				3.7	4.1	3.6	3.77	3-5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.52			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.48			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					-0.65			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4)/100					6.11			
23	Relación Polvo/Asfalto					3.06		3.06	0.6-1.3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				16.04	16.42	15.95	16.14	MIN 14
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				77.18	75.04	77.71	76.64	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				3.15	3.25	3.20	3.20	8-14
27	Estabilidad sin corregir (Kg) según carta de calibración				1120.12	1074.52	1041.48		
28	Factor de estabilidad				0.89	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				996.90	1031.54	999.82	1009.42	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				3164.77	3173.97	3124.43	3154.39	1700-4000
31	Compactación, número de golpes por cara				75.00	75.00	75.00		

**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023

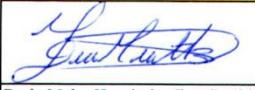
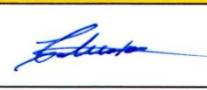
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
<b>ENSAYO:</b>		RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL							
<b>NORMA:</b>		MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559							
<b>TESIS:</b>		"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".							
<b>CANTERA:</b>		"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."			<b>Tipo muestra:</b>		Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)		
<b>UBICACIÓN:</b>		CAJAMARCA			<b>Descripción:</b>		Diseño MAC (Asfalto convencional)		
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>		15/08/2023			<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		15/08/2023		
<b>RESPONSABLE:</b>		MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.							

**INFORME ENSAYO MARSHALL**

TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% PASA MATERIAL	100.00	89.77	67.19	61.49	48.03	30.71	14.82	9.30	2.00
ESPECIFICACIONES	100	80-100	67-85	60-77	43-54	29-45	14-25	8-17	4-8
N° BRIQUETA					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					6			
2	% Grava > N° 4 en peso de la mezcla					48.85			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					45.15			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					---			
5	Peso Específico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.02			
6	Peso Específico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc					2.56			
7	Peso Específico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.48			
8	Peso Específico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					---			
9	Peso Específico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.59			
10	Peso Específico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.49			
11	Altura promedio de la briqueta cm				6.53	6.54	6.53		
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1162.10	1148.90	1156.19		
13	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)				1166.30	1157.30	1164.10		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				651.90	638.60	644.20		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				514.40	518.70	519.90		
16	Peso específico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.26	2.21	2.22	2.23	
17	Peso Específico Maximo - Rice (MTC E 508/ASTM D 2041)					2.28			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				0.9	2.9	2.5	2.08	3-5
19	Peso Específico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.52			
20	Peso Específico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.48			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					-0.75			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4)/100					6.70			
23	Relación Polvo/Asfalto					3.36		3.36	0.6-1.3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				14.85	16.51	16.18	15.85	MIN 14
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				93.84	82.73	84.78	87.11	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				3.25	3.35	3.30	3.30	8-14
27	Estabilidad sin corregir (Kg) según carta de calibración				1124.27	1082.80	1103.51		
28	Factor de estabilidad				1.00	1.00	1.00		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1124.27	1082.80	1103.51	1103.53	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				3459.30	3232.23	3343.98	3345.17	1700-4000
31	Compactación, número de golpes por cara				75.00	75.00	75.00		

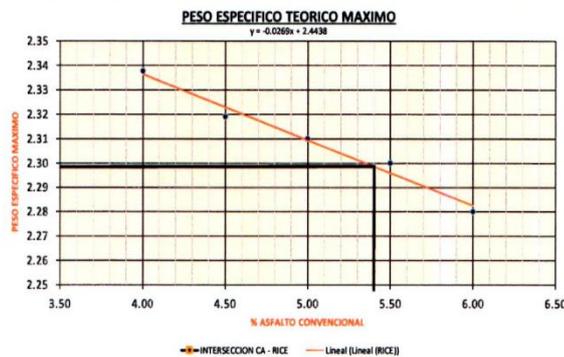
**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023

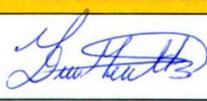
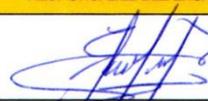
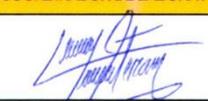
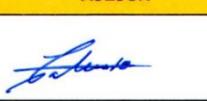
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>		
	<b>PROTOCOLO</b>		
	<b>ENSAYO:</b>	PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTOS	
	<b>NORMA:</b>	MTC E 508/ASTM D 2041/AASHTO T 209	
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	13/09/2023		
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	13/09/2023		
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.		

**PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS**

MUESTRA N°	01	02	03	04	05
1.- PESO DEL FRASCO	759.62	759.62	759.62	759.62	759.62
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	2694.77	2694.77	2694.77	2694.77	2694.77
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2170.75	2170.21	2136.10	2121.38	2139.17
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3395.75	3386.71	3416.51	3414.88	3380.97
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1225.00	1216.50	1280.41	1293.50	1241.80
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	524.02	524.56	558.67	573.39	555.60
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.34	2.32	2.31	2.30	2.28
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>4.00</b>	<b>4.50</b>	<b>5.00</b>	<b>5.50</b>	<b>6.00</b>



