



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE  
PORCENTAJES DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO  
SOBRE LOS PARÁMETROS MARSHALL EN LAS  
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2017

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Br. Edwin Yair Soto Avalos

**Asesor:**

Ing. David Tello Villarruel

Trujillo – Perú

2018

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Edwin Yair Soto Avalos**, denominada:

### **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE PORCENTAJES DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO SOBRE LOS PARÁMETROS MARSHALL EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2017**

---

Ing. David Jonatan Tello Villarruel  
**ASESOR**

---

Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Wiston Henry Azañedo Medina  
**JURADO**

---

Ing. Josualdo Villar Quiroz  
**JURADO**

## DEDICATORIA

A **Dios**, por darnos la vida, por ser nuestro guía, luz y protección en cada paso que doy. Por poner en mi camino a excelentes personas que forman parte de este logro.

A mis queridos padres, **Juana Avalos** y **Severo Soto** por todo el amor que me dan y la motivación necesaria para verme lograr cumplir mis aspiraciones y alcanzar mis metas. Quienes sacrificaron muchas cosas por verme convertido en un profesional.

A mi hermana **Carolina**, por ser el ejemplo de una hermana mayor, que siempre está cuando la necesito y por todos los buenos momentos juntos.

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por ser mi luz en mi día a día, por darme la sabiduría necesaria y hacer posible terminar con éxito mi carrera universitaria, y logrando poder realizar esta tesis, la cual servirá como base para futuras investigaciones, generando un aporte significativo para la sociedad.

A mis padres, Severo y Juana, las personas más importantes en mi vida y a quienes le debo todo lo que soy, por todos los valores inculcados y las enseñanzas que hicieron de mí una persona de bien.

A mi abuelita, Rosa Motta, quien es para mí como una segunda madre, quien siempre me apoyó en todo momento y me enseñó que a pesar de las adversidades uno puede salir adelante, este logro también es para ella.

Al ingeniero David Tello Villarruel, por toda la paciencia y dedicación que tuvo conmigo para poder lograr la culminación de esta tesis. Gracias por todos los conocimientos brindados, por la orientación y compromiso durante todo el desarrollo de la tesis.

A todos mis amigos de la universidad, con quienes compartí grandes momentos durante el ciclo universitario, que nunca olvidaré. Del mismo modo a mis amigos de la vida, que su apoyo incondicional es importante para este logro, por todas las experiencias vividas tal que ahora los considero parte de mi familia. Gracias por todo su gran apoyo y que la amistad perdurará por siempre.

**Soto Avalos, Edwin Yair**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b><u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u></b> .....	<b>2</b>
<b><u>DEDICATORIA</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>AGRADECIMIENTO</u></b> .....	<b>4</b>
<b><u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u></b> .....	<b>5</b>
<b><u>ÍNDICE DE TABLAS</u></b> .....	<b>7</b>
<b><u>ÍNDICE DE FIGURAS</u></b> .....	<b>10</b>
<b><u>RESUMEN</u></b> .....	<b>13</b>
<b><u>ABSTRACT</u></b> .....	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
1.1. Realidad problemática .....	15
1.2. Formulación del problema .....	17
1.3. Justificación .....	17
1.4. Limitaciones .....	18
1.5. Objetivos .....	18
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	18
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	18
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1. Antecedentes .....	20
2.2. Bases teóricas .....	25
2.2.1. <i>Mezclas Asfálticas</i> .....	25
2.2.2. <i>Asfalto modificado</i> .....	29
2.2.3. <i>Método de diseño de mezcla</i> .....	31
2.2.4. <i>Aplicación de caucho de llanta reciclada en mezclas asfálticas</i> .....	52
2.3. Hipótesis .....	59
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>60</b>
3.1. Operacionalización de variables .....	60
3.1.1. <i>Variable Independiente</i> .....	60
3.1.2. <i>Variable Dependiente</i> .....	60
3.2. Diseño de investigación .....	60
3.3. Unidad de estudio .....	61
3.4. Población .....	61
3.5. Muestra .....	61
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....	61
3.6.1. <i>Técnicas e instrumentos</i> .....	61
3.6.2. <i>Procedimiento de recolección de datos</i> .....	61
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....	119

<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....</b>	<b>120</b>
4.1. Selección de cantera.....	120
4.2. Características de los materiales pétreos. ....	120
4.2.1. <i>Ensayos para agregado grueso.</i> .....	120
4.2.2. <i>Ensayos para agregado fino</i> .....	124
4.3. Características del Cemento Asfáltico. ....	129
4.4. Requisitos de la mezcla de áridos. ....	130
4.5. Diseño Marshall. ....	131
4.6. Elaboración de mezcla asfáltica en caliente con caucho mediante proceso seco .....	134
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>136</b>
5.1. Análisis de los resultados obtenidos. ....	136
5.1.1. <i>Características de los agregados pétreos</i> .....	136
5.1.2. <i>Características del Cemento Asfáltico</i> .....	138
5.1.3. <i>Requisitos de la mezcla de áridos</i> .....	138
5.1.4. <i>Diseño Marshall de la mezcla patrón</i> .....	138
5.1.5. <i>Mezcla asfáltica en caliente con caucho</i> .....	139
5.2. Análisis Comparativos de Costos Unitarios.....	159
5.3. Análisis ambiental de la Huella de carbono.....	160
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>162</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>163</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>164</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>166</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Parámetros del Diseño Marshall de mezcla con 1% de caucho .....	23
<b>Tabla 2.2:</b> Resultados de las mezclas con 6.0% de cemento asfáltico.....	24
<b>Tabla 2.3:</b> Niveles de Análisis Método Superpave.....	37
<b>Tabla 2.4:</b> Puntos de control de granulometrías Superpave .....	45
<b>Tabla 2.5:</b> Esfuerzos de compactación .....	48
<b>Tabla 2.6:</b> Requerimientos de Superpave para el VMA .....	49
<b>Tabla 2.7:</b> Requerimientos de Superpave para el VFA.....	49
<b>Tabla 3.1:</b> Operacionalización de la variable dependiente.....	60
<b>Tabla 3.2:</b> Requerimientos para los agregados gruesos.....	62
<b>Tabla 3.3:</b> Requerimientos para los agregados finos.....	63
<b>Tabla 3.4:</b> Tamices de ensayo NTP 350.001.....	64
<b>Tabla 3.5:</b> Peso necesario del agregado grueso para Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de magnesio).....	65
<b>Tabla 3.6:</b> Tamices a usar en el ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	66
<b>Tabla 3.7:</b> Número de esferas de acuerdo con la Gradación .....	68
<b>Tabla 3.8:</b> Gradación de las muestras de ensayo.....	68
<b>Tabla 3.9:</b> Peso de muestra para ensayo Índice de Durabilidad .....	71
<b>Tabla 3.10:</b> Peso mínimo del material para ensayo de partículas chatas y alargadas .....	74
<b>Tabla 3.11:</b> Dimensiones de los calibradores grosor y longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción .....	75
<b>Tabla 3.12:</b> Cantidad mínima de muestra para ensayo Sales solubles .....	77
<b>Tabla 3.13:</b> Cantidad mínima de muestra para ensayo Caras fracturadas.....	79
<b>Tabla 3.14:</b> Peso mínimo de la muestra de ensayo Absorción.....	82
<b>Tabla 3.15:</b> Tamices para ensayo de durabilidad al Mg.....	90
<b>Tabla 3.16:</b> Peso necesario del agregado grueso para Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	91
<b>Tabla 3.17:</b> Selección del tipo de cemento asfáltico .....	95
<b>Tabla 3.18:</b> Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración .....	96
<b>Tabla 3.19:</b> Aceptabilidad de los resultados para el ensayo .....	98
<b>Tabla 3.20:</b> Especificación de la Nafta .....	106
<b>Tabla 3.21:</b> Especificación del Heptano .....	106
<b>Tabla 3.22:</b> Tipo de combinaciones para los agregados.....	109
<b>Tabla 3.23:</b> Requisitos para mezcla de concreto bituminoso .....	117
<b>Tabla 3.24:</b> Ficha técnica de caucho triturado .....	118
<b>Tabla 4.1:</b> Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) del agregado grueso .....	121
<b>Tabla 4.2:</b> Desgaste por abrasión del agregado grueso .....	121

<b>Tabla 4.3:</b> Índice de Durabilidad del agregado grueso.....	121
<b>Tabla 4.4:</b> Partículas chatas del agregado grueso.....	122
<b>Tabla 4.5:</b> Partículas alargadas del agregado grueso.....	122
<b>Tabla 4.6:</b> Sales solubles del agregado grueso .....	122
<b>Tabla 4.7:</b> Con dos o más caras fracturadas del agregado grueso .....	123
<b>Tabla 4.8:</b> Con una cara fracturada del agregado grueso.....	123
<b>Tabla 4.9:</b> Absorción del agregado grueso.....	123
<b>Tabla 4.10:</b> Equivalente de arena del agregado fino.....	124
<b>Tabla 4.11:</b> Angularidad del agregado fino.....	125
<b>Tabla 4.12:</b> Índice de plasticidad (Malla N° 40) .....	125
<b>Tabla 4.13:</b> Índice de plasticidad (Malla N° 200) .....	126
<b>Tabla 4.14:</b> Índice de durabilidad del agregado fino .....	127
<b>Tabla 4.15:</b> Sales solubles totales del agregado fino.....	128
<b>Tabla 4.16:</b> Absorción del agregado fino.....	128
<b>Tabla 4.17:</b> Especificación técnica del cemento asfáltico .....	129
<b>Tabla 4.18:</b> Granulometría de la mezcla de agregados .....	130
<b>Tabla 4.19:</b> Cuadro resumen de los Parámetros Marshall.....	131
<b>Tabla 4.20:</b> Parámetros del Diseño Marshall con el contenido óptimo de asfalto (5.8%).....	134
<b>Tabla 4.21:</b> Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 1% caucho .....	135
<b>Tabla 4.22:</b> Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 2% caucho .....	135
<b>Tabla 4.23:</b> Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 3% caucho .....	135
<b>Tabla 5.1:</b> Combinación de agregados para la mezcla asfáltica .....	138
<b>Tabla 5.2:</b> Verificación de los Parámetros Marshall de la mezcla patrón.....	139
<b>Tabla 5.3:</b> Cuadro comparativo de mezclas asfálticas convencionales vs mezclas asfálticas con caucho .....	139
<b>Tabla 5.4:</b> Prueba de Normalidad .....	140
<b>Tabla 5.5:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable Estabilidad .....	142
<b>Tabla 5.6:</b> Prueba de ANOVA para la variable Estabilidad .....	143
<b>Tabla 5.7:</b> Comparación múltiple para la variable Estabilidad.....	143
<b>Tabla 5.8:</b> Prueba de Normalidad para la variable Flujo .....	144
<b>Tabla 5.9:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable Flujo.....	146
<b>Tabla 5.10:</b> Prueba de ANOVA para la variable Flujo.....	147
<b>Tabla 5.11:</b> Comparación múltiple para la variable Flujo .....	147
<b>Tabla 5.12:</b> Prueba de Normalidad para la variable %Vacíos de aire .....	148
<b>Tabla 5.13:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable %Vacíos de aire .....	150
<b>Tabla 5.14:</b> Prueba de ANOVA para la variable %Vacíos de aire .....	151
<b>Tabla 5.15:</b> Comparación múltiple para la variable %Vacíos de aire.....	151
<b>Tabla 5.16:</b> Prueba de Normalidad para la variable %VMA .....	152



