



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA  
Y URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
CIVIL**

**TESIS**

**“ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN  
FRÍO ALMACENABLE PARA LA REPARACIÓN DE  
PAVIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE  
LAMBAYEQUE, 2017”**

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

**Br. Chilcon Carrera, Juan Carlos  
Br. Ramírez Gálvez, Kelvin Reinerio**

**Asesora:**

**Dra. Sotomayor Nunura, Gioconda del Socorro**

**Línea de Investigación:**

**Ingeniería de Procesos  
Ingeniería Vial y de Transportes**

**Pimentel - Perú**

**2018**

**TÍTULO DE TESIS**

**ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO ALMACENABLE  
PARA LA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS EN EL DEPARTAMENTO DE  
LAMBAYEQUE, 2017**

**APROBACIÓN DE LA TESIS**

---

Dra. Sotomayor Nunura, Gioconda del Socorro  
**Asesora Metodológica**

---

Dr. Coronado Zuloeta, Omar  
**Presidente del Jurado de Tesis**

---

Ing. Ruiz Saavedra, Nepton David  
**Secretario del Jurado de Tesis**

---

MSc. Ballena del Rio, Pedro Manuel  
**Vocal del Jurado de Tesis**

## DEDICATORIA

A **Dios**, por permitirme en llegar a unos de mis metas soñadas tan importante en mi formación profesional y de darme fortaleza en cada momento de mi vida cotidiana. A **mis padres queridos**, Estanislada Carrera Cruz de Chilcon y Juan Aurelio Chilcon Ramírez por brindarme su amor y apoyo incondicional durante toda esta travesía, enseñándome buenos valores, hábitos y sus consejos que día a día los escucho que me han servido de mucho para guiarme en culminar mi carrera profesional. A **mis hermanos (a)**, Sandra y Luis que son mi motivación diaria y que siempre están conmigo en todo momento brindándome su apoyo. A **mi tío (a) en especial**, Hermogenes y Digna Emérita por su gran compañía, acogida y amor que tanto me brindan para ser un profesional. A **mi familia y mis amigos** que de una forma mis tías (os) me apoyaron, con lo que tenían en su alcance para verme llegar a ser un profesional y que a la vez han sido mi apoyo anímico en todos los momentos. A **los ingenieros**, que han tenido el esfuerzo de enseñarnos y educarnos de la mejor manera posible para la vida profesional.

**Juan Carlos**

A **Dios** por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y haber puesto en mi camino a personas maravillosas que son mi fortaleza y compañía en todo momento. A **mi madre, Florentina Gálvez Olivera**, por ser el amor más puro y sincero del mundo, a ella que siempre estuvo allí enseñándome a ser mejor persona y guiándome por el buen camino, por sus consejos y la motivación que pone cada día para poder cumplir todas mis metas. A **mi padre, Reinerio Ramírez Rojas**, por ser la persona que me inspiró y motivo a tomar la decisión de estudiar esta carrera, por su constante apoyo a lo largo de mi vida, por la dedicación y cariño que pone cada día para salir adelante. A **mi hermana, Merly**, quien con su cariño y apoyo incondicional me motiva a seguir adelante y a luchar por lo que me propongo. A **mi sobrino, Jean Paul**, quien es mi motivación y una parte importante de mi vida, que con sus locuras y ocurrencias alegra mis días. A **mi tía Georgina Olivera y familia**, por acogerme y brindarme todo su cariño y apoyarme durante todos estos años de formación académica. A **mis familiares**, quienes siempre estuvieron allí brindándome todo su apoyo, a quienes agradezco por sus consejos que siempre me ayudaron para bien y para poder mejorar como persona cada día. A **mis amigos (as)**, quienes siempre estuvieron allí incondicionalmente, quienes siempre tuvieron las palabras adecuadas para aconsejarme y brindarme su amistad.

**Kelvin Reinerio**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Señor de Sipán, que nos acogió en sus aulas durante todo este tiempo de formación académica y por brindarnos las herramientas necesarias para poder desarrollar nuestros conocimientos de la mejor manera.

En especial expresamos nuestro sincero aprecio y reconocimiento a todas las personas que nos brindaron su apoyo incondicional durante el proceso académico desarrollado en esta casa de estudios.

A nuestra Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo especialmente a nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Civil por inculcarnos su enseñanza y el amor a nuestra carrera profesional y a nuestro coordinador de escuela Dr. Ing. Omar Coronado Zuloeta que nos formó con disciplina y perseverancia en estos años de vida universitaria.

A nuestro Asesor de Tesis, Ing. Nepton David Ruiz Saavedra por aportar sus ideas y profesionalismo al desarrollo de esta tesis con dedicación y esfuerzo para conllevar a la innovación de nuevas propuestas de investigación para ayuda de la sociedad.

A nuestra asesora metodológica por ayudarnos a mejorar nuestra investigación y guiarnos de la mejor manera durante el desarrollo de nuestra tesis.

Al Tco. Wilson Olaya Aguilar responsable del laboratorio de Ingeniería Civil de nuestra Universidad por apoyarnos y brindarnos sus conocimientos técnicos los cuales han sido fundamentales para la realización de esta investigación.

A nuestros amigos que siempre estuvieron allí para apoyarnos y motivarnos a seguir adelante.

**Los autores.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	xi
<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	15
1.1 Situación problemática.....	17
1.2 Formulación del problema .....	20
1.3 Objetivos.....	20
1.4 Justificación .....	21
1.5 Antecedentes de investigación .....	22
1.6 Marco teórico .....	25
<b>II. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	66
2.1 Tipo y diseño de la investigación .....	67
2.2 Métodos de investigación.....	67
2.3 Población y muestra .....	68
2.4 Variables .....	69
2.5 Operacionalización de las variables. ....	69
2.6 Hipótesis .....	72
2.7 Técnicas de recolección de datos. ....	72
2.8 Instrumentos de recolección de datos.....	72
2.9 Aspectos éticos .....	75
<b>III. RESULTADOS</b> .....	77
3.1 Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados .....	78
3.2 Seleccionar empaques óptimos para almacenamiento .....	102
3.3 Determinar el diseño inicial y las proporciones de los agregados y el porcentaje de emulsión en el diseño de mezcla asfáltica en frío .....	103
3.4 Elaboración de muestras pilotos para determinar el contenido óptimo de humedad en la mezcla asfáltica en frío.....	106

3.5	Verificación si el diseño inicial cumple con los parámetros de estabilidad y fluencia y determinar si es el adecuado para ser almacenado.....	111
3.6	Preparación de mezclas piloto y evaluar su desempeño en almacenamiento.....	113
3.7	Determinación si la mezcla asfálticas en frío almacenada cumple con los parámetros de estabilidad y fluencia, para tránsito medio y tránsito pesado.....	118
3.8	Análisis de costo unitario por metro cúbico de la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenada.....	135
<b>IV.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>137</b>
4.1	Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	138
4.2	Selección de empaques óptimos para almacenamiento .....	138
4.3	Diseño inicial y las proporciones de los agregados y el porcentaje de emulsión en el diseño de mezcla asfáltica en frío.....	138
4.4	Elaboración de muestras pilotos para determinar el contenido óptimo de humedad en la mezcla asfáltica en frío.....	139
4.5	Verificación si el diseño inicial es el adecuado para ser almacenado .....	139
4.6	Preparación de muestras pilotos de mezclas asfálticas en frío para ser almacenadas y evaluadas.....	140
4.7	Determinación si la mezcla asfáltica en frío almacenable cumple con los parámetros de estabilidad y fluencia del MTC. ....	140
4.8	Análisis de costo unitario por metro cúbico de la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable. ....	141
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>142</b>
<b>VI.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>145</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>149</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b>	Bacheo Superficial, por causa de uso de materiales y mezcla de calidad pobre. ....	18
<b>Figura N° 2:</b>	Bacheo Superficial, por causa de uso de materiales y mezcla de calidad pobre. ....	19
<b>Figura N° 3:</b>	Bacheo Superficial, entre la Avenida Balta y la calle Amazonas (Mercado Modelo). ....	19
<b>Figura N° 4:</b>	Bacheo Superficial, en la Av. Pedro Ruiz con Vílchez Mercado. ....	20
<b>Figura N° 5:</b>	Bacheo Superficial, en la Av. Emiliano Nino (Frente al Mercado). ....	20
<b>Figura N° 6:</b>	Clasificación de emulsión según carga eléctrica. ....	35
<b>Figura N° 7:</b>	Forma de actuar de un emulsionante Catiónico. ....	36
<b>Figura N° 8:</b>	Forma de actuar de un emulsionante Aniónica. ....	37
<b>Figura N° 9:</b>	Proceso de rotura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo. ....	38
<b>Figura N° 10:</b>	Mezcla en frío tipo apilamiento de uso inmediato. ....	51
<b>Figura N° 11:</b>	Mezcla en frío de uso inmediato de marca registrada. ....	51
<b>Figura N° 12:</b>	Gráfico de Índice de Asfalto. ....	57
<b>Figura N° 13:</b>	Período de análisis de muestra en el envase 1. ....	68
<b>Figura N° 14:</b>	Período de análisis de muestra en el envase 2. ....	68
<b>Figura N° 15:</b>	Lavado del agregado grueso por el tamiz # 200. ....	78
<b>Figura N° 16:</b>	Lavado del agregado grueso por el tamiz # 200. ....	79
<b>Figura N° 17:</b>	Tamizado del agregado grueso para el ensayo de granulometría. ....	79
<b>Figura N° 18:</b>	Curva Granulométrica del Agregado Grueso. ....	80
<b>Figura N° 19:</b>	Lavado del agregado grueso por el tamiz # 200. ....	81
<b>Figura N° 20:</b>	Material utilizado para la realización del ensayo. ....	81
<b>Figura N° 21:</b>	Selección de los tamices a utilizar. ....	81
<b>Figura N° 22:</b>	Tamizado del agregado fino. ....	82
<b>Figura N° 23:</b>	Curva Granulométrica del Agregado Fino. ....	83
<b>Figura N° 24:</b>	Agregado grueso sumergido durante 24 horas. ....	84
<b>Figura N° 25:</b>	Agregado grueso superficialmente seco. ....	84
<b>Figura N° 26:</b>	Agregado grueso sumergido en agua. ....	85
<b>Figura N° 27:</b>	Muestra en el molde. ....	86
<b>Figura N° 28:</b>	Peso de la muestra. ....	86
<b>Figura N° 29:</b>	Enrasado del agregado grueso. ....	87
<b>Figura N° 30:</b>	Muestra a saturar. ....	89
<b>Figura N° 31:</b>	Prueba de molde cónico. ....	90
<b>Figura N° 32:</b>	Prueba de molde cónico. ....	90
<b>Figura N° 33:</b>	Agregado fino saturado superficialmente seco. ....	90
<b>Figura N° 34:</b>	Peso de la muestra a ensayar. ....	91
<b>Figura N° 35:</b>	Introduciendo muestra a la fiola. ....	91
<b>Figura N° 36:</b>	Agregando agua a la fiola. ....	91
<b>Figura N° 37:</b>	Agitando la fiola para eliminar aire retenido. ....	92
<b>Figura N° 38:</b>	Vaciando la muestra en un recipiente. ....	92
<b>Figura N° 39:</b>	Muestra en el horno. ....	92
<b>Figura N° 40:</b>	Muestra seca. ....	93
<b>Figura N° 41:</b>	Determinación de partículas chatas y alargadas. ....	94
<b>Figura N° 42:</b>	Calibrador proporcional. ....	94
<b>Figura N° 43:</b>	Selección de partículas fracturadas. ....	95
<b>Figura N° 44:</b>	Materiales utilizados. ....	97
<b>Figura N° 45:</b>	Muestras para el ensayo. ....	97
<b>Figura N° 46:</b>	Introduciendo muestra en la probeta. ....	97
<b>Figura N° 47:</b>	Introduciendo muestra en la probeta. ....	98
<b>Figura N° 48:</b>	Vertiendo solución hasta la línea indicada en la probeta. ....	98
<b>Figura N° 49:</b>	Agitando muestra de la probeta. ....	98

<b>Figura N° 50:</b> Muestra puesta en reposo. ....	99
<b>Figura N° 51:</b> Medición de la muestra. ....	99
<b>Figura N° 52:</b> Colocación del agregado grueso a la Máquina de los Ángeles. ....	100
<b>Figura N° 53:</b> Desgaste del agregado grueso.....	101
<b>Figura N° 54:</b> Tamizado por la malla N° 12.....	101
<b>Figura N° 55:</b> Bolsa plástica de polietileno.....	102
<b>Figura N° 56:</b> Baldes de plástico .....	102
<b>Figura N° 57:</b> Gráfico de la combinación de los agregados.....	103
<b>Figura N° 58:</b> Curva Granulométrica de la Mezcla Asfáltica en frío. ....	104
<b>Figura N° 59:</b> Emulsión asfáltica CSS 1h .....	106
<b>Figura N° 60:</b> Materiales utilizados en el ensayo de recubrimiento .....	107
<b>Figura N° 61:</b> Muestras con diferentes porcentajes de humedad .....	107
<b>Figura N° 62:</b> Agregado grueso y fino utilizados en el ensayo .....	108
<b>Figura N° 63:</b> Mescado de los agregados.....	108
<b>Figura N° 64:</b> Gráfico de Estabilidad versus Contenido de humedad. ....	109
<b>Figura N° 65:</b> Gráfico de Estabilidad versus Contenido de humedad. ....	111
<b>Figura N° 66:</b> Pesado del agregado fino.....	114
<b>Figura N° 67:</b> Pesado del agregado grueso .....	114
<b>Figura N° 68:</b> Pesado de la emulsión asfáltica .....	115
<b>Figura N° 69:</b> Cantidad de agua a ser añadida.....	115
<b>Figura N° 70:</b> Colocación del agregado en el trompo.....	116
<b>Figura N° 71:</b> Muestra humedecida en el trompo.....	116
<b>Figura N° 72:</b> Añadiendo emulsión asfáltica a la mezcla humedecida .....	116
<b>Figura N° 73:</b> Mezcla asfáltica dentro del trompo.....	117
<b>Figura N° 74:</b> Almacenaje de las muestras .....	117
<b>Figura N° 75:</b> Muestras a ser almacenadas en sus respectivos envases .....	118
<b>Figura N° 76:</b> Abertura de los envases de las muestras almacenadas.....	119
<b>Figura N° 77:</b> Elaboración y compactación de las briquetas. ....	119
<b>Figura N° 78:</b> Curado de las briquetas al horno .....	119
<b>Figura N° 79:</b> Retirando briquetas del horno a 60°C de temperatura .....	120
<b>Figura N° 80:</b> Retirando el espécimen de los moldes utilizando la prensa hidráulica.....	120
<b>Figura N° 81:</b> Especimen sumergido en agua y secado superficial del espécimen. ....	121
<b>Figura N° 82:</b> Muestras colocadas en el horno.....	121
<b>Figura N° 83:</b> Especímenes para ser ensayados .....	122
<b>Figura N° 84:</b> Baño de agua María .....	123
<b>Figura N° 85:</b> Ensayo utilizando el aparato Marshall .....	123
<b>Figura N° 86:</b> Bóveda de Almacenamiento.....	130
<b>Figura N° 87:</b> Pesaje periódicamente de la muestra almacenada .....	130
<b>Figura N° 88:</b> Termo higrómetro .....	130



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Requisitos de los agregados pétreos para pavimentos asfálticos en frío.</i>	30
<b>Tabla 2</b>	<i>Requisitos de los agregados pétreos para pavimentos asfálticos en frío.</i>	31
<b>Tabla 3</b>	<i>Nomenclatura para Emulsión Asfáltica.</i>	39
<b>Tabla 4</b>	<i>Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas.</i>	41
<b>Tabla 5</b>	<i>Especificaciones para Emulsiones Catiónicas.</i>	42
<b>Tabla 6</b>	<i>Gradaciones para mezclas densas en frío.</i>	53
<b>Tabla 7</b>	<i>Gradaciones para mezclas abiertas en frío.</i>	54
<b>Tabla 8</b>	<i>Modelo para el cálculo de Área Superficial Equivalente</i>	56
<b>Tabla 9</b>	<i>Requisitos para mezclas de concreto bituminoso</i>	60
<b>Tabla 10</b>	<i>Criterios para el diseño de mezcla de agregados – Emulsión Asfáltica.</i>	61
<b>Tabla 11</b>	<i>Ensayos para Agregados.</i>	61
<b>Tabla 12</b>	<i>Ensayos para briquetas con Mezcla Asfáltica.</i>	63
<b>Tabla 13</b>	<i>Operacionalizacion de Variable Independiente</i>	70
<b>Tabla 14</b>	<i>Operacionalizacion de Variable Dependiente.</i>	71
<b>Tabla 15</b>	<i>Análisis granulométrico del agregado grueso.</i>	79
<b>Tabla 16</b>	<i>Análisis granulométrico del agregado fino.</i>	82
<b>Tabla 17</b>	<i>Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.</i>	85
<b>Tabla 18</b>	<i>Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado fino.</i>	87
<b>Tabla 19</b>	<i>Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.</i>	87
<b>Tabla 20</b>	<i>Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.</i>	88
<b>Tabla 21</b>	<i>Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.</i>	88
<b>Tabla 22</b>	<i>Resultados del Ensayo Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.</i>	93
<b>Tabla 23</b>	<i>Resultados del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.</i>	95
<b>Tabla 24</b>	<i>Resultados del Ensayo de Partículas fracturadas.</i>	96
<b>Tabla 25</b>	<i>Resultados del Ensayo de equivalente de arena.</i>	99
<b>Tabla 26</b>	<i>Resultados del Ensayo Abrasión de los Ángeles.</i>	101
<b>Tabla 27</b>	<i>Resultados de cantidad de asfalto.</i>	105
<b>Tabla 28</b>	<i>Resultados de porcentajes corregidos de diseño de mezcla asfáltica en frío.</i>	105
<b>Tabla 29</b>	<i>Resultados de ensayo de recubrimiento de los agregados</i>	107
<b>Tabla 30</b>	<i>Determinación del porcentaje óptimo de humedad de compactación – 50 golpes</i>	109
<b>Tabla 31</b>	<i>Resumen de contenido óptimo de humedad de compactación – 50 golpes</i>	110
<b>Tabla 32</b>	<i>Determinación del porcentaje óptimo de humedad de compactación – 75 golpes</i>	110
<b>Tabla 33</b>	<i>Resumen de contenido óptimo de humedad de compactación – 75 golpes</i>	111
<b>Tabla 34</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío - Tránsito mediano.</i>	112
<b>Tabla 35</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío - Tránsito pesado.</i>	112
<b>Tabla 36</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 0 días de almacenamiento</i>	123
<b>Tabla 37</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 7 días de almacenamiento en bolsa de polietileno</i>	124
<b>Tabla 38</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 7 días de almacenamiento en balde plástico</i>	125
<b>Tabla 39</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 14 días de almacenamiento en bolsa de polietileno</i>	125
<b>Tabla 40</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 14 días de almacenamiento en balde plástico</i>	126
<b>Tabla 41</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 21 días de almacenamiento en bolsa de polietileno</i>	127
<b>Tabla 42</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 21 días de almacenamiento en balde plástico</i>	127
<b>Tabla 43</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 28 días de almacenamiento en bolsa de polietileno</i>	128
<b>Tabla 44</b>	<i>Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 28 días de almacenamiento en balde plástico</i>	129
<b>Tabla 45</b>	<i>Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 7 días de su almacenamiento en bolsa de polietileno</i>	131
<b>Tabla 46</b>	<i>Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 7 días de su almacenamiento en balde plástico</i>	131
<b>Tabla 47</b>	<i>Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 14 días de su almacenamiento en bolsa de polietileno</i>	132
<b>Tabla 48</b>	<i>Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 14 días de su almacenamiento en balde plástico</i>	132

<b>Tabla 49</b>	<i>Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 21 días de su almacenamiento en bolsa de polietileno</i>	133
<b>Tabla 50</b>	<i>Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 21 días de su almacenamiento en balde plástico</i>	133
<b>Tabla 51</b>	<i>Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 28 días de su almacenamiento en bolsa de polietileno</i>	134
<b>Tabla 52</b>	<i>Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 28 días de su almacenamiento en balde plástico</i>	134
<b>Tabla 53</b>	<i>Costo unitario de elaboración y transporte de una mezcla asfáltica almacenada en balde plástico</i>	135
<b>Tabla 54</b>	<i>Costo unitario de elaboración y transporte de una mezcla asfáltica almacenada en bolsa de polietileno</i>	136

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO 1:** *FICHA TÉCNICA DE BOLSA DE POLIETILENO*
- ANEXO 2:** *FICHA TÉCNICA DE BALDE PLÁSTICO*
- ANEXO 3:** *FICHA TÉCNICA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CSS-1H*
- ANEXO 4:** *MODO DE EMPLEO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO ALMACENADA*
- ANEXO A:** *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS*
- ANEXO A1:** *Análisis granulométrico por tamizado – Agregado grueso*
- ANEXO A2:** *Análisis granulométrico por tamizado – Agregado fino*
- ANEXO A3:** *Peso específico y absorción de los agregados gruesos*
- ANEXO A4:** *Peso unitario y vacíos del agregado grueso*
- ANEXO A5:** *Peso unitario y vacíos del agregado fino*
- ANEXO A6:** *Gravedad específica y absorción de agregados finos*
- ANEXO A7:** *Partículas chatas y alargadas en agregados*
- ANEXO A8:** *Determinación del porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso*
- ANEXO A9:** *Equivalente de arena de suelos y agregado fino*
- ANEXO A10:** *Abrasión los ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm.*
- ANEXO B:** *DISEÑO INICIAL Y DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS AGREGADOS Y EMULSIÓN ASFÁLTICA*
- ANEXO B1:** *Análisis granulométrico por tamizado de los agregados combinados*
- ANEXO B2:** *Determinación de la mezcla de los agregados*
- ANEXO B3:** *Determinación de la cantidad de asfalto – Método del área equivalente*
- ANEXO B4:** *Diseño de la mezcla asfáltica en frío*
- ANEXO B5:** *Verificación de resultados*
- ANEXO C:** *RECUBRIMIENTO DE LOS AGREGADOS Y CONTENIDO ÓPTIMO DE COMPACTACIÓN*
- ANEXO C1:** *Ensayo de cobertura de los agregados con emulsión asfáltica*
- ANEXO C2:** *Elaboración de briquetas para tránsito mediano y tránsito pesado*
- ANEXO C3:** *Porcentaje óptimo de humedad en la mezcla asfáltica en frío para tránsito mediano*
- ANEXO C4:** *Porcentaje óptimo de humedad en la mezcla asfáltica en frío para tránsito pesado*
- ANEXO D:** *VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO*
- ANEXO D1:** *Diseño y ensayo Marshall de la mezcla asfáltica en frío para tránsito mediano*
- ANEXO D2:** *Diseño y ensayo Marshall de la mezcla asfáltica en frío para tránsito pesado*
- ANEXO E:** *PREPARACIÓN DE MUESTRAS PILOTO*
- ANEXO E1:** *Elaboración de la mezcla asfáltica en frío almacenable*
- ANEXO F:** *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO ALMACENADAS*
- ANEXO F1:** *Evaluación de la mezcla asfáltica en frío almacenada – 0 días*
- ANEXO F2:** *Evaluación de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante 7 días*
- ANEXO F3:** *Evaluación de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante 14 días*
- ANEXO F4:** *Evaluación de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante 21 días*
- ANEXO F5:** *Evaluación de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante 28 días*
- ANEXO F6:** *Evaluación de estabilidad y flujo durante el periodo de estudio*
- ANEXO F7:** *Evaluación de la pérdida de humedad de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante 7 días*
- ANEXO F8:** *Evaluación de la pérdida de humedad de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante 14 días*
- ANEXO F9:** *Evaluación de la pérdida de humedad de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante 21 días*

*ANEXO F10: Evaluación de la pérdida de humedad de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante 28 días*

*ANEXO F11: Evaluación de la pérdida de humedad de la mezcla asfáltica en frío almacenada durante el periodo de estudio*

*ANEXO F12: Duración estimada para su utilización y parámetros de almacenamiento de la mezcla asfáltica en frío almacenable*

**ANEXO G: EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS**

*ANEXO G1: Extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos*

**ANEXO H: ANÁLISIS DE COSTO UNITARIO POR METRO CÚBICO DE LA ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO ALMACENABLE**

*ANEXO H1: Insumos y materiales*

*ANEXO H2: Cálculo de la mezcla asfáltica en frío por volumen y peso*

*ANEXO H3: Costo unitario directo por metro cúbico de la M.A.F.A en balde plástico*

*ANEXO H4: Costo unitario directo por metro cúbico de la M.A.F.A en bolsa de polietileno*

**ANEXO I: PRESUPUESTO DE ELABORACIÓN DE INFORME DE INVESTIGACIÓN**

*ANEXO I1: Presupuesto autofinanciado*

*ANEXO I2: Presupuesto de los ensayos de materiales realizados*

**ANEXO J: PANEL FOTOGRÁFICO**

## RESUMEN

En Lambayeque la pavimentación se vio afectada tras las lluvias ocasionadas por el fenómeno del niño, así como el deterioro constante de la carpeta asfáltica y por el inadecuado mantenimiento que se les brinda, por lo cual en la actualidad el uso de las mezclas asfálticas en frío son muy aplicadas a nivel internacional, el objetivo es elaborar una mezcla asfáltica en frío almacenable para la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque; definido por el procedimiento del ensayo Marshall, ya que es una solución innovadora y rápida.

Para la realización de las mezclas asfálticas en frío almacenables se requirió el uso de agregados tanto fino como grueso así como una emulsión asfáltica CSS – 1h de rompimiento lento; se empleó el método área superficial equivalente lo cual permitió calcular el porcentaje exacto de agregados, el contenido óptimo de asfalto y la cantidad de emulsión requerida para la combinación de la mezcla, para el análisis de las mezclas asfálticas en frío almacenadas en bolsas de polietileno y baldes plásticos se utilizó el método Marshall obteniendo buenos resultados, ya que se encontraban dentro de los rangos permisibles de Estabilidad (Resistencia) y flujo (deformación), para los tipos de tránsito mediano y tránsito pesado, determinados por el Manual de Carreteras del MTC-EG 2013.

Se determinó durante el período de almacenamiento, que las mezclas asfálticas en frío almacenadas en baldes plásticos conservaron mayor humedad en la mezcla y cumplían con las propiedades mecánicas de estabilidad (Resistencia) y flujo (deformación).

***Palabras Claves:*** Emulsión asfáltica, Estabilidad, Flujo, Almacenamiento.

## ABSTRACT

In Lambayeque the paving was affected after the rains caused by the phenomenon of the child, as well as the constant deterioration of the asphalt binder and the inadequate maintenance that is provided, which is why currently the use of asphalt mixtures in cold they are widely applied at an international level, the objective is to produce a storable cold asphalt mixture for repairing pavements in the department of Lambayeque; defined by the Marshall trial procedure, since it is an innovative and fast solution.

For the realization of storable cold asphalt mixtures, the use of both fine and coarse aggregates was required as well as a slow-breaking CSS-1h asphalt emulsion; the equivalent surface area method was used which allowed to calculate the exact percentage of aggregates, the optimum content of asphalt and the amount of emulsion required for the combination of the mixture, for the analysis of cold asphalt mixtures stored in polyethylene bags and plastic buckets the Marshall method was used obtaining good results, since they were within the permissible ranges of Stability (resistance) and flow (deformation), for the types of medium and heavy traffic.

It was determined during the storage period, that the cold asphalt mixtures stored in plastic buckets conserved more moisture in the mixture and complied with the mechanical properties of stability (resistance) and flow (deformation).

**Keywords:** *Asphalt, emulsion, Stability, Flow.*

# **I. INTRODUCCIÓN**

“Elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable para la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque, 2017” implica como una alternativa de reducir el área de reparaciones de pavimentos, ya que es una solución innovadora, rápida y económica.