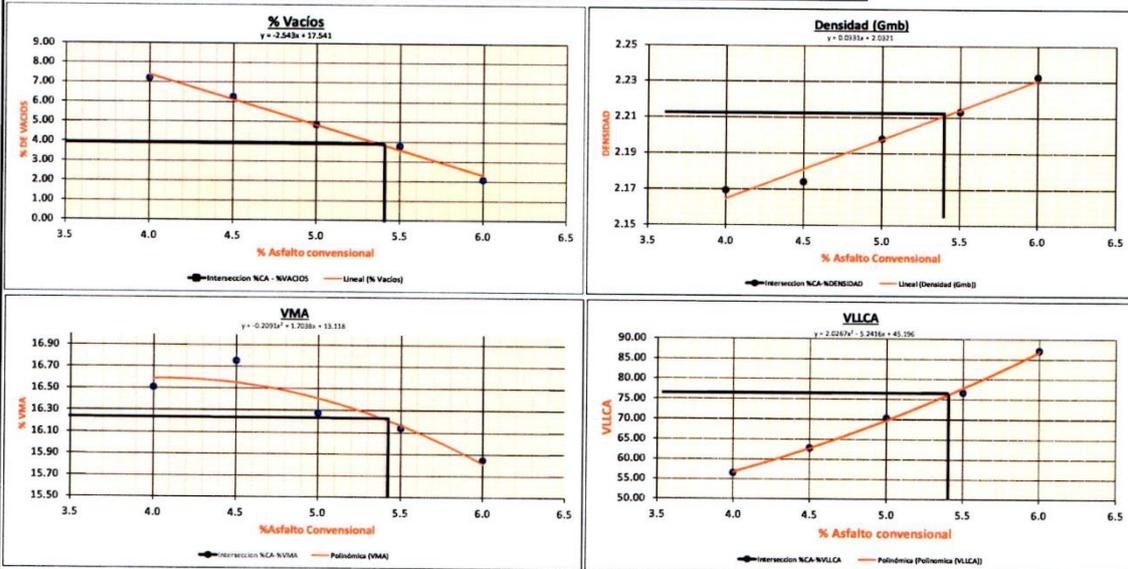
**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023

<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL		
<b>NORMA:</b>	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559		
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."		
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	03/09/2023	<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	03/09/2023		
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.		

**INFORME ENSAYO MARSHALL**

RESUMEN DE LA PROPOSICIONES					
% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
<b>P.U. BRIQUETA</b>	2.17	2.17	2.20	2.21	2.23
<b>VACIOS</b>	7.20	6.24	4.84	3.77	2.08
<b>V.M.A.</b>	16.51	16.75	16.27	16.14	15.85
<b>V.L.L.C.A.</b>	56.47	62.80	70.32	76.64	87.11
<b>POLVO / ASF.</b>	2.40	2.68	2.86	3.06	3.36
<b>FLUJO (mm)</b>	2.58	2.83	3.10	3.20	3.30
<b>ESTABILIDAD</b>	764.49	863.36	986.68	1009.42	1103.53
<b>ESTABILIDAD/FLUJO</b>	2961.21	3046.76	3182.02	3154.39	3345.17



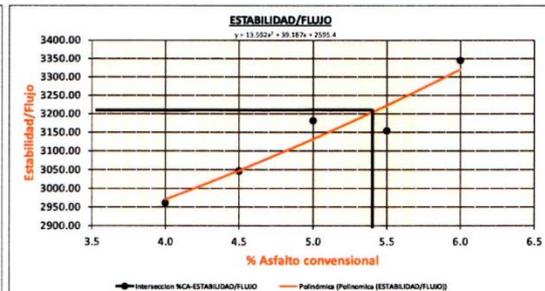
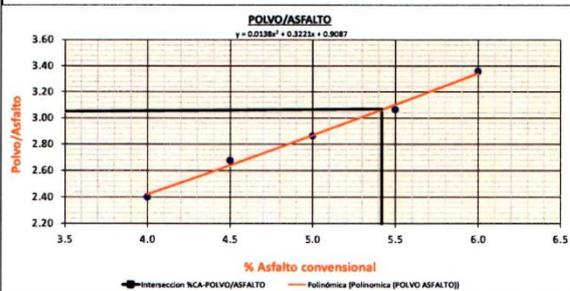
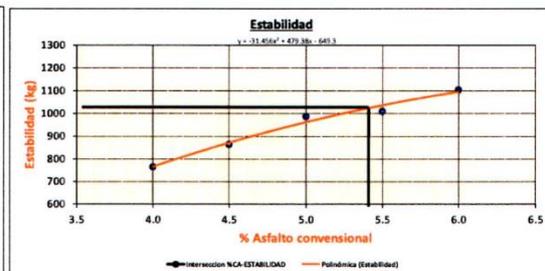
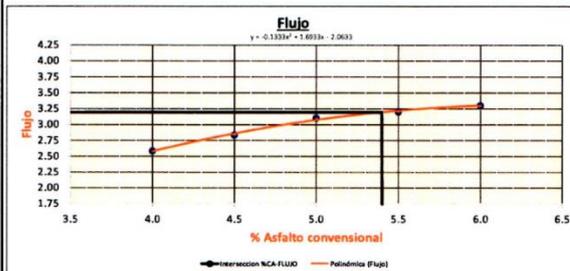
**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
PROTOCOLO			
ENSAYO:	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL		
NORMA:	MTC E504 - ASTM D6926 / ASTM D 1559		
TESIS:	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	Tipo muestra:	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	Descripción:	Diseño MAC (Asfalto convencional)
FECHA DE MUESTRA:	03/09/2023		
FECHA DE ENSAYO:	03/09/2023		
RESPONSABLE:	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.		