<b>Tabla 5.17:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable %VMA.....	154
<b>Tabla 5.18:</b> Prueba de ANOVA para la variable %VMA.....	155
<b>Tabla 5.19:</b> Comparación múltiple para la variable %VMA .....	155
<b>Tabla 5.20:</b> Análisis de costos unitarios .....	159
<b>Tabla 5.21:</b> Cálculo de huella de carbono .....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Concepto de VMA .....	33
<b>Figura 2.2:</b> Equipo Copa de Cleveland .....	39
<b>Figura 2.3:</b> Viscosímetro rotacional Brookefield .....	39
<b>Figura 2.4:</b> Reómetro dinámico de cortante .....	40
<b>Figura 2.5:</b> Horno rotatorio de película delgada .....	40
<b>Figura 2.6:</b> Cámara de envejecimiento a presión. ....	41
<b>Figura 2.7:</b> Viga a flexión (reómetro).....	41
<b>Figura 2.8:</b> Límites para las granulometrías Superpave .....	44
<b>Figura 2.9:</b> Parámetros de la mezcla asfáltica .....	46
<b>Figura 2.10:</b> Compactador giratorio Superpave .....	47
<b>Figura 2.11:</b> Esquema de la compactación giratoria.....	48
<b>Figura 2.12:</b> Montaje de especímenes en el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA).....	51
<b>Figura 2.13:</b> Equipo de flexotracción en vigas.....	52
<b>Figura 2.14:</b> Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho mediante el proceso por vía húmeda.....	57
<b>Figura 2.15:</b> Esquema de fabricación de la mezcla asfáltica con caucho por vía seca.....	59
<b>Figura 3.1:</b> Características de Máquina de los Ángeles.....	67
<b>Figura 3.2:</b> Calibrador de espesores.....	73
<b>Figura 3.3:</b> Calibrador de longitudes.....	73
<b>Figura 3.4:</b> Partículas no fracturadas.....	79
<b>Figura 3.5:</b> Esquema de una Partícula Fracturada con una Cara de fractura .....	80
<b>Figura 3.6:</b> Partículas fracturadas.....	80
<b>Figura 3.7:</b> Aparato de Ensayo de equivalente de arena.....	83
<b>Figura 3.8:</b> Aparato para medir la angularidad del agregado fino .....	86
<b>Figura 3.9:</b> Aguja para prueba de penetración .....	96
<b>Figura 3.10:</b> Aparato Cleveland de copa abierta .....	99
<b>Figura 3.11:</b> Molde y placa para ductilómetro .....	102
<b>Figura 3.12:</b> Aparato filtrante. ....	104
<b>Figura 3.13:</b> Moldes para ensayo Marshall .....	111
<b>Figura 3.14:</b> Martillo de compactación .....	112
<b>Figura 3.15:</b> Máquina de carga a compresión.....	113
<b>Figura 3.16:</b> Carta de Viscosidad.....	115
<b>Figura 4.1:</b> Curva granulométrica del agregado grueso.....	120
<b>Figura 4.2:</b> Curva granulométrica del agregado fino.....	124
<b>Figura 4.3:</b> % de humedad a 25 golpes (Malla N° 40).....	126
<b>Figura 4.4:</b> % de humedad a 25 golpes (Malla N° 200) .....	127

<b>Figura 4.5:</b> Curva granulométrica de la mezcla de agregados.....	131
<b>Figura 4.6:</b> Peso unitario vs % Asfalto .....	132
<b>Figura 4.7:</b> % Vacíos en la mezcla vs % Asfalto .....	132
<b>Figura 4.8:</b> % Vacíos del agregado mineral vs % Asfalto .....	132
<b>Figura 4.9:</b> Flujo vs % Asfalto.....	133
<b>Figura 4.10:</b> Estabilidad vs % Asfalto.....	133
<b>Figura 4.11:</b> Curva granulométrica del caucho a utilizar.....	134
<b>Figura 5.1:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 1% de caucho.....	141
<b>Figura 5.2:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 2% de caucho.....	141
<b>Figura 5.3:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 3% de caucho.....	142
<b>Figura 5.4:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 1% de caucho .....	145
<b>Figura 5.5:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 2% de caucho .....	145
<b>Figura 5.6:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 3% de caucho .....	146
<b>Figura 5.7:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 1% de caucho .....	149
<b>Figura 5.8:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 2% de caucho .....	149
<b>Figura 5.9:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 3% de caucho .....	150
<b>Figura 5.10:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 1% de caucho .....	153
<b>Figura 5.11:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 2% de caucho .....	153
<b>Figura 5.12:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 3% de caucho .....	154
<b>Figura 5.13:</b> Comparación de la estabilidad entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho .....	156
<b>Figura 5.14:</b> Comparación del flujo entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho.....	157
<b>Figura 5.15:</b> Comparación del % vacíos con aire entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho .....	157
<b>Figura 5.16:</b> Comparación del % vacíos en el agregado mineral entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho .....	158
<b>Figura 5.17:</b> Costos de mantenimiento (mezclas modificadas con caucho de llanta y convencionales).....	160
<b>Figura 6.1:</b> Diagrama de Flujo para la Recolección de Información.....	166
<b>Figura 6.2:</b> Certificación de los ensayos en el Laboratorio .....	196
<b>Figura 6.3:</b> Cuarteo del agregado grueso .....	215
<b>Figura 6.4:</b> Cuarteo del agregado fino .....	215
<b>Figura 6.5:</b> Análisis granulométrico para el agregado fino.....	216
<b>Figura 6.6:</b> Análisis granulométrico para el agregado grueso .....	216
<b>Figura 6.7:</b> Muestra en el horno de agregado grueso para Contenido de Humedad .....	217
<b>Figura 6.8:</b> Muestra en el horno de agregado fino para Contenido de Humedad .....	217
<b>Figura 6.9:</b> Límite de Consistencia – Limite Líquido.....	218

<b>Figura 6.10:</b> Límite de Consistencia – Limite Plástico .....	218
<b>Figura 6.11:</b> Ensayo Abrasión Los Ángeles .....	219
<b>Figura 6.12:</b> Material de desgaste por abrasión .....	219
<b>Figura 6.13:</b> Preparación de solución para Durabilidad al Sulfato de Magnesio.....	220
<b>Figura 6.14:</b> Inmersión de las muestras en la solución de Sulfato de Magnesio .....	220
<b>Figura 6.15:</b> Equipos, materiales e insumos para Equivalente de arena.....	221
<b>Figura 6.16:</b> Lectura de arena y arcilla para Equivalente de Arena.....	221
<b>Figura 6.17:</b> Calentamiento de materiales para elaboración de probetas .....	222
<b>Figura 6.18:</b> Mezcla de materiales para elaboración de probetas.....	222
<b>Figura 6.19:</b> Colocación de moldes y martillo Marshall en baño María .....	223
<b>Figura 6.20:</b> Vaciado de mezcla asfáltica en moldes pre-calentados Marshall.....	223
<b>Figura 6.21:</b> Chuseo de la mezcla asfáltica en caliente.....	224
<b>Figura 6.22:</b> Compactación de probetas con martillo Marshall .....	224
<b>Figura 6.23:</b> Extracción de probetas .....	225
<b>Figura 6.24:</b> Caucho utilizado en la mezcla asfáltica.....	225
<b>Figura 6.25:</b> Ensayo granulométrico del caucho a utilizar .....	226
<b>Figura 6.26:</b> Incorporación de caucho a los agregados pétreos .....	226
<b>Figura 6.27:</b> Adición de cemento asfáltico a la mezcla de agregados y caucho.....	227
<b>Figura 6.28:</b> Mezcla de materiales con caucho para elaboración de probetas.....	227
<b>Figura 6.29:</b> Vaciado de mezcla con caucho en moldes pre-calentados Marshall.....	228
<b>Figura 6.30:</b> Chuseo de la mezcla asfáltica con caucho.....	228
<b>Figura 6.31:</b> Compactación de la mezcla asfáltica con caucho.....	229
<b>Figura 6.32:</b> Extracción de probetas de mezcla asfáltica con caucho.....	229
<b>Figura 6.33:</b> Peso unitario de probetas de mezcla asfáltica con caucho.....	230
<b>Figura 6.34:</b> Colocación de probetas en baño maría.....	230
<b>Figura 6.35:</b> Estabilidad y flujo a través de prensa Marshall de probetas de mezclas asfálticas con caucho .....	231
<b>Figura 6.36:</b> Probetas de mezcla asfáltica con caucho después de la Prensa Marshall .....	231

## RESUMEN

La presente investigación incentiva la aplicación de materiales reciclados como parte de las mezclas asfálticas en caliente, para poder buscar como alternativa de solución al problema ambiental, del mismo modo buscando el objetivo de mejorar sus propiedades de las mezclas asfálticas, para que de tal manera se logre aumentar la vida útil, o caso contrario llegar a la vida para la cual fueron diseñados inicialmente.

La problemática del proyecto nace ante el notable deterioro existente en las actuales mezclas asfálticas, generando malestar en la población, por lo cual se pretende incorporar porcentajes (1%, 2% y 3%) de caucho de llantas en desuso en reemplazo del agregado fino, por lo tanto, se justifica el estudio para darle un uso ecológico a los neumáticos e incentivar la responsabilidad ambiental.

Para las mezclas asfálticas en caliente, se obtuvo un diseño de agregados de piedra chancada 3/4" (40%), arena chancada 3/8" (40%) y arena zarandeada 3/8" (20%) cumpliendo con la gradación tipo MAC-2, la cual fue diseñada para una granulometría densa.

Con respecto al cemento asfáltico PEN 60-70, se estableció que el contenido óptimo de asfalto es de 5.8%, además se verificó que dicho material cumple con todos los requerimientos exigidos por el Manual de Carreteras del MTC. Una vez determinado el contenido óptimo de asfalto, se procedió a la incorporación del caucho de llanta a la mezcla asfáltica, a través de la vía seca, con una temperatura y tiempo de digestión de 170°C y 2 horas respectivamente.

Comparando los parámetros Marshall entre la mezcla asfáltica convencional versus las mezclas asfálticas con los tres contenidos (1%, 2% y 3%) de caucho de llanta, se aprecia que, con los tres porcentajes de caucho, la mezcla cumple con todas las exigencias dictadas por el Manual de carreteras del MTC para una mezcla de concreto bituminoso.

Finalmente se logró analizar el efecto que genera la incorporación del caucho de llanta en mezclas asfálticas, obteniendo que el porcentaje óptimo para el caucho es del 1%, logrando mejorar la mezcla asfáltica con respecto a sus parámetros Marshall, de esta manera obteniendo beneficios positivos para empresas relacionadas a la pavimentación, debido que, por ser un material reciclado, genera menos costos en la adquisición del producto y a su vez menor costo en la etapa de mantenimiento. Asimismo, se logró reducir la huella de carbono de las llantas en 5,172.83 kgCO<sub>2</sub> para 1 km de carpeta asfáltica en caliente, alcanzando un aporte importante sobre la reducción de gases que vienen afectando a nuestro medio ambiente.

## ABSTRACT

This research encourages the application of recycled materials as part of the alternative hot solutions, to be able to do as an alternative to the environmental problem, in the same way looking for the objective of improving the properties of the physical mixtures, so that it is able to increase the useful life, or otherwise come to life for the early life class.

The problem of the project is no longer available at present, it is only available in the latest trends, the combined brands, those sold in the population, 1%, 2% and 3% of rubber in the disused tires in replacement of the fine fine, therefore, the study is justified to give an ecological use to the tires and to encourage environmental responsibility.

For hot asphalt mixtures, a design of 3/4 "crushed stone aggregates (40%), 3/8" crushed sand (40%) and 3/8 "sand sands (20%) was achieved. with the MAC-2 type gradation, which was designed for a dense granulometry.

With respect to the asphalt cement PEN 60-70, it was established that the optimum content of asphalt is 5.8%, in addition it was verified that said material meets all the requirements demanded by the Manual of Roads of the MTC. Once the optimum asphalt content was determined, the tire rubber was added to the asphalt mixture, through the dry route, with a temperature and time of digestion of 170 ° C and 2 hours respectively.

Comparing the Marshall parameters between the conventional asphalt mixture versus the asphalt mixes with the three contents (1%, 2% and 3%) of rim rubber, it can be seen that, with the three percentages of rubber, the mixture meets all the requirements dictated by the Road Manual of the MTC for a mixture of bituminous concrete.