Ramos y Muñiz (2013), señala que: “Además de brindar una opción que implica menor impacto ambiental en el uso de los derivados del petróleo” (p.19).

“La mezcla asfáltica en frío están constituidas por emulsión asfáltica y agregados pétreos, los cuales no son calentados” (Ramos y Muñiz, 2013, p.19). “Tienen mucha aceptación a nivel internacional, pues además de ser amigables con el medio ambiente, se realizan menores gastos energéticos para su producción y no ocasionan contaminación luego de ser colocadas” (Ramos y Muñiz, 2013, p.19).

Se dice que no producen contaminación puesto que uno de los materiales que la componen es emulsión asfáltica, las mezclas asfálticas pueden ser calientes, tibias o frías. Un tipo de mezclas frías son las preparadas con emulsiones asfálticas, que no es más que la dispersión de asfalto en agua estabilizado con un emulsificante que ayuda a que las fases (agua – asfalto) se mantengan separados. Los agregados pétreos se mezclan con agua y emulsión asfáltica para dar lugar a una mezcla asfáltica fría, que al ser compactada desarrolla sus propiedades mecánicas a medida que ésta pierde humedad.

Las mezclas asfálticas almacenables deben conservar sus propiedades por un período de tiempo determinado hasta que sean instaladas. Esto se puede lograr con un diseño de mezcla adecuada y un empaque hermético que disminuya al máximo la interacción del medio ambiente con la mezcla. (Molina, 2012, p. 1)



## **1.1 Situación problemática**

### **1.1.1 A nivel internacional.**

#### **Argentina:**

En la Ciudad de Buenos Aires, el estado de alrededor 2100 calles porteñas es alarmante las cuales cuentan con más de 40 mil baches y que desde hace años están marcando la fisionomía de la ciudad y afectando a diario a transportistas, ciclistas y transeúntes que ven como este problema se reproduce día a día.

Esta es la problemática que afronta todos los barrios porteños y que tiene como razones principales, la falta de inversión y una carencia de políticas públicas que ayuden al deterioro y abandono en la que se encuentran las calles de esta ciudad. (Carpintea, G. 2014) “De acuerdo a un informe de la ONG Defendamos Buenos Aires, en la actualidad hay un promedio que llega en algunos casos hasta los 10 baches por cuadra, siendo Palermo y Belgrano las zonas más afectadas” (Carpintea, G. 2014).

#### **Chile:**

Debido a las lluvias de las últimas semanas en la Región Metropolitana de Santiago, que provocaron diversos problemas sociales tales como corte de energía eléctrica en algunas comunidades e inundaciones que con el paso del tiempo dejaron en evidencia la erosión que el agua de las lluvias género en los pavimentos, así como el aumento del tamaño de las grietas y, de paso, elevando el número de hoyos en las calles de la ciudad.

“Son un peligro para todos los vehículos. Deben solucionarse, porque con eso evitaremos los posibles accidentes y las averías que puedan causarles a los autos” comenta Luis Reyes, presidente de la Confederación Nacional de Taxis de Chile” (Herrera, J. 2015).

### **1.1.2 A nivel nacional.**

En seis distritos de Lima el problema de pavimentación es crítico y las autoridades no lo solucionan ya que, según los expertos, los municipios no cuentan con presupuesto para rehabilitación. CaruaJulca, indica que, en su mayoría, en La Victoria, Breña, Surquillo, Rímac, la Independencia y Villa María del triunfo el tipo de problema es la infraestructura

de las pistas y calzadas que están en mal estado. Casi todas las calles de Lima de asfalto están con baches y huecos. (CaruaJulca, A. 2016)

### 1.1.3 A nivel local.

En el departamento de Lambayeque, los pavimentos flexibles presentan desintegraciones severas de la superficie de rodadura que comprende exclusivamente la carpeta asfáltica: baches, desprendimiento/descubrimiento de agregados y estrías Longitudinales.

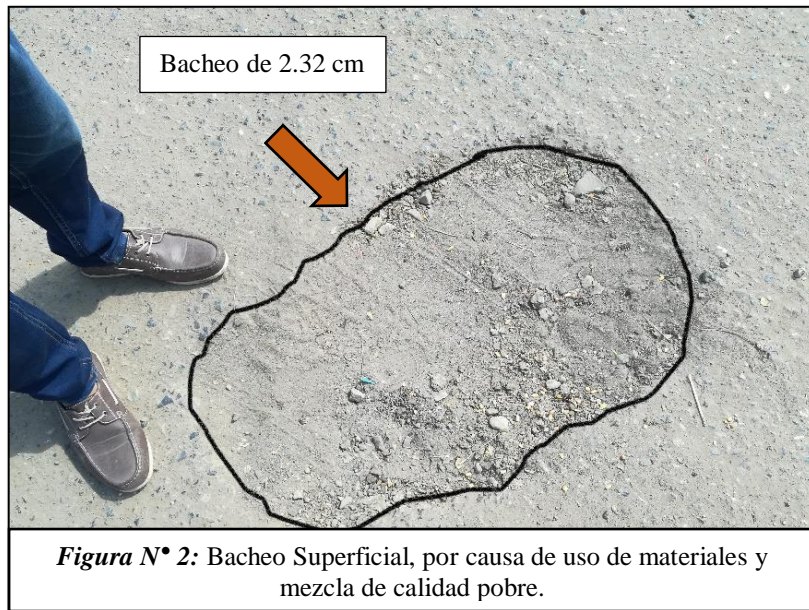
El departamento de Lambayeque, tiene tres provincias: Ferreñafe, Lambayeque y Chiclayo; por lo que a continuación se detalla dicha problemática.

En la provincia de Ferreñafe, presenta una descomposición o desintegración de la superficie del pavimento flexible y su remoción en una cierta extensión, formando un hoyo o cavidad redondeada en su parte superior.

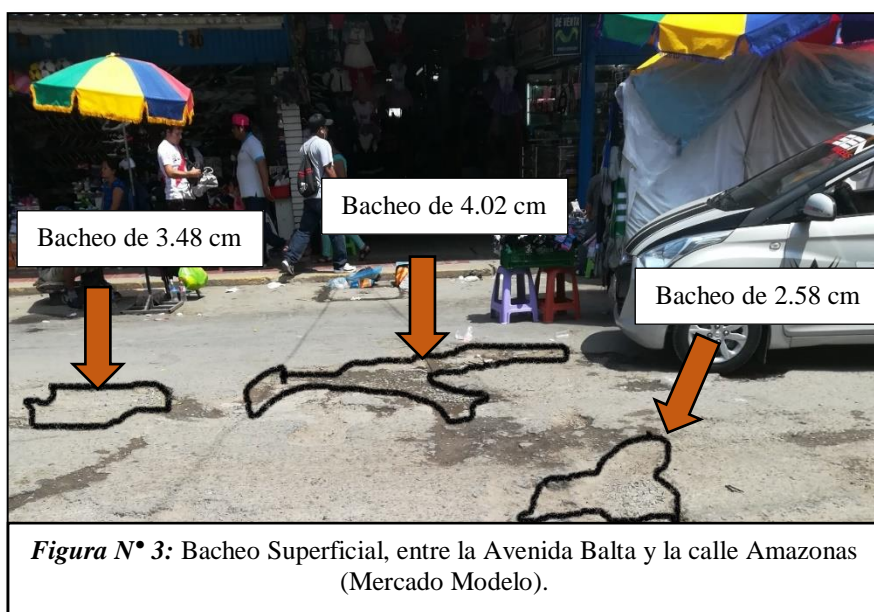
La acción del tránsito sobre áreas donde la superficie del pavimento se ha disgregado en pequeños trozos provoca la remoción del material, originando el bache. En la siguiente foto encontramos los baches que se encuentra en el pavimento entre la Av. Augusto B. Leguía frente al Hospital Referencial de Ferreñafe.



Este problema se repite en la mayoría de pavimentos, ya que no cuentan con un mantenimiento oportuno.



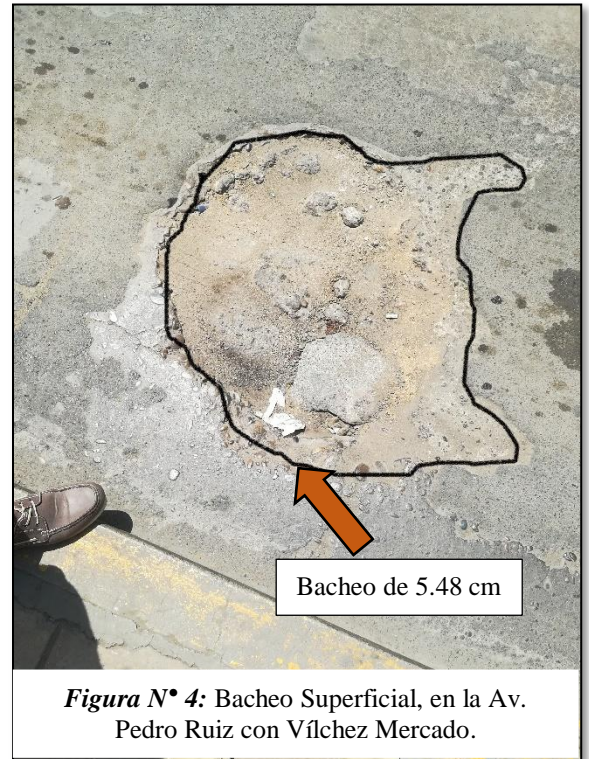
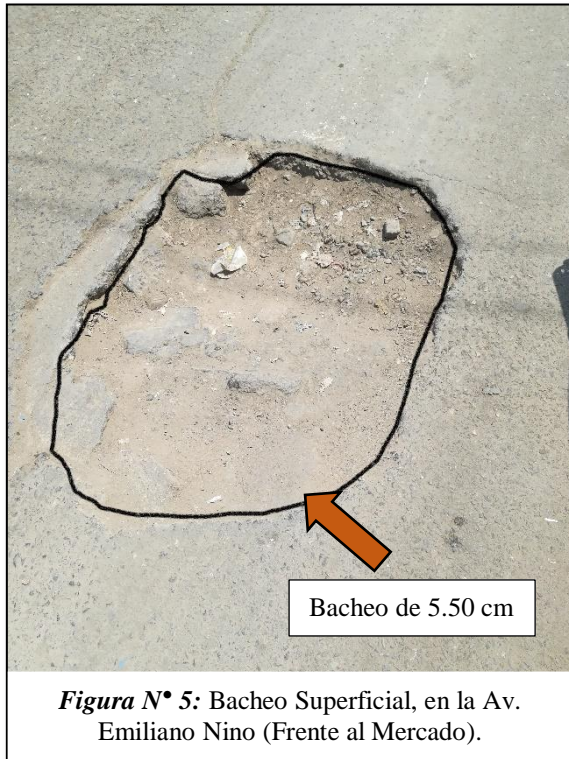
En la provincia de Chiclayo se identificaron que como consecuencia de las lluvias, las calles y pistas sufrieron un mayor deterioro originando baches, los cuales surgieron principalmente por el mal drenaje y/o humedecimiento de las calles y avenidas, estas formadas al introducirse agua en el pavimento a través de grietas.



Otras causas que generarían estos baches vendrían hacer que la carpeta asfáltica sea de mala calidad, así como una descomposición inadecuada de la mezcla asfáltica.

El deterioro de la carpeta asfáltica es consecuencia del desgradamiento superficial de la capa de rodadura, así como el tránsito vehicular generando daños por fatiga.

Por otro lado, también se encontró en las diferentes calles y avenidas asfaltadas de la provincia de Lambayeque los mismos problemas anteriormente indicados en la las cuales se muestran en las siguientes figuras.



## 1.2 Formulación del problema

¿De qué manera contribuirá la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable en la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general.

Elaborar una mezcla asfáltica en frío almacenable para la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque, basado en el procedimiento del método Marshall.



### **1.3.2 Objetivos específicos**

**O.E.1** Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados disponibles para la realización de las mezclas asfálticas.

**O.E.2** Seleccionar los empaques óptimos que serán utilizados para evaluar la conservación de la mezcla asfáltica durante su período de almacenamiento.

**O.E.3** Determinar el diseño inicial, las proporciones de los agregados y el porcentaje de emulsión asfáltica en el diseño de mezcla asfáltica en frío

**O.E.4** Elaborar muestras pilotos para determinar el contenido óptimo de humedad en la mezcla asfáltica en frío.

**O.E.5** Verificar si el diseño inicial cumple con los parámetros de estabilidad y fluencia para tránsito medio y tránsito pesado que establece el Ministerio de Transporte y Comunicaciones EG 2013 y determinar si es el adecuado para ser almacenado utilizando el método Marshall.

**O.E.6** Preparar muestras piloto de mezcla asfáltica en frío para ser almacenada y evaluar sus propiedades durante un período de tiempo de 28 días.

**O.E.7** Determinar si la mezcla asfáltica en frío almacenada cumple con los parámetros de estabilidad y fluencia que establece el Ministerio de Transporte y Comunicaciones EG 2013 para tránsito medio y tránsito pesado.

**O.E.8** Realizar un análisis de precios unitarios por metro cúbico de la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Justificación tecnológica.**

En la región de Lambayeque es poco común encontrar un diseño de mezcla asfáltica en frío almacenable para los principales problemas que se presentan en las vías de comunicación de Lambayeque. Hoy en la actualidad es evidente que el diseño de mezcla asfáltica en frío almacenable es aplicado tanto a nivel internacional, como en ciertos lugares.

En la región Lambayeque no se ha elaborado este tipo de diseño de mezcla en frío almacenable, ya que es una solución innovadora, rápida y que garantice la seguridad en las carreteras.

#### **1.4.2 Justificación Social.**

Esta investigación permite que la mezcla asfáltica en frío se pueda manipular, transportar y almacenar sencillamente ya que sería más práctico para los usuarios y no generaría riesgos para su salud y más aún su aplicación facilitaría una menor interrupción del tránsito.

#### **1.4.3 Justificación Económica.**

Con la elaboración de esta mezcla asfáltica en frío almacenable, se daría una reducción significativa de tiempo en la reparación, así como gastos en maquinaria y equipo, en personal y molestias viales, y puede ser utilizada por cualquier persona, sin necesidad de gran maquinaria o equipo especial.

#### **1.4.4 Justificación Ambiental.**

Con la elaboración de esta mezcla asfáltica en frío almacenable para las reparaciones de pavimentos en el departamento de Lambayeque, nos permite que el impacto sobre el medio ambiente sea mínimo, ya que para su producción se realizan menores gastos energéticos y por la utilización de emulsión asfáltica, no ocasionan contaminación luego de ser colocadas.

### **1.5 Antecedentes de investigación**

#### **Venezuela:**

Molina Poggioli, Nicolás Enrique (2012), en la universidad Simón Bolívar, se realizó el estudio de desarrollo de una unidad producción de mezcla asfáltica almacenable para bacheo en frío en la cual su objetivo general fue diseñar una mezcla para bacheo con emulsiones asfálticas que pueda ser almacenable durante 2 meses y que cumpla con las especificaciones exigidas por la norma, y también estudiar el desarrollo e implementación de una unidad de producción de mezcla para bacheo almacenable con emulsión asfáltica, la metodología de esta tesis es una investigación experimental con lo cual llego con la

conclusión de que las mezclas Frías para bacheo tienen un mejor desempeño en almacenamiento cuando se formulan con emulsión de rompimiento lento, que con emulsiones de rompimiento medio. Las emulsiones de rotura lenta permiten mezclarse con agregados finos sin desestabilizar la preparación. Las emulsiones de rompimiento medio no permiten que la mezcla sea almacenada por largos períodos de tiempo ya que se desestabilizan al contacto con agregados finos.

### **Costa Rica:**

Jiménez, Sibaja, y Molina (2009) indica que las mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, el objetivo principal de este estudio es proveer el soporte técnico relacionado con los conceptos teóricos y prácticos, de la utilización de las mezclas asfálticas en frío, para lo cual se consideraron los siguientes aspectos: las especificaciones de calidad, los procedimientos de ensayo de laboratorio (diseño y desempeño) y la definición de mezclas en frío y las diferentes formas de clasificarlas. (Jiménez et al., 2009)

La metodología es una investigación bibliográfica, con la cual llego con las conclusiones, de que las mezclas asfálticas en frío producidas con emulsión tienen mucha aceptación a nivel internacional pues son amigables con el ambiente, ya que para su producción se realizan menores gastos energéticos y no ocasionan contaminación luego de ser colocadas. Las contribuciones a nivel ambiental son mayores cuando se producen mezclas asfálticas recicladas en frío, pues se está reutilizando un material que normalmente en nuestro país se considera un desecho. (Jiménez et al., 2009) de acuerdo con lo que se ha consultado en la bibliografía de referencia, la técnica de mezcla asfáltica en frío se proyecta como una excelente opción para realizar trabajos de bacheo a nivel nacional. Dicha técnica es de aplicación de corto plazo y para áreas con problemas puntuales y de bajo grado de deterioro, aunado esto al hecho de que las mezclas en frío poseen un menor costo, comparado con la mezcla asfáltica en caliente que es más costosa y que presenta mayores dificultades para su correcto manejo y aplicación. (Jiménez et al., 2009)

### **Venezuela:**

Augusto, B. (2013), indica una: “propuesta de norma para la elaboración de mezcla asfáltica almacenable, para bacheo y reparaciones de emergencia”. (p.5).

El presente artículo su objetivo es el, “desarrollo de una especificación técnica para la elaboración y control de mezcla asfáltica almacenable, así como una propuesta de un procedimiento específico de ensayo que evalúe de forma correcta el producto” (Augusto, 2013, p.5). Y para eso se llegó a cabo una metodología de investigación bibliográfica y de “búsqueda de información a nivel internacional, con la finalidad de ubicar y conocer normas de otros países para productos similares” (Augusto, 2013, p.5).

Concluyó que en base a los objetivos del trabajo y en acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de investigación, se diseñó un procedimiento de ensayo, denominado Marshall Adaptado, para el control de propiedades y calidad de mezclas almacenables para uso en bacheos y trabajos de emergencia. (Augusto, 2013, p.13)

### **Nicaragua:**

Ramos y Muñiz (2013) realizó en la universidad Centro Americana una propuesta de diseño de mezcla asfáltica en frío de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles” (Ramos y Muñiz, 2013).

El objetivo general es “diseñar mezcla asfáltica en frío de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles, a partir de emulsión asfáltica” (Ramos y Muñiz, 2013, p.26).

La metodología se clasificó como una investigación cuantitativa ya que los pasos que involucran la mecánica que se llegó a cabo para el desarrollo del presente trabajo es la selección de información pertinente y reconocimiento de los materiales que formarán parte de la mezcla la cual el diseño de investigación es cuasi-experimental ya que se evaluó los datos e información obtenidas en los ensayos realizados, y la conclusión de este trabajo es el muestreo siempre debe realizarse en el momento que se están recopilando las muestras en los bancos de materiales, con el objetivo de poder evaluarlas uniformemente en los ensayos, incluyendo material fino y grueso. De esta forma se evita la pérdida de sus propiedades. No obstante, la granulometría forma un papel importante, puesto que con este ensayo se determinaron los tamaños nominales y máximos del agregado a ensayar.



## **Colombia:**

Sarmiento Otálora, Marco Antonio (2012) en la universidad Nacional de Colombia se realizó el estudio del comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con emulsión.

El objetivo principal fue, “determinar el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en frío, fabricadas con emulsión, para diferentes edades de curado” (Sarmiento, 2012, p.3). El diseño de investigación es cuasi-experimental ya que se evaluó los ensayos realizados.

Concluyó que, se identificó que la edad de curado para la mezcla MDF-2 está dentro de 32 y 35 días. Los resultados observados del ensayo de ahuellamiento muestran que no se presentaron cambios significativos en la deformación de la mezcla después de dicho tiempo de curado. Para el ensayo de desgaste se reporta que el valor es menor con relación a las edades iniciales y adicionalmente se comprobó que a edades inferiores a 5 días la mezcla no era estable y no fue posible tomar muestras. (Sarmiento, 2012, p.44)

## **1.6 Marco teórico**

### **1.6.1 Agregados Pétreos.**

#### **1.6.1.1 Definición.**

Los agregados son materiales granulares, sólidos e inertes, que son utilizados para diferentes actividades de la construcción ya sea para la construcción de edificaciones, carreteras y pavimento. Estos materiales cuentan con partículas fragmentadas o gradadas con una granulometría adecuada y constituyen parte de un pavimento flexible, se podría decir que son producto de roca o grava triturada.

Este material pétreo no solo es utilizado para la creación de capas de base granular sino también para la elaboración de mezclas asfálticas. Es por ello que este material constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento, haciendo que la calidad del agregado usado sea un factor importante y relevante en el comportamiento del pavimento (Ramos y Muñiz ,2013).

### **1.6.1.2 Clasificación de los Agregados Pétreos.**

Ramos y Muñiz (2013) afirman que debido a que el rompimiento de la emulsión asfáltica se lleva a cabo por la interacción química de esta con el material pétreo, es necesario conocer el tipo de agregado pétreo que se tiene, para poder determinar el tipo de emulsión asfáltica más adecuada. (Ramos y Muñiz, 2013)

Es por tal motivo que se requiere de un sistema de clasificación es decir un ordenamiento de los diferentes suelos en grupos que tienen características y propiedades similares, con propósito de facilitar al ingeniero un método para estimar las propiedades o aptitudes óptimas del mismo, para obtener un diseño óptimo. (Guevara et al, 2010)

#### *1.6.1.2.1 Según su Naturaleza*

##### *Agregados Calizos*

Padilla (2004) afirma que la roca caliza en los procesos de trituración es muy común, abundante y económica, se emplea generalmente en todas las capas de los firmes, exceptuándose en algunas ocasiones como agregado grueso en las capas de rodadura, debido a la facilidad que tiene de pulimentarse en condiciones de servicio, presenta por lo regular menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con ligantes asfálticos. (p.6)

##### *Agregados Silicios*

Estos agregados proceden de la trituración de gravas naturales y son ampliamente utilizados para capas de firmes. Se encuentran en yacimientos granulares de donde son extraídos en partículas de mayor tamaño para luego ser separadas por cribado y a partir de ellas por trituración constante obtener partículas de menor tamaño, con una angulosidad mayor cuantas más caras de fractura contenga. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con ligantes asfálticos, sin embargo si el material obtenido cuenta con un elevado contenido de sílice y de cara de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno incluso para ser utilizado en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico. (Padilla, 2004)

### Agregados Ígneos y Metamórficos

Padilla (2004) describe que son materiales que por sus características resultan muy adecuados para ser utilizados como agregado grueso en las capas de rodadura. En este grupo se incluyen los pórfidos, granitos, cuarcitas, basaltos, gabros, etc. Sus cualidades para resistir al pulimento los hacen idóneos para garantizar durante un período de tiempo que la textura superficial sea necesaria inclusive cuando el tráfico es muy intenso. Padilla (2004) señala que en este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, pero en la mayor parte de estos casos el problema se soluciona con la utilización de sustancias que tienen la misión específica de mejorar la adhesividad con los ligantes o también se resuelven utilizando emulsiones adecuadas y en el caso de mezclas asfálticas, con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado. (Padilla, 2004)

#### *1.6.1.2.2 Según el tamaño de sus partículas.*

Otra forma en que los agregados pueden ser clasificados, sean estos naturales o procesados. Sería de acuerdo a su tamaño, ya que se dividirían en gravas y arenas.

Agregado grueso: Padilla (2004) indica que según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz N° 4.

Agregado fino: Padilla (2004) indica que según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz N° 4 y queda retenido en el tamiz N° 200.

Polvo mineral (Filler): Padilla (2004) indica que según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz N° 200.

#### **1.6.1.3 Propiedades de los agregados pétreos.**

Guevara, et al. (2010) indica que las propiedades de los agregados pétreos, sean estas físicas o mecánicas, varían con su gradación, su contenido de humedad, su posición vertical con relación a la superficie y su localización geográfica. Guevara, et al.

(2010) señala que los agregados pétreos deben cumplir las siguientes propiedades para ser considerado apropiado para una mezcla asfáltica.

#### **a) Gradación y tamaño máximo de partículas**

Guevara, et al. (2010) indica que se requiere que las partículas estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño esté presente en ciertas proporciones. Guevara, et al. (2010) señala que las propiedades físicas y mecánicas de los agregados son función directa de la granulometría y su determinación es fundamental para establecer su comportamiento mecánico, principalmente se somete a cargas directas.

**Granulometría densa.** - se considera de esta manera al agregado que luego de ser compactado alcance un menor contenido de vacíos. Es por tal motivo que las mezclas con granulometría densa tienen un gran número de partículas que se encuentran en contacto entre sí, que les puede dar una mayor resistencia a la fricción y reducir la posibilidad de trituración.

**Granulometría abierta.** - se considera de esta forma a los materiales cuya gradación es incompleta, es decir que contienen menos finos que los de granulometría densa y por lo cual sus partículas tienen menor puntos de contacto siendo así que el esfuerzo entre partículas sea mayor.

**Granulometría discontinua.** - estos agregados presentan irregularidad o vacíos en su gradación.

**Granulometría Uniforme.** - son agregados que habitualmente tienen el mismo tamaño, estos materiales son utilizados principalmente para tratamientos superficiales y sellos.

#### **b) Limpieza**

Guevara, et al. (2010) señala que en los agregados existen materiales indeseables que le restan propiedades y afectan desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Dentro de estos se tienen vegetación, arcilla esquistosa, terrones de arcilla, materia orgánica, etc.

### **c) Durabilidad y Resistencia**

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla y las exigencias durante la vida de servicio del pavimento. El ensayo que se utiliza es para medir la resistencia a la degradación de los agregados frente a problemas generados por la abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.

### **d) Forma de la partícula**

Guevara, et al. (2010) indica que la forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla, la cantidad de fuerza necesaria para compactarla y la resistencia de la estructura del pavimento. Las partículas irregulares y angulares proporcionan las mejores características.

### **e) Textura de la superficie**

“Es un factor que determina la trabajabilidad, la resistencia final de la mezcla y la característica de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Según la textura, los agregados pueden ser rugosos o liso” (Guevara et al., 2010).

### **f) Capacidad de absorción**

“Es la capacidad de un agregado pétreo de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información, pues un agregado poroso requiere mayores cantidades de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso” (Guevara et al., 2010).

### **g) Afinidad con el cemento asfáltico**

“Es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto” (Guevara et al., 2010).

**Tabla 1***Requisitos de los agregados pétreos para pavimentos asfálticos en frío.*

	Ensayo	Requerimiento								
		Bajo tránsito			Tránsito medio			Alto tránsito		
		Agregado grueso	Agregado Fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado Fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado Fino	Gradación combinada
<b>Desgaste de Los Angeles</b>	MTC E 207	25% máx. (rodadura)	35% máx. (intermedia)		25% máx. (rodadura)	35% máx. (intermedia y base)		25% máx. (rodadura)	35% máx. (intermedia y base)	
<b>Desgaste Micro - Deval</b>	ASTM D 7428				25% máx. (rodadura)	35% máx. (intermedia y base)		25% máx. (rodadura)	35% máx. (intermedia y base)	
<b>10% de finos (KN)</b>	Seco							110 min. (rodadura)	90 min. (intermedia)	75 min (base)
	Relación Húmedad/seco							75% máx.		
<b>Pérdidas en ensayos de solidez</b>	Sulfato de sodio	MTC E 209	12% máx.	12% máx.		12% máx.	12% máx.	12% máx.	12% máx.	
	Sulfato de magnesio		18% máx.	18% máx.		18% máx.	18% máx.	18% máx.	18% máx.	
<b>Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso) % mínimo 1 cara/ 2 caras</b>	MTC E 210	75/- (rodadura)	60/- (intermedia)		75/60 (rodadura)	75/- (intermedia)	60/- (base)	85/70 (rodadura)	75/- (intermedia)	60/- (base)

*Fuente: Manual de Carreteras EG (2013).*

**Tabla 2**  
*Requisitos de los agregados pétreos para pavimentos asfálticos en frío.*

	Ensayo	Requerimiento							
		Bajo tránsito			Tránsito medio			Alto tránsito	
		Agregado grueso	Agregado Fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado Fino	Gradación combinada	Agregado grueso	Agregado Fino
Angularidad (Agregado fino)	ASTM D 1252		40% min. (rodadura) 35 % min. (intermedia)		45% min. (rodadura) 40% min. (intermedia) 35 % min (base)			45% min. (rodadura) 40% min. (intermedia) 35 % min (base)	
Coefficientes de pulimento acelerado	UNE 146130	0.45 min (rodadura)		0.45 min (rodadura)			0.45 min (rodadura)		
Partículas planas y alargadas	MTC E 221	10% máx.		10% máx.			10% máx.		
I.P.	MTC E 111			N.P.			N.P.		N.P.
Equivalente de arena	MTC E 114			50% mín.			50% mín.		50% mín.
Contenido de impurezas (Agregado grueso)	UNE 14613	0.5% máx.		0.5% máx.			0.5% máx.		
Adhesivad				75 % mín.					75 % mín.
Resistencia conservada inm-comp									

Fuente: Manual de Carreteras EG (2013).