**INFORME ENSAYO MARSHALL**

RESUMEN DE LA PROPOSICIONES					
% C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
P.U. BRIQUETA	2.17	2.17	2.20	2.21	2.23
VACIOS	7.20	6.24	4.84	3.77	2.08
V.M.A.	16.51	16.75	16.27	16.14	15.85
V.L.L.C.A.	56.47	62.80	70.32	76.64	87.11
POLVO / ASF.	2.40	2.68	2.86	3.06	3.36
FLUJO (mm)	2.58	2.83	3.10	3.20	3.30
ESTABILIDAD	764.49	863.36	986.68	1009.42	1103.53
ESTABILIDAD/FLUJO	2961.21	3046.76	3182.02	3154.39	3345.17



**OBSERVACIONES:**

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023

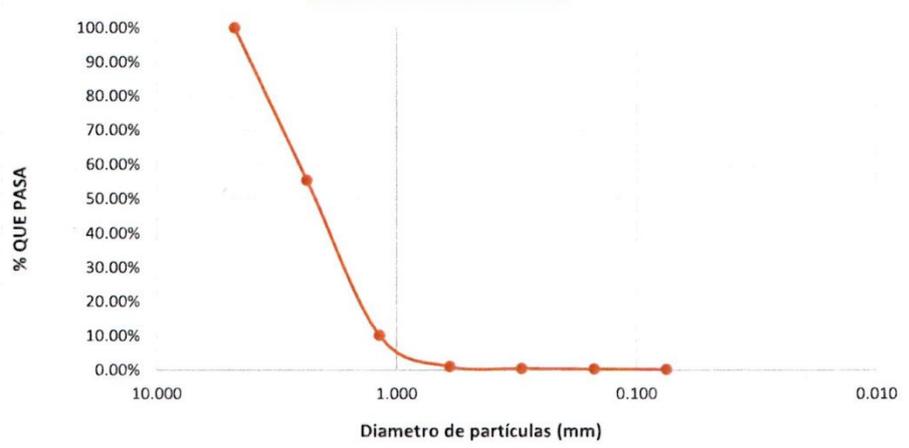
LABORATORIO DE CONCRETO - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	PROTOCOLO		
	ENSAYO	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE CAUCHO RECICLADO	
	NORMA	MTC E107 / ASTM D421	
	TESIS	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".	
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	TIPO DE CANTERA:	MEZCLAS ASFÁLTICAS
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	TIPO DE MATERIAL:	CAUCHO RECICLADO
FECHA DE MUESTRA:	24/09/2023	RESPONSABLE:	MALCA J. - QUISPE E.
FECHA DE ENSAYO:	24/09/2023	REVISADO POR:	ING. LUIS HERRERA T.

<b>PESO MUESTRA SECA, W<sub>s</sub></b>	gr				
<b>GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN SECO</b>					
Malla	Abertura (mm)	Masa Retenida (gr)	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que pasa
N° 04	4.750	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 08	2.360	223.23	44.65%	44.65%	55.35%
N° 16	1.180	226.26	45.25%	89.90%	10.10%
N° 30	0.600	45.68	9.14%	99.03%	0.97%
N° 50	0.300	2.65	0.53%	99.56%	0.44%
N° 100	0.150	0.80	0.16%	99.72%	0.28%
N° 200	0.075	0.76	0.15%	99.88%	0.12%
Cazoleta	0.000	0.62	0.12%	100.00%	
<b>Total</b>		500.00	100.00%		