Finally, it was possible to analyze the effect generated by the incorporation of tire rubber in asphalt mixtures, obtaining the optimum percentage for rubber of 1%, improving the mixture with respect to the Marshall parameters, thus obtaining positive benefits for companies. related to paving, because, being a recycled material, it generates less costs in the acquisition of the product and its lower cost in the maintenance stage. Likewise, the carbon footprint of the tires was reduced by 5,172.83 kg of CO<sub>2</sub> for 1 km of hot asphalt, achieving an important value on the reduction of the gases that affect our environment.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En varios países del mundo se han venido implementando cada vez más nuevas ideas que permitan el desarrollo y mejoramiento de los pavimentos, de modo que los países puedan contar con una infraestructura vial acorde a sus necesidades. Es por esto que surgen los estudios de investigación sobre modificación de asfaltos, como una forma de mejorar las propiedades del ligante y dar solución a ciertos inconvenientes que actualmente se presentan y ante la necesidad de un medio ambiente menos contaminado y la búsqueda de mejores materias primas para la pavimentación de vías, entidades especializadas en los diferentes países del mundo, han experimentado con agregados de Caucho Reciclado de Llantas (CRL) en el asfalto; para mejorar sus principales propiedades (Angulo y Duarte, 2005).

El Órgano Oficial de la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres (2011), en una de sus publicaciones menciona que debido a la existencia del deterioro de sus vías antes de cumplir el periodo de vida útil, debido a esto en México existen 300,000 Km de caminos pavimentados, donde solo el 11% de esta red se han usado Asfaltos Modificados con Polímeros, pues brinda los siguientes beneficios: amplían la vida útil de los pavimentos debido a que disminuye la velocidad de envejecimiento, mejoran la impermeabilidad, el mantenimiento del pavimento es mínimo y obtiene una capacidad retráctil (recupera su forma después de una deformación). Siendo estos beneficios importantes para que los pavimento logren su vida útil para los cuales fueron diseñados.

Lina Marcela Ramírez Jiménez (2011), en su tesis titulada “**Pavimentos con Polímeros Reciclados**”, expresa que en el área de pavimentos, Colombia se encuentra en estado crítico debido a que la mayoría de su estructura vial no posee las características necesarias para enfrentar las condiciones exigidas por el desarrollo creciente de la economía del país, la carencia de estas características se observa en un deterioro prolongado del pavimento de las vías del país, generalmente debido a los altos costos en los que se incurre al utilizar nuevas tecnologías en el diseño y construcción de los pavimentos. A raíz de esta problemática surge la idea de utilizar aditivos con polímeros reciclados como modificadores del asfalto, incentivando la conciencia de pensamiento verde utilizada actualmente en muchos países y buscando un mejor desempeño del pavimento.

Por otra parte, la contaminación causada por residuos sólidos en especial la generada por las llantas usadas de automóviles es un aspecto al que no se le ha dado un manejo adecuado dentro de la problemática ambiental que afecta al país. Según el Instituto nacional

de estadística e informática (INEI) durante el año 2012 en el Estudio de Caracterización del Ministerio del Ambiente, muestra las variaciones de generación per-cápita (GPC) departamentales a nivel nacional, considerando la generación de residuos en kg/día y la población que fue proyectada para la determinación de la GPC Nacional. Siendo La Libertad el segundo departamento que genera más residuos con un valor de 755,096 kg/día, después de Lima que es el primero en la lista generando 5,355,222 kg/día de residuo.

Se debe tener en cuenta que la recuperación y reinserción de materiales reciclables al proceso productivo ayuda a resolver gran parte de los problemas generados por la contaminación, particularmente de los suelos, por cuanto es menor la cantidad de residuos que se destinan a los botaderos y rellenos sanitarios. Actualmente, los servicios de aseo urbano municipal destinan casi la totalidad de los residuos sólidos a los rellenos sanitarios, lo cual compromete el tiempo de vida útil de éstos. De acuerdo con las estadísticas del INEI (2008), tan solo el 1.6% de la basura recogida en Lima es reciclada, siendo este departamento el que genera mayores residuos.

También se muestra en el Cuarto Informe nacional de residuos sólidos municipales y no municipales gestión 2010 –2011, un cuadro sobre la Composición de Residuos Sólidos en el Perú, en el cual se observa la composición de los residuos a nivel nacional comparados entre los años 2011 y 2012, donde se menciona el porcentaje de caucho como parte del residuo generado, donde se puede apreciar el incremento del residuo del caucho, del cual desde el año 2011 tenía un valor de 0.9% y para el siguiente año pasó a tener un 1.6%, de esta manera representando un incremento casi del 100% del residuo. Estos datos nos demuestran que el residuo de caucho ha aumentado debido al incremento del parque automotriz en nuestro país, y la poca conciencia sobre el reciclado de este tipo de residuos.

En nuestra región de la Libertad, en la ciudad de Trujillo, puede observarse fácilmente un creciente aumento en el volumen de flujo vehicular, así como lo menciona Julio Mendoza, representante de Braillard, quién señala que el mercado ha registrado un crecimiento en el sector automotriz de un 14% durante el período 2016-2017, del mismo modo el hecho de que los pavimentos flexibles, por un incorrecto cálculo ya sea en el diseño o por el uso de materiales de calidad menor a la requerida, presentan fallas y deficiencias estructurales en muchas de sus vías en un periodo de tiempo menor al de su vida útil.

Por las causas anteriormente dichas, el presente trabajo propone analizar la incorporación de caucho de llanta reciclado sobre los parámetros Marshall en las mezclas asfálticas en caliente, pudiendo producir una cierta modificación de sus propiedades y características para lograr un mayor periodo de vida de nuestras vías



## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la incorporación de porcentajes de caucho de llanta reciclado sobre los parámetros Marshall en las mezclas asfálticas en caliente, 2017?

## 1.3. Justificación

En los últimos 17 años el Perú ha impulsado la construcción de obras viales a lo largo y ancho del territorio, habiéndose ejecutado más de 15,000 kilómetros de carreteras con pavimentos asfálticos, según reportes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Por esto las carreteras ocupan una parte importante dentro de la infraestructura debido a que contribuyen al desarrollo del país, por eso es necesario alargar su vida útil, de las vías de la ciudad de Trujillo.

Desde el punto de vista teórico, esta investigación es importante, en razón de que es necesario estudiar y mejorar la preparación de mezclas asfálticas debido a la falta de conocimiento existente del tema; obteniendo mezclas resistentes a las deformaciones permanentes y fisuramientos, para lo cual se requiere la modificación de estas con la adición de elementos, como el caucho u otros materiales, que mediante una correcta aplicación presentarán mayores ventajas que los asfaltos convencionales de uso intensivo en nuestro medio y en las carreteras y caminos a nivel nacional, además que por la gran demanda de flujo vehicular, las superficies se deterioran con mucha facilidad, lo que hacen que utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras no satisfagan las expectativas del comportamiento del pavimento.

La aplicación del caucho de llanta en los pavimentos tiene como fin modificar las características mecánicas de estos, es decir, su resistencia a las deformaciones, reduciendo por lo tanto la fatiga, el agrietamiento que vemos en la actualidad en nuestras calles. Ante esta realidad existe la imperiosa necesidad de mejorar la tecnología de los pavimentos asfálticos en el Perú a fin de que estos logren alcanzar la vida útil para la que fueron diseñados, donde se busca de acuerdo con investigaciones hechas el mejoramiento de los pavimentos, mediante la inclusión de nuevos materiales para optimizar su desempeño (Huamán, 2011).

Por otra parte darle un mejor uso a los residuos sólidos, el cual es un aspecto al que no se le ha dado un manejo adecuado dentro de la problemática ambiental que se viene presentando en nuestra sociedad, como consecuencia del creciente parque automotriz ha traído consigo un problema ambiental que se acrecienta en forma descontrolada: los neumáticos en desuso y la forma en que hoy se desechan, lo que constituye innumerables

problemas para el medio ambiente, por lo tanto se busca dar un destino final ecológico a las llantas de desecho generando en los pavimentos una mayor vida útil y menor costo en mantenimiento (Delarze, 2008).

Finalmente, los principales beneficiados son las entidades de nuestra región La Libertad, ya que aporta nuevas tecnologías para las mezclas asfálticas que ofrece como una posible solución ante los problemas que afectan a los pavimentos, de tal manera proponiendo un esquema de aprovechamiento de los residuos sólidos que conforman las llantas.

#### **1.4. Limitaciones**

Esta investigación se ve afectada por la falta de normativa nacional respecto al tema sobre asfalto-caucho en comparación con otros países, tales como España, donde el caucho de llanta ya es considerado como un polímero, por lo que implica tomar datos y dosificaciones de tesis internacionales. Para esta ocasión se está tomando como referencia información académica española tal es el caso como el “Manual de empleo de caucho de neumáticos fuera de uso en mezclas bituminosas”.

En el proceso de la ejecución del proyecto, se encontraron ciertas dificultades. El investigador cuenta con acceso limitado a ciertos equipos fundamentales para el desarrollo de la tesis, y se ve manifestada en la elección del diseño de mezclas asfálticas, el cual será mediante el diseño Marshall, el cual no necesita de equipo especial para su ejecución, en comparación al diseño Superpave que necesita un Compactador giratorio, el cual por la poca accesibilidad que se tiene para este ensayo, se optó por el Marshall.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

- Determinar la influencia de la incorporación de porcentajes de caucho de llantas reciclado sobre los parámetros Marshall en mezclas asfálticas en caliente.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Obtener el proporcionamiento adecuado de agregados para una mezcla asfáltica en caliente de acuerdo con la gradación tipo MAC-2.
- Establecer el porcentaje de asfalto óptimo para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.
- Determinar la metodología para la incorporación de polvo caucho de llanta reciclado en las proporciones de 1%, 2% y 3% en las probetas de mezcla asfáltica.

- Analizar los diferentes porcentajes de caucho de llanta para plantear el diseño más eficaz y rentable.
- Disminuir la huella de carbono generada por el reciclaje de caucho de llantas, como parte del material de una mezcla asfáltica en caliente.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. A nivel internacional

- (Alberto Angulo, 2005) en su tesis titulada “**Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos**” demuestra que: En Colombia se han venido implementando cada vez más nuevas ideas que permitan el desarrollo y mejoramiento de los pavimentos. Ante eso, por muchos años investigadores han experimentado con la modificación del asfalto, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, dando origen a nuevos asfaltos modificados.

Del aporte de esta investigación para fines de mi estudio se pudo concluir que, mediante la modificación de un asfalto con caucho reciclado de llantas, se aprovecha los residuos sólidos que representan las llantas usadas, como una alternativa de solución a los problemas, como el envejecimiento, la deformación permanente, los fisuramientos, entre otros, que afectan al asfalto y consecuentemente a las carpetas asfálticas.

- (Paulina Delarze, 2008) en su tesis sobre “**Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción**” dice lo siguiente: El creciente parque automotriz ha traído consigo un problema ambiental que se acrecienta en forma descontrolada: los neumáticos en desuso y la forma en que hoy se desechan, lo que constituye innumerables problemas para el medio ambiente. Sin embargo, debido a diversos estudios y experiencias, se ha logrado determinar que es posible su reciclaje y su uso en un sinnúmero de aplicaciones, con resultados muy favorables.

Este procedimiento permitirá la aplicación del polvo de caucho (neumático reciclado) en distintas áreas de la construcción, por ejemplo:

- Como combustible alternativo para hornos cementeros (contribuyendo a paliar el déficit de recursos no renovables).
- Como ingrediente en la mezcla de asfaltos para carreteras (permitiendo la construcción de carreteras más durables y más seguras).
- Como materia prima para la fabricación de losetas, adoquines, alfombra y diversos tipos de pavimentos (generando pavimentos antideslizantes, insonorizantes que permiten la absorción de golpes ante una eventual caída).

- Como insumo en la fabricación de membranas de aislación vibratoria y acústica (que da origen a un producto libre de asfaltos, resistente al punzonado y muy flexible).
- Como recubrimiento de barreras de contención de carreteras (que otorga gran absorción al impacto y cubre las aristas cortantes de éstas).