## **1.6.2 Emulsión Asfáltica.**

### **1.6.2.1 Definición.**

“Se define una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente” (Guevara et al., 2010, p.58). “Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua o dispersante y la otra la fase discreta o dispersa” (Guevara et al., 2010, p.58).

### **1.6.2.2 Componentes de las Emulsiones Asfálticas.**

“Para comprender porque las emulsiones asfálticas poseen un buen desempeño para elaborar mezclas asfálticas en frío, es esencial examinar el papel de los principales constituyentes (asfalto, agua y emulsivos)” (Guevara et al., 2010, p.62).

“Son tres los componentes básicos de una emulsión asfáltica: cemento asfáltico, agua y un agente emulsivo, también podrían ser parte de estos componentes aditivo, como estabilizadores, mejoradores de adherencia, mejoradores de recubrimiento, o agentes de control de rotura” (Guevara et al., 2010, p.62).

### **1.6.2.3 Asfalto.**

Según, Molina, N. (2012), también llamado cemento asfáltico, es componente principal de una emulsión asfáltica. Este encuentra presente entre 50% a 75% en volumen denominado porcentaje de residual asfáltico.

La química del asfalto es un material compleja, y no es necesario para el caso, examinar todas sus propiedades. Algunas de las propiedades si afectan significadamente la emulsión final, sin embargo, no hay una correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que él puede ser emulsionado. Si bien la dureza de la base del cemento asfáltico puede variar, la mayoría de las emulsiones es hecha con asfalto con un rango de penetraciones 6 – 25 mm. (Guevara et al., 2010, p.62-63)



#### **1.6.2.4 Agua.**

Gómez y Ríos (2009) describen que el agua es el segundo componente de mayor proporción en una emulsión asfáltica. Esta se adhiere a otras sustancias y su función es mojar, disolver y aminorar la tensión superficial con el asfalto. El agua usada para producir emulsiones asfálticas debe ser razonablemente pura y libre de materiales extraños, ya que puede contener minerales o impurezas que afectan la producción de una emulsión estable.

Las impurezas pueden ser especialmente perjudiciales para las emulsiones catiónicas, ya que las partículas cargadas de manera negativa absorben rápidamente a agentes emulsificantes catiónicos, desestabilizando la emulsión. Por tal motivo, el uso de agua impura puede resultar en un desbalance en los componentes de la emulsión que pueden afectar de manera considerable su comportamiento o causar su rompimiento prematuro. (Gómez y Ríos, 2009, p.5-6)

Según, Molina, N. (2012), manifiesta que las emulsiones aniónicas el principal problema es la presencia de sales de magnesio y calcio (cationes bivalentes) que caracterizan a las aguas duras, que desestabilizan y rompen la emulsión. Por lo general el tipo de tratamientos para contrarrestar el efecto de las aguas duras resulta costoso. La dureza del agua tiene poca importancia en las emulsiones catiónicas. En este caso el problema radica en la presencia de impurezas cargadas negativamente que absorben a los emulgentes catiónicos, reduciendo la estabilidad de la emulsión.

#### **1.6.2.5 Emulsificantes o emulgentes.**

“Los emulsificantes son compuestos orgánicos con un peso molecular elevado, solubles en agua, que cambian la carga superficial de los glóbulos de asfalto manteniéndolos en suspensión por un tiempo determinado” (Molina, 2012, p.10).

Estos tienen una parte hidrofóbica soluble en el medio orgánico, y una parte hidrofílica soluble en el medio acuoso. La parte hidrofóbica está compuesta por un radical alquilo R, y la parte hidrofílica (saponificada) al entrar en contacto con el agua se disocia quedando cargada positiva o negativamente según el tipo de emulsificante utilizado. (Molina, 2012, p.10)

Según, Fernández, J. (1983), manifiesta tres misiones fundamentales de los emulgentes dentro de la emulsión asfáltica:

Mantener la estabilidad de la emulsión cambiando las cargas eléctricas superficiales de los glóbulos de asfalto, haciendo que se repelan entre sí.

Favorecer el recubrimiento de los áridos con el ligante asfáltico, al momento de mezclado y posterior al rompimiento definitivo de la emulsión.

Facilitar la dispersión del cemento asfáltico en el agua durante la producción de la emulsión.

#### **1.6.2.6 Ventajas del Uso de las Emulsiones Asfálticas.**

Según, Montejo, A. (2010), indica las ventajas de las emulsiones asfálticas frente al resto de ligantes, asfaltos y también empleados en la tecnología en frío de carreteras:

Permite el empleo de agregados, ácidos e incluso húmedos.

Ampliación de la temporada de obra.

No necesita del empleo de activantes para obtener buenas adhesividades ligante/agregados.

Permiten empleo de equipos más sencillos.

Evita consumo de combustible.

Evita los riesgos de incendio y explosión.

Hace más fácil la manipulación y la distribución de ligante.

Permiten dosificaciones más exactas del ligante.

Su empleo no produce contaminaciones.

### 1.6.2.7 Clasificación de las Emulsiones Asfálticas.

Ibañez, H. (2003), indica que, “dentro de las emulsiones asfálticas podemos distinguir dos grandes grupos que se determinan de acuerdo a la carga eléctrica que poseen” (Ibañez, 2003, p.5).

“Emulsiones Aniónicas que son las de carga negativa” (Ibañez, 2003, p.5).

“Emulsiones Catiónicas que son las de carga positiva” (Ibañez, 2003, p.5).

En la Figura N° 6 se demuestra las dos clasificaciones de emulsión muestra.

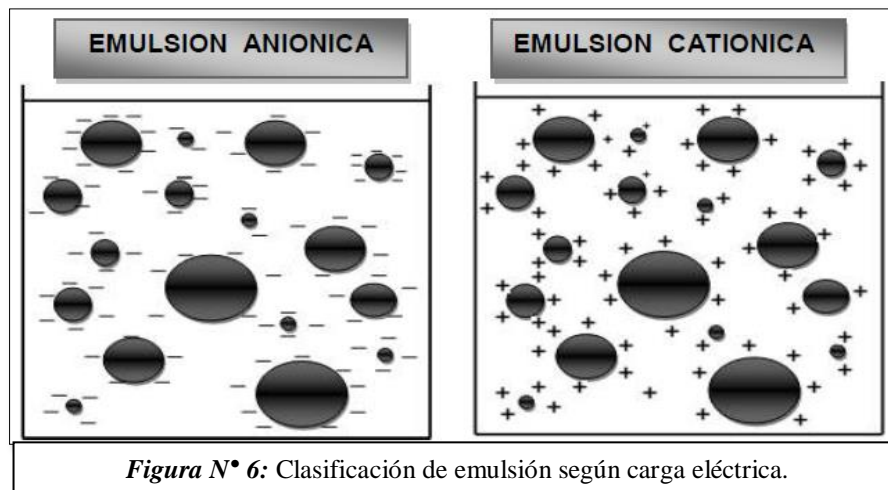
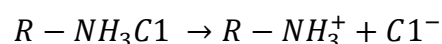


Figura N° 6: Clasificación de emulsión según carga eléctrica.

Según, Galván, L. (2015), manifiesta en cuanto a la utilización de cada uno, fundamentalmente son el agregado y el clima los que definen la naturaleza de la emulsión a emplear, sea catiónica o aniónica, siendo estas últimas de muy reducida aplicación y requieren condiciones ambientales muy favorables. Las catiónicas se adaptan perfectamente a la mayor parte de los agregados de cualquier naturaleza y permiten trabajar en condiciones ambientales más desfavorables.

### 1.6.2.8 Emulsiones Catiónicas.

“Se fabrican usando un emulsionante catiónico. Estos emulsionantes tienen grupos aminos, con carga eléctrica positiva; tienen como fórmula general:  $R - NH_3^+ C1^-$ . Cuando este compuesto se encuentra en un medio acuoso se disocia resultando” (Gómez y Ríos, 2009, p.11).



“El grupo amino  $NH_3^+$  se va a la parte hidrofílica. Mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica” (Gómez y Ríos, 2009, p.11).

En la Figura N° 7 se puede observar como el surfactante catiónico actúa sobre la partícula de asfalto, dejándola cargada positivamente.

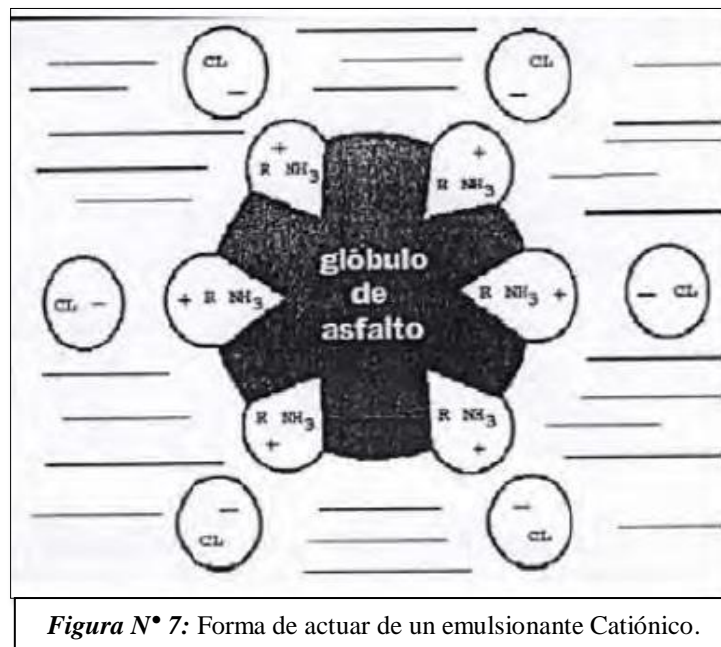
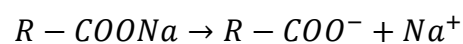


Figura N° 7: Forma de actuar de un emulsionante Catiónico.

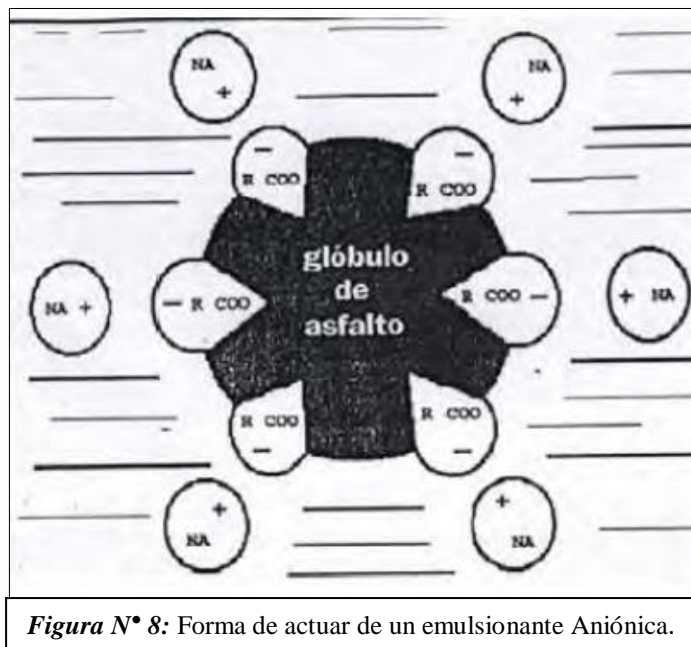
### 1.6.2.9 Emulsiones Aniónicas.

Las partículas de asfalto en las soluciones aniónicas tienen carga negativa. Esto es debido a que se producen con emulsionantes aniónicos. Los emulsionantes aniónicos tienen grupos carboxílicos en su parte hidrofílica, con carga eléctrica negativa; estos tienen como fórmula general:  $R - COO^- Na^+$ . Cuando este compuesto se encuentra en un medio acuoso se disocia resultando. (Gómez y Ríos, 2009, p.11)



“El grupo carboxi  $COO^-$  se va a la parte hidrofílica, mientras que el radical alquilo R se queda en la parte hidrofóbica” (Gómez y Ríos, 2009, p.11).

En la figura N° 8 se presenta el caso del surfactante aniónico, donde los glóbulos de asfalto quedan cargados negativamente.



#### 1.6.2.10 *Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas.*

Cuando uno usa emulsiones asfálticas, es necesario tener control sobre la estabilidad de la emulsión, o sea, se tiene que poder controlar el rompimiento de la misma. Pasado un tiempo determinado, el cual depende de la situación en particular que se esté trabajando, las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto se deposite como una capa sobre el material pétreo. (Rodríguez et al., 2001, p.25)

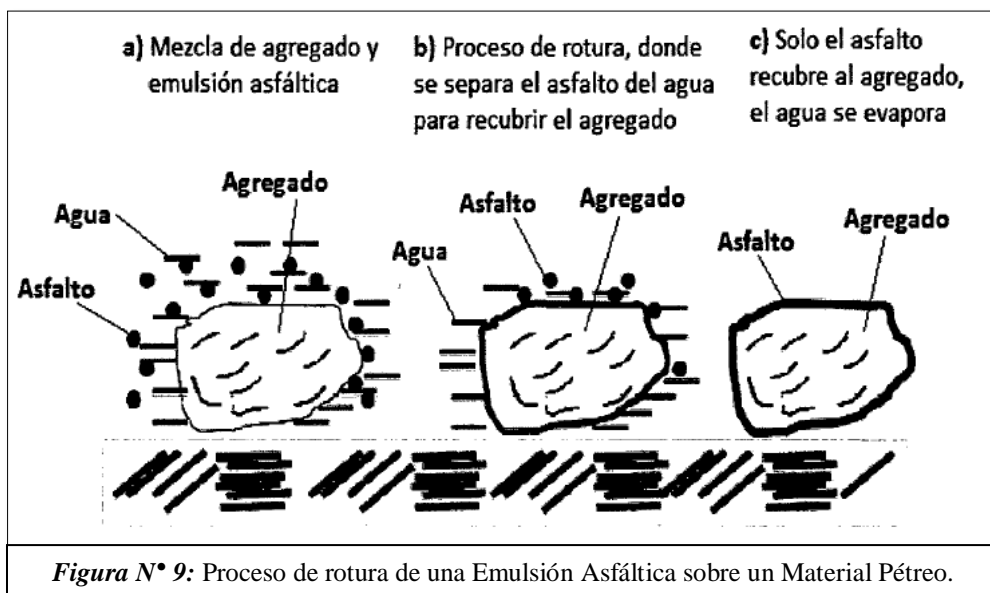
Este fenómeno de rompimiento o rotura de la emulsión ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo. La carga que tiene el material pétreo neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño; estos agregados son los que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica. (Rodríguez et al., 2001, p.25)

Durante este proceso el agua es eliminada del sistema asfalto-pétreo. En el proceso de desestabilización, la emulsión como va perdiendo agua, pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, o sea que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales posteriormente, cuando se deposita la capa de asfalto, son eliminadas. (Rodríguez et al., 2001, p.25)

En general, los factores que influyen en la rotura de la emulsión aniónica son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo. La ruptura de la emulsión

catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulgente por los agregados, provocando la rotura de la emulsión y haciendo que las partículas del asfalto se adhieren inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en presencia de humedad. (Rodríguez et al., 2001, p.25)

En la figura N° 9 podemos observar el proceso de rotura de una emulsión en tres pasos: primero se observa la emulsión, enseguida cuando se inicia el rompimiento y después cuando se produce la rotura completa y queda el material pétreo cubierto por el asfalto. (Rodríguez et al., 2001, p.25)



**Figura N° 9:** Proceso de rotura de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo.

La forma de rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo; adicionalmente permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante una temporada de lluvias, garantizando la apertura de caminos al tránsito en un corto período de tiempo. (Rodríguez et al., 2001, p.25)

#### **1.6.2.11 Clasificación según su velocidad de rompimiento.**

Según, Gómez y Ríos (2009), las emulsiones también se clasifican según su velocidad de rotura, relacionado con la inestabilización y rompimiento después de su contacto con agregados y de la eliminación del agua, encontrándose tres categorías:

Rompimiento o rotura rápida (RS y CRS)

Rompimiento o rotura medio (MS y CMS)

Rompimiento o rotura lento (SS y CSS).

Según, Galván, L. (2015), la nomenclatura usada para la identificación de un determinado tipo de emulsión asfáltica, sean aniónicas o catiónicas, están detalladas en la tabla 3, acorde a las normas AASHTO M140-M208 Y ASTM D977-D2397

**Tabla 3**

*Nomenclatura para Emulsión Asfáltica.*

<b>Emulsión Aniónicas</b>	<b>Emulsión Catiónica</b>
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
MS-1	-----
MS-2	CMS-2
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	-----
HFMS-2	-----
HFMS-2h	-----
SS-1	CSS-1
SS-1h	CSS-1h
QS-1h	CQS-1h

*Fuente: A Basic Asphalt Emulsion Manual, Series N°19.*

Donde:

“La letra C indica que es una emulsión catiónica. La ausencia de esta letra indica una emulsión aniónica” (Galván, 2015, p.34).

Las cifras 1 y 2 indican la viscosidad. Un valor igual a 1 indica una viscosidad baja y para un valor igual a 2 una viscosidad alta, cuyas viscosidades Saybolt Furol, a 122 °F, se encuentra en los rangos 20-100 y 100-400 s, respectivamente. (Galván, 2015, p.34)

La letra “h” incluida en algunos grados indica que la base asfáltica es más consistente (hard, dura). Quiere decir que en muchos casos en función del

clima en obra, se necesitará que la emulsión tenga un residuo de mayor dureza (penetración de 40-50 a 77 °F). Cuando no aparece la letra h se sobreentiende que se ha utilizado un asfalto con penetración entre 100-200. La letra “s” indicaría que la base es más blanda (soft). (Galván, 2015, p.34)

“Las letras HF significa alta flotación” (Galván, 2015, p.34).

#### **1.6.2.12      *Las Emulsiones de Rotura Rápida (RS).***

Mercado, Bracho y Avendaño (2008), indica que, se utilizan principalmente en tratamiento de superficies. Estas emulsiones interactúan rápidamente con el agregado, y revierten la emulsión a asfalto. Este tipo de emulsiones produce películas resistentes y algunos grados (RS-2 y CRS-2) tienen altas viscosidades, para prevenir el escurrimiento, y que, una vez formada la capa, ésta no se despegue con facilidad. Estas propiedades la hacen ideal para aplicaciones de rociado, tales como en bacheos, sellos arenosos y tratamientos superficiales. (Mercado et al., 2008, p.8)

#### **1.6.2.13      *Las Emulsiones de Rotura Media (MS).***

Son diseñadas para ser mezcladas con agregados, ya sea en frío o en caliente, y también para el tratamiento de superficie. Estas emulsiones no se rompen inmediatamente al contacto con el agregado, y por esta razón, algunas pueden ser elaboradas en una planta y la mezcla resultante, transportada al lugar de la pavimentación. Las emulsiones MS han sido usadas con éxito en mezclas de emulsiones de grado abierto, en reciclado de pavimentos y en mezclas en frío en plantas centrales. (Mercado et al., 2008, p.8-9)

#### **1.6.2.14      *Las Emulsiones de Rotura Lenta (SS).***

Son diseñadas para un tiempo máximo de mezcla con los agregados. Su largo tiempo para la manipulación asegura buen cubrimiento con grados densos, de agregados con un alto contenido de finos. Su aplicación se extiende, además de la pavimentación, a otros usos industriales. Para tales propósitos, la viscosidad de las emulsiones es baja y puede ser reducida aún más con la adición de agua. (Mercado et al., 2008, p.9)

Si se desea aumentar la velocidad de rotura, puede ser añadido un pequeño porcentaje de cemento Portland o cal hidratada, durante la producción de la mezcla. Otras



aplicaciones de estas emulsiones incluyen bases de grado denso y bases para estabilización. Una aplicación diferente a la pavimentación ha sido en el tratamiento de suelos que han sido sembrados y fertilizados. (Mercado et al., 2008, p.9)

**Tabla 4**  
*Aplicaciones de las Emulsiones Asfálticas.*

Tipo de Construcción	ASTM D977 / AASHTO M208						ASTM D2397 / AASHTO M 140								
	RS-1	RS-2	HFRS-2	MS-1, HFMS-1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2S	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
<b>Mezclas de Asfalto y Agregados:</b>															
Mezcla en Planta (en caliente)						X <sup>A</sup>									
Mezcla en Planta (en frío)															
Granulometría abierta					X	X						X	X		
Granulometría cerrada							X	X	X					X	X
Arena							X	X	X					X	X
<b>Mezcla en In-situ</b>															
Granulometría abierta					X	X						X	X		
Granulometría cerrada							X	X	X					X	X
Arena							X	X	X					X	X
Suelo Arenoso							X	X	X					X	X
<b>Aplicaciones de Asfalto y Agregado</b>															
Tratamiento Superficiales (S y M)	X	X	X							X	X				
Sellado con Arena (Sand Seal)	X	X	X	X						X	X				
Lechada Asfáltica (Slurry Seal)							X	X	X					X	X
Micro-Aglomerado (Micro-sufac.)															X <sup>E</sup>
Sellado Doble (Sandwich seal)		X	X								X				
Capa Seal		X									X				
<b>Aplicaciones de Asfálticas</b>															
Riego Pulverizado (Fog Seal)				X <sup>B</sup>				X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>					X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>
Imprimación (Prime coat)								X <sup>D</sup>	X <sup>D</sup>					X <sup>D</sup>	X <sup>D</sup>
Riego de Adherencia (Tack Coat)								X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>					X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>
Control de Polvo (Dust Palliative)								X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>					X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>
Protección con Asfalto (Mulch treta)								X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>					X <sup>C</sup>	X <sup>C</sup>
Sellado de Fisuras (crack filler)								X	X					X	X
<b>Mezclas de Mantenimiento</b>															
Uso inmediato								X						X	X
Acopio								X							

<sup>A</sup> Pueden emplearse otros grados que el HFMS-2h cuando la experiencia demuestre que han tenido un comportamiento satisfactorio.  
<sup>B</sup> Diluido en agua por el fabricante.  
<sup>C</sup> Diluido con agua.  
<sup>D</sup> Mezclado solo para imprimación.  
<sup>E</sup> El polímero debe incorporarse durante o previamente a la emulsificación.

Fuente: Emulsiones Asfálticas, Usos – Rompimiento. (2008)

**Tabla 5**  
Especificaciones para Emulsiones Catiónicas.

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta				Rotura Rápida	
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1H	
	min	Max	min	Max	min	max	Min	max	min	max	min	max	min	max
<b>Prueba sobre Emulsiones</b>														
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100	20	100
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°Cs	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-	-	-
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h, %(**)	1		1		1		1		1		1		1	
Demulsibilidad, 35 cm <sup>3</sup> , 0.8%	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diocilsulfosuccinato sódico, %														
- Revestimiento y Resistencia al agua:														
- Revestimiento agregado seco					Bueno				Bueno					
- Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable				Aceptable					
- Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable				Aceptable					
- Revestimiento, agregado húmedo después del rociado					Aceptable				Aceptable					
Carga de Partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo	
Prueba de Tamiz %(**)	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Mezcla con Cemento, %									-	2,0	-	2,0		
Destilación:														
- Destilación de aceite, por volumen de emulsión	-	3	-	3	-	12	-	12	-	-	-	-	-	-
- % Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-	57	-
<b>Pruebas sobre el Residuo de destilación:</b>														
- Penetración, 25°C, 100 g, 5s	100 <sup>(a)</sup>	250 <sup>(a)</sup>	100 <sup>(a)</sup>	250 <sup>(a)</sup>	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
	50 <sup>(a)</sup>	150 <sup>(a)</sup>	50 <sup>(a)</sup>	150 <sup>(a)</sup>										
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40		40		40		40		40		40		40	
- Solubilidad en Tricloroetileno, %	97,5		97,5		97,5		97,5		97,5		97,5		97,5	

<sup>(\*)</sup> CQS – 1H, emulsión que debe cumplir los requisitos considerados en la Norma D 3910.

CQS – 1h, usado para sistemas de mortero asfáltico.

<sup>(\*\*)</sup> Este requerimiento de prueba en muestras representativas se exige.

<sup>(a)</sup> En función a las condiciones climáticas del Proyecto se definirá uno de los grados indicados (50-150 ó 100-250).

Fuente: Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016).

### **1.6.3 Pavimentos.**

#### ***1.6.3.1 Definición.***

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función permitir el tránsito de vehículos, existen dos tipos de pavimentos, tanto flexibles como rígidos.

#### ***1.6.3.2 Tipos de pavimentos.***

##### ***1.6.3.2.1 Pavimentos Flexibles y mixtos.***

Están constituidos por una o más capas asfálticas apoyadas sobre otras capas las cuales son llamadas base y sub-base conformadas por materiales granulares, materiales estabilizadores de diversos agentes (cal, material bituminoso, cemento, etc.), en el caso de pavimentos flexibles, o sobre losas de concreto para pavimentos mixtos.

##### ***1.6.3.2.2 Pavimentos Rígidos.***

Están constituidos por losas de concreto apoyadas sobre una sub-base de material natural, estabilizado o directamente sobre la rasante.

#### ***1.6.3.3 Fallas en pavimentos Flexibles.***

Son daños que afectan el comportamiento y condición de la carpeta asfáltica y en algunos casos llegan a afectar las capas inferiores del pavimento produciendo daños superficiales o daños funcionales, por lo cual afectan la capacidad estructural del pavimento reduciendo su habilidad para soportar cargas de tránsito, afectando así la transitabilidad de vehículos.

### **1.6.4 Mezcla Asfáltica.**

#### ***1.6.4.1 Definición.***

“Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de carreteras, ya sea en capas de rodadura o en sub capas, proporcionando una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios” (Ramos y Muñiz, 2013, p.49).

“Los progresos en la tecnología de emulsiones y la cifra antes mencionada hacen posible el empleo de mezclas con emulsiones con una amplia variedad de aplicaciones en construcción, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos” (Ramos y Muñiz, 2013, p.49).

#### **1.6.4.2 Clasificación de las Mezclas Asfálticas.**

“Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre la distinta mezcla y las clasificaciones pueden ser diversas” (Guevara et al., 2010, p.56).

##### *1.6.4.2.1 “Por la temperatura de puesta en obra” (Guevara et al., 2010, p.56).*

Mezcla asfáltica en caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente. (Guevara et al., 2010, p.56).

“Mezcla asfáltica en frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente” (Guevara et al., 2010, p.56).

##### *1.6.4.2.2 “Por la proporción de Vacíos en la Mezcla Asfáltica” (Guevara et al., 2010, p.56).*

“Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas” (Guevara et al., 2010, p.56).

“Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6%” (Guevara et al., 2010, p.56).

“Mezcla Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6% y el 10%” (Guevara et al., 2010, p.56).

“Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12%” (Guevara et al., 2010, p.57).

“Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos es superior al 20%” (Guevara et al., 2010, p.57).

1.6.4.2.3 *“Por el tamaño máximo del Agregado pétreo”* (Guevara et al., 2010, p.57).

“Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm” (Guevara et al., 2010, p.57).

“Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico” (Guevara et al., 2010, p.57).

#### **1.6.4.3 Propiedades de la Mezcla Asfáltica.**

Según Chrystian José Ballena Tapia (2016), indica algunas propiedades de la mezcla asfáltica:

**Estabilidad:** La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y su lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla. (Ballena, 2016, p.52)

Los requisitos de estabilidad sólo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deber ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado. (Ballena, 2016, p.52)

**“Flexibilidad:** Capacidad de la mezcla de adaptarse a las deformaciones por asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse” (Ballena, 2016, p.55).

La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo). Una granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos. (Ballena, 2016, p.55-56)

**“Impermeabilidad:** 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 relacionan con impermeabilidad” (Ballena, 2016, p.54).

**Trabajabilidad:** La Trabajabilidad está 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. (Ballena, 2016, p.54)

“La Trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de mezcla, el tipo de agregado y/o la granulometría” (Ballena, 2016, p.54).

**Durabilidad:** Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Primero: usando la mayor cantidad posible de asfalto; segundo, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación y tercero, diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad. (Ballena, 2016, p.53)

Una graduación densa de agregado firme, duro y resistente a la separación, contribuye de tres maneras a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. (Ballena, 2016, p.53)

**“Resistencia a la fatiga:** Investigaciones han demostrado que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga” (Ballena, 2016, p.56).

A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. En este caso, el período de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga será menor. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. La capacidad de soporte de la subrasante y las características de resistencia y espesor de un pavimento, tienen mucho que ver con su vida útil y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto por la acción de las cargas como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles. (Ballena, 2016, p.56)

**Resistencia al deslizamiento:** Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento. (Ballena, 2016, p.56)

## **1.6.5 Mezcla Asfáltica en Frío.**

### **1.6.5.1 Definición.**

“Son las mezclas constituidas por la combinación de uno o más agregados pétreos, con una emulsión asfáltica (que no es más que asfalto emulsionado en agua antes de ser mezclado con el agregado) y, eventualmente, agua” (Ramos y Muñiz, 2013, p.50). En este estado de emulsión el asfalto es menos viscoso y la mezcla es más fácil de trabajar y compactar. La emulsión romperá luego de que suficiente agua se hay evaporado y la mezcla en frío comienza a tener buena resistencia. (Ramos y Muñiz, 2013, p.50), “estas mezclas se efectúan con asfaltos líquidos y sin recurrir al calentamiento de los agregados. Se utilizan comúnmente como material para bacheo en rutas de bajo tránsito” (Ramos y Muñiz, 2013, p.50).

“Las mezclas asfálticas en frío son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias (Todo el proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente)” (Guevara et al., 2010).

### **1.6.5.2 Ventajas de las Mezclas Asfálticas en frío.**

“Las mezclas asfálticas en frío tienen varias ventajas contándose entre ellas las siguientes” (Ibañez, 2003, p.157).

**“Versatilidad:** Dada la variedad de tipos y grados de emulsiones y asfaltos cortados disponibles se puede trabajar con una gran variedad de requisitos para agregados y condiciones de clima” (Ibañez, 2003, p.157).

**“Economía:** Altas tasa de producción de mezclas se obtienen con una baja inversión en equipos comparando con la mezcla en caliente requiere de equipos más caros” (Ibañez, 2003, p.157).

**“Baja polución ambiental:** Por el hecho de no requerir de un secador de agregados pétreos no hay omisión de humo ni polvo” (Ibañez, 2003, p.157).

Ibañez (2013), señala que: “Además en el caso de usar emulsiones no se producen vapores ni olores indeseables” (p.158).

### **1.6.5.3 Mezclas Asfálticas en Frío para mantenimiento.**

“El mayor uso de mezclas en frío es en el mantenimiento, que consisten en tres tipos: “de uso inmediato”, que en muchos casos han sido patentizadas como productos previamente preparados” (Jiménez et al., 2009, p.20), “de apilamiento”, cuyo uso está previsto para el largo plazo (más de 6 meses)” (Jiménez et al., 2009, p.20), y “de apilamiento utilizando RAP” (Reclaimed Asphalt Pavement) las cuales utilizan material recuperado en frío” (Jiménez et al., 2009, p.20).

#### **1.6.5.3.1 Mezclas en frío “de apilamiento”.**

Según, Jiménez et al. (2009), durante los meses de invierno, las mezclas para mantenimiento son almacenadas en apilamientos, estas mezclas pueden ser producidas al final del verano, transportadas y almacenadas en lugares alejados para su uso posterior.

Estas mezclas pueden ser usadas luego de períodos de almacenamiento de más de 6 meses, y se mantienen trabajables sin tener que ser calentadas. Un cascarón delgado



se forma en la superficie del apilamiento, pero debajo de este, la mezcla mantiene sus características. (Jiménez et al., 2009, p.20).

La producción de las mezclas para apilar es una operación relativamente simple, el equipo básico requerido para producir grandes cantidades incluye un tambor mezclador y un sistema para la adecuada dosificación de los agregados y la emulsión. El control de la dosificación se realiza por peso. (Jiménez et al., 2009, p.21).

La mezcla debe ser almacenada en un área limpia para evitar su contaminación. No se debe almacenar en un área baja donde el agua se pueda introducir dentro de la mezcla, por esta razón es recomendado almacenarla en un área cubierta que provea una mejor protección y ayude a mantener la trabajabilidad. (Jiménez et al., 2009, p.21).

La consistencia adecuada de esta mezcla depende considerablemente de la formulación de la emulsión asfáltica. La trabajabilidad proviene del uso de solvente en la emulsión. La duración y la trabajabilidad de las mezclas de apilamiento a bajas temperatura son directamente proporcionales a la cantidad de solvente en la emulsión.

#### 1.6.5.3.2 *Mezclas en frío “de apilamiento” utilizando RAP.*

“Muchos proyectos de sobrecapas de mezclas asfálticas incluyen trabajos de fresado que pueden producir grandes cantidades de RAP. Son numerosas las aplicaciones del RAP, y una de ellas es el uso de ese material para producir mezclas de mantenimiento” (Jiménez et al., 2009, p.21).

Es recomendado que, cuando sea posible, el fresado en frío sea utilizado para remover las capas de mezcla asfáltica, lo cual produce pequeñas piezas que evita el uso de los quebradores.

“El manejo de los apilamientos es muy importante, se debe seleccionar un lugar adecuado para el material de RAP, donde este pueda ser procesado y almacenado, además es importante separarlo dependiendo de la fuente para producir apilamientos más uniformes” (Jiménez et al., 2009, p.21).

“La emulsión asfáltica se agrega al RAP utilizando una planta de mezclado” (Jiménez et al., 2009, p.21). Se han desarrollado formulaciones especiales para las emulsiones que se utilizarían para las mezclas de mantenimiento con RAP, pues se necesita el ablandamiento del asfalto envejecido del RAP. “Los contenidos de emulsión típicos para estas mezclas están en un rango de 1 a 2.5% por peso de RAP. Se debe realizar un diseño de mezcla para determinar contenido de emulsión y las proporciones de RAP” (Jiménez et al., 2009, p.21).

“Estas mezclas son usadas con éxito tanto en espesores delgados y de mayor espesor para bacheo y también se pueden usar para la reparación de huecos aislados” (Jiménez et al., 2009, p.21). “En lugares donde los agregados gruesos y quebradas no están disponibles o son difíciles de conseguir, el uso del RAP es recomendado para la fabricación de mezclas de mantenimiento” (Jiménez et al., 2009, p.21).

#### 1.6.5.3.3 Mezclas en frío “de uso inmediato”.

“Las emulsiones asfálticas pueden ser utilizadas muy efectivamente para la preparación de mezclas para mantenimiento de uso inmediato” (Jiménez et al., 2009, p.21). “La mezcla emulsión-agregado puede ser producida en un tambor mezclador y transportada al sitio donde va a ser utilizadas. A pesar de que se recomienda utilizar mezcladoras de planta, se pueden producir mezclas de calidad aceptable” (Jiménez et al., 2009, p.21). “Utilizando un distribuidor de asfalto y mezclando con una moto-niveladora o con una mezcladora de aspas. Para obtener un buen recubrimiento y buena adhesión no es necesario calentar los agregados, si se utiliza la emulsión adecuada” (Jiménez et al., 2009, p.21).

Las emulsiones asfálticas recomendadas son: CMS-2, CMS.2h y HFMS-2s. Se pueden utilizar otros tipos de emulsiones si la experiencia demuestra que se pueden obtener resultados satisfactorios. Los agregados deben cumplir con las especificaciones de calidad establecidas para las mezclas en frío en general. (Jiménez et al., 2009, p.21)

“Las emulsiones asfálticas contienen pequeñas cantidades de solventes, que generalmente producen el mejor resultado para las mezclas en frío, utilizadas para bacheo” (Jiménez et al., 2009, p.21).

“La mezcla se rigidiza cuando el solvente se evapora. A la hora de dosificar el agua dentro de la mezcla se debe tomar en cuenta, el tiempo con el que se dispone para abrir el tránsito nuevamente” (Jiménez et al., 2009, p.21). Ver figura N° 10.



**Figura N° 10:** Mezcla en frío tipo apilamiento de uso inmediato.

“Finalmente, se tienen las mezclas en frío para bacheo (cold patching), que pueden ser fabricadas en mezcladoras pequeñas o también vienen empacadas bajo una marca registrada” (Jiménez et al., 2009, p.21). Ver figura N° 11.



**Figura N° 11:** Mezcla en frío de uso inmediato de marca registrada.

#### **1.6.5.4 Tipos de Mezclas Asfálticas en Frío.**

Ramos y Muñiz (2013), indica:

##### **1.6.5.4.1 Mezclas Cerradas o Densas.**

Se denominan del tipo cerradas porque su relación de vacíos es menor al 6%. Se fabrican con emulsiones de rotura lenta sin ningún tipo de fluidificante. Aunque pueden compactarse después de haber roto la emulsión (la presencia de agua supone una lubricación de las partículas de árido), no conviene ponerlas en obra si no son suficientemente trabajables. (Ramos y Muñiz, 2013, p.52)

“El agua se debe incorporar a los agregados antes que la emulsión asfáltica, con el fin de evitar un rompimiento prematuro de ésta, asegurando un recubrimiento completo del agregado y una buena uniformidad en la mezcla” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

Según, Molina, N. (2012), describe las mezclas cerradas tienen una granulometría bien distribuida con alto contenido de finos. Este tipo de gradación genera numerosos puntos de contacto entre los agregados, permitiendo que los esfuerzos entre el material pétreo sean bajos por la distribución de la carga. Existen variedad de tipos de granulometrías para esta mezcla dependiendo de la capa del pavimento donde vaya a ser colocada. Normalmente se usan emulsiones de rompimiento lento por el alto contenido de finos en la gradación. Son mezclas que pueden ser utilizadas para todo tipo de pavimentos.

#### **Usos de Mezclas Cerradas o Densas**

Según, Ramos y Muñiz (2013), manifiesta algunos usos de mezclas cerradas o densas:

“Bases negras” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

“Bases estabilizadas con emulsión” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

“Reciclados en general (base + carpeta, carpeta, RAP, etc.)” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

“Carpetas de nivelación” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

“Carpetas de rodadura” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

“Estabilización de materiales marginales” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

“Emulsión CSS-1, CSS-2 o CSS-2h” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

“Porcentajes en volumen: 6 - 12%” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

“Su campo de aplicación comprende en lo que respecta a mantenimiento (baches)” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52). “También pueden aplicarse para construir carpetas de rodadura de calles de bajo tráfico debido a los tiempos de apertura” (Ramos y Muñiz, 2013, p.52).

**Tabla 6**

*Gradaciones para mezclas densas en frío.*

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA		
En milímetros	Alterno	MDF - 1	MDF - 2	MDF - 3
37.5 mm	1 ½”	100	-	-
25.0 mm	1”	80-95	100	
19.0 mm	¾”	-	80-95	100
12.5 mm	½”	62-77	-	-
9.50 mm	3/8”	-	60-75	-
4.75 mm	N° 4	45-60	47-62	50-65
2.36 mm	N° 8	35-50	35-50	35-50
300 µm	N° 50	13-23	13-23	13-23
75 µm	N° 200	3-8	3-8	3-8

*Fuente:* Manual de Carreteras EG (2013).

#### 1.6.5.4.2 Mezclas Abiertas.

“Al igual que las mezclas cerradas, las abiertas también se conceptualizan partiendo de su porcentaje de vacíos, el cual debe ser mayor al 12%” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

Consisten en la combinación de un agregado pétreo predominantemente grueso y de granulometría uniforme, con un ligante bituminoso, constituyendo un producto que puede ser elaborado, extendido y compactado a temperatura ambiente y que presenta un elevado contenido de vacíos con aire. (Ramos y Muñiz, 2013, p.53)

“Son las más empleadas. Se caracterizan por su trabajabilidad tras su fabricación, incluso durante semanas. Dicha trabajabilidad se basa en que el ligante permanece con baja viscosidad, debido a que se emplean emulsiones de betún fluidificado” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

“Después de la puesta en obra en capas de reducido espesor, el aumento de la viscosidad es rápida; sin embargo, es muy lento en acopios, en los que únicamente endurece la superficie, siendo así visible el almacenamiento” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53). “En las capas ya extendidas, la evaporación del fluidificante es posible debido a que la granulometría es abierta, con pequeñas proporciones de árido fino, lo que supone un elevado porcentaje de huecos en la mezcla” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

Según, Molina, N. (2012), son mezclas con alto contenido de vacíos que permiten el drenaje de agua y un curado rápido. Este tipo de mezclas ha tenido buen desempeño en la construcción de bases y carpetas de rodamiento evidenciando buena resistencia a la fatiga, fisuras, ahuellamiento y desplazamiento. Para su fabricación son utilizadas emulsiones de rompimiento medio y en algunos casos de rompimiento lento.

**Tabla 7**

*Gradaciones para mezclas abiertas en frío.*

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA			
Normal	Alterno	MAF – 1	MAF – 2	MAF – 3	MAF – 4
37.5 mm	1 ½”	100	-		
25.0 mm	1”	95-100	100		
19.0 mm	¾”	-	95-100	100	
12.5 mm	½”	25-65	-	95-100	
9.50 mm	3/8”	-	20-55	35-40	85-100
4.75 mm	Nº 4	0-10	0-10	-	-
2.36 mm	Nº 8	0-5	0-5	3-7	-
1.18 mm	Nº 16	-	-	-	0-5
75 µm	Nº 200	0-2	0-2	0-1	0-1

*Fuente:* Manual de Carreteras EG (2013).

## **Usos de Mezclas Abiertas**

Según, Ramos y Muñiz (2013), manifiesta algunos usos de mezclas abiertas:

“Bases negras” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

“Carpetas de nivelación” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

“Carpetas de rodadura” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

“Mezclas de acopio” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

“Tipo de emulsión CMS-1 o CMS-2” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

“Porcentajes en volumen: 3 - 8%” (Ramos y Muñiz, 2013, p.53).

### **1.6.6 Métodos de diseño de mezcla asfáltica en frío**

#### **1.6.6.1 Método Área Superficial Equivalente.**

Describe que en 1940, “Francis Hveem desarrollo el método que ahora recibe su nombre, anteriormente Ingeniero anteriormente Ingeniero de Materiales e Investigación con la División de Carreteras de California con el objetivo de brindar un procedimiento para fabricar, ensayar y diseñar mezclas asfálticas densas” (Torres, 2004). “El propósito del Método Hveem es el determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica final” (Torres, 2004).

Según Asphalt Institute, el Método de Área Superficial corresponde al principio que, el asfalto recubre la superficie del agregado, se fundamenta en que cada partícula del agregado que debe ser cubierta por el asfalto, tiene una superficie determinada la cual depende del tamaño de la partícula y su forma. Para determinar el área superficial del agregado, hay que tener su granulometría.

En la práctica se obtiene de tablas, en lo que se denomina “Constante de Área Superficial Equivalente”.

Se determina la cantidad de asfalto por unidad de superficie, y se conoce como “Índice Asfáltico” que se obtiene de las curvas.

## Metodología

### Elección el Tamizado

Según, Asphalt Institute está en función del número de mallas utilizadas las que determinan el Factor de Áreas Superficiales (F.A.S), según la tabulación establecida. Son constantes de Área también representadas por “K” en pie<sup>2</sup>/lib agregado, siendo mayor en el material fino. Normalmente se utilizan máxima 10 mallas, obteniendo 10 constantes. El agregado se descompone en grupos cada vez más pequeños con granulometrías de tamaño máximo y mínimo se pueden tomar variados tipos de mallas obteniendo constantes diferentes.

### Cálculo del Área Superficial Equivalente de la Mezcla (AS)

Según, Asphalt Institute, se multiplica el porcentaje retenido en cada dimensión de malla por el “K”, luego se suman los productos obtenidos y el total representará el “área superficial equivalente de la muestra en pie<sup>2</sup>/lib de agregado (N)”.

**Tabla 8**

*Modelo para el cálculo de Área Superficial Equivalente*

MALLA		% RET	(1)	F.A.S (K)	A.S
PASA	RET			(k pie <sup>2</sup> /lb)	Pie <sup>2</sup> /Lib
¾	3/8	10	0.10	1	0.10
3/8	4	15	0.15	2	0.30
4	8	10	0.10	4	0.40
8	16	10	0.10	8	0.80
16	30	20	0.20	16	0.32
30	50	-	-	30	-
50	100	-	-	60	-
100	200	-	-	120	-
200	270	-	-	200	-
270				300	
			100	100	Suma = N

Fuente: Diseño de Mezclas Asfálticas, Asphalt Institute Manual Series N°22 (MS-22).



## Cálculo del Índice Asfáltico (I.A)

Según, Asphalt Institute, se introduce el concepto de índice de Asfalto (I.A) que da la cantidad de asfalto en libras que requiere cada pie cuadrado de superficie de agregado. Cada pie cuadrado de áreas superficial del agregado, tiene un peso determinado de asfalto que varía entre: 0.001 y 0.003 libra de asfalto por pie cuadrado de superficie de agregado.

Se ha elaborado el gráfico con las curvas 1 a 5, según la naturaleza del agregado. Se obtiene de ABACOS entrando con el área superficial obtenida hasta cortar la curva de agregados, encontrando en las ordenadas el valor del índice asfáltico en libra asfalto/pie<sup>2</sup> agregado.

Si no se obtiene el gráfico, se puede usar un índice de 0.0015 lb de asfalto/pie<sup>2</sup>.

Halle el área superficial de la muestra como se ha obtenido en las tablas en la línea inferior de este gráfico. Siga hacia arriba hasta encontrar la curva. De aquí siga hacia la izquierda en la línea de este extremo se encuentra el índice asfáltico. Multiplique el área superficial por el índice asfáltico: el resultado dará el número de libras de asfalto por libra de agregado. Empleese las curvas de la manera que se muestran en la figura 14.

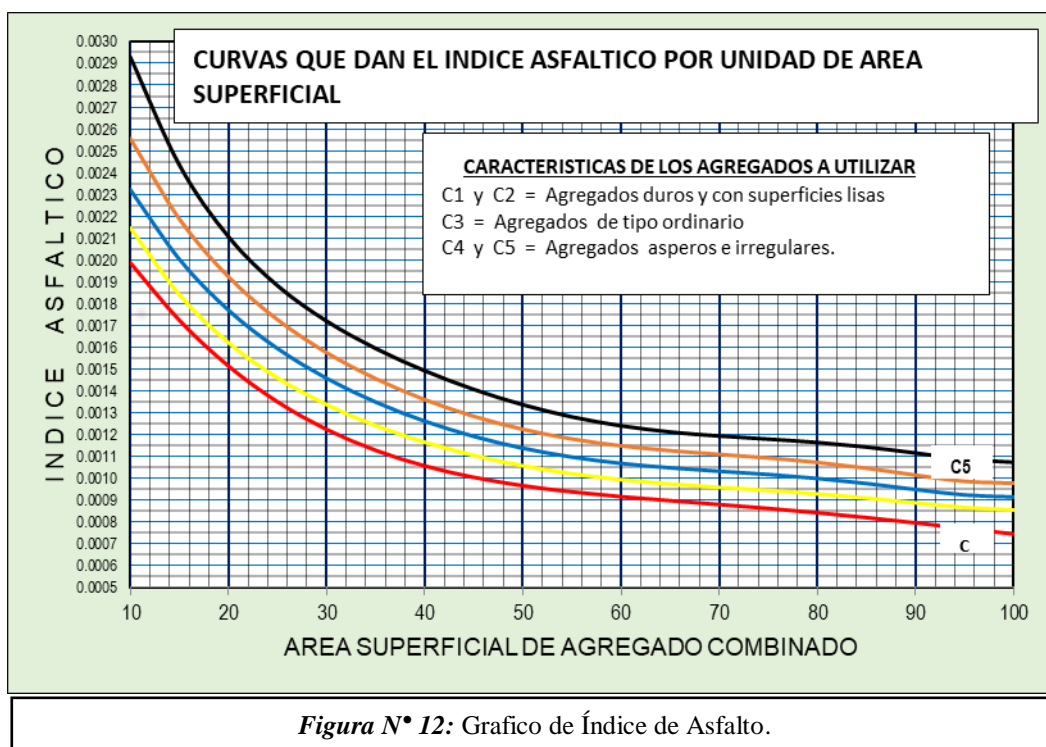


Figura N° 12: Grafico de Índice de Asfalto.

### **Utilización del Método**

Según, Asphalt Institute, la utilización de este método comprende:

Se encuentra la granulometría del agregado, para poder utilizar una de las tablas de constantes de superficie que se tengan.

Se toma el peso específico del agregado.

Se busca el Índice Asfáltico utilizando en la figura N° 14.

Se aplica la fórmula, la que nos dará la cantidad de asfalto.

### **Proceso para el Diseño de una Mezcla en Frío**

Según, Asphalt Institute:

Se escoge el tipo de agregados con los que se va a obtener la mezcla. Para ello puede tomarse cualquiera de los cinco tipos de granulometría, recomendados por el Instituto del Asfalto.

Se calcula la cantidad de bitumen que se va a emplearse en la mezcla, utilizando una de las fórmulas empíricas o el método de las áreas superficiales.

Se determina el tipo de asfalto diluido que se va a usar.

Se calcula la cantidad del asfalto escogido.

### **Cálculo del Porcentaje de Asfalto (% Asf)**

$$P = \frac{2.65 \times \text{Área Superficial} \times \text{Índice Asfáltico}}{\text{Peso Específico del Agregado}}$$

Donde:

P = Porcentaje de asfalto en peso sobre el peso total de la mezcla.

Área Superficial de la suma de todas las partículas, en pies cuadrados/libra de peso.

Índice Asfáltico, cantidad de asfalto de recubrimiento.

*Nota:* Es necesario tener en cuenta los pesos específicos correspondientes.

#### **1.6.6.2 Método Marshall para la Prueba de Diseño de la Mezcla Asfáltica en Frío.**

El concepto del Método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos de Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoraron y adicionaron ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas. (Guevara et al., 2013, p.84)

Método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos de 38 mm (1.5”), y está pensando para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. (Guevara et al., 2013, p.84) “el método Marshall utiliza especímenes de prueba (briquetas) estándar de 64 mm (2 ½”) de alto y 102 mm (4”) de diámetro, se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezcla de asfalto – agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son: densidad – análisis de vacíos, la prueba de estabilidad – flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos. (Guevara et al., 2013, p.84)

Los criterios de ensayos recomendados, son aplicable para mezclas de agregados para base granular de bajos volúmenes de tráfico, conteniendo emulsión asfáltica y agregados minerales de gradación densa. Este método diseño es recomendado para mezclas en camino o elaboradas en planta, preparadas a temperatura ambiente. (Guevara et al., 2013, p.85)

Ramos y Muñiz (2013), indica que, “la carga de falla de las briquetas se denomina estabilidad y la deformación máxima se llama flujo” (p.91).

Uno de los Métodos de diseño más usado en la actualidad es el Marshall Modificado, basado en el método Marshall para diseño de mezclas en caliente el cual es modificado para adecuarse al diseño de mezclas preparadas a temperatura ambiente. Su propósito es proveer la cantidad adecuada de ligante asfáltico que estabilice el material granular con el fin de dar la resistencia o estabilidad requerida para soportar las aplicaciones de carga sin una deformación permanente excesiva o los efectos por cambios bruscos de temperatura. El diseño analiza la relación ESTABILIDAD – FLUJO en muestras compactadas y la relación densidad-análisis de vacíos. (Galván, 2015, p.37)

La estabilidad y el flujo de un pavimento reflejan su capacidad de resistir desplazamientos y su deformación bajo las cargas del tránsito. En la relación densidad y contenido de vacíos, entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos, a menor cantidad de vacíos menor será permeabilidad de la mezcla y un contenido alto proporciona aberturas donde puede entrar agua y aire, deteriorando el pavimento. (Galván, 2015, p.38)

**Tabla 9**

*Requisitos para mezclas de concreto bituminoso*

Parámetros de diseño	Clase de Mezcla		
	Tránsito Pesado	Tránsito Medio	Tránsito Liviano
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>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2.1	2.1	1.4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0.6-1.3	0.6-1.3	0.6-1.3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1700-4000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	80 Mín.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango de 2% a 4% (es deseable que tienda al menos 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0.075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

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

(4) El índice de Compactibilidad mínimo será 5.

El índice de Compactibilidad se define como:  $\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 75}$

Siendo GEB50 Y GEB75, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 75 golpes.

*Fuente:* Manual de Carreteras–Especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013.

**Tabla 10**

Criterios para el diseño de mezcla de agregados – Emulsión Asfáltica.

Propiedades de los Ensayos	Mínimo	Máximo
Estabilidad. N(lb) a 22.2° C (72°F)	2224	-
Mezclas para pavimentos	(500)	
Porcentaje de Pérdida de estabilidad después de saturación de vacíos e inmersión	-	50
Agregado para recubrimiento	50	-

*Fuente:* Manual de Carreteras–Especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013.

### 1.6.7 Normativa.

Para el desarrollo del presente informe se tomó en cuenta las normativas siguientes:

**Tabla 11**

Ensayos para Agregados.

Referencia Normativa	Descripción	Aplicación
(NTP 400.012, 2016) o (ASTM C-136 y AASHTO T 27) MTC E 204, 2016	Análisis Granulométrico de Agregados Grueso y Finos	Se aplica para determinar la gradación de los materiales y el cumplimiento de la distribución de las partículas de agregado fino y grueso mediante tamizado que serán utilizados en el diseño de mezcla asfáltica en frío.
(NTP 400.019, 2016) o (ASTM C-535 y AASHTO T96) MTC E 207, 2016	Abrasión Los Ángeles	Determina la resistencia a la degradación de los agregados, mediante el desgaste, impacto y trituración.

<b>(ASTM D-4791)</b> <b>MTC E 223, 2016</b>	“Partículas chatas y alargadas en agregados” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.391).	“Las partículas chatas o alargadas pueden inferir con la consolidación y dificultar la colocación de los materiales. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.391).
<b>(ASTM D-5821)</b> <b>MTC E 210, 2016</b>	“Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.337).	“Suministrar estabilidad a los tratamientos de superficies de agregados y proporcionar fricción incrementada por la textura”. (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.337).
<b>(NTP 400.022, 2016) o</b> <b>(ASTM C-128 y</b> <b>AASHTO T84)</b> <b>MTC E 205, 2016</b>	Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos	Se utiliza para determinar la relación entre peso y volumen del agregado fino, para la utilización en una mezcla asfáltica en frío
<b>(NTP 400.021, 2016) o</b> <b>(ASTM C-127 y</b> <b>AASHTO T85)</b> <b>MTC E 206, 2016</b>	“Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.312).	Se utiliza para determinar la relación entre peso y volumen del agregado grueso, para la utilización en una mezcla asfáltica en frío
<b>(NTP 400.017, 2016) o</b> <b>MTC E 203, 2016.</b>	“Peso Unitario y vacíos de los Agregados” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.298).	“Determinar el valor del peso unitario suelto o compactado y el % de vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.298).
<b>(NTP 339.146, 2000) o</b> <b>MTC E 114, 2016.</b>	“Método de ensayo para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.91).	“Permite indicar bajo condiciones estándar las proporciones relativas de suelos arcillosos o finos plásticos y polvo de suelos granulares y agregado finos” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.91).