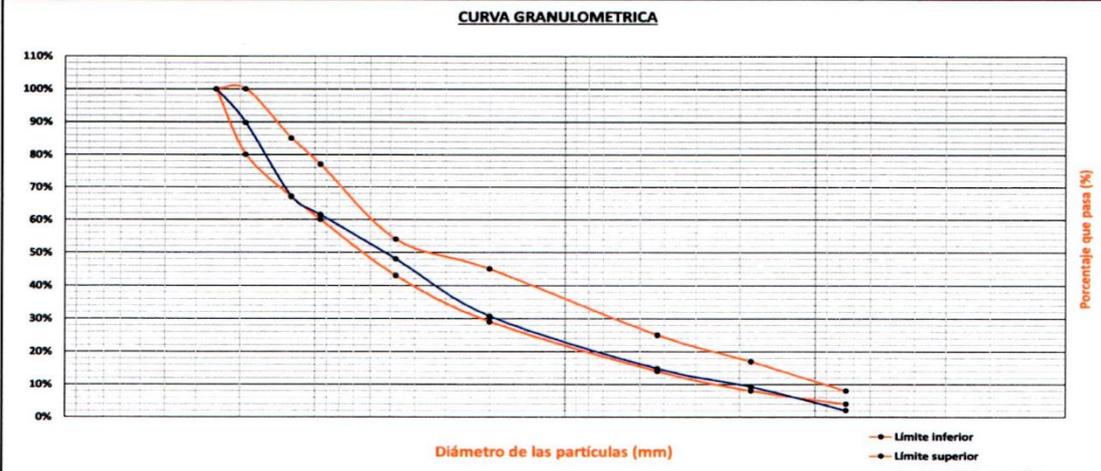
Curva Granulométrica



**OBSERVACIONES:**

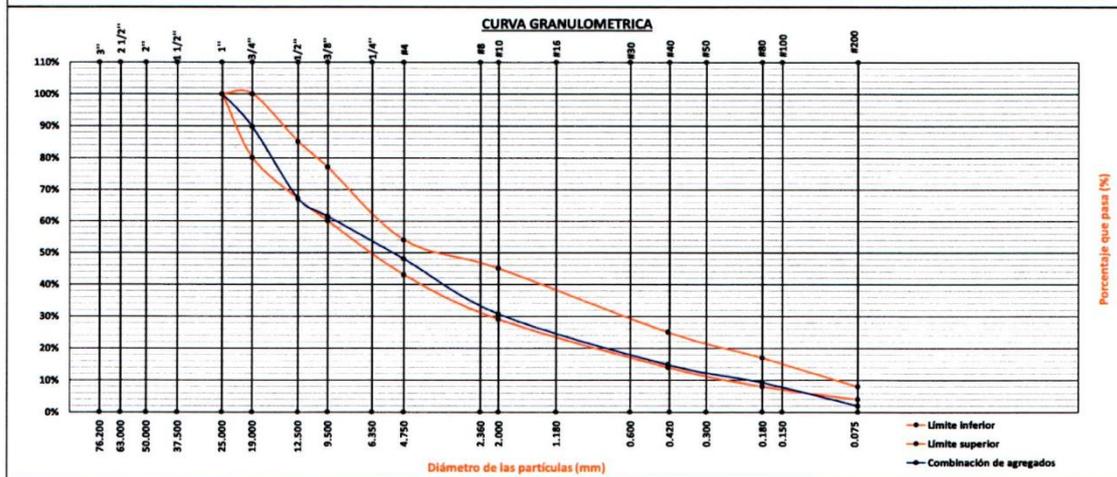
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023	FECHA: 29/09/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
<b>ENSAYO:</b>		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (COMBINACIÓN DE AGREGADOS ) PARA MEZCLA CON CAUCHO DE 0.5%							
<b>NORMA:</b>		MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012							
<b>TESIS:</b>		"RESISTENCIA A LA DEFORMACION DE MEZCLA ASFALTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".							
<b>CANTERA:</b>		"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."				<b>TM:</b>		1"	
<b>UBICACIÓN:</b>		CAJAMARCA				<b>TMN:</b>		3/4"	
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>		25/09/2023				<b>GRAVA:</b>		52%	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		27/09/2023				<b>ARENA:</b>		48%	
<b>RESPONSABLE:</b>		MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.							
<b>REVISADO POR:</b>		ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO									
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	CAUCHO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
	(pulg)	(mm)						Límite inferior	Límite superior
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
4	1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
5	3/4"	19	511.50	0.00	10.23	10.23	89.77	80	100
6	1/2"	12.5	1128.80	0.00	22.58	32.81	67.19	67	85
7	3/8"	9.5	285.10	0.00	5.70	38.51	61.49	60	77
8	N° 4	4.75	673.00	0.00	13.46	51.97	48.03	43	54
9	N° 10	2	860.19	6.01	17.32	69.29	30.71	29	45
10	N° 40	0.425	788.50	6.00	15.89	85.18	14.82	14	25
11	N° 80	0.18	275.90		5.52	90.70	9.30	8	17
12	N° 200	0.075	365.20		7.30	98.00	2.00	4	8
9	Bandeja	---	99.80		2.00	100.00	0.00	2	
			4987.99	12.01	12.01				
TOTAL=			5000.00						
CURVA GRANULOMETRICA									
									
<b>OBSERVACIONES:</b>									
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>			
									
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elías Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco			
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023			

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
PROTOCOLO			
<b>ENSAYO:</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (COMBINACIÓN DE AGREGADOS ) PARA MEZCLA CON CAUCHO DE 1.5%		
<b>NORMA:</b>	MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012		
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>TM:</b>	1"
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>TMN:</b>	3/4"
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	25/09/2023	<b>GRAVA NATURAL:</b>	52%
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	27/09/2023	<b>ARENA NATURAL:</b>	48%
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.		
<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN		

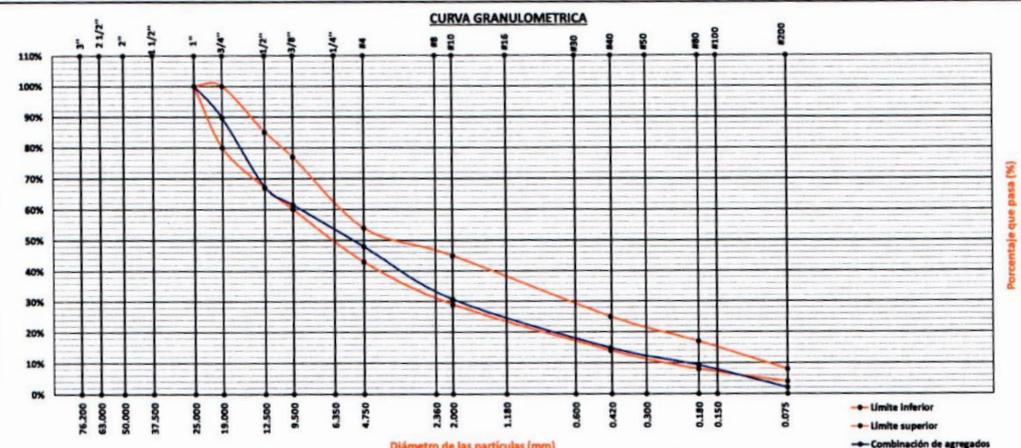
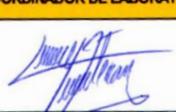
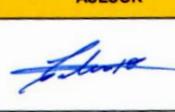
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

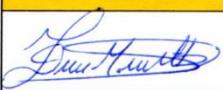
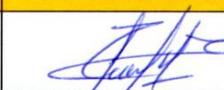
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	CAUCHO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO (%)	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
	(pulg)	(mm)						Límite inferior	Límite superior
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
4	1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
5	3/4"	19	511.50	0.00	10.23	10.23	89.77	80	100
6	1/2"	12.5	1128.80	0.00	22.58	32.81	67.19	67	85
7	3/8"	9.5	285.10	0.00	5.70	38.51	61.49	60	77
8	N° 4	4.75	673.00	0.00	13.46	51.97	48.03	43	54
9	N° 10	2	847.18	19.02	17.32	69.29	30.71	29	45
10	N° 40	0.425	777.50	17.00	15.89	85.18	14.82	14	25
11	N° 80	0.18	275.90	0.00	5.52	90.70	9.30	8	17
12	N° 200	0.075	365.20	0.00	7.30	98.00	2.00	4	8
9	Bandeja	---	99.80	0.00	2.00	100.00	0.00	2	
			4963.98	36.02					
<b>TOTAL=</b>			<b>5000.00</b>						