Como aporte para mi investigación se puede tener certeza que el reciclaje de residuos neumáticos se muestra como una solución sustentable para el medio ambiente, así mismo inofensiva para el ser humano. Además, la variedad de funciones que este material puede cumplir en el área de la construcción, porque queda demostrada la viabilidad de la aplicación exitosa de este residuo, en esta oportunidad como un posible insumo para mezclas asfálticas para mejorar propiedades. Con esta contribución se afirma la realización en diversas partes del mundo de experiencias que se pueden recuperar residuos, generando beneficios medioambientales.

- Por una inquietud del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Autopistas Urbanas S.A. y del CEAMSE (Cinturón Ecológico Área Metropolitana-Sociedad del Estado) se presentó la posibilidad en el año 2003 de realizar una prueba piloto empleando caucho molido de neumáticos en desuso como material componente de mezclas bituminosas. Los tramos experimentales se materializaron en un sector de la avenida Rivadavia en la ciudad de Buenos Aires. El sector donde se desarrolló el tramo experimental se encuentra sometido a solicitudes bastantes particulares ya que por el mismo circulan una gran cantidad de autobuses de línea. Esto significa, si bien el tránsito no es pesado, grandes solicitudes tangenciales debidas al frenado y arranque de los vehículos como así también altos porcentajes de cargas estáticas en las zonas de las paradas.

Esta investigación fue hecha en conjunto por el Laboratorio de Pavimentos e Ingeniería Vial de la Universidad Nacional de La Plata (La PIV) y Repsol YPF, la iniciativa se concretó a finales del mes de septiembre del 2003. Esta experiencia persigue verificar la factibilidad de adoptar esta tecnología en el medio urbano, cuantificando además las posibles mejoras derivadas de la incorporación del caucho molido a las mezclas asfálticas.

Para la construcción del tramo experimental se emplearon cuatro mezclas asfálticas diferentes: dos de ellas elaboradas con caucho molido (1% en peso respecto de la mezcla) mientras que los dos restantes, a modo de referencia, solo poseían los

cementos asfálticos bases. La forma en la cual se incorporó el caucho de neumáticos en desuso a las mezclas asfálticas fue, en ambos casos, por vía seca.

La planta utilizada para la elaboración de las mezclas en cuestión es del tipo discontinua y se encuentra ubicada en San Francisco Solano, en las afueras de la Capital Federal. Cabe acotar que en las dos mezclas asfálticas modificadas con caucho molido se respetó un tiempo mínimo de digestión de 2 horas, tiempo éste que, aproximadamente, transcurría durante el transporte de la mezcla desde el lugar de elaboración hasta el lugar de colocación de esta. El objetivo de la experimentación es buscar cuantificar la influencia de la adición de caucho, no sólo sobre las propiedades de los ligantes sino también sobre las características fundamentales (Modulo dinámico, Resistencia mecánica, Deformaciones permanentes, etc.) de las mezclas con ellos elaboradas.

De esta experimentación piloto hecha en un país cercano como lo es Argentina, se pudo rescatar datos importantes para la elaboración de mezclas asfálticas, como el 1% de caucho en relación con el peso total de la mezcla, la forma de incorporación del caucho de llanta a la mezcla, la cual fue mediante vía seca (para esta investigación se usará el mismo modo de incorporación) y el tiempo de digestión de 2 horas. Estos datos son relevantes para obtener valores base para la posterior experimentación, pero cabe resaltar que sobre la investigación hecha en Argentina no se sabe si generó modificaciones a la mezcla de manera positiva o negativa, lo cual genera en el investigador una necesidad de comprobar tales beneficios.

### 2.1.2. A nivel nacional

- (Ricardo Bisso, 2009) en el XI Congreso Nacional del Asfalto y II Congreso Nacional del Concreto, sobre su exposición titulada “**Pavimentos flexibles amigables**” menciona que el principal objetivo que se plantea las nuevas tecnologías es demostrar que los Asfaltos de Pavimentación Flexibles, también pueden aplicarse con responsabilidad ambiental y como eslabón de la cadena de valor hacia el Desarrollo Sostenible

Además, menciona que una de las técnicas para pavimentos amigables y duraderos, es aplicar neumáticos usados como tecnología de pavimentación, pues el polvo de caucho obtenido de los neumáticos reciclados en la mezcla del asfalto confiere a la mezcla resistencia mejorada a las fisuras reflejadas y mayor vida a fatiga, así mismo el polvo que se obtiene del reciclaje de las llantas es de alta aplicabilidad en el sector

de la construcción pues sirve para asfaltar vías, hacerlas menos ruidosas, más duraderas hasta 20 años.

De aquella conferencia se extrajo para esta investigación que en el Perú es perfectamente viable el desarrollo de proyectos viales con sentido de “Desarrollo Vial Sostenible”. El ingeniero Bisso Fernández afirma que la aplicación de caucho de llantas generará un gran aporte para el sector vial, en caso particular del estudio, sobre las mezclas asfálticas modificando de manera positiva sus propiedades.

- (Luis Fajardo & Douglas Vergaray, 2014) En la tesis titulada “**Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas**”, dicen lo siguiente: El estudio de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas, para darle uso a los neumáticos desechados con el fin de mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas generará beneficios técnicos, sociales y económicos, que cumplen el incorporar el polvo de neumático en las mezclas asfálticas.

Las mezclas asfálticas mejoradas con caucho se diseñaron mediante el procedimiento Marshall para determinar el contenido óptimo de ligante, en el que se evaluó el contenido de vacíos de aire, densidad y estabilidad y el óptimo contenido de caucho.

Se determinó que el contenido de óptimo de cemento asfáltico fue del 5.3%, a la cual se le incorporó 1% de caucho en reemplazo del agregado fino, dicho porcentaje de caucho de llanta será nuestro valor inicial del cual partiremos para la investigación. Se muestra en la siguiente Tabla 2.1 los resultados obtenidos de los parámetros Marshall.

**Tabla 2.1:** Parámetros del Diseño Marshall de mezcla con 1% de caucho

Parámetros	Diseño 5.3%	Observaciones
<b>Marshall (MTC E 504)</b>		
Estabilidad (min)	2274	Cumple
Flujo 0.25 mm	3.9	Cumple
Porcentaje de vacíos con aire	4.1	Cumple
Vacíos en el agregado mineral	16.1	Cumple
Relación estabilidad / flujo	5849	Cumple

**Fuente:** Luis Fajardo & Douglas Vergaray, 2014

Los autores estudiaron analizando los parámetros Marshall por lo que se obtuvieron mejores resultados que en una mezcla convencional, mejorando así sus características de diseño, utilizando 1 % de polvo de neumático, en reemplazo del agregado fino, por vía seca.

- (José María Salvatierra, 2014) en la tesis titulada “**Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta- Ayacucho**”, menciona que en el presente trabajo de investigación se pretende efectuar el estudio para el diseño y formulación de un aglomerado asfáltico con la incorporación de caucho procedente de neumáticos fuera de uso, el cual permitirá aportar nuevas tecnologías en el sector de la construcción con el fin de mejorar la calidad, reducir costos, aumentar las prestaciones y contribuir con el desarrollo sostenible.

De dicha investigación se toma como aporte que el polvo de caucho obtenido del reciclado de los neumáticos fuera de uso puede ser utilizado con garantía para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas. Así mismo con respecto al proceso de incorporación del % caucho a la mezcla asfáltica, fue mediante la vía seca, con un período y temperatura de digestión de 2 horas y 170°C respectivamente, en la cual dichos valores serán tomados como referencia para la presente investigación durante la elaboración de las probetas de mezclas asfálticas con caucho de llanta reciclado.

A continuación, se presenta un cuadro resumen con los resultados obtenidos de la investigación antes mencionada.

**Tabla 2.2:** Resultados de las mezclas con 6.0% de cemento asfáltico

Mezclas	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Estabilidad (N)	% huecos en la mezcla
Sin caucho	2 288	9 415	5.9
0.5%	2 290	16 459	5.4
1.0%	2 293	8 751	4.7
1.5%	2 307	8 948	3.6

**Fuente:** José María Salvatierra, 2014

De la Tabla 2.2 se observa que, con esta cantidad de cemento asfáltico, las mezclas con 1 % de caucho, no cumplen con la estabilidad exigida para una carpeta de bajo tránsito y las mezclas con 1,5% de caucho, no cumplen ni estabilidad ni porcentaje de huecos. Para las mezclas mejoradas con caucho, el contenido óptimo de caucho



con el cual se obtuvieron los mejores valores de los parámetros Marshall es de alrededor al 0,5 %.

- (Julio Guevara & Carlo Ruiz, 2016) En la tesis titulada “**Análisis comparativo de áridos del sector el milagro estabilizados con asfalto de caucho reciclado y asfalto convencional para capas bases**” demuestra que: La reducción de la penetración, y el incremento del punto de ablandamiento del asfalto modificado con caucho reciclado respecto al ligante asfáltico convencional, muestra que la llanta triturada actúa como agente rigidizador del asfalto logrando mayor consistencia en el material. Con respecto a la Recuperación Elástica por Ductilómetro a 25°C, muestra un incremento de 80 % del asfalto modificado con caucho reciclado, mientras que en el asfalto convencional logra obtener un bajo porcentaje de 10 % a la recuperación elástica. También se recoge el aporte que los valores del CBR al adicionar asfalto modificado a la muestra de afirmado con caucho granular, mejora la calidad y la clasifica como capa base.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Mezclas Asfálticas

#### 2.2.1.1 Definición

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer y Padillo, 2004).

Según la empresa Bitumix Sur, la mezcla asfáltica es la combinación de material mineral pétreo en distintas graduaciones (áridos de diferentes tamaños) y cemento asfáltico, la que se realiza en plantas especializadas para dicho efecto. Las proporciones tanto de los áridos como del cemento asfáltico dependen de los requerimientos de cada proyecto en el cual será utilizada la mezcla asfáltica, y son definidos mediante la realización de estudios de dosificación.

#### 2.2.1.2 Propiedades de las mezclas asfálticas

Ramírez (2006) menciona que las propiedades fundamentales que deben tener las mezclas asfálticas son las siguientes:

- **Durabilidad**, propiedad de la mezcla que hace que el pavimento sea capaz de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima. Éste último, afecta principalmente al asfalto de la capa superficial por estar en contacto con el sol, el aire y el agua, pues produce que este material, pierda las propiedades aglutinantes, se oxide, se endurece y envejece, afectando la vida útil del pavimento.
- **Estabilidad**, se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Esta propiedad depende de la cohesión de la mezcla y de la fricción interna.  
La fricción interna es aportada por el material pétreo y depende del tamaño del árido y de la rugosidad de sus caras. Las mezclas con materiales más gruesos y de caras angulosas tendrán mayor estabilidad que mezclas con materiales finos.  
La cohesión es la fuerza aglutinante de la mezcla que depende fundamentalmente de la capacidad que tenga el asfalto de mantener unidas las partículas del agregado. Esta propiedad varía inversamente con la temperatura y aumenta con el contenido de asfalto hasta llegar a un óptimo, luego hace un efecto lubricador. La pérdida de estabilidad en un pavimento se traduce en ahuellamientos y ondulaciones.
- **Flexibilidad**, capacidad de la mezcla de adaptarse a las deformaciones por asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.
- **Impermeabilidad**, las mezclas deben ser en lo posible totalmente impermeables, de manera que el agua superficial no pueda atravesar hacia las capas inferiores, evitando con ello que éstas puedan perder capacidad de soporte.
- **Resistencia al deslizamiento**, capacidad del pavimento asfáltico de ofrecer resistencia al resbalamiento o deslizamiento, especialmente cuando está húmedo.
- **Trabajabilidad**, se refiere a la capacidad que tenga la mezcla de colocarse y compactarse con facilidad.

### 2.2.1.3 Clasificación de mezclas asfálticas.

Kraemer y Padillo (2004) en su libro “Ingeniería de Carreteras”, mencionan que existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

#### 2.2.1.3.1 Por fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.

- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

#### 2.2.1.3.2 Por la temperatura de puesta en obra.

- **Mezclas asfálticas en Caliente:** Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la temperatura ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.
- **Mezclas asfálticas en Frío:** El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

#### 2.2.1.3.3 Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- **Mezclas Cerradas o Densas:** La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- **Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas:** La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- **Mezclas Abiertas:** La proporción de vacíos supera el 12 %.
- **Mezclas Porosas o Drenantes:** La proporción de vacíos es superior al 20 %.