*Fuente:* Elaboración Propia.

**Tabla 12**

*Ensayos para briquetas con Mezcla Asfáltica.*

Referencia Normativa	Descripción	Finalidad y Alcance
(ASTM D-6926) MTC E 504, 2016	“Resistencia de Mezcla Asfáltica empleando el Aparato Marshall” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.583).	Se utiliza para determinar la resistencia a la compresión diametral de la mezcla asfáltica mediante el aparato Marshall.  Determinar el flujo o fluencia, así como la humedad absorbida y la pérdida de estabilidad de una mezcla asfáltica.
(ASTM D-1188) MTC E 514, 2016	“Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.641).	“Este método es útil para calcular el % de vacíos de aire como se indica en la norma MTC E 505 – 2010, así como para calcular la compactación y el peso específico a una temperatura dada, por el peso unitario del agua a la misma temperatura” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.641).

*Fuente: Elaboración Propia.*

### **1.6.8 Definición de términos.**

**Absorción:** Fenómeno en el que un cuerpo penetra en el ámbito de otro.

**Ácidos:** Sustancia capaz de aceptar la participación de un solo par de electrones de la base para formar un enlace coordinativo. Se dividen en hidrácidos, compuestos binarios (hidrógeno y un no metal) y oxácidos, compuesto ternario (hidrógeno, oxígeno y un no metal).

**Adherencia:** Acción y efecto de adherir o pegarse una cosa a otra. Atracción existente entre las superficies en contacto de dos cuerpos diferentes.

**Agregado:** Material granular duro, de composición mineralógica como la arena, la grava, la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

**Agregado fino:** Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (# 4). Agregado grueso. - Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (# 4).

**Ahuellamiento:** Surcos que se desarrollan en el pavimento, en los carriles de las ruedas. Pueden ser resultado de una consolidación por movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tráfico o, pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Ocurren como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tráfico.

**Bitumen:** Sustancia cementante de color negro (sólida, semisólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas o alquitranes, los betunes y las asfálticas.

**Cemento asfáltico:** Material cementante, de color entre carmelito oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de petróleos crudos. Compactación. - Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Generalmente la compactación se logra usando los rodillos o compactadores neumáticos.

**Deformación:** Cualquier cambio que presente un pavimento respecto a su forma original.

**Densidad:** Grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada. Está limitada por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la mezcla.

**Desintegración:** Separación progresiva de las partículas del agregado en el pavimento desde la superficie hacia abajo, o desde los bordes hacia el interior. Puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa de rodadura muy delgada en períodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

**Emulsión:** Líquido que tiene en suspensión partículas muy pequeñas. División de un líquido contenido en otro, en el que es insoluble, en partículas muy pequeñas.

**Ensayo Marshall:** Procedimiento para obtener el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.



**Estabilidad:** Capacidad de una mezcla asfáltica de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad está en función de la cohesión y la fricción interna del material.

**Filler:** Material proveniente por lo general de la caliza pulverizada, polvos de roca, cal hidratada, cemento Portland, y ciertos depósitos naturales de material fino, empleado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente como relleno de vacíos, espesante de la mezcla o como mejorador de adherencia.

**Flexibilidad:** Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.

**Grietas:** Fracturas en la superficie del pavimento asfáltico.

**Impermeabilidad:** Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

**Polaridad:** Propiedad de poseer determinadas cualidades opuestas en distintos extremos. Propiedad de algunas magnitudes físicas de acumularse en distintos extremos de un cuerpo. Así, se habla de polaridad magnética (distribución de cargas magnéticas), polaridad eléctrica (cargas eléctricas).

**Resistencia a la fatiga:** Capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre más alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.

**Resistencia al deslizamiento:** Propiedad de la superficie asfáltica de resistir el deslizamiento, particularmente cuando está mojado.

**Trabajabilidad:** Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.

**Vacíos:** Espacios de aire en una mezcla compactada rodeados de partículas cubiertas de asfalto.

## **II. MATERIAL Y MÉTODOS**

## **2.1 Tipo y diseño de la investigación**

### **2.1.1 Tipo de investigación.**

El presente proyecto es una Investigación Cuantitativa, debido a que es una forma confiable de conocer la realidad mediante una recolección de datos para su posterior análisis, con lo cual se pudo responder las interrogantes dadas en la investigación, así como comprobar la hipótesis.

Este proyecto también es tecnológico, ya que busco técnicas para mejorar y desarrollar de manera más eficiente nuestro proyecto y llegar a tener unos resultados más confiables.

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

En el presente proyecto se utilizó un diseño de investigación Cuasi-experimental; principalmente porque para el desarrollo de este proyecto se realizaron ensayos de materiales en el laboratorio para poder determinar cuál de todas las muestras cumplen con los requerimientos necesarios para la reparación de pavimentos.

## **2.2 Métodos de investigación**

### **Deductivo**

Se utilizó este método a fin de lograr obtener respuestas respecto a diversos resultados obtenidos mediante el conocimiento de las características y propiedades de las mezclas asfálticas en frío almacenadas durante el período de estudio.

### **Inductivo**

Este método se utilizó debido a que alcanzamos resultados generales a través de la observación y de los análisis obtenidos en las muestras de laboratorio. De las cuales determinaremos un diseño final de mezcla asfáltica en frío que pueda ser almacenada.

## Análisis:

Se empleó este método puesto que necesitamos conocer si las muestras de las mezclas en frío almacenadas cumplen con las características para la reparación de pavimentos.

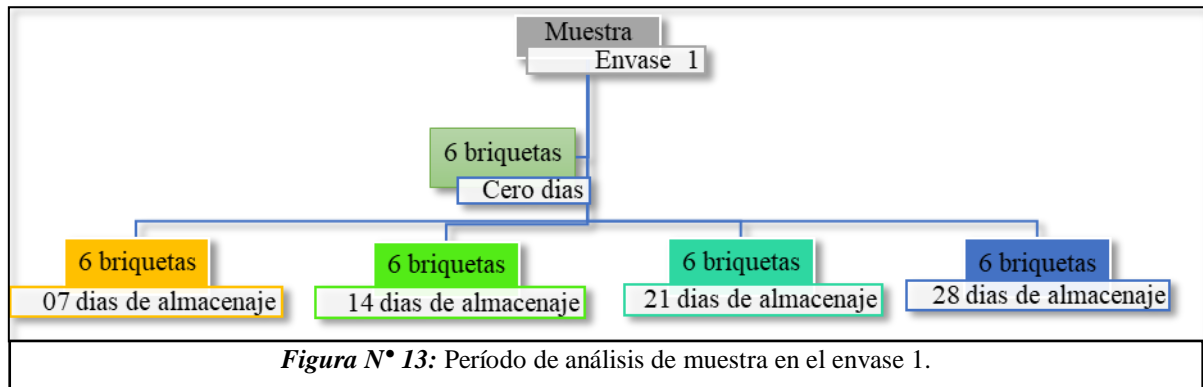
## 2.3 Población y muestra

### 2.3.1 Población.

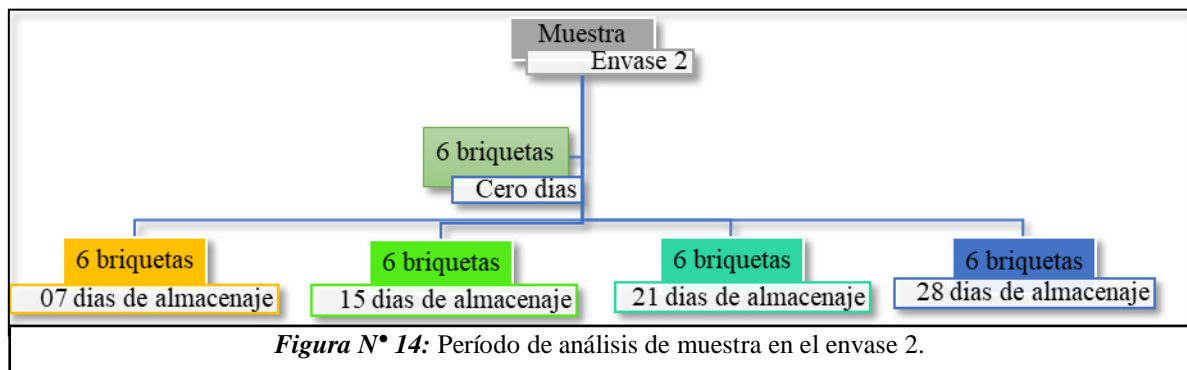
Elaboración de mezclas asfálticas en frío con la utilización de emulsión asfáltica para el diseño en sus materiales (Agregado fin, agregado grueso, agua y emulsión) y con distintas formas de almacenaje (baldes y bolsas de polietileno)

### 2.3.2 Muestra.

Se realizaron cien (100) briquetas en total de las cuales se hicieron 40 briquetas iniciales para determinar las propiedades de diseño inicial y las 60 restantes para el análisis cada 7 días de la mezcla asfáltica almacenada como se muestra en las siguientes figuras:



*Fuente:* Elaboración Propia.



*Fuente:* Elaboración Propia.

## **2.4 Variables**

### **2.4.1 Variables independientes.**

#### **2.4.1.1 Agregados Pétreos.**

Los agregados son materiales granulares, sólidos e inertes, que son utilizados para diferentes actividades de la construcción ya sea para la construcción de edificaciones, carreteras y pavimento.

#### **2.4.1.2 Emulsión Asfáltica.**

“Se define una emulsión como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante, emulsionante o emulgente” (Guevara et al., 2010, p.58).

#### **2.4.1.3 Pavimentos.**

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función permitir el tránsito de vehículos

### **2.4.2 Variable dependiente.**

#### **2.4.2.1 Mezcla asfáltica en frío almacenable.**

Es una mezcla de agregado mineral o sin relleno mineral, con emulsión asfáltico, todo el proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente, estas mezclas pueden ser usadas luego de períodos de tiempos almacenadas.

## **2.5 Operacionalización de las variables.**

**Tabla 13**

*Operacionalización de Variable Independiente*

VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	SUBINDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
<b>Agregados pétreos</b>	Propiedades Físicas	Gradación	Tamizado	%	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Juego de tamices
		Peso unitario	Relación entre la pasa y volumen del agregado	g	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Balanza
		Contenido de humedad	Relación entre el volumen del agua y el de la muestra	%	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Balanza
		Absorción	Humedecimiento del agregado	%	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Balanza
		Gravedad específica	Relación entre la densidad del material y del agua	Adimensional	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Balanza
		Peso específico	Relación entre peso y volumen	g/cm <sup>3</sup>	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Balanza
		Partículas chatas y alargadas	Caracterización de la forma del agregado	%	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Balanza
		Partículas fracturadas	-	%	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Balanza
		Equivalente de arena	Proporción entre finos y arcilla	%	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Cilindro graduado
		Propiedad mecánica	Abrasión	Degradación	%	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos
<b>Emulsión asfáltica</b>	Propiedades mecánicas	Viscosidad	-	seg.	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Viscosímetro Saybolt Furol
<b>Pavimentos</b>	Sección estructural	Carpeta asfáltica	Reparación de bacheos	-	Observación	Guía de observación	-

*Fuente:* Modelo del Área de Investigación Universidad Señor de Sipán.

**Tabla 14***Operacionalización de Variable Dependiente.*

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>SUBINDICADOR</b>	<b>ÍNDICE</b>	<b>TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</b>	<b>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN</b>	<b>INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN</b>
<b>Mezcla asfáltica en frío almacenable</b>	Propiedades mecánicas	Estabilidad	Resistencia	N	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Aparato Marshall
		Fluencia	Deformación	Pulg	Análisis de documentos	Guía de análisis de documentos	Aparato Marshall
	Propiedad física	Pérdida de humedad	Agua	%	Observación	Guía de observación	Balanza

*Fuente:* Modelo del Área de Investigación Universidad Señor de Sipán.

## **2.6 Hipótesis**

La elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable cumplirá con las propiedades mecánicas (Estabilidad y Flujo) para la reparación de pavimentos en el departamento de Lambayeque.

## **2.7 Técnicas de recolección de datos.**

### **2.7.1 Revisión de documentos.**

Esta técnica se utilizó en el presente proyecto, para obtener información relacionada al tema de estudio, así como contrastar datos obtenidos ahora, con información obtenida anteriormente y determinar la evolución de la misma con el paso del tiempo. También nos permitió identificar si la información obtenida se adecua a la actualidad en la que se está trabajando. Para lo cual se utilizó norma, tablas, manuales, especificaciones y libros correspondientes al tema.

### **2.7.2 Observación.**

En la realización de este proyecto se utilizó esta técnica para determinar que todos los datos observados en la recolección de los mismos, sean plasmados en formatos adecuados para su posterior análisis, así como para la verificación de resultados.

## **2.8 Instrumentos de recolección de datos.**

### **2.8.1 Guía de observación.**

Se realizó una percepción visual de las diferentes informaciones concernientes al tema en estudio, así como el estudio de los formatos que se obtengan durante la recolección de datos los cuales fueron utilizados para completar la información adquirida mediante el uso de ensayos de laboratorio.

### **2.8.2 Guía de análisis de documentos.**

Se tomaron en cuenta principalmente el uso de manuales y normas técnicas nacionales e internacionales (NTP, ASTM, AASHTO, MTC-2016), para la utilización de



procedimientos adecuados en el desarrollo de ensayo de laboratorio y su posterior análisis de los cálculos obtenidos.

(NTP 400.012, 2016), “Análisis Granulométrico de Agregados Grueso y Finos” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.303).

(NTP 400.022, 2016), “Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Finos” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.309).

(NTP 400.021, 2016), “Peso Específico y Absorción de Agregados Gruesos” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.312).

(NTP 400.019, 2016), “Abrasión Los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de tamaños menores de 37.5mm -1 ½” ” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.315).

(NTP 400.017, 2016), “Peso Unitario y vacíos de los Agregados” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.298).

(ASTM D-5821), “Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.337).

(ASTM D-5821), “Partículas chatas y alargadas en agregados” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.391).

(ASTM D- 2419) “Método de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.92).

(ASTM D-6926), “Resistencia de Mezcla Asfáltica empleando el Aparato Marshall” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.583).

(ASTM D-1188), “Gravedad específica aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes parafinado” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.596).

(ASTM D-1188), “Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.641).

(ASTM D-244), “Viscosidad Saybolt de Emulsiones Asfálticas” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.510).

### **2.8.3 Procedimiento de recolección de datos.**

#### **2.8.3.1 Procedimientos.**

Se evaluó las propiedades y características físicas y/o mecánicas de los materiales (agregado fino, agregado grueso, agua y emulsión asfáltica)

Se determinó el tipo de envases que serán utilizados para almacenar las mezclas asfálticas en frío.

Se evaluaron muestras piloto para determinar el contenido óptimo de agua para la compactación de la mezcla asfáltica en frío para ser almacenada utilizando diferentes % teóricos de agua.

Se elaboró muestras piloto de mezcla asfáltico en frío con diferentes % teóricos de agua para poder determinar el recubrimiento del asfalto en los agregados.

Se obtuvo las características de las mezclas asfálticas en frío antes de ser envasadas o almacenadas para poder obtener una muestra patrón y la más adecuada.

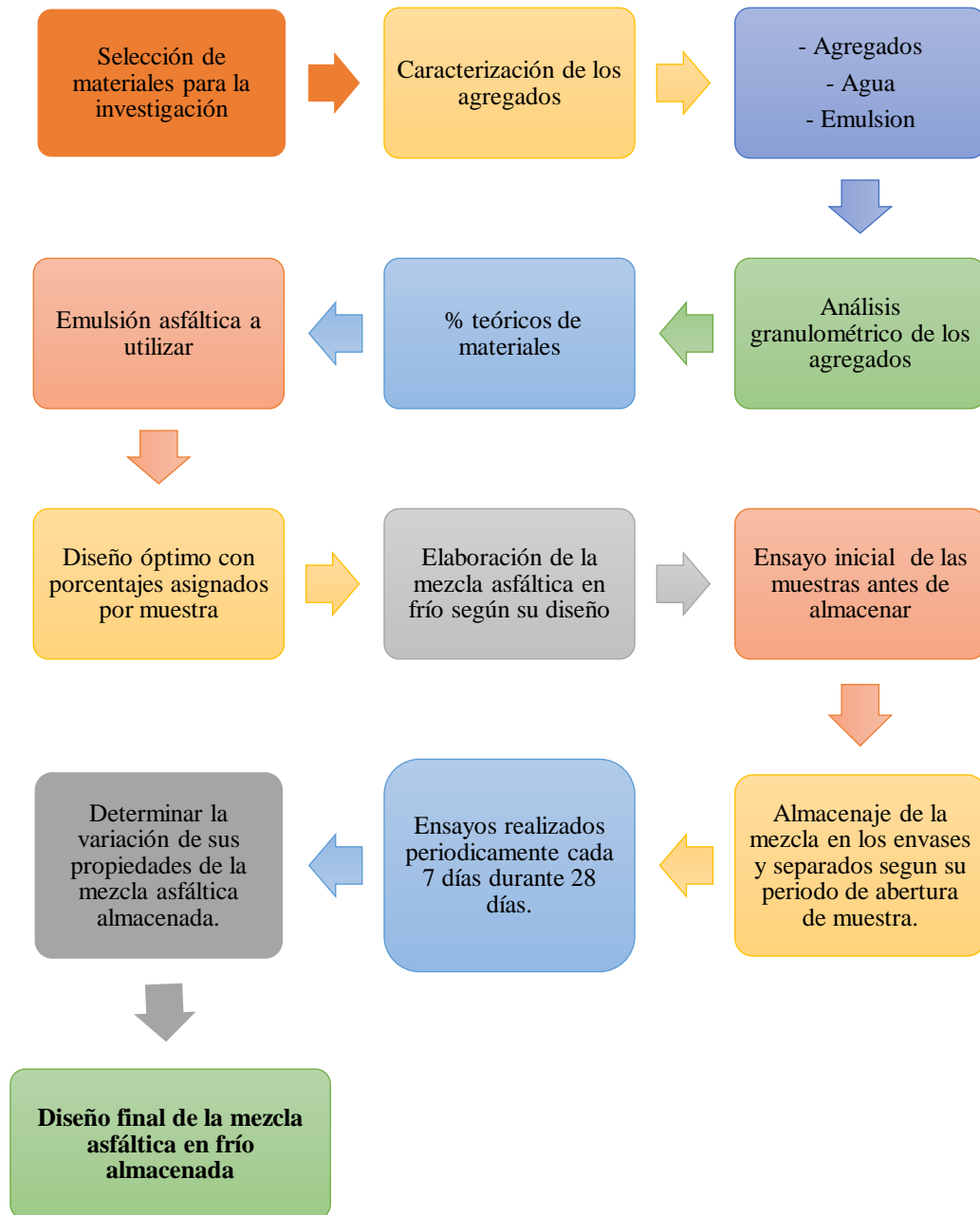
Se almacenó las mezclas asfálticas en frío en los envases determinados al inicio del proyecto.

Se obtuvo las características y propiedades de las muestras almacenadas en períodos de tiempo (cada 7 días), durante 28 días.

Se comparó los datos obtenidos por cada diseño de mezclas asfálticas en frío almacenadas.

Se evaluó las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica en frío almacenada.

## Diagrama de flujo



Fuente: Elaboración Propia.

## 2.9 Aspectos éticos

### 2.9.1 Ética para la recolección de datos

La búsqueda se basó en fuentes relacionadas con nuestro tema de investigación durante el procesamiento de datos, se observó y analizó los resultados mediante el rigor ético y metodológico.

Los criterios de confiabilidad, credibilidad, adecuación, verificabilidad y aprobación fueron estimados en la investigación, permitiendo la validez de la presente investigación y a la vez ser una fuente de conocimientos para futuros investigadores ayudando a evitar equívocos, tanto en el diseño como en el análisis, así como en la presentación de los resultados y en el informe de la averiguación cuasi – experimental.

### **2.9.2 Ética de la publicación**

La vigente investigación cuasi experimental contribuye originales e interesantes informaciones y datos confiables, referenciada de estudios aprobados, y más aun basándose de Normas NTP, MTC, ASTM con la relación a temas similares de infraestructura vial, por lo cual será debidamente exhibido en la biblioteca de nuestra universidad Señor de Sipán.

### **2.9.3 Ética de la Aplicación**

Este estudio generará beneficios sociales, económicos y ambientales, dependiendo de quién se da derecho para utilizar los resultados de la investigación.

### **2.9.4 Código ético de la profesional**

Este estudio realizado, permitirá contribuir en la realización de futuras investigaciones relacionadas con este tema, forjando beneficios vinculadas con responsabilidades técnicas de honestidad y lealtad que hacen fundamental de la ética profesional y la dignidad de su profesión, considerando como guía el código ético del ingeniero civil a cargo del Colegio de Ingenieros del Perú en el cual se establece como compatibilizar las referencias que existen en el código de Ética y los otros Reglamentos o Normas del CIP.

### **2.9.5 Criterios de Rigor Científico**

#### **Fiabilidad**

La validez del proyecto realizado da como resultado el grado de confiabilidad con que se detalla lo investigado, todos los ensayos realizados, método científico, guías de referencia están respaldadas por organizaciones dedicadas a la investigación e innovación en el campo de la ingeniería; la manera de cómo se obtuvieron los resultados y que han sido ejecutadas de acuerdo a las especificaciones establecidas.

### **III. RESULTADOS**

### **3.1 Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados**

Para lograr el objetivo específico indicado en el presente proyecto de investigación, se realizaron los siguientes ensayos de materiales dados en normas proporcionadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (EG-2013) para poder comprobar que cumplan con los requerimientos mínimos y máximos especificados.

#### **3.1.1 Propiedades físicas.**

##### **3.1.1.1 Gradación.**

###### **Metodología:**

Para determinar la gradación de los agregados se utilizó el ensayo de análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E 204 – 2016/ ASTM C 136). El objetivo de este ensayo es determinar, cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos por medio de tamices normalizados.

El ensayo consistió en hacer pasar cierta cantidad de muestra por dichos tamices normalizados, ordenados de mayor a menor abertura, y pesar los materiales retenidos en cada una de ellos; para poder así hallar el porcentaje acumulado que pasa y poder realizar la curva granulométrica.



*Figura N° 15:* Lavado del agregado grueso por el tamiz # 200.



**Figura N° 16:** Lavado del agregado grueso por el tamiz # 200.



**Figura N° 17:** Tamizado del agregado grueso para el ensayo de granulometría.

**Resultados:**

Para la granulometría del agregado grueso usado se obtuvieron los siguientes resultados:

El peso de la muestra fue de 5050.45 gramos

**Tabla 15**

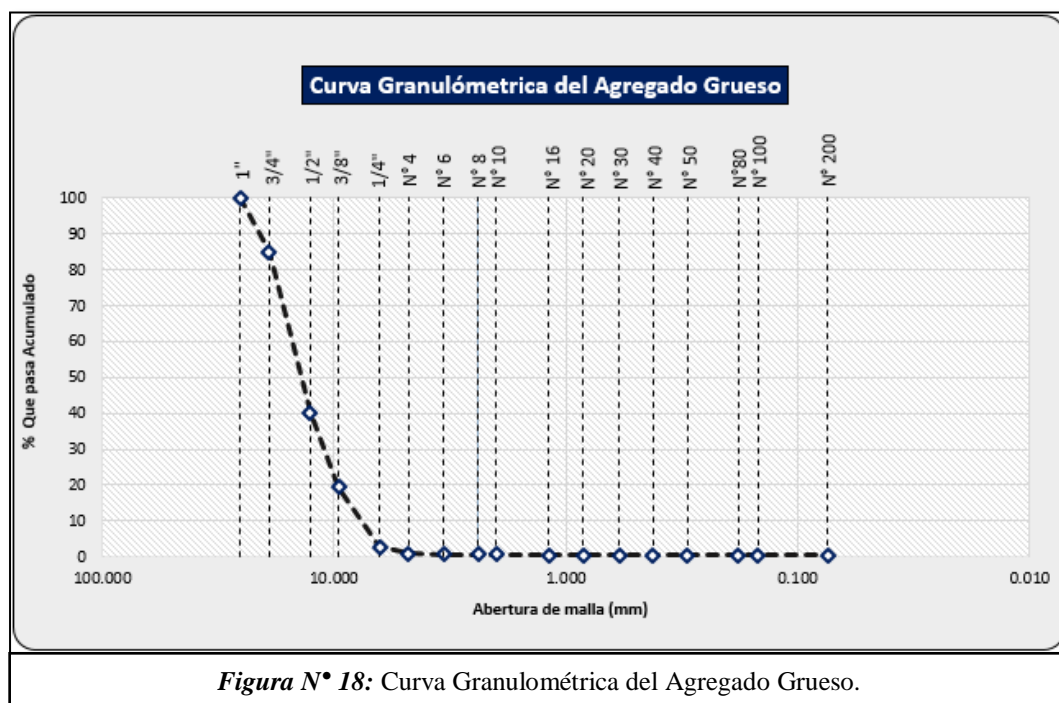
*Análisis granulométrico del agregado grueso.*

<b>Mallas</b>	<b>Abertura</b>	<b>Peso</b>		<b>% retenido</b>		<b>%</b>
<b>Pulgadas</b>	<b>Milímetros</b>	<b>Retenido</b>	<b>Retenido ajustado</b>	<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Acumulado que pasa</b>
<b>1"</b>	25.400	0.000	0.000	0.000	0.000	100.000
<b>3/4"</b>	19.050	754.430	754.430	14.938	14.938	85.062
<b>1/2"</b>	12.700	2260.520	2260.520	44.759	59.697	40.303
<b>3/8"</b>	9.525	1055.400	1055.400	20.897	80.594	19.406
<b>1/4"</b>	6.350	842.200	842.200	16.676	97.270	2.730
<b>N° 4</b>	4.760	92.560	92.560	1.833	99.102	0.898
<b>N° 6</b>	3.360	9.430	9.430	0.187	99.289	0.711
<b>N° 8</b>	2.380	7.520	7.520	0.149	99.438	0.562
<b>N°10</b>	2.000	0.230	0.230	0.005	99.442	0.558

N° 16	1.190	0.600	0.600	0.012	99.454	0.546
N° 20	0.840	0.300	0.300	0.006	99.460	0.540
N° 30	0.590	0.240	0.240	0.005	99.465	0.535
N° 40	0.420	0.250	0.250	0.005	99.470	0.530
N° 50	0.300	0.230	0.230	0.005	99.475	0.525
N° 80	0.180	0.220	0.220	0.004	99.479	0.521
N° 100	0.149	0.400	0.400	0.008	99.487	0.513
N° 200	0.074	0.420	0.420	0.008	99.495	0.505
<b>Fondo</b>		0.080	25.500	0.505	100.000	0.000
<b>TOTAL</b>	<b>5025.030</b>	<b>5050.450</b>	<b>100.000</b>			

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 15 se observa los resultados obtenidos, de los cuales se usará la columna del % acumulado que pasa para la elaboración de la figura N° 18 para una mejor apreciación y entendimiento de los resultados.



Fuente: Elaboración propia.

### **Interpretación:**

Según la tabla N° 15 y la figura N° 18, se observa que el agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/4", un tamaño de agregado grueso adecuado para el uso en mezclas asfálticas.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A1



**Metodología:**

Para la determinación de la granulometría del agregado fino se siguió el mismo procedimiento que se utilizó para el agregado grueso.





**Figura N° 22:** Tamizado del agregado fino

**Resultados:**

Para la granulometría del agregado fino usado se obtuvieron los siguientes resultados:

El peso de la muestra fue de 3995.40 gr.