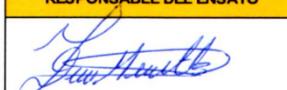
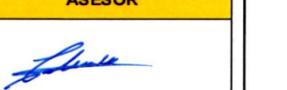


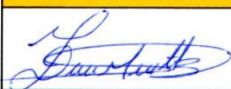
#### OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023

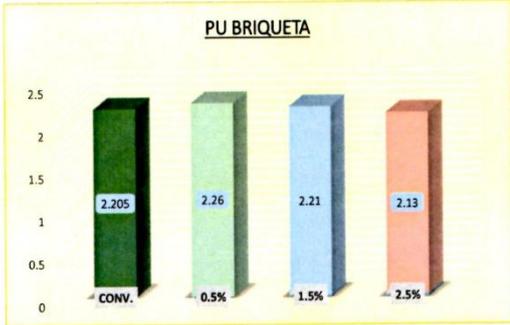
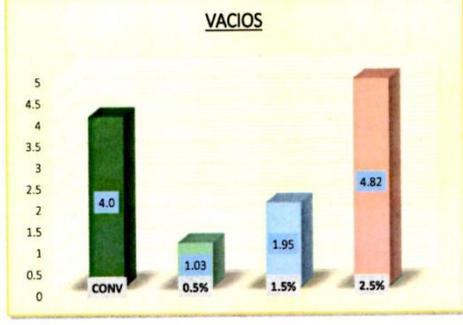
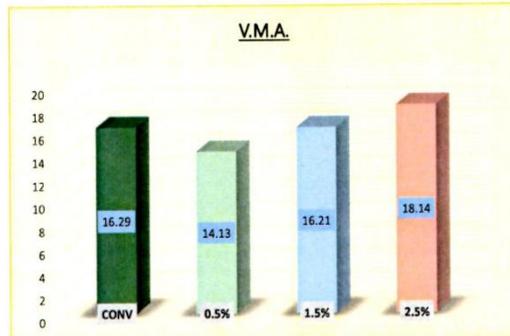
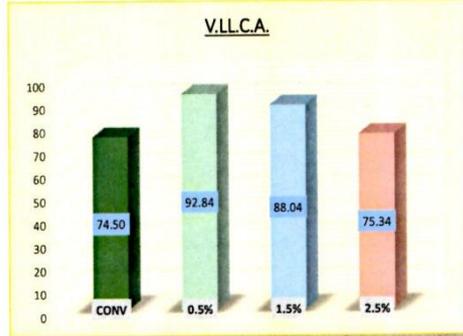
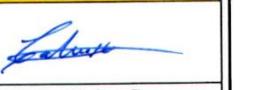
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
<b>ENSAYO:</b>	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (COMBINACIÓN DE AGREGADOS) PARA MEZCLA CON CAUCHO DE 2.5%								
<b>NORMA:</b>	MTC E204 – ASTM C136 – NTP 400.012								
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".								
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."						<b>TM:</b>	1"	
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA						<b>TMN:</b>	3/4"	
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	25/09/2023						<b>GRAVA NATURAL:</b>	52%	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	27/09/2023						<b>ARENA NATURAL:</b>	48%	
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.								
<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN								
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO									
N°	TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	CAUCHO (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE PASANTE ACUMULADO (%)	GRADACIÓN MAC-1 (DG-2013)	
	(pulg)	(mm)						Límite inferior	Límite superior
1	2 1/2"	51.35	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
2	2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
3	1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00		
4	1"	25	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
5	3/4"	19	511.50	0.00	10.23	10.23	89.77	80	100
6	1/2"	12.5	1128.80	0.00	22.58	32.81	67.19	67	85
7	3/8"	9.5	285.10	0.00	5.70	38.51	61.49	60	77
8	N° 4	4.75	673.00	0.00	13.46	51.97	48.03	43	54
9	N° 10	2	834.16	32.04	17.32	69.29	30.71	29	45
10	N° 40	0.425	766.50	28.00	15.89	85.18	14.82	14	25
11	N° 80	0.18	275.90	0.00	5.52	90.70	9.30	8	17
12	N° 200	0.075	365.20	0.00	7.30	98.00	2.00	4	8
9	Bandeja	---	99.80	0.00	2.00	100.00	0.00	2	
			4939.96	60.04	60.04				
TOTAL=			5000.00						
CURVA GRANULOMETRICA									
									
<b>OBSERVACIONES:</b>									
RESPONSABLE DEL ENSAYO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO		ASESOR			
									
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elías Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco			
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023			