#### 2.2.1.3.4 Por el tamaño máximo del agregado pétreo.

- **Mezclas Gruesas:** Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- **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. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

#### 2.2.1.3.5 Por la estructura del agregado pétreo.

- **Mezclas con Esqueleto mineral:** Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos se debe a la masilla.
- **Mezclas sin Esqueleto mineral:** No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

#### 2.2.1.3.6 Por la granulometría.

- **Mezclas Continuas:** Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.
- **Mezclas Discontinuas:** Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

#### 2.2.1.4 Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los pavimentos

Padilla (2004) menciona que las mezclas asfálticas sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los pavimentos.

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor

adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente asequibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos.

Como resumen, se puede decir que, en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

- Estabilidad.
- Durabilidad.
- Resistencia a la fatiga.

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

- Resistencia al deslizamiento.
- Regularidad.
- Permeabilidad adecuada.
- Sonoridad, entre otras.

## **2.2.2. Asfalto modificado**

### **2.2.2.1 Introducción**

El aumento en las exigencias a las cuales se someten los recubrimientos asfálticos en las carreteras ha forzado a las compañías constructoras y las instituciones responsables de la construcción y mantenimiento de la red vial, a mejorar el comportamiento de éstos para tratar de adecuarse a las demandas actuales del tráfico. Esta adaptación se ha ido llevando a mejoramiento general en las técnicas de fabricación, puesta en obra y compactación de las mezclas.

Por otra parte, los problemas difíciles concernientes a las propiedades de los materiales han sido afortunadamente resueltos mediante la puesta en obra de materiales plásticos, las investigaciones se han encaminado por la vía de juntar dos productos que unan sus ventajas, manteniendo un nivel de costos aceptables para la construcción de carreteras, estos productos son los ligantes tradicionales y los polímeros.

En muchos países, la administración pública ha jugado un papel crucial en el desarrollo de los asfaltos modificados, fomentando las pruebas y motivando a las empresas productoras de asfaltos y a las constructoras para que investiguen en estas áreas (Cremades, 1999)

#### **2.2.2.2 Definición de asfaltos modificados**

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto de un polímero o de caucho molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aún en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y, por lo tanto, a la fatiga. Así también, ellos reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores, por lo general, se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo (Agnusdei, 2000)

#### **2.2.2.3 Fundamentos de la modificación**

Los pavimentos sufren deterioro. Los tres principales factores que influyen en este desperfecto son:

- Clima
- Deformaciones por tránsito.
- Tiempo.

El clima tiene que ver fundamentalmente con la temperatura promedio a la que se ve expuesto el pavimento y variaciones de temperatura por cuestiones climáticas y humedad propiciada por lluvia, así como las bajas temperaturas en los meses de invierno.

Las deformaciones se deben también, al tránsito vehicular. Los pavimentos se diseñan para una carga promedio que genera una deformación debida a la circulación de vehículos.

Debido a los factores antes mencionados, influye mucho el tiempo de aplicación de la carga al pavimento y los intervalos en que se producen cambios bruscos en la temperatura (Bachetta, 1992).

#### **2.2.2.4 Beneficios de los asfaltos modificados**

- Aumentar la durabilidad del pavimento.
- Disminuir la susceptibilidad térmica, de modo que se aumente la rigidez a altas temperaturas de servicio, mejorando la resistencia de las mezclas a la

deformación permanente y, por otro lado, se reduzca la fragilidad del asfalto expuesto a bajas temperaturas, previniendo la fisuración térmica.

- Aumentar la resistencia a la fatiga de las mezclas.
- Mejorar la adhesión del asfalto con los agregados pétreos.
- Mejorar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados.
- Reducir el envejecimiento en servicio, ampliando la vida útil de las mezclas asfálticas, ya que se mantienen las ventajas iniciales.

En general, la incorporación de polímeros, en las mezclas asfálticas, ha permitido mejorar sus propiedades, como disminución de la deformabilidad y mayor resistencia a las sollicitaciones del tránsito. Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse al interactuar con el ligante asfáltico. Los polímeros más utilizados son los plastómeros EVA (etileno acetato de vinilo), los elastómeros SBS (estireno-butadieno-estireno) y el caucho molido. (Salvatierra, 2014)

### **2.2.3. Método de diseño de mezcla**

#### **2.2.3.1 Introducción**

Uno de los métodos de diseño de mezclas más usados en la actualidad es el método Marshall. Esta técnica de diseño fue desarrollada por Bruce Marshall siendo US Army Corps of Engineers quien depuró y adicionó ciertos aspectos a las propuestas de Marshall al punto de que el ensayo fue normalizado como ASTM D 1559. El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad, densidad y vacíos.

Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable.

Desafortunadamente una de sus grandes desventajas es el método de compactación de laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real.

Asimismo, existe otro método que con un presupuesto que alcanzó los 150 millones de dólares (fondos provenientes de Estados Unidos, Canadá, México y algunos países de Europa), se desarrolló entre octubre de 1987 y marzo de 1993 el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, más conocido por sus siglas en inglés SHRP (Strategic Highway Research Program). El resultado final de estas investigaciones es un nuevo

sistema para la especificación de materiales asfálticos: el método SUPERPAVE (SUperir PERforming Asphalt PAVements)

### 2.2.3.2 Características y comportamiento de la mezcla

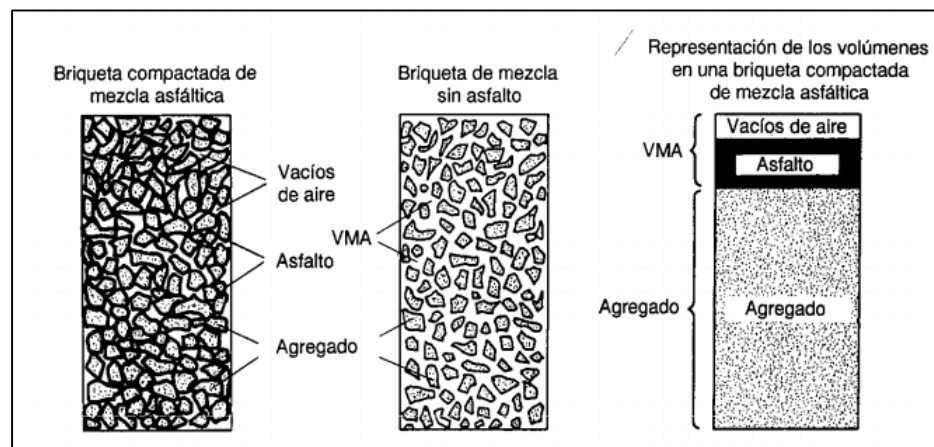
Según, el manual “Los Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”, publicado por el Instituto del Asfalto, dice que una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- **Densidad:** La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.
- **Vacíos de aire (o simplemente vacíos):** Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de



asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa.

- Vacíos en el agregado mineral:** Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla. La fig. 2.1 ilustra el concepto de VMA.



**Figura 2.1:** Concepto de VMA

**Fuente:** Instituto del Asfalto

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

- **Contenido de asfalto:** La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total. La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (N.º 200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla. La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto. El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente

se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

### 2.2.3.3 Método Marshall de diseño de mezcla.

En el manual sobre “Los Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”, publicado por el Instituto del Asfalto, menciona los siguientes puntos a cerca del diseño Marshall.

- **Antecedentes**

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. El Ensaño Marshall, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple. Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del Ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

- **Propósito**

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

- **Descripción general**

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64 mm (2.5 pulgadas) de espesor por 102 mm (4 pulgadas) de diámetro. Una serie de

probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes contenidos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

#### **2.2.3.4 Método Superpave de diseño de mezcla.**

El Programa de Infraestructura del Transporte de Costa Rica, en su informe sobre Metodología de diseño Superpave de mezclas asfálticas en caliente menciona lo siguiente.

- **Antecedentes**

Hoy por hoy, en el país se usan los procedimientos Marshall y Hveem que utilizan moldes de 100 mm de diámetro que limitan el uso de tamaños de partícula en el agregado. Con la más reciente metodología SUPERPAVE® (desarrollada hace 20 años) se utilizan moldes de 150 mm para incorporar agregados de mayor tamaño.

Los métodos tradicionales de diseño de mezcla Marshall y Hveem se basan en criterios empíricos y se han usado desde los años 40s y 50s respectivamente. Sin embargo, bajo las condiciones de cargas pesadas de los últimos años (incremento en cargas por eje y porcentaje de vehículos con sobrepesos, mayores presiones de inflado y tamaño de la flota vehicular) se ha visto la necesidad de aplicar nuevas metodologías de diseño de mezcla, con el propósito de equiparar los períodos de diseño estructural con la vida útil efectiva de las capas de ruedo. Así, surgió la necesidad de considerar diferentes escenarios de:

- Cargas (ejes equivalentes de 8 200 kg vs. espectros de carga).
- Condiciones climáticas (temperaturas máximas y mínimas).
- Usos (capas de base y ruedo).

Adicionalmente, a la hora de preparar el diseño se debe contemplar que la mezcla asfáltica debe presentar las condiciones necesarias para resistir:

- Resistencia al daño por humedad.
- Deformación plástica (roderas).
- Agrietamiento por fatiga (temperaturas intermedias y bajas).

- Agrietamiento por bajas temperaturas.

En los Estados Unidos y algunos países de Latinoamérica, se aplica el método de diseño de mezcla por criterios volumétricos de Superpave que incorpora la evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad. Adicionalmente, se ha adoptado la metodología de clasificación de ligantes asfálticos con base en el criterio de grado de desempeño PG (Performance Grade).

El sistema Superpave presenta 3 diferentes niveles de diseño de mezcla; en todos se incluye el diseño volumétrico (base del análisis). Para seleccionar el nivel a emplearse en el diseño de mezcla, se toma en cuenta el tránsito de diseño (típicamente se requiere la cantidad de ejes equivalentes sobre el carril de diseño, para un período de 20 años). Así, en términos de ESAL (ejes equivalentes simples de 8 200 kg) los criterios para definir el nivel de diseño se muestran en la Tabla 2.3

**Tabla 2.3:** Niveles de Análisis Método Superpave

Tránsito (ESAL)	Nivel de diseño	Requerimiento de ensayo
$ESAL < 10^6$	Primer nivel de análisis	Diseño volumétrico
$10^6 < ESAL < 10^7$	Análisis intermedio	Diseño volumétrico y prueba de predicción del comportamiento
$10^7 < ESAL$	Análisis completo	Diseño volumétrico y prueba de predicción del comportamiento adicionales

**Fuente:** Bitumix CVV, 2005

Cada uno de los niveles superiores incluye los ensayos de evaluación correspondientes a los niveles inferiores. De esta forma, para cualquier nivel existe un componente en común que comprende el Nivel 1:

- Selección del tipo de ligante según las especificaciones por Grado de Desempeño (PG).
- Comprobación de la calidad de los agregados elegidos por apilamiento y por combinación.
- Selección de la granulometría óptima.
- Selección del contenido de asfalto óptimo.
- Análisis de la resistencia por el daño causado por la humedad.

Para el caso del Nivel 2 se completa esta primera información con ensayos de desempeño simulado en el laboratorio como:

- Ahuellamiento por deformación plástica.
- Agrietamiento por fatiga.
- Agrietamiento térmico.
- 

En el Nivel 3 se amplían los análisis del Nivel 2 realizándolos a varias temperaturas (el nivel 2 usa una temperatura única representativa para algunos ensayos) y también mediante otros ensayos complementarios.

- **Diseño de mezcla sistema Superpave para el Nivel 1.**

- a) **Selección de ligante asfáltico.**

- **Selección de Grado de Desempeño de ligantes asfálticos.**

Una de las principales diferencias de las especificaciones convencionales para ligante y las especificaciones Superpave, se refiere a que en los requerimientos se mantienen constantes, variando sólo las temperaturas de ensayo en que se deben cumplir. Es decir, distintos grados asfálticos cumplen con las mismas propiedades físicas, pero a distintas temperaturas.