**Tabla 16**

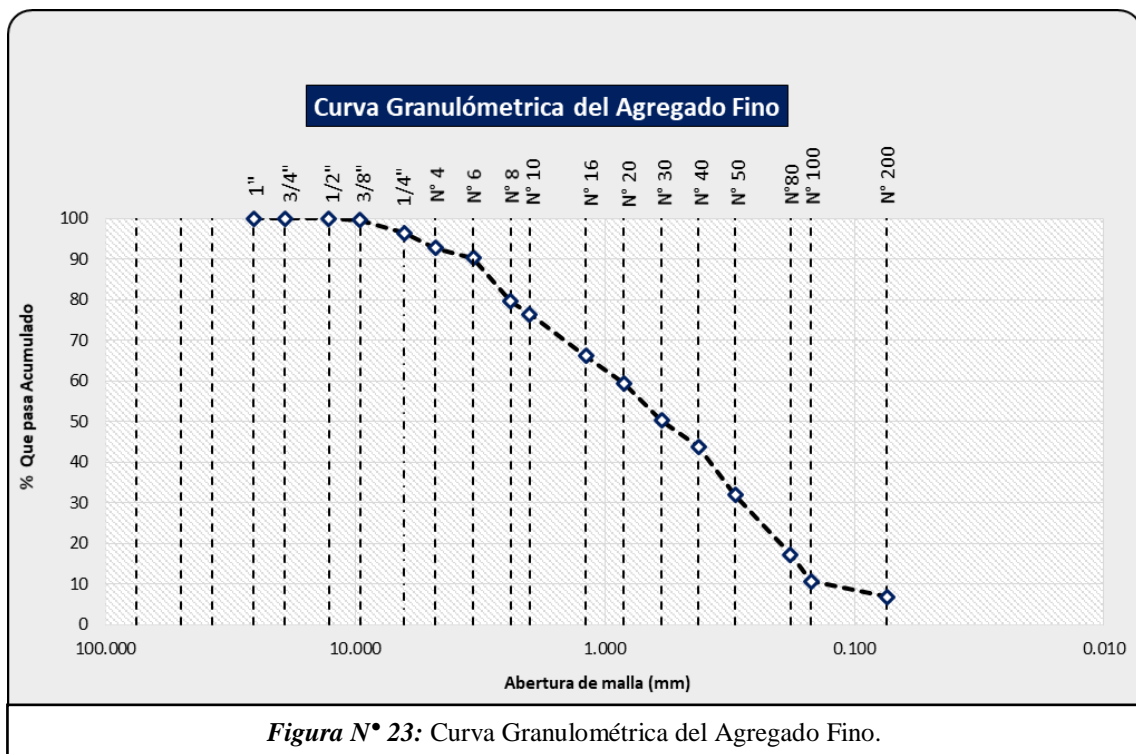
*Análisis granulométrico del agregado fino.*

Mallas Pulgadas	Abertura Milímetros	Peso		% Retenido		% Acumulado que pasa
		Retenido	Retenido Ajustado	Parcial	Acumulado	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	16.92	16.92	0.42	0.42	99.58
1/4"	6.350	126.05	126.05	3.15	3.58	96.42
N° 4	4.760	144.06	144.06	3.61	7.18	92.82
N° 6	3.360	101.65	101.65	2.54	9.73	90.27
N° 8	2.380	427.08	427.08	10.69	20.42	79.58
N°10	2.000	126.89	126.89	3.18	23.59	76.41
N° 16	1.190	410.40	410.40	10.27	33.87	66.13
N° 20	0.840	268.21	268.21	6.71	40.58	59.42
N° 30	0.590	362.75	362.75	9.08	49.66	50.34
N° 40	0.420	258.60	258.60	6.47	56.13	43.87
N° 50	0.300	475.66	475.66	11.91	68.03	31.97

N° 80	0.180	585.61	585.61	14.66	82.69	17.31
N° 100	0.149	263.15	263.15	6.59	89.28	10.72
N° 200	0.074	151.05	151.05	3.78	93.06	6.94
Fondo		30.42	277.32	6.94	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		<b>3748.50</b>	<b>3995.40</b>	<b>100.000</b>		

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 16 se observa los resultados obtenidos, de los cuales se usará la columna del % acumulado que pasa para la elaboración de la figura N° 23 para una mejor apreciación y entendimiento de los resultados.



Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:**

Según la tabla N° 16 y la figura N° 23, se observa que el agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/8".

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A2

**3.1.1.2 Peso específico y absorción.**

**Metodología:**

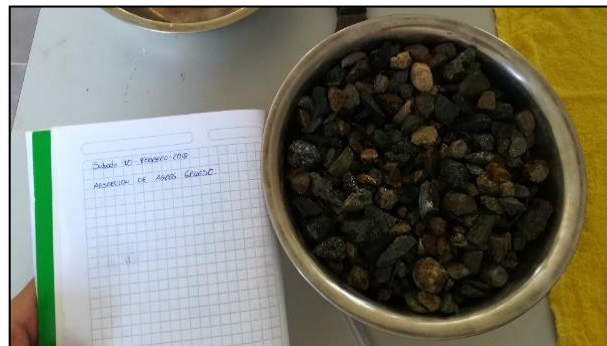
Para determinar el peso unitario de los agregados se utilizó el ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E 206 – 2016 / ASTM C 127). El objetivo

de este ensayo es determinar, la relación entre el peso y el volumen del agregado y así poder hallar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas al realizar el ensayo Marshall.

El ensayo consistió en hallar los pesos de las muestras gruesas a diferentes condiciones, peso de la muestra seca, peso de la muestra saturada con superficie seca y peso sumergido en agua de la muestra saturada; para poder así hallar la gravedad específica y la absorción del agregado.

La muestra fue aproximada 4 kg lavados que hayan sido retenidos en la malla N° 4, esta se deja sumergir durante 24 horas, pasado este tiempo se saca del agua y se seca superficialmente con una franela obteniendo así el peso superficialmente seco.

La muestra superficialmente seca se coloca en una canastilla y se sumerge en agua para obtener el peso sumergido en agua. Por último, la muestra se coloca en el horno y se pesa.



**Figura N° 24:** Agregado grueso sumergido durante 24 horas.



**Figura N° 25:** Agregado grueso superficialmente seco.



**Figura N° 26:** Agregado grueso sumergido en agua.

**Resultados:**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 17**

*Resultados del Ensayo Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.*

<b>1.- Peso específico de Masa</b>	2.69	g/cm <sup>3</sup>
<b>2.- Peso específico de Masa Saturado Superficialmente Seco</b>	2.71	g/ cm <sup>3</sup>
<b>3.- Peso específico Aparente</b>	2.75	g/ cm <sup>3</sup>
<b>4.- Porcentaje de absorción</b>	0.69	%

**Fuente:** Elaboración propia.

**Interpretación:**

Según la tabla N° 17, se observa que el porcentaje de absorción se encuentra dentro del rango indicado en el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 423, lo cual indica un valor máximo de 1%.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A3

**3.1.1.3 Peso unitario.**

**Metodología:**

Para poder determinar esta propiedad física se utilizó el ensayo de peso unitario y vacíos de los agregados (MTC E 203 – 2016 / NTP 400.017).



El objetivo de este ensayo es obtener el peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos y finos, estos valores son útiles para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa.

El ensayo para peso unitario compactado consiste en colocar el agregado en un recipiente en tres capas compactando con 25 golpes por capa con una varilla. Luego debe pesarse el recipiente de volumen conocido.

El ensayo para peso unitario suelto se debe llenar el recipiente pero son compactar y se debe pesar el recipiente de volumen conocido.





**Figura N° 29:** Enrasado del agregado grueso.

**Resultados:**

**Tabla 18**

*Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado fino.*

1.- Número de las muestras		M – 1	M – 2	M – 3
2.- Peso del molde	g	5220	5220	5220
3.- Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2703.74	2703.74	2703.74
4.- Peso del molde + muestra humedad	g	9350	9354	9358
5.- Peso de la muestra humedad	g	4130.00	4134.00	4138.00
6.- Peso unitario suelto húmedo (5/3)	g	1.53	1.53	1.53
7.- Peso unitario suelto seco	g	1.51	1.53	1.53
8.- Promedio de peso unitario suelto húmedo	g/ cm <sup>3</sup>		1.53	
9.- Promedio de peso unitario suelto seco	g		1.52	

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 19**

*Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.*

1.- Número de las muestras		M – 1	M – 2	M – 3
2.- Peso del molde	g	11015	11015	11015
3.- Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	14015.17	14015.17	14015.17
4.- Peso del molde + muestra humedad	g	31998	31985	31954
5.- Peso de la muestra humedad	g	20983.00	20970.00	20939.00
6.- Peso unitario suelto húmedo (5/3)	g	1.50	1.50	1.49
7.- Peso unitario suelto seco	g	1.50	1.50	1.49
8.- Promedio de peso unitario suelto húmedo	g/ cm <sup>3</sup>		1.50	
9.- Promedio de peso unitario suelto seco	g		1.50	

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 20***Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado del Agregado Fino.*

1.- Número de las muestras		M – 1	M – 2	M – 3
2.- Peso del molde	g	5220	5220	5220
3.- Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2703.74	2703.74	2703.74
4.- Peso del molde + muestra humedad	g	9525	9620	9630
5.- Peso de la muestra humedad	g	4305	4400	4410
6.- Peso unitario suelto húmedo (5/3)	g	1.59	1.63	1.63
7.- Peso unitario suelto seco	g	1.58	1.61	1.62
8.- Promedio de peso unitario suelto húmedo	g/cm <sup>3</sup>		1.62	
9.- Promedio de peso unitario compactado seco	g		1.61	

**Fuente:** Elaboración propia.**Tabla 21***Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.*

1.- Número de las muestras		M – 1	M - 2	M – 3
2.- Peso del molde	g	11015	11015	11015
3.- Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	14015.17	14015.17	14015.17
4.- Peso del molde + muestra humedad	g	32830	32889	32984
5.- Peso de la muestra humedad	g	21815	21874	21969
6.- Peso unitario suelto húmedo (5/3)	g	1.56	1.56	1.57
7.- Peso unitario suelto seco	g	1.54	1.55	1.56
8.- Promedio de peso unitario compactado húmedo	g/cm <sup>3</sup>		1.56	
9.- Promedio de peso unitario compactado seco	g		1.55	

**Fuente:** Elaboración propia.**Interpretación:**

En las tablas N° 18 y N° 19 donde señalan los resultados del peso unitario suelto del agregado fino y grueso respectivamente, determina que dichos pesos unitarios sueltos tanto en fino como en grueso son de 1.50 gramos y 1.52 gramos respectivamente.

En las tablas N° 20 y N° 21 donde señalan los resultados del peso unitario compactado del agregado fino y grueso respectivamente, determina que dichos pesos unitarios compactados tanto en fino como en grueso son de 1.62 gramos y 1.55 gramos respectivamente.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A4 y Anexo A5.



#### **3.1.1.4 Gravedad específica y absorción.**

##### **Metodología:**

Para poder determinar esta propiedad se utilizó el ensayo de gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205 – 2016 / ASTM C 128).

El objetivo de este ensayo es determinar, la relación entre el peso y el volumen del agregado y así poder hallar el contenido de vacíos de las mezclas asfálticas al realizar el ensayo Marshall.

El ensayo consistió en tomar una muestra de aproximadamente 1 kg de agregado fino que haya pasado la malla # 4 y se dejó saturar durante 24 horas. Después de haber transcurrido ese tiempo se procedió a extender el material sobre una bandeja plana para ser expuesta a una corriente de aire caliente.



**Figura N° 30:** Muestra a saturar.

Para poder determinar si el agregado fino llegó a la condición saturada superficialmente se realizó una prueba con un molde cónico el cual consiste en verter el agregado fino dentro del cono y chucear con un pistón pequeño, luego de haber llenado el molde cónico con el material fino se procedió a retirar el molde quedando solamente el agregado, finalmente se determinó si el material tuvo un desmoronamiento superficial.



**Figura N° 31:** Prueba de molde cónico



**Figura N° 32:** Prueba de molde cónico



**Figura N° 33:** Agregado fino saturado superficialmente seco

Se pesó 500 gramos de la muestra saturada superficialmente seca, la cual se colocó en una fiola la cual fue llenada de agua y agitada de manera manual para poder eliminar el aire retenido, finalmente se sacó la muestra de la fiola y se secó al horno.



**Figura N° 34:** Peso de la muestra a ensayar



**Figura N° 35:** Introduciendo muestra a la fiola



**Figura N° 36:** Agregando agua a la fiola



**Figura N° 37:** Agitando la fiola para eliminar aire retenido



**Figura N° 38:** Vaciando la muestra en un recipiente en un recipiente



**Figura N° 39:** Muestra en el horno



**Resultados:**

Después del procedimiento realizado se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 22**

*Resultados del Ensayo Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.*

<b>1.- Peso específico de Masa</b>	2.57	g/cm <sup>3</sup>
<b>2.- Peso específico de Masa Saturado Superficialmente Seco</b>	2.60	g/cm <sup>3</sup>
<b>3.- Peso específico Aparente</b>	2.60	g/cm <sup>3</sup>
<b>4.- Porcentaje de absorción</b>	0.48	%

**Fuente:** Elaboración propia.

**Interpretación:**

Según la tabla N° 22, se observa que el porcentaje de absorción se encuentra dentro del rango indicado en el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 423, lo cual indica un valor máximo de 0.5%.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A6

**3.1.1.5 Partículas chatas y alargadas.**

**Metodología:**

Para poder determinar la caracterización de la forma del agregado se utilizó el ensayo de partículas chatas y alargadas en agregados gruesos (MTC E 223 – 2016 / ASTM D 4791).

El objetivo de este ensayo es determinar los porcentajes de partículas chatas o alargadas en el agregado grueso.

La norma ASTM D 4791 – 99 especifica que las partículas chatas y alargadas son aquellas que tienen una relación de longitud a espesor mayor que un valor específico. Las relaciones largo: espesor que se pueden determinar con esta norma son: 2/1, 3/1, 4/1 y 5/1, en el ensayo por recomendaciones del MTC se tomará la proporción 3/1.

Para la determinación del porcentaje de partículas chatas y alargadas, se utilizó un calibrador-comparador de proporciones; de dos postes fijos y un eje móvil. Se fijó la longitud y se definió la partícula chata y alargada como aquella que pasa por la abertura menor, prefijada según una proporción determinada.



*Figura N° 41:* Determinación de partículas chatas y alargadas.



*Figura N° 42:* Calibrador proporcional.

### **Resultados:**

Después del procedimiento realizado se obtuvo los siguientes resultados:



**Tabla 23**

*Resultados del Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas.*

<b>1.- Peso total de la muestra</b>	5000	gramos
<b>2.- Partículas chatas</b>	3.84	%
<b>3.- Partículas alargadas</b>	0.88	%
<b>4.- Partículas chatas y alargadas</b>	4.72	%

**Fuente:** Elaboración propia.

**Interpretación:**

Según la tabla N° 23 se observa que las partículas chatas y alargadas se encuentran dentro del rango indicado en el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 423, lo cual indica un valor máximo de 10%.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A7

**3.1.1.6 Partículas fracturadas.**

**Metodología:**

Para determinar esta característica del agregado se utilizó el ensayo de porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (MTC E 210 – 2016 / ASTM D 5821).

El objetivo de este ensayo es determinar la angulosidad e irregularidad del agregado, ya que este influye en la resistencia del esqueleto mineral, debido a que existe un mayor entrelazamiento al ser compactadas.

El ensayo se realizó de manera visual y consistió en preparar la muestra a usar, esta se lava sobre la malla N° 4 para evitar la presencia de finos, se seca en una superficie plana para poder inspeccionar y verificar si la partícula cumple con el criterio de fractura.



**Figura N° 43:** Selección de partículas fracturadas.

### **Resultados:**

Después del procedimiento realizado se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 24**

*Resultados del Ensayo de Partículas fracturadas.*

<b>1.- Peso total de la muestra</b>	1500	Gramos
<b>2.- Partículas 1 cara fracturada</b>	26.47	%
<b>3.- Partículas 2 o más caras fracturadas</b>	65.07	%
<b>4.- Partículas fracturadas</b>	8.47	%

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Interpretación:**

Según la tabla N° 24, nos da entender que el 26.47% tiene una cara fracturada y el 65.07 tiene dos o más caras fracturadas ya que esto depende de los distintos agentes atmosféricos y la misma máquina al triturar el material.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A8

#### ***3.1.1.7 Equivalente de arena.***

### **Metodología:**

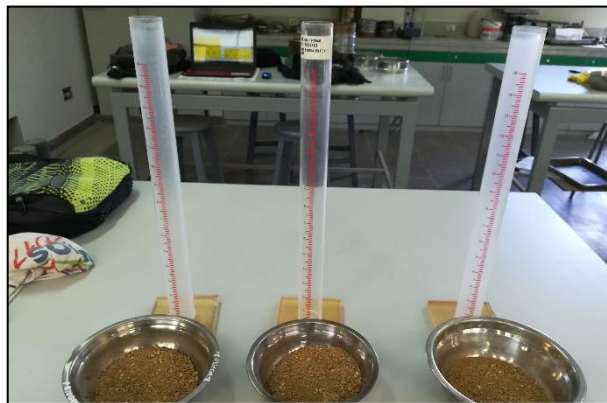
Para poder determinar la proporción de polvo fino nocivo o material arcilloso, se utilizó el ensayo Equivalente de arena, suelos y agregados finos (MTC E 114 -2013 ASTM D 2419).

El ensayo consistió en tomar una muestra representativa y colocarla en probetas graduadas que contienen una disolución lavada, se dejó reposar durante 10 minutos. Después se debe agitar la probeta durante 30 segundos para luego colocar la probeta en posición vertical en reposo. Se enjuaga las paredes con la disolución lavada hasta llegar a la base de la probeta aplicando una ligera rotación para lograr una subida de los finos y de materiales arcillosos, esto se realizó hasta que la disolución llegue hasta la marca superior de la probeta. Finalmente se dejó reposar durante 20 minutos y se realizaron las mediciones y cálculos respectivos para hallar la proporción de arcilla en el agregado fino.





**Figura N° 44:** Materiales utilizados



**Figura N° 45:** Muestras para el ensayo



**Figura N° 46:** Introduciendo muestra en la probeta



**Figura N° 47:** Introduciendo muestra en la probeta



**Figura N° 48:** Vertiendo solución hasta la línea indicada



**Figura N° 49:** Agitando muestra de la probeta.



**Figura N° 50:** Muestra puesta en reposo.



**Figura N° 51:** Medición de la muestra.

**Resultados:**

Después del procedimiento realizado se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 25**

*Resultados del Ensayo de equivalente de arena.*

M - 1	RESULTADO (%)
CANTERA TRES TOMAS	66.00

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Interpretación:**

Según la tabla N° 25, se observa que el resultado se encuentra dentro del rango indicado en el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 424, lo cual indica un valor mínimo de 60%. El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A9

### **3.1.2 Propiedades mecánicas.**

#### **3.1.2.1 Abrasión.**

#### **Metodología:**

Para poder determinar la abrasión al desgaste del agregado grueso se utilizó el ensayo de abrasión de los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm. (1 ½”) (MTC E 207 – 2016 / ASTM C 535).

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia al desgaste de agregados debido a que estos deben de resistir la producción, colocación y compactación y sobre todo los esfuerzos durante la vida de servicio.

El ensayo consistió en tomar una muestra de agregados grueso e introducirla en la Máquina de los Ángeles, junto con las cargas abrasivas, que depende de los porcentajes retenidos en cada malla. Se hace rotar a 500 revoluciones durante 15 minutos. Finalizado la rotación el material debe ser tamizado por la malla N°12, se lava y se pesa, calculando de esta manera el porcentaje de desgaste.





**Figura N° 53:** Desgaste del agregado



**Figura N° 54:** Tamizado por la malla N° 12.

**Resultados:**

Después del procedimiento realizado se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 26**

*Resultados del Ensayo Abrasión de los Ángeles.*

<b>1.- Peso total de la muestra</b>	5000.00	g
<b>2.- Peso de la muestra seca antes del ensayo</b>	5000.00	g
<b>3.- Peso de la muestra seca lavada sobre tamiz (N°12)</b>	4197.00	g
<b>4.- N° esferas</b>	11.00	Unid.
<b>5.- Peso de esferas</b>	4584.00 ± 25	g
<b>6.- Porcentaje obtenido</b>	16.06	%

**Fuente:** Elaboración propia.

**Interpretación:**

Según la tabla 26 se observa el porcentaje obtenido de abrasión al desgaste del agregado grueso es de 16.06% del peso inicial. Habiéndose determinado que está dentro del rango requerido según el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 423, lo cual indica un valor máximo de 40% para < 3000 msnm y para > 3000 msnm indica un valor máximo de 35%.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo A10

**3.2 Seleccionar empaques óptimos para almacenamiento**

Para determinar los empaques más adecuados para el almacenamiento de una mezcla asfáltica en frío se tomó en cuenta la factibilidad que debe tener el producto para que sea transportado, es por tal motivo que se optó por bolsas de polietileno de aproximadamente 12 kilos de capacidad, así como baldes plásticos con capacidad de 18 litros. Cuyas especificaciones técnicas se muestran en el Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente.



**Figura N° 55:** Bolsa plástica de polietileno.



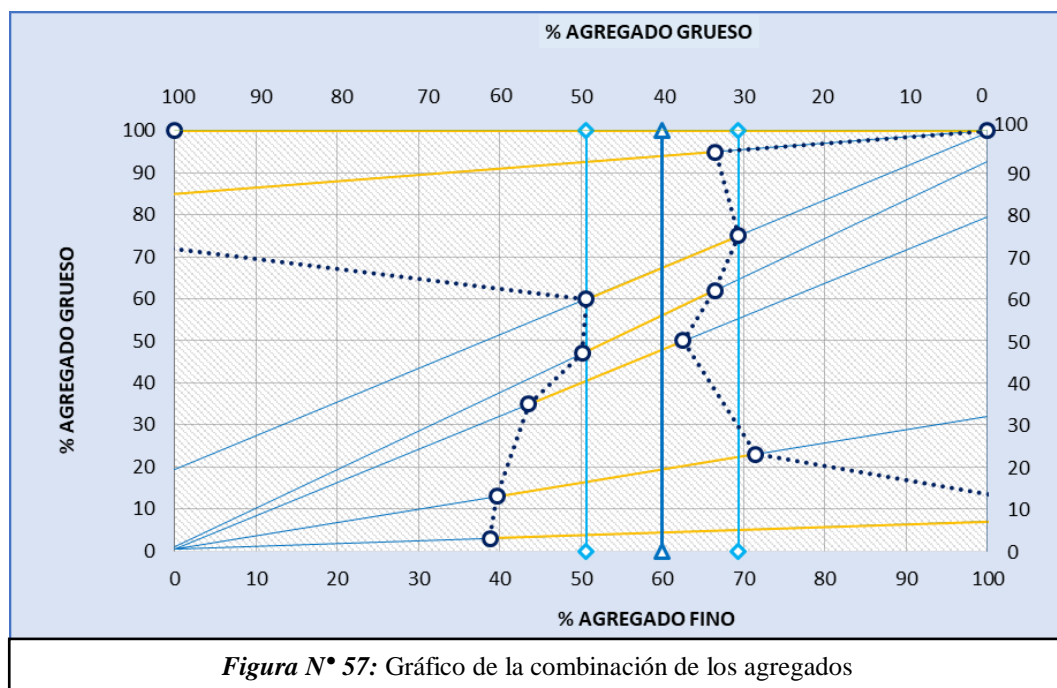
**Figura N° 56:** Baldes de plástico



### 3.3 Determinar el diseño inicial y las proporciones de los agregados y el porcentaje de emulsión en el diseño de mezcla asfáltica en frío

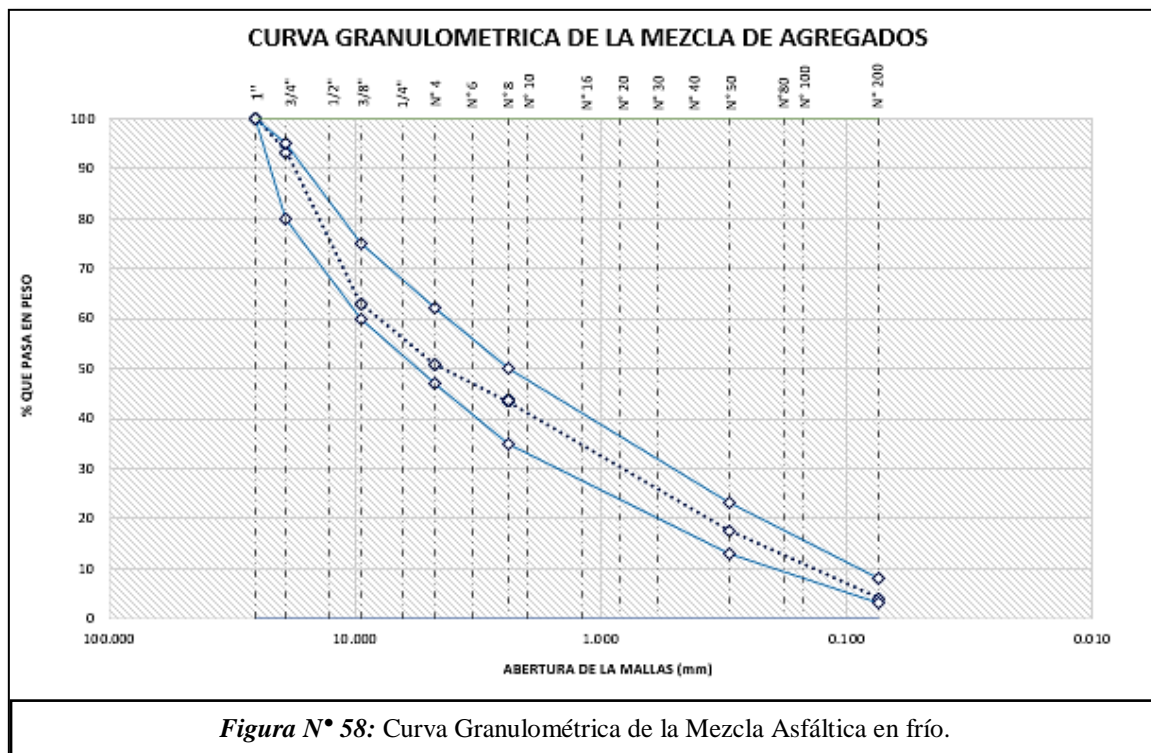
#### 3.3.1 Proporciones de los agregados en la mezcla asfáltica en frío.

Un diseño de mezclas se basa en encontrar las proporciones de los materiales que intervienen en esta, como es el caso de los agregados presentes en una mezcla asfáltica. Esto se basa en encontrar una proporción de agregados que cumpla con una de las condiciones de MAF, se realizó la combinación de agregados lo cual se muestra en la figura N° 57 respectivamente.



Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la figura 57, se obtuvo un rango de valores para el agregado fino que varía entre 51% a 69% y para el agregado grueso que varía entre 31% a 49%. Los valores escogidos para la combinación son los obtenidos en la media del rango, los cuales son de 60% de agregado fino y 40% de agregado grueso. Con estos porcentajes obtenemos una curva granulométrica adecuada que cumpla con las condiciones de Mezclas asfálticas en frío, como se muestra en la figura 58:



**Fuente:** Elaboración propia.

**Interpretación:**

En la figura N° 58 se puede determinar que la combinación de los porcentajes de agregados, cumple para una gradación de mezcla densa en frío tipo 2 (MDF-2), como señala el Manual de Carreteras EG 2013 en la sección 424 para mezclas asfálticas en frío

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo B1 y Anexo B2 respectivamente.

**3.3.2 Determinación de la cantidad de emulsión para la mezcla asfáltica.**

Se aplicó el método de área superficial equivalente lo cual nos dio como resultado la tabla N° 27, donde se obtuvo tanto el porcentaje de asfalto y de emulsión.