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE										
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	PROTOCOLO									
	<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL								
	<b>NORMA:</b>	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559								
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".									
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."			<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)					
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA			<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)					
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	30/09/2023									
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	30/09/2023									
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.									
<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN									
<b>INFORME ENSAYO MARSHALL</b>										
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200	
% PASA MATERIAL	100.00	89.77	67.19	61.49	48.03	30.71	14.82	9.30	2.00	
ESPECIFICACIONES	100	80-100	67-85	60-77	43-54	29-45	14-25	8-17	4-8	
Nº BRIQUETA					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.	
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.4				
2	% Grava > Nº 4 en peso de la mezcla					49.16				
3	% Arena < Nº4 en peso de la Mezcla					45.44				
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					---				
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.02				
6	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Bulk) gr/cc					2.56				
7	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Bulk) gr/cc					2.48				
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					---				
9	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Aparente) gr/cc					2.59				
10	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Aparente) gr/cc					2.49				
11	Altura promedio de la briqueta cm				6.56	6.53	6.63			
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1171.99	1159.43	1138.58			
13	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)= SSS				1179.02	1169.18	1145.05			
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)= Canastilla				665.00	654.70	640.80			
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				514.02	514.48	504.25			
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.28	2.25	2.26	2.26		
17	Peso Especifico Maximo - Rice (MTC E 508/ASTM D 2041)					2.29				
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				0.3	1.5	1.3	1.03	3-5	
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)					2.52				
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.46				
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					-0.97				
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4)/100					6.32				
23	Relación Polvo/Asfalto					3.16		3.16	0.6-1.3	
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				13.52	14.52	14.35	14.13	MIN 14	
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				97.63	89.83	91.05	92.84		
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				5.16	4.20	3.90	4.42	8-14	
27	Estabilidad sin corregir (Kg) según carta de calibración				1145.07	938.85	1020.87			
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.93			
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1099.26	901.29	949.41	983.32	MIN 815	
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 10				2130.36	2145.94	2434.39	<b>2236.90</b>	1700-4000	
31	Compactación, número de golpes por cara				75.00	75.00	75.00			
<b>OBSERVACIONES:</b>										
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>				
										
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elias Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco				
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023				

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
<b>ENSAYO:</b>	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL								
<b>NORMA:</b>	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559								
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".								
<b>CANtera:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L"				<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)			
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA				<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)			
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	30/09/2023								
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	30/09/2023								
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.								
<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN								
<b><u>INFORME ENSAYO MARSHALL</u></b>									
<b>TAMICES ASTM</b>	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
<b>% PASA MATERIAL</b>	100.00	89.77	67.19	61.49	48.03	30.71	14.82	9.30	2.00
<b>ESPECIFICACIONES</b>	100	80-100	67-85	60-77	43-54	29-45	14-25	8-17	4-8
<b>Nº BRIQUETA</b>					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.4			
2	% Grava > Nº 4 en peso de la mezcla					49.16			
3	% Arena < Nº4 en peso de la Mezcla					45.44			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					---			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.02			
6	Peso Especifico de la Grava > Nº4" (Bulk) gr/cc					2.56			
7	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Bulk) gr/cc					2.48			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					---			
9	Peso Especifico de la Grava > Nº4 (Aparente) gr/cc					2.59			
10	Peso Especifico de la Arena < Nº4 (Aparente) gr/cc					2.49			
11	Altura promedio de la briqueta cm				6.53	6.62	6.74		
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1157.49	1154.61	1160.27		
13	Peso de la briqueta al agua por 60' (gr)				1160.84	1161.19	1168.14		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				639.70	636.40	642.20		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				521.14	524.79	525.94		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.22	2.20	2.21	2.21	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (MTC E 508/ASTM D 2041)					2.25			
18	% de Vacios = (17-16)x100/17 (ASTM D 3203)				1.4	2.3	2.1	1.95	3-5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = (2+3+4)/(2+6+3/7+4/8)					2.52			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = (2+3+4)/((100/17-1/5)					2.42			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = (100 x 5 x (20-19))/(19 x 20)					-1.69			
22	% de Asfalto Efectivo = 1-(21x(2+3+4)/100					7.00			
23	Relación Polvo/Asfalto					3.51		3.51	0.6-1.3
24	V.M.A. = 100-(2+3+4+5)x(16/19)				15.75	16.55	16.32	16.21	MIN 14
25	% Vacios llenos con C.A. = 100x(24-18)/24				91.02	85.84	87.26	88.04	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				5.45	4.74	3.20	4.46	8-14
27	Estabilidad sin corregir (Kg) según carta de calibración				918.44	1875.01	979.78		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.93	0.93		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				881.70	1743.76	911.20	1178.89	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo = (29/26) x 100				1617.80	3678.81	2847.50	2714.70	1700-4000
31	Compactación, número de golpes por cara				75.00	75.00	75.00		
<b>OBSERVACIONES:</b>									
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>ASESOR</b>			
									
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elías Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco			
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023			