El grado de desempeño PG (por sus siglas en inglés) se designa como PG XX-YY, donde:

- ❖ PG: Grado de desempeño ("Performance Grade").
- ❖ XX: Temperatura alta máxima promedio del pavimento (a 20 mm dentro de la capa).
- ❖ YY: Temperatura baja mínima en la superficie del pavimento.

Los valores de XX y YY se determinan con base en registros históricos de temperatura, y considerando un factor de confiabilidad. Además, el volumen y velocidad de las cargas de tránsito se consideran dentro de la alta temperatura XX.

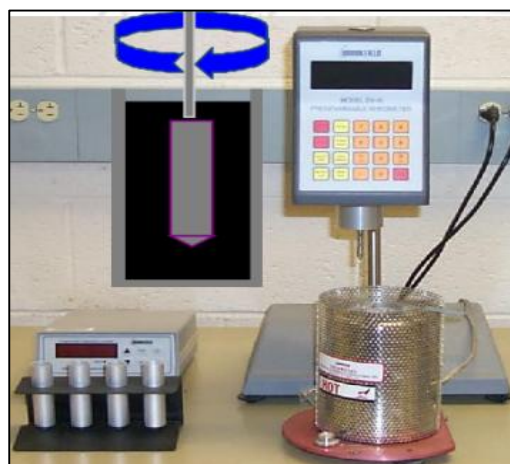
- **Ensayos físicos y reológicos del ligante para clasificarlo por PG.**

- ❖ **Punto de inflamación:** ensayo de seguridad para el manejo del asfalto, se mide la temperatura mínima a la cual el asfalto no se inflama.



**Figura 2.2:** Equipo Copa de Cleveland  
**Fuente:** *Elaboración propia*

- ❖ **Viscosímetro Rotacional (RV):** se utiliza para determinar las características de fluidez del asfalto y para asegurar el bombeo y manejo en la planta de producción. Se mide la viscosidad del ligante asfáltico a temperaturas altas e intermedias, mediante una propela cilíndrica que se introduce en la muestra y se hace girar. El equipo mide el torque necesario para producir un giro de 20 rpm y determina automáticamente la viscosidad del asfalto como resistencia a la rotación de una propela estandarizada.



**Figura 2.3:** Viscosímetro rotacional Brookfield  
**Fuente:** *Elaboración propia*

- ❖ **Reómetro de Corte Dinámico (DSR):** se usa para medir las propiedades viscoelásticas del ligante asfáltico, es decir, medir su

comportamiento de acuerdo con la temperatura y velocidad de carga. El reómetro aplica un patrón sinusoidal de tensiones de corte sobre una muestra, midiendo su respuesta (deformación angular).



**Figura 2.4:** Reómetro dinámico de cortante

**Fuente:** *Elaboración propia*

- ❖ **Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO):** Con este ensayo se simula el envejecimiento del asfalto durante el proceso de mezclado con el agregado hasta el proceso de colocación de la mezcla en el sitio de pavimentación. Lo que se hace es que se envejece una muestra de ligante original mediante un ciclo de 85 minutos a una temperatura de 163 °C e inyección de aire. También se mide la pérdida de volátiles.



**Figura 2.5:** Horno rotatorio de película delgada

**Fuente:** *Elaboración propia*

- ❖ **Cámara de Envejecimiento a Presión (PAV):** El objetivo de este ensayo es simular el envejecimiento producido en los primeros años de



servicio. Se envejece una muestra de ligante asfáltico (previamente envejecido en RTFO) durante 20 horas, mediante calor y presión.



**Figura 2.6:** Cámara de envejecimiento a presión.  
**Fuente:** *Elaboración propia*

- ❖ **Viga a Flexión (reómetro):** se analizan los parámetros reológicos y la susceptibilidad al agrietamiento térmico a bajas temperaturas. Las muestras que se ensayan tienen que haber sido envejecidas en RTFO y PAV.



**Figura 2.7:** Viga a flexión (reómetro)  
**Fuente:** *Elaboración propia*

## b) Selección de los agregados

Los agregados son un conjunto de partículas de composición mineral, provenientes de la fragmentación de rocas o de depósitos naturales. Estos se dividen en agregado grueso (retenido en la malla de 4,75 mm (N° 4) y agregado fino (pasando la malla de 4,75 mm (N° 4). Para establecer la granulometría (acomodo de partículas por tamaño), se utiliza un gráfico donde el tamaño del tamiz en milímetros se eleva a la potencia 0,45 y se coloca en el eje x, mientras que en el eje y se coloca el porcentaje de material pasando para cada determinado tamiz.

La metodología Superpave considera que las características de los agregados son de suma importancia, ya que algunas de ellas son consideradas críticas para un buen desempeño de la mezcla asfáltica. Estas características se clasificaron en: Propiedades de Consenso y en Propiedades de la Fuente, en donde éstas últimas son inherentes del material mientras que, para las de Consenso se establecieron regulaciones que dependen del nivel de tránsito (expresado en ejes equivalentes) y de la posición de los agregados en la estructura del pavimento (en este caso capa de rodamiento). Tales características son:

### - De consenso

Son consideradas críticas para alcanzar un alto comportamiento de la mezcla. Se asocian a la calidad del agregado para producir una mezcla resistente y durable. Las propiedades de consenso (características de los agregados que pueden ser alteradas en las plantas de chancado y selección) son:

- ❖ Angularidad del agregado grueso
- ❖ Angularidad del agregado fino (AASHTO TP 33)
- ❖ Partículas alargadas y aplanadas (ASTM D4791)
- ❖ Equivalente de arena (ASTM D2419)

Estas propiedades deben reunir distintos niveles de calidad, los cuales dependen del nivel de tráfico (ejes equivalentes) y de la posición de la mezcla dentro de la estructura del pavimento.

### - De fuente

Son aquellas propiedades asociadas a la calidad de la fuente del agregado. Si bien SHRP no especifica valores críticos, estas propiedades deben ser

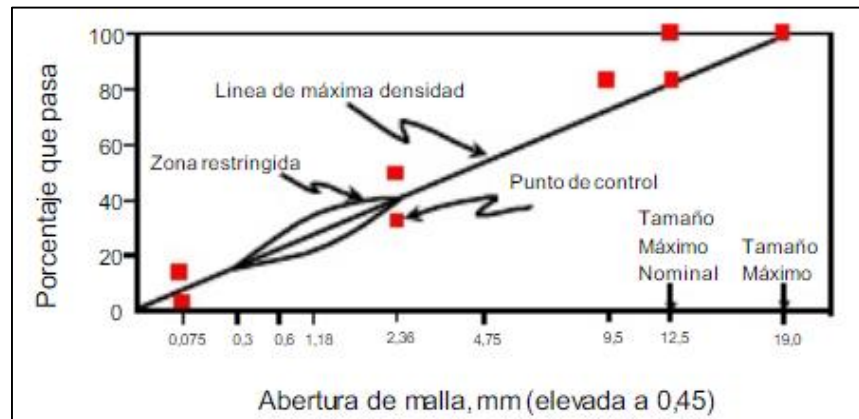
especificadas de acuerdo con la experiencia local. Las propiedades de origen, las cuales dependen del lugar de obtención de los áridos, son:

- ❖ La prueba de desgaste de Los Ángeles (ASTM C131)
- ❖ Intemperismo acelerado (ASTM C88)
- ❖ Materiales deletéreos (AASHTO T 11)

### c) Selección de la granulometría

Para especificar la granulometría, Superpave ha modificado el enfoque de la granulometría Marshall. Emplea el exponente 0.45 en la carta de granulometría (gráfica de Fuller). Esta carta usa una técnica gráfica única para juzgar la distribución de tamaños acumulados de partículas de una mezcla de agregados. Las ordenadas de la carta son los porcentajes que pasan; las abcisas, en escala aritmética, representan las aberturas de los tamices en mm, elevadas a la potencia 0.45. Un rango importante de esta carta es la línea de máxima densidad; corresponde a una línea recta extendida desde la abcisa de tamaño máximo de agregado y ordenada 100% hasta el origen (0 %, 0 mm). La granulometría de máxima densidad representa la graduación para la cual las partículas de agregado se acomodan entre sí, conformando el arreglo volumétrico más compacto posible.

Para especificar la granulometría del agregado, se emplean dos conceptos adicionales: puntos de control y una zona restringida. Los puntos de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica y dependen del tamaño máximo nominal del agregado, un tamaño intermedio (2.36 mm) y un tamaño de finos (0.075 mm). Por su parte, la zona restringida se ubica entre los tamaños intermedios (4.75 ó 2.36 mm) y 0.3 mm. Forma una banda por la cual la curva granulométrica no deberá pasar. Las granulometrías que violan la zona restringida poseen un esqueleto granular débil que depende demasiado de la rigidez del cemento asfáltico para alcanzar una buena con resistencia al corte en la mezcla asfáltica. La Figura 2.8 muestra un esquema para un tamaño máximo de agregado de 19 mm.



**Figura 2.8:** Límites para las granulometrías Superpave  
**Fuente:** AASHTO M 323

Los límites de la granulometría se establecen en función del tránsito y de la posición relativa de la capa específica dentro de la estructura del pavimento. En la Tabla 10 se presentan los requerimientos Superpave para la distribución de los agregados. La curva granulométrica se debe diseñar de acuerdo con una serie de puntos de control: tamaño máximo (pasa 100 %), tamaño máximo nominal (primer tamiz que retiene al menos 10 %), un tamiz de separación gruesos/finos y polvo mineral (pasa por el tamiz 75  $\mu\text{m}$  (N° 200)).

Estos puntos de control dependen del tamaño máximo nominal del agregado. El sistema Superpave establece cinco usos granulométricos, correspondientes a tamaños máximos nominales de 37,5 mm, 25,0 mm, 19,0 mm, 12,5 mm, 9,5 mm y 4,75 mm.

**Tabla 2.4:** Puntos de control de granulometrías Superpave

Tamiz, mm	Tamaño máximo nominal del agregado, mm											
	37.50		25.00		19.00		12.50		9.50		4.75	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
50.000	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37.500	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.000	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-	-	-
19.000	-	-	-	90	90	100	100	-	-	-	-	-
12.500	-	-	-	-	-	90	90	100	100	-	100	-
9.500	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100	95	100
4.750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	90	100
2.360	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67	-	-
1.180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	60
0.075	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	12
Tamiz de control primario PCS, mm	9.5		4.75		4.75		2.36		2.36		1.18	
% Pasando tamiz de control primario:	Fina	67		60		67		58		67		60
	Densa	47		40		47		39		47		42
	Gruesa	31		28		32		28		32		30

Fuente: AASHTO M 323

Se procede a formular tres granulometrías de prueba que cumplan con lo indicado anteriormente, para luego preparar la mezcla asfáltica. De acuerdo con las combinaciones establecidas se tienen que combinar las propiedades de los agregados para confirmar que cumplen con las especificaciones indicada en los agregados.