Para el empleo de emulsión lo que nos interesa es que nos quede el asfalto, ya que le agregamos más emulsión a un 60%, para cuando la emulsión asfáltica pierda el agua, solamente quedara el ligante residual que sería 5.87%.



**Tabla 27***Resultados de cantidad de asfalto.*

<b>DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE ASFALTO :</b>	
<b>P. E. de la mezcla de agregados</b>	2.63319
<b>Área superficial equivalente</b>	26.6830
<b>Índice asfáltico determinado</b>	<b>0.001822</b>
<b>Relación de pesos específicos 2,65/</b>	1.00638
<b>Tipo de Emulsión</b>	CSS-1h
<b>Asfalto</b>	5.87261
<b>Porcentaje de asfalto</b>	5.87%
<b>Máximo</b>	6.17%
<b>Mínimo</b>	5.58%
<b>Porcentaje total de Emulsión asfáltica</b>	9.78%

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo B3.

### **3.3.3 Determinación del diseño de mezcla asfáltica en frío y requerimientos de los agregados para el diseño de mezcla asfáltica en frío.**

#### **Metodología:**

Habiendo desarrollado los ensayos de los agregados pétreos requeridos en el Manual de Carreteras EG 2013 en la sección 424 para mezclas asfálticas en frío y que estas hayan cumplido con los requisitos mínimos y máximos descritos en dicho manual, y los cuales se adjunta en el Anexo B5.

Se procedió a realizar el cálculo de los porcentajes corregidos de diseño los cuales serán utilizados para el diseño de mezcla asfáltica en frío y se obtuvieron los siguientes resultados:

#### **Resultados:**

**Tabla 28***Resultados de porcentajes corregidos de diseño de mezcla asfáltica en frío.*

<b>DATOS DE LABORATORIO</b>	<b>ASFALTO</b>	<b>GRAVA</b>	<b>ARENA</b>	
Peso específico	0.998	2.695	2.572	Kg./m <sup>3</sup>
Peso suelto	0.998	1.496	1.529	Kg./m <sup>3</sup>
Porcentaje de mezcla	5.87	40.00	60.00	%
Porcentajes corregidos	5.87	37.65	56.48	%

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Interpretación:**

En el diseño de mezcla asfáltica en frío se utilizó un porcentaje de asfalto de 5.87 %, así como un 37.65 % y 56.48 % de agregado grueso y fino respectivamente.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo B4

## **3.4 Elaboración de muestras pilotos para determinar el contenido óptimo de humedad en la mezcla asfáltica en frío.**

### **3.4.1 Ensayo de recubrimiento de los agregados (MTC E 412 – ASTM D 6998).**

#### **Metodología:**

En este ensayo se procedió a realizar muestras, las cuales se dividieron de acuerdo a la cantidad de agua que se añadió para lograr un pre envolvimiento de los agregados con la emulsión asfáltica CSS -1h (Anexo 3), así como mejorar las condiciones más adecuadas para que faciliten la manipulación de dicho mezclado.

Para la realización de este ensayo se procedió a mezclar los agregados hasta lograr que se encuentren combinados entre sí, luego se humedeció la mezcla con cada cantidad de agua propuesta y se mezcló conjuntamente en un recipiente hasta que el agregado pétreo tenga un color uniforme, con ayuda de una espátula, se agregó finalmente la emulsión asfáltica y se mezcló de forma manual en un lapso de 1 a 3 minutos hasta que la emulsión ha sido repartida uniformemente en el material. Se colocó cada muestra ensayada en recipientes metálicos y se procedió a observar cada 30 minutos, notando lentamente el cambio de color marrón a negro de cada muestra, cuando haya sucedido esto significa que se ha dado el rompimiento de la emulsión, entonces se ve mejor recubrimiento.



**Figura N° 59:** Emulsión asfáltica CSS 1h



**Figura N° 60:** Materiales utilizados en el ensayo de recubrimiento



**Figura N° 61:** Muestras con diferentes porcentajes de humedad

**Resultados:**

Después del procedimiento realizado se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 29**

*Resultados de ensayo de recubrimiento de los agregados*

Contenido de Humedad	% De Agua a agregar	Agua a Agregar	Recubrimiento 1/2 hora	Recubrimiento 1 hora	Recubrimiento 24 horas
6.00%	0.71%	3.53	30.00%	40.00%	75.00%
6.50%	1.21%	6.03	30.00%	45.00%	80.00%
7.00%	1.71%	8.53	60.00%	70.00%	90.00%
7.50%	2.21%	11.03	60.00%	70.00%	95.00%
8.00%	2.71%	13.53	50.00%	60.00%	85.00%

**Fuente:** Elaboración propia.

**Interpretación:**

De la tabla N° 29 se observa los diferentes porcentajes de humedad utilizados para realizar el ensayo de recubrimiento de los cuales se pudo observar que la mezcla asfáltica en

frío llega a tener un mejor recubrimiento cuando tiene un contenido de humedad de 7.50 % ya que se encuentra dentro de los rango mínimos según el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 424, lo cual indica un valor mínimo de 50%.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo C1.

### **3.4.2 Determinar contenido óptimo de agua en la emulsión asfáltica para la compactación de briquetas.**

#### **Metodología:**

Usando el contenido de asfalto residual calculado anteriormente y el agua requerida en la mezcla, se prepararon mezclas y se airean a varios contenidos de humedad, la mezcla se compactó utilizando los moldes Marshall para luego ser curadas en seco durante un día y ensayadas en la estabilidad Marshall, para luego determinar el contenido óptimo de agua de compactación. La cantidad de material utilizado se adjunta en el Anexo C2.



**Figura N° 62:** Agregado grueso y fino utilizados en el ensayo



**Figura N° 63:** Mesclado de los agregados

**Resultados:**

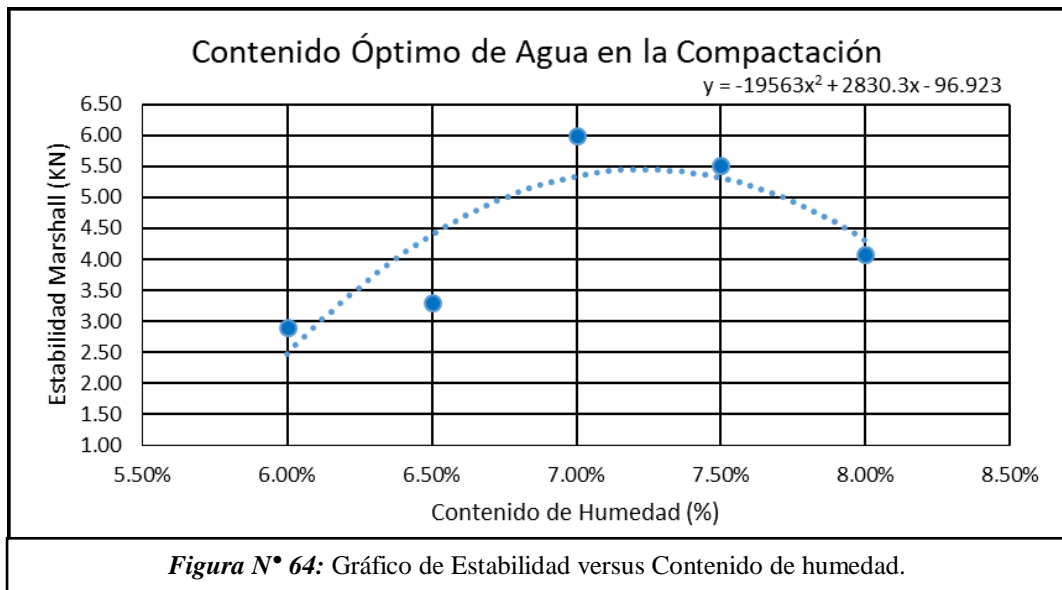
Después del procedimiento realizado se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 30**

*Determinación del porcentaje óptimo de humedad de compactación – 50 golpes*

BRIQUETA N°	ESPESOR cm.	FACTOR CORRECCIÓN	% Wop ANTES DE COMPACTAR	ESTABILIDAD		
				MEDIDA KN.	CORREGIDA KN.	PROMEDIO KN.
M – 1	6.70	0.93		4.716	4.386	
M – 2	6.68	0.93	8.00%	4.284	3.984	4.087
M – 3	6.65	0.93		4.184	3.891	
M – 1	6.81	0.88		6.180	5.438	
M – 2	6.86	0.88	7.50%	6.545	5.760	5.526
M – 3	6.93	0.88		6.113	5.379	
M – 1	6.54	0.94		6.379	5.996	
M – 2	6.70	0.94	7.00%	6.512	6.121	6.007
M – 3	6.67	0.94		6.279	5.902	
M – 1	6.86	0.88		3.685	3.243	
M – 2	6.91	0.88	6.50%	3.852	3.390	3.302
M – 3	6.84	0.88		3.719	3.273	
M – 1	6.55	0.91		3.020	2.748	
M – 2	6.94	0.91	6.00%	3.187	2.900	2.910
M – 3	6.81	0.91		3.386	3.081	

**Fuente:** Elaboración propia.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 31***Resumen de contenido óptimo de humedad de compactación – 50 golpes*

N° de golpes	50
Porcentaje de asfalto	5.87%
Porcentaje de emulsión	9.78%
Estabilidad máxima	5.444 KN
<b>W<sub>op</sub></b> de compactación	7.20%
Peso de agregado seco	1129.56 g

**Fuente:** Elaboración propia.**Interpretación:**

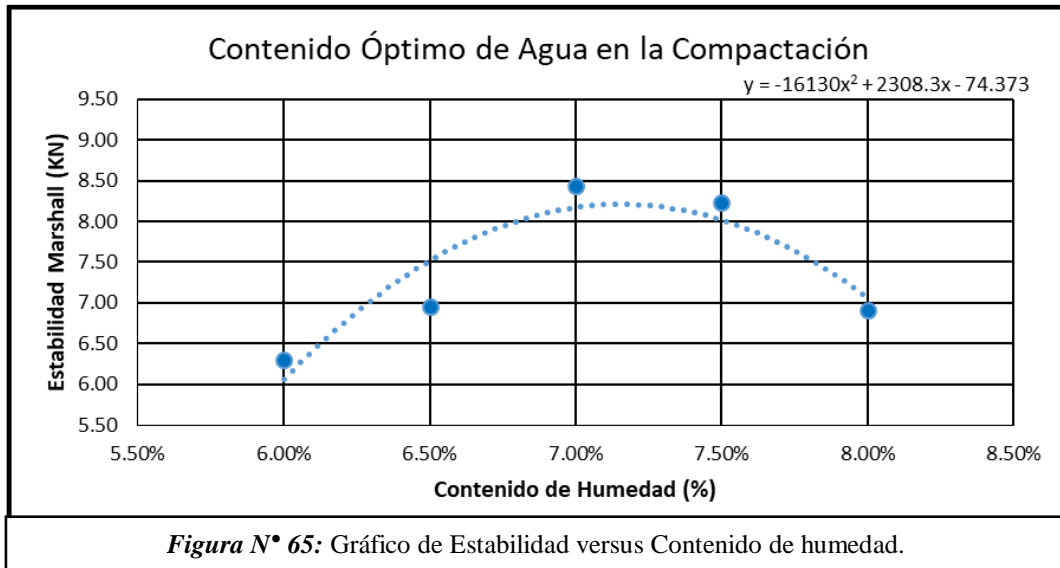
Con los resultados obtenidos en la tabla N° 30 se realizó la gráfica que se muestra en la figura N° 64, de la cual obtuvo una ecuación que permitió determinar la estabilidad máxima la cual se encuentra con su porcentaje óptimo de compactación, cuyos resultados se muestran en la tabla N° 31.

Los datos obtenidos para tránsito medio se muestran adjunto en el Anexo C3.

**Tabla 32***Determinación del porcentaje óptimo de humedad de compactación – 75 golpes*

BRIQUETA N"	ESPESOR cm.	FACTOR CORRECCIÓN	% Wop ANTES DE COMPACTAR	ESTABILIDAD		
				MEDIDA kN.	CORREGIDA kN.	PROMEDIO kN.
M – 1	6.86	0.90		8.674	7.807	
M – 2	6.69	0.90	8.00%	6.678	6.010	6.908
M – 3	6.98	0.90		7.676	6.908	
M – 1	6.72	0.93		8.840	8.221	
M – 2	6.70	0.93	7.50%	8.374	7.788	8.231
M – 3	6.72	0.93		9.339	8.685	
M – 1	6.62	0.93		8.341	7.757	
M – 2	6.74	0.93	7.00%	9.705	9.026	8.438
M – 3	6.69	0.93		9.172	8.530	
M – 1	6.82	0.89		7.410	6.595	
M – 2	6.83	0.89	6.50%	8.341	7.423	6.950
M – 3	6.84	0.89		7.676	6.832	
M – 1	6.55	0.92		6.645	6.113	
M – 2	6.75	0.92	6.00%	6.512	5.991	6.297
M – 3	6.81	0.92		7.377	6.787	

**Fuente:** Elaboración propia.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 33**

*Resumen de contenido óptimo de humedad de compactación – 75 golpes*

N° de golpes	75
Porcentaje de asfalto	5.87%
Porcentaje de emulsión	9.78%
Estabilidad máxima	8.207 KN
<b>W<sub>op</sub></b> de compactación	7.20%
Peso de agregado seco	1129.56 g

**Fuente:** Elaboración propia.

**Interpretación:**

Con los resultados obtenidos en la tabla N° 32 se realizó la gráfica que se muestra en la figura N° 65, de la cual obtuvo una ecuación que permitió determinar la estabilidad máxima la cual se encuentra con su porcentaje óptimo de compactación, cuyos resultados se muestran en la tabla N° 33.

Los datos obtenidos para tránsito pesado se muestran adjunto en el Anexo C4.

**3.5 Verificación si el diseño inicial cumple con los parámetros de estabilidad y fluencia y determinar si es el adecuado para ser almacenado.**

**Metodología:**

El procedimiento es el método Marshall, los resultados se obtuvo al ensayar briquetas para así obtener si el porcentaje óptimo de asfalto cumpliera con las especificaciones técnicas.

### **Resultados:**

Después del procedimiento realizado se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 34**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío - Tránsito mediano.*

<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5525.81
<b>Flujo (mm)</b>	8.04
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.26
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	5.42
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	18.72
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	71.14

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 35**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío - Tránsito pesado.*

<b>N° de Golpes por cara</b>	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	8334.90
<b>Flujo (mm)</b>	8.30
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.28
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	4.80
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	18.19
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	74.48

Fuente: Elaboración propia.

### **Interpretación:**

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5525.81 N, por lo cual los valores dados se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8334.90 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

Los datos obtenidos para tránsito medio se muestran adjunto en el Anexo D1.

Los datos obtenidos para tránsito pesado se muestran adjunto en el Anexo D2.



### **3.6 Preparación de mezclas piloto y evaluar su desempeño en almacenamiento.**

#### **3.6.1 Preparación de mezclas piloto para un período de tiempo de 28 días.**

##### **Metodología:**

Con los agregados disponibles y el tipo de diseño seleccionado se procedió a elaborar muestras piloto de mezcla asfáltica en frío con los parámetros descritos anteriormente y se evaluó su desempeño de almacenamiento en bolsas de polietileno y baldes plásticos durante un periodo de 28 días. Para determinar el grado de rotura de la emulsión asfáltica durante su almacenamiento se procedió a medir la humedad presente en cada mezcla ya que de eso depende la vida útil en almacenamiento. Por lo cual se procedió a pesar diariamente cada muestra almacenada y así poder determinar la pérdida de humedad mediante la diferencia de peso con la evaporación del agua presente en la mezcla.

Se realizaron 8 muestras de mezclas asfálticas en frío para ser almacenadas de las cuales 4 de ellas fueron almacenadas en bolsas de polietileno y los 4 restantes en baldes plásticos.

El sistema de almacenamiento en bolsa consistió, en la utilización de dos bolsas, una interna la cual contiene la mezcla asfáltica a evaluar y una externa la cual tenía la función de recolectar el agua libre producto de la rotura de la emulsión asfáltica y de aislar el producto del medio ambiente.

El sistema de almacenamiento en balde plástico consistió, en la utilización de un balde plástico el cual contiene la mezcla asfáltica a evaluar y una bandeja debajo la cual tenía la función de recolectar el agua libre producto de la rotura de la emulsión asfáltica.

Las mezclas se prepararon de la siguiente manera:

Se tomó una muestra representativa de 10 kilos y se calculó la cantidad de agua y emulsión asfáltica a ser añadida de acuerdo a los porcentajes óptimo de agua de compactación y al ensayo de recubrimiento.

Con la ayuda de un mezclador mecánico se procedió a colocar el agregado, se añadió el agua de premezclado y se mezcló hasta que el material se encuentre totalmente humedecido.

Después de haber humedecido el material se añadió lentamente la emulsión asfáltica y se procedió a mezclar durante aproximadamente cinco minutos hasta que la mezcla se encuentre totalmente homogénea.

Se colocó la muestra dentro de los envases seleccionados y se cerró con un nudo las bolsas de polietileno y con una tapa sellada para los baldes plásticos. Con la ayuda de un punzón

se abrieron ocho huecos a lo largo de la bolsa interior, para luego ser colocada dentro de la segunda bolsa o bolsa exterior para su posterior sellado, y de la misma forma en la parte inferior de los baldes plásticos.

Se tomó el peso neto de cada muestra en su respectivo envase.

Cada uno de los envases fue distinguido por el tiempo en que serán abiertos para su evaluación, es decir; 7 días, 14 días, 21 días y 28 días.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo E1.





**Figura N° 68:** Pesado de la emulsión asfáltica



**Figura N° 69:** Cantidad de agua a ser añadida



**Figura N° 70:** Colocación del agregado en el trompo



**Figura N° 71:** Muestra humedecida en el trompo



**Figura N° 72:** Añadiendo emulsión asfáltica a la mezcla humedecida





**Figura N° 73:** Mezcla asfáltica dentro del trompo



**Figura N° 74:** Almacenaje de las muestras

**Resultados:**

Se elaboró 8 muestras en total de las cuales 4 se envasaron en bolsas de polietileno y los 4 restantes se envasaron en baldes platicos. Cada balde y/o bolsa fueron separadas por la

fecha en las que fueron abiertas para la evaluación de las características de la mezcla asfáltica almacenada.



### **3.7 Determinación si la mezcla asfáltica en frío almacenada cumple con los parámetros de estabilidad y fluencia, para tránsito medio y tránsito pesado.**

#### **3.7.1 Evaluación de la mezcla asfáltica en frío almacenada cada 7 días.**

##### **Metodología:**

Al momento de la elaboración de la mezcla asfáltica en frío para ser almacenada se elaboraron 6 briquetas como muestra inicial. Para la evaluación periódica cada 7 días se elaboró 6 briquetas por envase de la muestra almacenada y se siguió el siguiente procedimiento:

- 1.** Para la elaboración de la briquetas se pesó 1200 gramos de la mezcla asfáltica almacenada, se colocó dentro del molde, el cual estaba debidamente sujetado en el pedestal de compactación, y se chuseo vigorosamente con una varilla lisa 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior, se llevó a cabo la compactación con el martillo de compactación operado manualmente; se elaboró 3 briquetas a 50 golpes por cara y 3 briquetas a 75 golpes por cara, tanto para tránsito medio y tránsito pesado respectivamente. Con las briquetas respectivamente compactadas se procedió a colocar al horno a 60 °C (140 F) durante 48 horas. (Jiménez et al., 2009), esto para obtener un curado de forma acelerada, eliminando toda la humedad residual existente.



**Figura N° 76:** Abertura de los envases de las muestras almacenadas.



**Figura N° 77:** Elaboración y compactación de las briquetas.



**Figura N° 78:** Curado de las briquetas al horno

2. Después que el tiempo de curado de las briquetas a temperatura de 60 °C haya pasado se procedió a sacarlas del horno y dejarlas enfriar aproximadamente una hora como mínimo, luego que haya pasado dicho tiempo se procedió a sacar los especímenes de los moldes mediante el uso de una presa hidráulica.



**Figura N° 79:** Retirando briquetas del horno a 60°C de temperatura



**Figura N° 80:** Retirando el espécimen de los moldes utilizando la presa hidráulica



3. Para la obtención de las características de las muestras de mezcla asfáltica en frío almacenadas se procedió a realizar los siguientes ensayos:

**“Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.641).**

Para la realización de este ensayo se utilizó 3 especímenes por cada tipo de tránsito (tránsito medio y tránsito pesado) y envase (bolsa de polietileno y balde plástico); dicho ensayo consistió en sumergir cada espécimen en un baño con agua a 25 °C durante 5 minutos y se pesó cuando se encontraba totalmente sumergido, se midió la temperatura del agua para posteriormente realizar su corrección. Luego de que hayan transcurrido los 5 minutos fue retirado el espécimen del agua y se secó superficialmente y se pesó, así se pudo obtener el peso del espécimen saturado con superficie seca. Después de haber realizado este procedimiento se colocó el espécimen en el horno a una temperatura constante a 110°C durante 24 horas, luego de eso se pesó y se obtuvo el peso del espécimen seco.



**“Resistencia de Mezcla Asfáltica empleando el Aparato Marshall” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.583).**

Para la realización de este ensayo se utilizó 3 especímenes por cada tipo de tránsito (tránsito medio y tránsito pesado) y envase (bolsa de polietileno y balde plástico); de esta manera se pudo determinar la capacidad que tiene la mezcla compactada para resistir desplazamientos (estabilidad) y deformaciones (flujo) bajo las cargas del tránsito.

Dicho ensayo consistió en tomar las medidas de las dimensiones de cada espécimen para así poder determinar el factor de corrección. Luego se procedió hacer el ensayo de estabilidad y flujo utilizando el aparato Marshall. Se colocaron los especímenes en un baño María a 60 °C durante un periodo de 30 a 40 minutos para poder acondicionar la muestra a temperatura de ensayo. (Manual de Ensayo de Materiales EG 2016, p.591). Inmediatamente después de haber realizado el baño se seca la muestra y se pesa cada espécimen, luego se colocó el espécimen en el segmento inferior del cabezal, posteriormente se colocó el segmento superior del cabezal y se colocó el conjunto completo en la máquina de carga. Se colocó el flujometro en posición sobre una de las líneas guías y se ajustó a cero mientras se sostenía firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se estaba realizando. El cálculo de la estabilidad, se realizó con la siguiente ecuación, la cual fue considerada según el tipo de anillo de carga marca ELE-Internacional.

$$\text{Fuerza (Newton)} = (\text{Def. unitaria del anillo de carga} * 33.25487) + 27.39643$$

Este procedimiento se realizó para cada periodo de análisis.



*Figura N° 83: Especímenes para ser ensayados*



**Figura N° 84:** Baño de agua María



**Figura N° 85:** Ensayo utilizando el aparato Marshall

**Resultados:**

**A los 0 días de almacenamiento**

**Tabla 36**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 0 días de almacenamiento*

	<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>		50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>		5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>		9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>		5386.16	8084.69
<b>Flujo (mm)</b>		8.89	8.55
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>		2.28	2.28
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>		4.72	4.80
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>		18.12	18.20
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>		73.95	73.70

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F1.

### **Interpretación:**

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5386.16 N, por lo cual los valores dados se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8084.69 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

### **A los 7 días de almacenamiento – Bolsa de polietileno**

**Tabla 37**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 7 días de almacenamiento en bolsa de polietileno*

<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5447.76	8159.29
<b>Flujo (mm)</b>	9.40	9.40
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.27	2.27
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	5.03	4.92
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	18.39	18.29
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	72.64	73.15

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F2.

### **Interpretación:**

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5447.76 N, por lo cual los valores dados se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8159.29 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

### A los 7 días de almacenamiento – Balde plástico

**Tabla 38**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 7 días de almacenamiento en balde plástico*

<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5592.34	8169.60
<b>Flujo (mm)</b>	8.64	9.06
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.27	2.28
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	4.96	4.75
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	18.33	18.15
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	72.97	73.85

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F2.

#### Interpretación:

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5592.34 N, por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8169.60 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

### A los 14 días de almacenamiento – Bolsa de polietileno

**Tabla 39**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 14 días de almacenamiento en bolsa de polietileno*

<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5481.78	8241.76
<b>Flujo (mm)</b>	9.23	9.57
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.29	2.28
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	4.17	4.49
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	17.65	17.92
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	76.37	74.98

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F3.

**Interpretación:**

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5481.78 N, por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8241.76 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

**A los 14 días de almacenamiento – Balde plástico**

**Tabla 40**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 14 días de almacenamiento en balde plástico*

<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5601.50	8417.01
<b>Flujo (mm)</b>	8.38	9.06
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.29	2.27
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	4.41	5.18
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	17.86	18.52
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	75.30	72.07

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F3.

**Interpretación:**

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5601.50 N, por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8417.01 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

### A los 21 días de almacenamiento – Bolsa de polietileno

**Tabla 41**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 21 días de almacenamiento en bolsa de polietileno*

<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5641.40	8653.40
<b>Flujo (mm)</b>	8.30	9.74
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.30	2.28
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	3.89	4.87
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	17.41	18.25
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	77.68	73.36

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F4.

#### Interpretación:

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5641.40 N, por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8653.40 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

### A los 21 días de almacenamiento – Balde plástico

**Tabla 42**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 21 días de almacenamiento en balde plástico*

<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5759.91	8224.53
<b>Flujo (mm)</b>	8.47	9.14
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.27	2.28
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	5.08	4.78
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	18.43	18.18
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	72.45	73.70

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F4.

**Interpretación:**

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5759.91 N, por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8224.53 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

**A los 28 días de almacenamiento – Bolsa de polietileno**

**Tabla 43**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 28 días de almacenamiento en Bolsa de polietileno*

<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5759.91	8705.50
<b>Flujo (mm)</b>	8.13	9.48
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.28	2.28
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	4.71	4.57
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	18.12	18
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	74.00	74.59

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F5.

**Interpretación:**

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5759.91 N, por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8705.50 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.



### A los 28 días de almacenamiento – Balde plástico

**Tabla 44**

*Resultados de Mezcla Asfáltica en frío – 28 días de almacenamiento en balde plástico*

<b>Tránsito</b>	<b>Mediano</b>	<b>Pesado</b>
<b>N° de Golpes por cara</b>	50.00	75.00
<b>% Teórico de asfalto (%)</b>	5.87%	5.87%
<b>Emulsión Asfáltica (%)</b>	9.78%	9.78%
<b>Estabilidad Corregida (N)</b>	5954.65	8296.53
<b>Flujo (mm)</b>	8.30	9.82
<b>Peso específico bulk del espécimen, (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.28	2.29
<b>% vacíos total de la mezcla VTM</b>	4.75	4.19
<b>% vacíos total del agregado mineral, VMA*</b>	18.15	17.67
<b>% vacíos llenos con asfalto, VFA</b>	73.85	76.30

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F5.

#### **Interpretación:**

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 5954.65 N, por lo cual los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos requeridos para un tránsito mediano establecido en el manual del MTC para tránsito mediano.

Se obtuvo un valor promedio de estabilidad de 8296.53 N, por encima del establecido en el manual del MTC para tránsito pesado, al igual que los demás valores están dentro de los rangos requeridos.

Los resultados de la evaluación de estabilidad y flujo se adjuntan como Anexo F6.

### **3.7.2 Evaluación de la pérdida de humedad de la mezcla asfáltica en frío almacenada.**

#### **Metodología:**

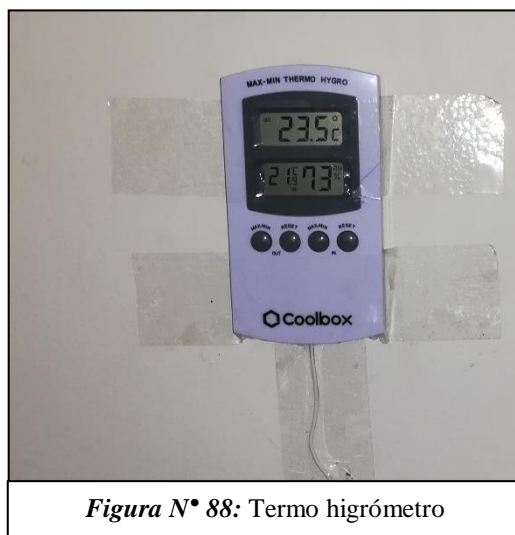
Para determinar el grado de rotura de la emulsión asfáltica durante su almacenamiento se procedió a medir la humedad presente en cada mezcla ya que de eso depende la vida útil en almacenamiento. Por lo cual se procedió a pesar diariamente cada muestra almacenada y así poder determinar la pérdida de humedad mediante la diferencia de peso con la evaporación del agua presente en la mezcla. También se tomó con ayuda de un termo higrómetro la humedad relativa y la temperatura interna de lugar donde se estaba almacenado los envases.