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE									
PROTOCOLO									
ENSAYO:	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL								
NORMA:	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559								
TESIS:	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".								
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."			Tipo muestra:	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)				
UBICACIÓN:	CAJAMARCA			Descripción:	Diseño MAC (Asfalto convencional)				
FECHA DE MUESTRA:	30/09/2023								
FECHA DE ENSAYO:	30/09/2023								
RESPONSABLE:	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.								
REVISADO POR:	ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN								
<b>INFORME ENSAYO MARSHALL</b>									
TAMICES ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 80	N° 200
% PASA MATERIAL	100.00	89.77	67.19	61.49	48.03	30.71	14.82	9.30	2.00
ESPECIFICACIONES	100	80-100	67-85	60-77	43-54	29-45	14-25	8-17	4-8
N° BRIQUETA					1	2	3	PROMEDIO	ESPECIF.
1	% C.A. en Peso de la Mezcla					5.4			
2	% Grava > N° 4 en peso de la mezcla					49.16			
3	% Arena < N°4 en peso de la Mezcla					45.44			
4	% Cemento portland en peso de la Mezcla					---			
5	Peso Especifico Aparente del C.A.(Aparente) gr/cc					1.02			
6	Peso Especifico de la Grava > N°4" (Bulk) gr/cc					2.56			
7	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Bulk) gr/cc					2.48			
8	Peso Especifico del Cemento Portland (Aparente) gr/cc					---			
9	Peso Especifico de la Grava > N°4 (Aparente) gr/cc					2.59			
10	Peso Especifico de la Arena < N°4 (Aparente) gr/cc					2.49			
11	Altura promedio de la briqueta cm				6.85	6.83	6.70		
12	Peso de la briqueta al aire (gr)				1149.98	1151.28	1155.14		
13	Peso de la briqueta al agua por 60'(gr)				1159.13	1162.58	1159.56		
14	Peso de la briqueta desplazada (gr)				613.30	617.00	624.30		
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento (cc) = (13-14)				545.83	545.58	535.26		
16	Peso especifico Bulk de la Briqueta = (12/15)				2.11	2.11	2.16	2.13	
17	Peso Especifico Maximo - Rice (MTC E 508/ASTM D 2041)					2.23			
18	% de Vacios = $(17-16) \times 100 / 17$ (ASTM D 3203)				5.6	5.5	3.3	4.82	3-5
19	Peso Especifico Bulk Agregado Total = $(2+3+4)/(2/6+3/7+4/8)$					2.52			
20	Peso Especifico Efectivo Agregado total = $(2+3+4)/((100/17-1/5)$					2.40			
21	Asfalto Absorbido por el Agregado = $(100 \times 5 \times (20-19))/(19 \times 20)$					-2.12			
22	% de Asfalto Efectivo = $1-(21 \times (2+3+4)/100)$					7.41			
23	Relación Polvo/Asfalto					3.71		3.71	0.6-1.3
24	V.M.A. = $100-(2+3+4+5) \times (16/19)$				20.09	19.96	18.14	19.40	MIN 14
25	% Vacios llenos con C.A. = $100 \times (24-18)/24$				71.93	72.50	81.57	75.34	
26	Flujo 0,01"(0,25 mm)				3.50	3.45	3.55	3.50	8-14
27	Estabilidad sin corregir (Kg) según carta de calibración				1082.80	1165.90	1291.71		
28	Factor de estabilidad				0.96	0.96	0.96		
29	Estabilidad Corregida 27 * 28				1039.48	1119.26	1240.04	1132.93	MIN 815
30	Estabilidad / Flujo = $(29/26) \times 100$				2969.96	3244.24	3493.07	3235.76	1700-4000
31	Compactación, número de golpes por cara				75.00	75.00	75.00		
<b>OBSERVACIONES:</b>									
RESPONSABLE DEL ENSAYO		RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO		ASESOR			
									
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis		Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel		Ing. Luis Elías Herrera Terán		Ing. Carlos Calua Carrasco			
FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023		FECHA: 06/10/2023			

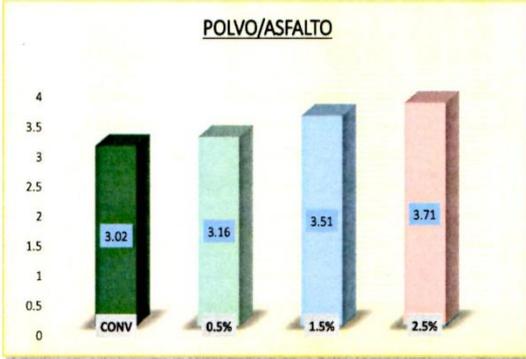
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
PROTOCOLO			
<b>ENSAYO:</b>	PESO ESPECIFICO TEORICO MAXIMO DE MEZCLAS ASFALTICAS PARA PAVIMENTOS		
<b>NORMA:</b>	MTC E 508/ASTM D 2041/AASHTO T 209		
<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".		
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto conve
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	25/09/2023		
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	25/09/2023		
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.		
<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN		
<b><u>PESO ESPECÍFICO TEÓRICO MÁXIMO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS</u></b>			
	<b>0.5</b>	<b>1.5</b>	<b>2.5</b>
<b>MUESTRA N°</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>
1.- PESO DEL FRASCO	757.54	757.54	757.54
2.- PESO DEL FRASCO + AGUA+ VIDRIO	2716.92	2716.92	2716.92
3.- DIFERENCIA DEL PESO ( 04 ) - ( 05 )	2209.00	2186.19	2183.18
4.- PESO DEL FRASCO + MUESTRA + AGUA	3370.80	3381.89	3374.88
5.- PESO NETO DE LA MUESTRA	1161.80	1195.70	1191.70
6.- AGUA DESPLAZADA ( 2 ) - ( 3 )	507.92	530.73	533.74
PESO ESPECIFICO MAXIMO DE LA MUESTRA ( 5 ) / ( 6 )	2.29	2.25	2.23
<b>CONTENIDO % C.A.</b>	<b>5.40</b>	<b>5.40</b>	<b>5.40</b>
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
			