**d) Determinación del porcentaje de asfalto inicial**

Después de haber determinado las propiedades del agregado y la granulometría de diseño, se calcula el porcentaje de asfalto inicial mediante las fórmulas siguientes.

$$G_{se} = G_{sb} + 0,8 (G_{sa} - G_{sb})$$

G<sub>se</sub> = Gravedad específica efectiva del agregado

G<sub>sa</sub> = Gravedad específica aparente del agregado (ASTM C127 y C128)

G<sub>sb</sub> = Gravedad específica neta del agregado (ASTM C127 Y C128)

$$V_{ba} = \frac{P_s - (1 - V_a)}{\left(\frac{P_b}{G_b} + \frac{P_s}{G_{se}}\right)} \times \left(\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{se}}\right)$$

Vba = Volumen de asfalto absorbido, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> de mezcla

Ps = Porcentaje de agregado con respecto a la mezcla total (suponer

0,95) Pb = Porcentaje de asfalto con respecto a la mezcla total (suponer 0,05)

Gb = Gravedad específica del asfalto

Va= volumen de vacíos de aire (suponer 0,04 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> de mezcla)

$$V_{be} = 0,176 - 0,0675 \log (S_n)$$

Vbe = Volumen de asfalto efectivo

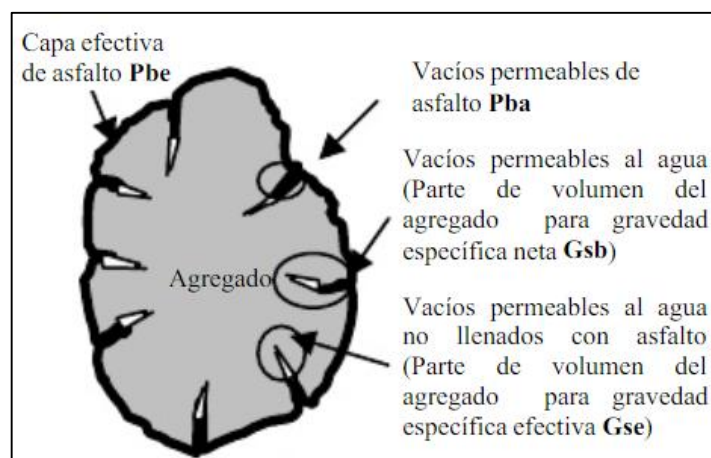
Sn = tamaño máximo nominal de la mezcla de agregados (mm)

$$P_{bi} = \frac{G_b \times (V_{be} + V_{ba})}{(G_b \times (V_{be} + V_{ba}) + W_s)} \times 100$$

Pbi = Porcentaje de asfalto inicial, con respecto a la mezcla total.

Ws = Masa del agregado, gramos

Como se pudo observar en las fórmulas anteriores, los parámetros de mayor influencia en la selección del contenido inicial de asfalto son las densidades del agregado (Gsb, Gsa y Gse) y los porcentajes de asfalto y de agregado mineral utilizados. En La Figura 3 se exhibe una representación de estos valores en la mezcla asfáltica compactada.



**Figura 2.9:** Parámetros de la mezcla asfáltica

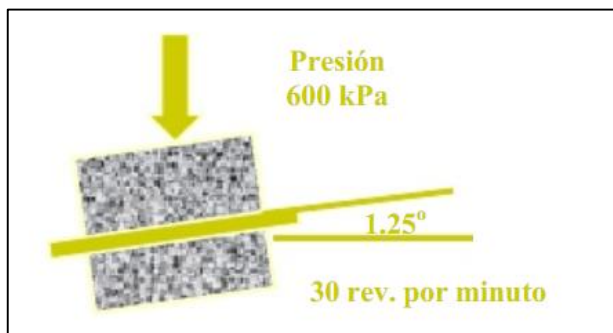
**Fuente:** Bitumix CVV, 2005

**e) Definir el esfuerzo de compactación**

Una de las grandes diferencias del Superpave con respecto a las metodologías antiguas (Marshall) es el tipo de compactación. El compactador giratorio (ver Figura 2.10) es posiblemente la mayor aportación del Superpave, este equipo simula de mejor forma las densidades y acomodo de partículas de la mezcla asfáltica encontradas en el campo. Los parámetros de compactación son la presión vertical (600 kPa), ángulo de giro (1,25 °), la velocidad de rotación (30 rev/min) y el número de giros. En la Figura 2.12 se puede observar una representación de la compactación giratoria. El esfuerzo de compactación esta en función de los ejes equivalentes (ESALs). Los ESALs de diseño es el nivel de tránsito esperado para el carril de diseño en un periodo de 20 años. Se debe determinar los ESALs de diseño a los 20 años para seleccionar un valor correcto de  $N_{\text{diseño}}$ . En la Tabla 2.5 se presentan los diferentes rangos de esfuerzos de compactación.



**Figura 2.10:** Compactador giratorio Superpave  
**Fuente:** AASHTO M 323



**Figura 2.11:** Esquema de la compactación giratoria  
**Fuente:** AASHTO M 323

**Tabla 2.5:** Esfuerzos de compactación

ESALs de diseño (millones)	Parámetros de compactación		
	N <sub>inicial</sub>	N <sub>diseño</sub>	N <sub>máximo</sub>
< 0.3	6	50	75
0.3 a 3	7	75	115
3 a 30	8	100	160
>30	9	125	205

**Fuente:** AASHTO M 323

Se pueden observar que para un ESALs de diseño existen tres valores de compactación:

- N<sub>inicial</sub> = es el número de giros que produce la mínima compactación que se debe presentar en el campo.
- N<sub>diseño</sub> = es el número de giros que se necesitan para producir la compactación de diseño en campo
- N<sub>máximo</sub> = es el número de giros que produce la máxima compactación que se debe presentar en el campo.

**f) Preparación de especímenes de mezcla asfáltica**

- Se deberán elaborar 12 probetas, cuatro porcentajes de asfalto ( $P_{bi} \pm 0,5\% + 1,0\%$ ) con tres réplicas.
- La densificación de la mezcla asfáltica se deberá realizar de acuerdo con el número de giros establecidos en el N<sub>diseño</sub> para el ESALs determinado. Los parámetros de compactador giratorio son: Presión vertical – 600 kPa; ángulo de giro-1,25; velocidad de rotación-30rev/min.
- De acuerdo con la gráfica de viscosidad-temperatura, se determinarán las temperaturas de mezclado y compactación, que correspondan a los rangos



de viscosidades de  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s y  $0,17 \pm 0,02$  Pa.s, respectivamente.

- Se deberán realizar dos pruebas a la mezcla asfáltica con el fin de conocer sus propiedades volumétricas:
  - ✓ Gravedad específica teórica máxima: esta prueba se realiza en la mezcla asfáltica en forma suelta, mediante la Norma ASTM D2041.
  - ✓ Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada: esta prueba se realiza en la mezcla asfáltica compactada, mediante la Norma ASTM D1188 o D2726, la selección de la Norma a utilizar dependerá del porcentaje de absorción de la probeta.
  - ✓ Se deberá calcular los parámetros volumétricos; vacíos en el agregado mineral (VAM), vacíos llenos de asfalto (VFA) y vacíos de aire (Va).
    - ❖ **Vacíos de aire (Va):** Para este parámetro la especificación establece un rango de 3 a 5 % de vacíos de aire.
    - ❖ **Vacíos en el agregado mineral (VMA):** Los valores mínimos de VMA, se presentan en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6:** Requerimientos de Superpave para el VMA

Tamaño máximo nominal del agregado	Mínimo % de VMA
9.5 mm	15.0
12.5 mm	14.0
19 mm	13.0
25 mm	12.0
37.5 mm	11.0

**Fuente:** AASHTO M 323

- ❖ **Vacíos llenos de asfalto (VFA):** Los rangos de valores en que se debe encontrar el VFA se presentan en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7:** Requerimientos de Superpave para el VFA

ESALs de diseño (millones)	Vacío llenos de asfalto, VFA (Porcentaje mínimo)
< 0.3	70 - 80
0.3 a 3	
3 a 30	65 - 75
>30	

**Fuente:** AASHTO M 323

- ✓ Finalmente, se selecciona el porcentaje de vacíos de aire que se quiere obtener, en este caso se selecciona la mitad del rango (4%), para este valor se obtuvo un porcentaje de asfalto, el cuál será el contenido óptimo, con este porcentaje de asfalto se entra en las gráficas para obtener los valores de VMA y VFA, si ambos valores cumplen con las especificaciones, se acepta como el porcentaje como el contenido óptimo de asfalto.
- **Diseño de mezcla sistema Superpave para el Nivel 2.**  
En este caso se incorpora la evaluación de la mezcla asfáltica por criterios de falla.

**a) Deformación permanente**

La deformación permanente, o lo que se conoce como “roderas”, es uno de los principales modos de falla de una estructura de pavimento (1). La deformación permanente, es la acumulación de pequeñas deformaciones causadas por densificación y/o deformaciones de cortante repetidas bajo la carga de neumáticos. Este tipo de deformación es causada por consolidación, movimiento lateral, o ambos, de la mezcla asfáltica bajo la acción del tránsito. En ambos casos, la deformación aparece como una depresión longitudinal a lo largo de las huellas de los neumáticos en la carretera.

- **Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA).**

En el equipo APA, una rueda cóncava (Figura 2.13) viaja a lo largo de una manguera presurizada, que descansa sobre el espécimen. Los especímenes cilíndricos son compactados en el compactador giratorio con una altura de 75 mm y un diámetro de 150 mm. El APA típicamente usa una carga de 445 N (100 lb) y una presión de 690 kPa (100 psi). Este ensayo se realiza a una temperatura de 60 °C luego de un acondicionamiento de los especímenes de 6 horas a la misma temperatura (falla en seco). Los vacíos de los especímenes se encuentran entre 6 % y 8 % y el ensayo tiene una duración de 8000 ciclos carga.



**Figura 2.12:** Montaje de especímenes en el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA)

**Fuente:** *Elaboración propia*

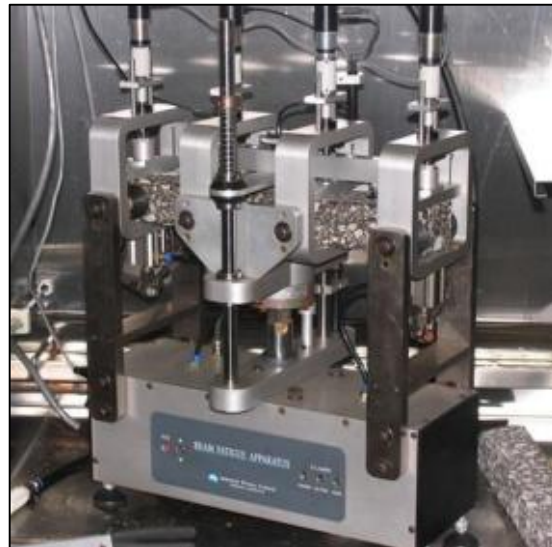
La deformación plástica luego de 8000 ciclos de carga en el APA deberá ser menor o igual a 5,5 mm. Esta deformación deberá obtenerse como promedio de 1 corrida del ensayo (6 pastillas). Las pastillas Superpave a ser usadas en el ensayo deberán ser producidas a un contenido de vacíos de aire de  $(7,0 \pm 1,0) \%$ .

Se requiere adicionalmente que el ensayo de APA sea realizado con mezcla únicamente acondicionada a corto plazo (4 horas  $\pm$  5 min a  $135 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ), compactada inmediatamente después de este acondicionamiento, con el objetivo de evitar un recalentamiento excesivo de la mezcla, ya que esto puede provocar una oxidación y envejecimiento no deseados en la mezcla. En el caso de mezclas de planta se debe calentar la mezcla hasta llevarla a temperatura de compactación en un periodo no mayor a 2 horas. El procedimiento de ensayo a seguir está normado por AASHTO T 340.

**b) Agrietamiento.**

La fatiga en mezclas asfáltica es el fenómeno por el cual el material falla por la repetición de cargas que no son lo suficientemente grandes para causar la falla en una sola aplicación. Se presenta un daño estructural que después de un número de repeticiones de carga que inducen a la aparición de microgrietas. Estas microgrietas acumuladas con la repetición de carga pueden generar macrogrietas visibles y la eventual falla del material.

Para la determinación de la cantidad de repeticiones para la falla por fatiga se empleará la metodología AASHTO T 321 (Figura 2.14), se deberán correr como mínimo dos especímenes por deformación unitaria. Los especímenes de ensayo son vigas de mezcla asfáltica, con longitud de 380 mm y sección transversal de 50 mm (ancho) por 63 mm (altura), densificadas de forma que su contenido de vacíos sea de  $(7,0 \pm 1,0) \%$ . Los especímenes de ensayo serán envejecidos, de previo al ensayo, en un horno a  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  por 5 días.