**Figura N° 86:** Bóveda de Almacenamiento



**Figura N° 87:** Pesaje periódicamente de la muestra almacenada



**Figura N° 88:** Termo higrómetro

**Resultados:**

**A los 7 días de almacenamiento –Bolsa de polietileno**

**Tabla 45**

*Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 7 días de su almacenamiento en bolsa de polietileno*

DESCRIPCIÓN	PERD. PESO (g)	PER. HUM. (%)	TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. INTERNA °C	HUM. REL. (%)
<b>Resultados Finales</b>	<b>2.00</b>	<b>0.020</b>	<b>25.55</b>	<b>23.63</b>	<b>62.50%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F7.

**Interpretación:**

Después de 7 días de haber sido almacenada la mezcla asfáltica en frío en bolsas de polietileno se pudo notar un 0.020% de pérdida de humedad, así como un 25.55°C y 23.63°C de temperatura ambiente y temperatura interna respectivamente, teniendo un promedio de humedad relativa de almacenamiento de 62.50%.

**A los 7 días de almacenamiento – Balde plástico**

**Tabla 46**

*Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 7 días de su almacenamiento en balde plástico*

DESCRIPCIÓN	PERD. PESO (g)	PER. HUM. (%)	TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. INTERNA °C	HUM. REL. (%)
<b>Resultados Finales</b>	<b>1.00</b>	<b>0.010</b>	<b>25.55</b>	<b>23.63</b>	<b>62.50%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F7.

**Interpretación:**

Después de 7 días de haber sido almacenada la mezcla asfáltica en frío en balde plástico se pudo notar un 0.010% de pérdida de humedad, así como un 25.55°C y 23.63°C de temperatura ambiente y temperatura interna respectivamente, teniendo un promedio de humedad relativa de almacenamiento de 62.50%.

### *A los 14 días de almacenamiento –Bolsa de polietileno*

**Tabla 47**

*Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 14 días de su almacenamiento en bolsa de polietileno*

DESCRIPCIÓN	PERD. PESO (g)	PER. HUM. (%)	TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. INTERNA °C	HUM. REL. (%)
<b>Resultados Finales</b>	<b>4.00</b>	<b>0.039</b>	<b>25.58</b>	<b>24.01</b>	<b>62.73%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F8.

#### *Interpretación:*

Después de 14 días de haber sido almacenada la mezcla asfáltica en frío en bolsas de polietileno se pudo notar un 0.039% de pérdida de humedad, así como un 25.58°C y 24.01°C de temperatura ambiente y temperatura interna respectivamente, teniendo un promedio de humedad relativa de almacenamiento de 62.73%.

### *A los 14 días de almacenamiento – Balde plástico*

**Tabla 48**

*Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 14 días de su almacenamiento en balde plástico*

DESCRIPCIÓN	PERD. PESO (g)	PER. HUM. (%)	TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. INTERNA °C	HUM. REL. (%)
<b>Resultados Finales</b>	<b>3.00</b>	<b>0.029</b>	<b>25.58</b>	<b>24.01</b>	<b>62.73%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F8.

#### *Interpretación:*

Después de 14 días de haber sido almacenada la mezcla asfáltica en frío en balde plástico se pudo notar un 0.029% de pérdida de humedad, así como un 25.58°C y 24.01°C de temperatura ambiente y temperatura interna respectivamente, teniendo un promedio de humedad relativa de almacenamiento de 62.73%.

### *A los 21 días de almacenamiento –Bolsa de polietileno*

**Tabla 49**

*Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 21 días de su almacenamiento en bolsa de polietileno*

DESCRIPCIÓN	PERD. PESO (g)	PER. HUM. (%)	TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. INTERNA °C	HUM. REL. (%)
<b>Resultados Finales</b>	<b>10</b>	<b>0.098</b>	<b>25.25</b>	<b>24.29</b>	<b>63.59%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F9.

#### *Interpretación:*

Después de 21 días de haber sido almacenada la mezcla asfáltica en frío en bolsas de polietileno se pudo notar un 0.098% de pérdida de humedad, así como un 25.25°C y 24.29°C de temperatura ambiente y temperatura interna respectivamente, teniendo un promedio de humedad relativa de almacenamiento de 63.59%.

### *A los 21 días de almacenamiento – Balde plástico*

**Tabla 50**

*Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 21 días de su almacenamiento en balde plástico*

DESCRIPCIÓN	PERD. PESO (g)	PER. HUM. (%)	TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. INTERNA °C	HUM. REL. (%)
<b>Resultados Finales</b>	<b>8.00</b>	<b>0.078</b>	<b>25.25</b>	<b>24.29</b>	<b>63.59%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F9.

#### *Interpretación:*

Después de 21 días de haber sido almacenada la mezcla asfáltica en frío en balde plástico se pudo notar un 0.078% de pérdida de humedad, así como un 25.25°C y 24.29°C de temperatura ambiente y temperatura interna respectivamente, teniendo un promedio de humedad relativa de almacenamiento de 63.59%.

### A los 28 días de almacenamiento –Bolsa de polietileno

**Tabla 51**

*Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 28 días de su almacenamiento en bolsa de polietileno*

DESCRIPCIÓN	PERD. PESO (g)	PER. HUM. (%)	TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. INTERNA °C	HUM. REL. (%)
<b>Resultados Finales</b>	<b>19</b>	<b>0.186</b>	<b>25.01</b>	<b>24.05</b>	<b>64.55%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F10.

#### **Interpretación:**

Después de 28 días de haber sido almacenada la mezcla asfáltica en frío en bolsas de polietileno se pudo notar un 0.186% de pérdida de humedad, así como un 25.01°C y 24.05°C de temperatura ambiente y temperatura interna respectivamente, teniendo un promedio de humedad relativa de almacenamiento de 64.55%.

### A los 28 días de almacenamiento – Balde plástico

**Tabla 52**

*Resultados de Pérdida de humedad de la muestra a 28 días de su almacenamiento en balde plástico*

DESCRIPCIÓN	PERD. PESO (g)	PER. HUM. (%)	TEMP. AMBIENTE °C	TEMP. INTERNA °C	HUM. REL. (%)
<b>Resultados Finales</b>	<b>17</b>	<b>0.167</b>	<b>25.01</b>	<b>24.05</b>	<b>64.55%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo F10.

#### **Interpretación:**

Después de 28 días de haber sido almacenada la mezcla asfáltica en frío en balde plástico se pudo notar un 0.167% de pérdida de humedad, así como un 25.01°C y 24.05°C de temperatura ambiente y temperatura interna respectivamente, teniendo un promedio de humedad relativa de almacenamiento de 64.55%.

La evaluación de pérdida de humedad y la duración estimada de trabajabilidad de la mezcla asfáltica almacenada se encuentran adjuntas en el Anexo F11 y Anexo F12.

### 3.8 Análisis de costo unitario por metro cúbico de la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenada.

Tabla 53

Costo unitario de elaboración y transporte de una mezcla asfáltica almacenada en balde plástico.

Partida	ELABORACIÓN Y TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO				
Especificaciones	Elaboración de mezcla asfáltica en frío utilizando mezcladora tipo trompo 8HP, para ser almacenado en balde plástico				
Rendimiento	10.00 m <sup>3</sup> /día				
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Mano de Obra</b>					
OPERARIO	hh	1	0.8000	20.58	16.464
OFICIAL	hh	1	0.8000	15.60	12.48
PEON	hh	4	3.2000	13.95	44.64
					<b>73.58</b>
Materiales	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
ARENA GRUESA	m <sup>3</sup>		0.5251	41.16	21.61
PIEDRA TMN 3/4"	m <sup>3</sup>		0.3341	49.93	16.68
EMULSIÓN ASFÁLTICA CSS 1H	gl/m <sup>3</sup>		34.5752	8.19	283.17
AGUA	m <sup>3</sup>		0.0221	8.00	0.18
GASOLINA DE 84 OCTANOS	gl		1.0000	10.32	10.32
ACEITE MOTOR GASOLINERO	gl		0.0050	47.65	0.24
BALDE PLASTICO	unidad		52.00	5.50	286.00
					<b>618.44</b>
Equipos	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		0.05	73.58	3.6792
MEZCLADORA TIPO TROMPO 8HP/8 PIES <sup>3</sup>	hm	1	1	2.93	2.93
TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA > 1km	und/km		52.00	1.83	95.16
					<b>101.77</b>
Almacenamiento por día	días		28	0.50	<b>14</b>
<b>COSTO UNITARIO DIRECTO POR METRO CÚBICO = S/. 807.80</b>					
<b>COSTO UNITARIO POR BALDE PLASTICO DE 42.50 KG = S/. 15.53</b>					

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:** De los resultados obtenidos de la tabla N° 53 se puede notar que el costo unitario para la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenada en balde plástico es de S/. 807.80 por metro cúbico.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo H.

**Tabla 54**

*Costo unitario de elaboración y transporte de una mezcla asfáltica almacenada en bolsa de polietileno.*

ELABORACIÓN Y TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO					
<b>Partida</b>					
<b>Especificaciones</b>	Elaboración de mezcla asfáltica en frío utilizando mezcladora tipo trompo 8HP, para ser almacenado en bolsas de polietileno.				
<b>Rendimiento</b>	10.00 m <sup>3</sup> /día				
<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Parcial</b>
<b>Mano de Obra</b>					
<b>OPERARIO</b>	hh	1	0.8000	20.58	16.464
<b>OFICIAL</b>	hh	1	0.8000	15.60	12.48
<b>PEON</b>	hh	4	3.2000	13.95	44.64
					<b>73.58</b>
<b>Materiales</b>					
<b>ARENA GRUESA</b>	m <sup>3</sup>		0.5251	41.16	21.61
<b>PIEDRA TMN 3/4"</b>	m <sup>3</sup>		0.3341	49.93	16.68
<b>EMULSIÓN ASFÁLTICA CSS 1H</b>	gl/m <sup>3</sup>		34.5752	8.19	283.17
<b>AGUA</b>	m <sup>3</sup>		0.0221	8.00	0.18
<b>GASOLINA DE 84 OCTANOS</b>	gl		1.0000	10.32	10.32
<b>ACEITE MOTOR GASOLINERO</b>	gl		0.0050	47.65	0.24
<b>BOLSA DE POLIETILENO</b>	und		104.00	0.12	12.48
					<b>344.92</b>
<b>Equipos</b>					
<b>HERRAMIENTAS MANUALES</b>	% MO		0.05	73.58	3.6792
<b>MEZCLADORA TIPO TROMPO 8HP/8 PIES<sup>3</sup></b>	hm	1	1	2.93	2.93
<b>TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA &gt; 1km</b>	und/km		52.00	1.83	95.16
					<b>101.77</b>
<b>Almacenamiento por día</b>	días		28	0.50	<b>14</b>
<b>COSTO UNITARIO DIRECTO POR METRO CÚBICO = S/. 534.28</b>					
<b>COSTO UNITARIO POR BOLSA DE 42.50 KG = S/. 10.27</b>					

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:**

De los resultados obtenidos de la tabla N° 54 se puede notar que el costo unitario para la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenada en bolsas de polietileno es de S/. 534.28 por metro cúbico.

El procedimiento para la obtención de resultados se adjunta como Anexo H.



## **IV. DISCUSIÓN**

#### **4.1 Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.**

Se realizó los ensayos de cada uno de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados que intervienen en una mezcla asfáltica comprobando que cumplen con los rangos, valores mínimos y máximos que indican en el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG – 2013” sección 423, tanto para los requerimientos de los agregados gruesos y finos.

#### **4.2 Selección de empaques óptimos para almacenamiento**

La selección de los empaques se dio por motivos que varias empresas de mezclas asfálticas como PAVI-FER, PALSA, DURAMIX y otras más empresas y constructoras de varios países sus mezclas asfálticas en frío almacenable son de empaques de bolsas de polietileno y baldes plásticos ya que nuestras mezclas asfálticas en frío almacenable han sido almacenadas en los mismos empaques. Y también porque las bolsas son muy utilizadas en diversas industrias y de fácil adquisición.

#### **4.3 Diseño inicial y las proporciones de los agregados y el porcentaje de emulsión en el diseño de mezcla asfáltica en frío**

##### **4.3.1 Proporciones de los agregados en la mezcla asfáltica en frío**

Para la proporción se dio la combinación de los agregados ya que es un tema conocido por todos los estudiantes de ingeniería, el método que se ha realizado es el método del cuadro, indicado en el libro de Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos de la UNI, capítulo 3 (Minaya & Ordóñez, 2006). Como se mostró en la figura N°57 el gráfico de la combinación se dio a conocer los porcentajes tanto para el agregado grueso como el agregado fino, con lo cual nos resultó que cumpla con unas de las gradaciones indicadas en la tabla 6, que indica el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013”, podemos observar en la figura N°58.

##### **4.3.2 Determinación de la cantidad de emulsión para la mezcla asfáltica**

Para la determinación del porcentaje de asfalto se aplicó el método de área superficial equivalente que está dado según el Asphalt Institute, la cual nos brinda modelos para el cálculo de área superficial equivalente según la tabla 12, siguiendo la metodología de este

método nos resultó una cantidad de asfalto indicado en la tabla 27, y obtención del porcentaje de emulsión que conllevó a elaborar las briquetas y a nuestro diseño de mezcla asfáltica en frío patrón que nos dio buenos resultados.

#### **4.4 Elaboración de muestras pilotos para determinar el contenido óptimo de humedad en la mezcla asfáltica en frío.**

##### **4.4.1 Ensayo de recubrimiento de los agregados.**

Se elaboró el ensayo comprobando que si cumple con los rangos mínimos que indica MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 424.

##### **4.4.2 Determinar contenido óptimo de agua en la emulsión asfáltica para la compactación de briquetas.**

Se realizó este ensayo aplicando el método de Marshall para un tránsito mediano y pesado según las condiciones dadas en el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” (el número de golpes en cada cara de la biqueta).

#### **4.5 Verificación si el diseño inicial es el adecuado para ser almacenado**

Para el diseño de la mezcla asfáltica en frío se ensayó con el porcentaje teórico de emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento de 9.78%. Se elaboraron 3 briquetas para cada tipo de tránsito para así encontrar que satisfaga las condiciones dadas en el Manual de Carreteras del MTC.

La Estabilidad y flujo obtenidos del equipo Marshall para briquetas, en la tabla 33 y la tabla 34 se aprecian los resultados para tránsito mediano y pesado respectivamente, con lo cual siguen estando en los rangos requeridos según el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 423.

#### **4.6 Preparación de muestras pilotos de mezclas asfálticas en frío para ser almacenadas y evaluadas.**

La preparación de las muestras fue de 10 kilos con ayuda de una mezcladora mecánica para cada empaque y su evaluación fue durante un periodo de 7 días, 14 días, 21 días y 28 días y durante ese período analizaremos su pérdida su pérdida de humedad y elaboramos briquetas para ver su estabilidad y fluencia si cumplen en el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 423.

#### **4.7 Determinación si la mezcla asfáltica en frío almacenable cumple con los parámetros de estabilidad y fluencia del MTC.**

Para la mezcla asfáltica en frío almacenada se determinaron cinco parámetros de diseño según la tabla 13 del presente proyecto, las cuales están dadas como requisitos por el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 423.

Dichos parámetros fueron analizados durante 7, 14, 21 y 28 días de almacenamiento, de esta forma se evaluó las condiciones de estabilidad y flujo, los resultados de estas propiedades mecánicas se pueden apreciar en el Anexo 15, demostrando así que están por encima de 5440 N y 8150 N para tránsito mediano y pesado respectivamente. Para las propiedades físicas de la mezcla asfáltica en frío almacenada se analizó, el porcentaje de vacíos total de la mezcla, porcentaje vacíos total del agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con asfalto obtenidos del equipo Marshall para cada briqueta, dichos resultados se muestran desde la tabla 36 hasta la tabla 43 tanto para tránsito mediano y pesado con lo cual siguen estando en los rangos requeridos según el MTC en su “Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013” sección 423.

En el análisis de pérdida de humedad de la mezcla asfáltica en frío almacenada se pudo apreciar que la mezcla almacenada en bolsas de polietileno pierde más humedad que las mezclas almacenadas en baldes plásticos como se puede apreciar en el Anexo A24.

#### **4.8 Análisis de costo unitario por metro cúbico de la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenable.**

Según los resultados obtenidos en las tablas N° 53 y N° 54 se puede constatar que la elaboración de una mezcla asfáltica en frío almacenada en bolsas plásticas es más económica que la mezcla asfáltica en frío almacenada en baldes plástico, cabe resaltar que ambas mezclas cumplen con los requerimientos de estabilidad y flujo dadas por el M.T.C. para mezclas asfálticas en frío. Pero que la mezcla almacenada en balde plástico conserva mejor la humedad de la mezcla almacenada.

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### 5.1. Conclusiones:

1. Los resultados del análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de la cantera Tres Tomas, cumplen con los rangos mínimos y máximos que indica el MTC.
2. El empaque óptimo para el almacenamiento de la mezcla asfáltica en frío es en balde plástico, porque conserva mayor humedad, manteniendo las propiedades de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica en frío.
3. Las proporciones en la mezcla de los agregados son, 60 % de arena y 40% de grava cumpliendo con una de las gradaciones para mezclas densas en frío tipo 2 (MDF-2) del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
4. Para diseñar mezclas asfálticas en frío, el método área superficial equivalente es el más adecuado, ya que nos permite calcular la cantidad de asfalto y las proporciones de los agregados que serán utilizados en el diseño de la mezcla asfáltica en frío.
5. El porcentaje de emulsión asfáltica obtenido es de 9.78% para tránsito mediano y tránsito pesado, cumpliendo con los rangos mínimos de estabilidad y fluencia.
6. De acuerdo a los resultados de la investigación (ver tabla 31 y tabla 33) se logró determinar el porcentaje de compactación óptimo de humedad de la mezcla asfáltica en frío 7.20%, cumpliendo con el parámetro de estabilidad, para tránsito mediano y tránsito pesado.
7. Durante el período de análisis de 28 días las mezclas asfálticas en frío almacenadas cumplieron con los parámetros de estabilidad y flujo establecidos por el MTC para los tránsitos analizados.
8. En el análisis de costos unitarios por metro cúbico de la mezcla asfáltica en frío almacenada en bolsa de polietileno, el costo es menor que el de la mezcla asfáltica en frío almacenada en balde plástico.
9. Se determinó que para 1 m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica en frío se utilizaran 52 empaques para su almacenamiento, los cuales contaron con un peso de mezcla asfáltica en frío de 42.5 kg cada uno.

## 5.2. Recomendaciones:

1. Para el diseño de una mezcla asfáltica en frío el tipo de agregados a utilizar deben tener resultados satisfactorios en el análisis físico y mecánicos de los mismos.

2. De acuerdo a la investigación realizada, se determina que la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS-1h es el más adecuado para el uso de mezclas asfálticas en frío almacenadas; donde la letra C indica que es una emulsión catiónica, la letra S que es de rompimiento lento (slow, lenta), el numero 1 indica que la viscosidad es baja, la letra h indica que la base asfáltica es más consistente (hard, dura).

3. Se recomienda la aplicación de emulsiones asfáltica, ya que es un material no contaminante para el medio ambiente durante la utilización en los diseños de mezclas asfálticas en frío.

4. Se recomienda que pasado los 28 días la mezcla asfáltica en frío almacenada, puede ser utilizada siempre y cuando conserve su trabajabilidad (que la mezcla no se encuentre endurecida), y que cumpla con los parámetros (estabilidad y flujo) establecidos en el MTC EG-2013.

5. Se recomienda que el almacenaje de la mezcla asfáltica en frío se realice en lugares aislados de los rayos de sol, así como en un ambiente que se encuentre a temperatura de  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

6. La mezcla asfáltica en frío almacenable sería un producto comercializable debido a que es un producto innovador en otros países y los clientes potenciales serian empresas concesionarias y entidades estatales.

7. Para un adecuado empleo de la mezcla asfáltica en frío almacenable se recomienda seguir el procedimiento descrito en el Anexo 4.



## **VI. REFERENCIAS**

**Asphalt Institute, Serie de Manuales N° 22 (MS-22).** Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/142713820/1-Cap-v-Diseno-de-Mezclas-Asfalticas-en-Frio>.

**A Basic Asphalt Emulsion Manual, Manual Series N°19 (2004).** Manual Básico de Emulsiones Asfálticas. USA: Editorial Electrónica. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/345756896/MS-19-A-basic-Asphalt-Emulsion-Manual-AEMA-pdf#>

**Augusto Jugo, B. (24 de julio de 2013).** Propuesta de Norma para Elaboración de Mezcla Asfáltica Almacenable, para bacheo y Reparaciones de Emergencia. *Infraestructura Vial/ LanammeUCR*, 15(26), 5-13. Recuperado de <http://docplayer.es/51907580-Propuesta-de-norma-para-elaboracion-de-mezcla-asfaltica-almacenable-para-bacheos-y-reparaciones-de-emergencia.html>

**Ballena Tapia, Chrystian. (2016).** Utilización de Fibras de Polietileno de Botellas para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío. (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.

**Carpintea, G. (22 de marzo de 2014).** S.O.S. bache: el alarmante estado de las calles porteñas. *Infonews*. Argentina. Recuperado de <http://www.infonews.com/nota/130696/s-o-s-bache-el-alarante-estado-de-las>

**CaruaJulca, A. (15 de mayo de 2016).** Lima, la ciudad de los huecos y baches. *Correo*. Lima. Recuperado de <http://diariocorreo.pe/ciudad/lima-la-ciudad-de-los-huecos-y-baches-672751/>

**Fernández, J. (1983).** “*Pavimentos Bituminosos en Frío*”. Barcelona, España: Editorial Técnicos Asociados.

**Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Sandoval Sandoval, C. (2005).** Análisis de varianza del efecto de algunos factores que influyen en la deformación permanente de mezclas asfálticas. Publicación Técnica N° 272. Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, México. \_\_

**Galván Huamaní, Luis Miguel. (2015).** *Criterios de Análisis y Diseño de una Mezcla Asfáltica en Frío con Pavimentos Reciclado y Emulsión Asfáltica* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4384/1/galvan\\_hl.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4384/1/galvan_hl.pdf)

**Gómez, C, & Ríos, L. (2009).** *Límites de control para producción de Emulsión CSS-1h y CRS-1h y Diseño de Mortero Asfáltico Tipo I* (Tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela. Recuperado de <http://159.90.80.55/tesis/000147357.pdf>

**Guevara Palma, M., Mendez Delgado, H., y Pimentel Gomez, J. (2010).** *Diseño de Mezclas Asfálticas Densas en Frío Basado en el Método Marshall Modificado de la Universidad de Illinois* (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, Santa Ana, El Salvador. Recuperado de [http://www.academia.edu/9677819/Diseno\\_de\\_mezclas\\_densas\\_en\\_frio](http://www.academia.edu/9677819/Diseno_de_mezclas_densas_en_frio)

- Herrera, J. (18 de agosto de 2015).** Aparición de baches en las calles de Santiago, la otra secuela de las lluvias. *La Tercera*. Chile. Recuperado de <http://www.latercera.com/noticia/aparicion-de-baches-en-las-calles-de-santiago-la-otra-secuela-de-las-lluvias/>
- Ibañez Aguilera, Hector Edgardo. (2003).** “Uso de Emulsiones en Pavimentos Asfálticos; Asfalto Calientes y Fríos” (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Ing. Morales, P. (16 de mayo de 2017).** Municipio de Chiclayo inicia mejoramiento de pistas en el centro de la ciudad. *RPP Noticias*. Recuperado de <http://rpp.pe/peru/lambayeque/municipio-de-chiclayo-inicia-mejoramiento-de-pistas-en-el-centro-de-la-ciudad-noticia-1050961>
- Jiménez Acuña, M., Sibaja Obando, D., y Molina Zamora, D. (27 de enero de 2009).** Mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones. *Infraestructura Vial*, (21), 18-29. Recuperado de <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/banco-de-informacion-digital-on-line/07-02-13/2009/mezclas-asfalticas-en-frio-en-costa-rica.pdf>
- Mercado, R., Bracho, C., y Avendaño, J. (2008).** *Emulsiones Asfálticas, Usos – Rompimiento*. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Manual de Carreteras (2013).** Especificaciones técnicas generales para construcción. Recuperado de [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Carreteras%20-](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Carreteras%20-)
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016).** Manual de Ensayos de Materiales. Recuperado de [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)
- Molina Poggioli, Nicolás Enrique. (2012).** *Estudio de desarrollo de una unidad de producción de mezcla asfáltica almacenable para bacheo en frío* (Tesis de pregrado). Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Venezuela
- Montejo, A. (2010).** *Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías*. Bogotá, Colombia: Ediciones y publicaciones.
- Municipio de Chiclayo inicia mejoramiento de pistas en el centro de la ciudad. (16 de mayo de 2017).** *RPP Noticias*. Lima. Recuperado de <http://rpp.pe/peru/lambayeque/municipio-de-chiclayo-inicia-mejoramiento-de-pistas-en-el-centro-de-la-ciudad-noticia-1050961>
- Padilla, A. (2004).** *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Catalunya, Cataluña, España

- Ramos, B., & Muñiz, C. (2013).** *Propuesta de Diseño de Mezcla Asfáltica en Frío de graduación densa como alternativa para el mantenimiento de pavimentos flexibles (Tesis de pregrado).* Universidad Centro Americana, Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://repositorio.uca.edu.ni/518/1/UCANI3500.PDF>
- Rodríguez Talavera, R., Castaño Meneses, V., Martínez Madrid, M. (2001).** Emulsiones Asfálticas. Documento Técnico N° 23. Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, México. Recuperado de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>
- Rondón, H., y Reyes, F. (2015).** *Pavimentos: materiales, construcción y diseño (pp.54-55).* Bogotá, Colombia: Editorial Macro.
- Sarmiento Otálora, Marco Antonio. (2012).** *Estudio del comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada con emulsión (Tesis de pregrado).* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Salgado Barra, B. (06 de julio de 2009).** Evaluación de características físicas y químicas de los rellenos minerales de piedra caliza y polvo de piedra en la formulación de los morteros asfálticos. *Infraestructura Vial.* Recuperado de [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjGzre40rLXAhVCf5AKHSTfBskQFgg0MAI&url=https%3A%2F%2Frevistas.ucr.ac.cr%2Findex.php%2Fvial%2Farticle%2Fdownload%2F1732%2F1705&usg=AOvVaw1xwWR\\_jXWSUHQEWdSSbJWC](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUKEwjGzre40rLXAhVCf5AKHSTfBskQFgg0MAI&url=https%3A%2F%2Frevistas.ucr.ac.cr%2Findex.php%2Fvial%2Farticle%2Fdownload%2F1732%2F1705&usg=AOvVaw1xwWR_jXWSUHQEWdSSbJWC)
- Torres Valencia, Omar. (2004).** *Implementación de Ensayos Adicionales al Actual Método de Diseño de Mezclas Asfálticas Densas Empleado en México. (Tesis de pregrado).* Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Nuevo León, México. Recuperado de [https://repositorio.itesm.mx/ortec/bitstream/11285/571944/1/DocsTe\\_c\\_1624.pdf](https://repositorio.itesm.mx/ortec/bitstream/11285/571944/1/DocsTe_c_1624.pdf).

# **ANEXOS**