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 06/10/2023	FECHA 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE																																																					
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>ENSAYO:</b>	<b>CUADROS COMPARATIVOS</b>																																																			
	<b>NORMA:</b>	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559																																																			
	<b>TESIS:</b>	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".																																																			
<b>CANTERA:</b>	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	<b>Tipo muestra:</b>	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)																																																		
<b>UBICACIÓN:</b>	CAJAMARCA	<b>Descripción:</b>	Diseño MAC (Asfalto convencional)																																																		
<b>FECHA DE MUESTRA:</b>	30/09/2023																																																				
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>	30/09/2023																																																				
<b>RESPONSABLE:</b>	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.																																																				
<b>REVISADO POR:</b>	ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN																																																				
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="5">RESUMEN DE LAS PROPOSICIONES</th> </tr> <tr> <th>% C.A.</th> <th>CONV.</th> <th>0.5%</th> <th>1.5%</th> <th>2.5%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>P.U. BRIQUETA</b></td> <td>2.205</td> <td>2.26</td> <td>2.21</td> <td>2.13</td> </tr> <tr> <td><b>VACIOS</b></td> <td>4.0</td> <td>1.03</td> <td>1.95</td> <td>4.82</td> </tr> <tr> <td><b>V.M.A.</b></td> <td>16.29</td> <td>14.13</td> <td>16.21</td> <td>18.14</td> </tr> <tr> <td><b>V.LL.C.A.</b></td> <td>74.50</td> <td>92.84</td> <td>88.04</td> <td>75.34</td> </tr> <tr> <td><b>POLVO / ASF.</b></td> <td>3.02</td> <td>3.16</td> <td>3.51</td> <td>3.71</td> </tr> <tr> <td><b>FLUJO</b></td> <td>12.40</td> <td>17.40</td> <td>17.57</td> <td>13.78</td> </tr> <tr> <td><b>ESTABILIDAD</b></td> <td>1020.00</td> <td>983.32</td> <td>1178.89</td> <td>1132.93</td> </tr> <tr> <td><b>ESTABILIDAD/FLUJO</b></td> <td>3238.10</td> <td>2236.90</td> <td>2714.70</td> <td>3235.76</td> </tr> </tbody> </table>				RESUMEN DE LAS PROPOSICIONES					% C.A.	CONV.	0.5%	1.5%	2.5%	<b>P.U. BRIQUETA</b>	2.205	2.26	2.21	2.13	<b>VACIOS</b>	4.0	1.03	1.95	4.82	<b>V.M.A.</b>	16.29	14.13	16.21	18.14	<b>V.LL.C.A.</b>	74.50	92.84	88.04	75.34	<b>POLVO / ASF.</b>	3.02	3.16	3.51	3.71	<b>FLUJO</b>	12.40	17.40	17.57	13.78	<b>ESTABILIDAD</b>	1020.00	983.32	1178.89	1132.93	<b>ESTABILIDAD/FLUJO</b>	3238.10	2236.90	2714.70	3235.76
RESUMEN DE LAS PROPOSICIONES																																																					
% C.A.	CONV.	0.5%	1.5%	2.5%																																																	
<b>P.U. BRIQUETA</b>	2.205	2.26	2.21	2.13																																																	
<b>VACIOS</b>	4.0	1.03	1.95	4.82																																																	
<b>V.M.A.</b>	16.29	14.13	16.21	18.14																																																	
<b>V.LL.C.A.</b>	74.50	92.84	88.04	75.34																																																	
<b>POLVO / ASF.</b>	3.02	3.16	3.51	3.71																																																	
<b>FLUJO</b>	12.40	17.40	17.57	13.78																																																	
<b>ESTABILIDAD</b>	1020.00	983.32	1178.89	1132.93																																																	
<b>ESTABILIDAD/FLUJO</b>	3238.10	2236.90	2714.70	3235.76																																																	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>PU BRIQUETA</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>VACIOS</b></p>  </div> </div>																																																					
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>V.M.A.</b></p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>V.LL.C.A.</b></p>  </div> </div>																																																					
<b>OBSERVACIONES:</b>																																																					
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>																																																		
																																																					
Bach. Malca Hernández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elías Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco																																																		
FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023																																																		

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	ENSAYO:	CUADROS COMPARATIVOS	
	NORMA:	MTC E504 – ASTM D6926 / ASTM D 1559	
	TESIS:	"RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA REEMPLAZANDO EL 0.5%, 1.5%, Y 2.5% DEL AGREGADO FINO POR RESIDUOS DE CAUCHO, CAJAMARCA 2023".	
CANTERA:	"BAZAN CONTRATISTAS GENERALES S.R.L."	Tipo muestra:	Mezcla Asfáltica en caliente (MAC)
UBICACIÓN:	CAJAMARCA	Descripción:	Diseño MAC (Asfalto convencional)
FECHA DE MUESTRA:	30/09/2023		
FECHA DE ENSAYO:	30/09/2023		
RESPONSABLE:	MALCA H. JHAN Y QUISPE F. ERICK.		
REVISADO POR:	ING. LUIS ELIAS HERRERA TERÁN		

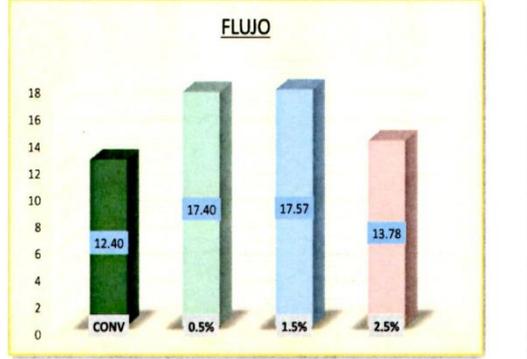
  

**POLVO/ASFALTO**



Condición	Valor
CONV	3.02
0.5%	3.16
1.5%	3.51
2.5%	3.71

**FLUJO**



Condición	Valor
CONV	12.40
0.5%	17.40
1.5%	17.57
2.5%	13.78

**ESTABILIDAD**



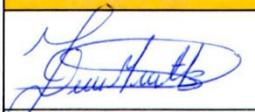
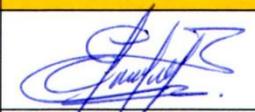
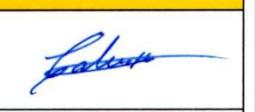
Condición	Valor
CONV	1020.00
0.5%	983.32
1.5%	1178.89
2.5%	1132.93

**ESTABILIDAD/FLUJO**



Condición	Valor
CONV	3238.10
0.5%	2236.90
1.5%	2714.70
2.5%	3235.76

OBSERVACIONES:			
RESPONSABLE DEL ENSAYO	RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
			
Bach. Malca Hemández Jhan Deybis	Bach. Quispe Fernández Erick Jhoel	Ing. Luis Elias Herrera Terán	Ing. Carlos Calua Carrasco
FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023	FECHA: 06/10/2023