**Figura 2.13:** Equipo de flexotracción en vigas.  
**Fuente:** *Elaboración propia*

- **Diseño de mezcla sistema Superpave para el Nivel 3.**

Ampliación de los análisis del Nivel 2 realizándolos a varias temperaturas

#### **2.2.4. Aplicación de caucho de llanta reciclada en mezclas asfálticas.**

El asfalto modificado con Caucho es una mezcla asfáltica en caliente modificada con polvo obtenido de neumáticos de desecho. Posee características favorables desde el punto de vista ambiental y vial. Por una parte, presenta mejores respuestas en condiciones climáticas extremas, y por otra permite reutilizar el caucho proveniente de los neumáticos, un material difícil de reciclar.

Dentro de las alternativas razonables para su reutilización, una de las que se considera más apropiada, corresponde a la trituración del neumático, separación selectiva de sus componentes, molido e incorporación del caucho en las mezclas bituminosas en caliente, para mejorar las propiedades reológicas de las mezclas asfálticas.

El polvo de caucho de neumáticos está constituido, por varios polímeros naturales y sintéticos: caucho natural (NR), estireno butadieno (SBR), polibutadieno (BR), polisoprenos sintéticos (IR), entre otros, que lo hacen apropiado para modificar el betún de las mezclas asfálticas. Estos polímeros se encuentran formando una estructura elástica, en la que los puentes de azufre formados durante la vulcanización entre cadenas de polímeros juegan un papel importante a la hora de definir el comportamiento del material. Precisamente la presencia de estos enlaces marca la diferencia entre los polímeros que habitualmente se utilizan en la modificación de betunes y el polvo de caucho de neumáticos.

En este proceso, la incorporación del polvo de caucho se realiza directamente en el proceso de amasado, sobre los áridos calientes, antes de la incorporación del betún y una vez fabricada la mezcla, tras un tiempo de maceración, se procede al extendido y compactación (Delarze, 2008).

#### **2.2.4.1 Caucho de llantas.**

- **Características de los neumáticos (llantas).**

Ramírez (2006) indica que los principales componentes de los neumáticos son cauchos naturales y sintéticos (SBS, SBR) y negro de humo. En menor cantidad, se encuentran el acero, textiles y aditivos, entre los que se destacan aceites, óxido de zinc activado con cadmio, dióxido de titanio, sulfuro, sílica, resinas fenólicas y ácidos grasos. El caucho natural se elabora a partir del látex, que es una resina blanca lechosa que se da en el árbol Hevea, más conocido como árbol del caucho, el cual se encuentra en selvas húmedas tropicales de Brasil, Colombia o Tailandia. Este látex es una dispersión acuosa que contiene entre un 25% a un 40% de caucho. Las cualidades que el caucho natural aporta a los neumáticos son: la maleabilidad, gran resistencia mecánica y adherencia de éstos sobre cualquier tipo de superficie, cualidades que hacen que en la actualidad aún siga siendo un elemento indispensable para la industria de los neumáticos, donde se consume aproximadamente el 70% de la producción mundial.

El caucho sintético fue desarrollado en los años 30, para contrarrestar la falta de caucho natural. Las propiedades del caucho sintético son similares a las del natural, pero tiene otras ventajas sobre éste, como, por ejemplo, mayor resistencia a la abrasión, alta adherencia al suelo y alta resistencia a la temperatura, más aún que el caucho natural. En general, gran parte del caucho

sintético es usado para la fabricación de los neumáticos de automóviles, pero para los de camiones y buses, es necesaria una proporción más grande de caucho natural, con el objeto de controlar mejor la generación de calor.

Como dato adicional, se tiene que las llantas de los automóviles contienen aproximadamente 16% de caucho natural y 31% de sintético. La combinación de cauchos naturales y sintéticos se realiza de modo de que los primeros, proporcionen elasticidad y los segundos, estabilidad térmica. Esta combinación de efectos favorece la durabilidad y la capacidad de adaptarse a las nuevas exigencias del tránsito. El negro de humo es obtenido por combustión o descomposición térmica parcial de gases naturales o hidrocarburos pesados. Este elemento en las llantas permite conseguir unas mezclas más resistentes a la rotura y a la abrasión, dándoles el característico color negro.

- **Propiedades típicas de los compuestos del hule de llantas.**

Hernández (2004) indica las siguientes propiedades del caucho de llantas.

- Absorción de cargas y esfuerzos
- Resilienda
- Resistencia al torque
- Aislamiento térmico
- Aislante eléctrico
- Baja permeabilidad
- Resistencia al intemperismo
- Resistencia a cambios bruscos de temperatura
- Resistencia al ozono y luz solar
- Resistencia al envejecimiento
- Viscosidad constante
- Resistencia al desgarrar
- Resistencia a la abrasión
- Resistencia a la humedad

- **Procesos para la obtención de caucho molido.**

Para la obtención de llantas usadas existen gran diversidad de métodos y tecnologías de transformación. A continuación, se detalla brevemente cada una de las alternativas existentes (Hernández, 2004).

✓ **Sistema mecánico (ambiental).**

Consiste en eliminar cinturones de acero de las llantas de camión. Después de haber eliminado los cinturones de acero, la llanta se lleva a un equipo triturador donde se reduce las llantas a tamaños entre 25 y 40 cm<sup>2</sup>. Esta pedacería se lleva a tolvas instaladas en la entrada de los granuladores.

El granulador recibe la pedacería y la lleva a una serie de moliendas por medio de cuchillas que pulverizan el hule. Existen sistemas magnéticos que separan el acero y metal expulsándolo mediante un tubo vibratorio. El hule pasa a una mesa vibratoria donde está instalado un sistema de vacío que elimina la fibra sintética de la llanta. Después se transporta el hule a unas cribas para seleccionar las medidas deseadas y posteriormente depositar el hule molido en silos que permitirán el pesado y empaçado.

✓ **Sistema criogénico.**

Consiste en llevar las llantas enteras a un depósito donde se hace pasar nitrógeno líquido para ser congelado el producto. Posteriormente pasa a unos molinos donde se pulveriza el producto, y ayudado por un sistema magnético se separa el acero y metal existente, y mediante un sistema de vacío, se separa la fibra sintética de la llanta. Después es pasado a un sistema de cribas donde se separa por tamaños, para después pasar a unos silos donde se procede al embolsado y pesado. La molienda por medio de Criogénica permite obtener un producto estable de calidad uniforme y controlada, estos productos se encuentran libres de bacteria y agentes patógenos.

Esta se basa en el aprovechamiento de la capacidad de enfriamiento del Nitrógeno Líquido (-196°C) para congelar el hule de llanta hasta el punto de que se torna quebradizo (-120°C a -160°C); llevándose a cabo la pulverización y agregando auxiliares de calidad en ausencia de oxígeno, permitiendo proteger la superficie envolvente de cada granulo del hule pulverizado, con antioxidantes, antiozonantes, etc., evitando la degradación del producto.

✓ **Ventajas y desventajas de ambos sistemas.**

En el Proceso Criogénico se elimina la trituración previa de la llanta. Al congelar y después romper, se puede obtener una granulometría más fina entre 60 mesh (0.25 mm) y 100 mesh (0.15 mm). En el Proceso Mecánico,

no se utiliza maquinaria que pueda contaminar el ambiente. Para obtener granulometría más fina es necesario reprocesar al producto.

La diferencia principal, es el impacto ambiental que se genera y el costo del proceso, donde el sistema criogénico es mucho más elevado por el uso del nitrógeno y generadores de vapor para el secado. El hule molido por sistema mecánico ambiental tiene una superficie de apariencia esponjosa, que permite cubrir una superficie mayor y reaccionar con el cemento asfáltico rápidamente. El sistema criogénico tiene una morfología indeseable de sus partículas. Este proceso produce una superficie limpia, la cual, reduce el grado de reacción del cemento asfáltico caliente y tiene una recuperación muy baja de elasticidad comparada con el hule molido obtenido por medios mecánicos.

- **Incorporación del caucho a la mezcla asfáltica.**

El caucho proveniente de neumáticos desechados puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de tres métodos diferentes denominados como Proceso por Vía Húmeda, Proceso por Vía Seca y Proceso en Refinería (Ramírez, 2006)

- ✓ **Proceso por vía húmeda.**

En este proceso, se unen los granos de caucho con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada llamada asfalto-caucho, que es usada de la misma manera que un ligante modificado. Este proceso se encuentra definido en la norma ASTM D8-88. La fabricación de asfalto-caucho consiste en la mezcla de los granos de caucho, usualmente de tamaño máximo 0.85 mm, con el cemento asfáltico en un estanque con agitación. Generalmente, el porcentaje de adición de caucho es entre 18-24% con respecto al peso del ligante. Para promover la unión del asfalto y el caucho, es necesario establecer una temperatura y un tiempo de reacción dentro del estanque. Usualmente, la mezcla es formulada a temperaturas entre 180-210° C por 1 a 4 horas. Dentro de los requerimientos del proceso húmedo, se establece que el estanque agitador debe estar en terreno, ubicado junto a la planta asfáltica. Una vez que el asfalto-caucho alcance los parámetros requeridos, especialmente la viscosidad de la mezcla se incorpora, en un proceso continuo, al mezclador de la planta asfáltica para unirse con los agregados pétreos.

Una vez terminado el mezclado del asfalto-caucho con los agregados pétreos, el concreto asfáltico obtenido se transporta al sitio de pavimentación



y se coloca por medio de una finisher tradicional. Para la compactación, generalmente se utiliza un rodillo liso doble tambor



**Figura 2.14:** Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho mediante el proceso por vía húmeda

**Fuente:** Ramírez, 2006

✓ **Proceso por vía seca.**

El proceso por vía seca es el método mediante el cual el caucho reciclado es mezclado con los agregados, antes de adicionar el cemento asfáltico. En este proceso, se usan los granos de caucho como un agregado en la mezcla asfáltica, los cuales pueden sumarse como un árido más o como sustituto de una pequeña parte del agregado fino, el cual puede estar entre el uno y tres por ciento del peso total de los agregados de la mezcla.

Si bien los granos de caucho son tratados como un árido, no pueden considerarse un material inerte, pues interactúa con el ligante de la mezcla asfáltica. Este proceso de interacción suele llamarse "digestión" del caucho. Mediante este proceso, el caucho pasa de ser un árido elástico a ser un modificador del ligante en la mezcla asfáltica.

La digestión es un proceso que prolifera desde la superficie de la partícula de caucho hacia su interior, por lo que será más rápida cuanto más fino sea el polvo de caucho, menor su proporción dentro de la mezcla asfáltica y cuanto más elevada sea la temperatura de la mezcla y el tiempo que se mantenga ésta caliente durante el proceso de fabricación y puesta en obra. En

laboratorio, la digestión puede simularse manteniendo la mezcla en horno, a una temperatura en un rango 150-170° C y un tiempo de una a dos horas, previamente a la compactación de la probeta.

Durante la digestión, no se producen reacciones importantes entre el caucho y cemento asfáltico debido al corto tiempo de mezclado, donde éste no es suficiente para que se produzca una reacción similar al proceso húmedo, por lo tanto, se asume que el efecto de la reacción caucho-ligante en el proceso seco es menor y, asimismo, tiene un efecto limitado en el comportamiento de la mezcla.

Sin el tiempo de digestión, no podría obtenerse la interacción entre el ligante y el caucho, provocando que éste funcione como un árido elástico de granulometría muy concentrada, lo que por un lado produce la apertura de huecos y por otro, impide la compactación por su componente elástico. Este tiempo de curado de la mezcla es fundamental, ya que, en caso de no realizarlo correctamente, no solo no se provoca la modificación del ligante, sino que se obtiene una mezcla de peores propiedades que una tradicional. Sin digestión, se producen riesgos por deterioros prematuros de la mezcla asfáltica en terreno. Se ha observado que el principal riesgo es por el ataque del agua a la mezcla colocada, llevándola a desintegrarse progresivamente. Para evitar esta situación, es necesario, durante el diseño de la mezcla asfáltica, estimar cual será la temperatura y el tiempo de digestión mínimo para alcanzar el grado de digestión suficiente, esto puede hacer a través del ensayo de Inmersión-Compresión, que mide el efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas asfálticas compactadas.

Los granos de caucho son mezclados con los áridos, anteriormente calentados. El cemento asfáltico es el mismo que se usa para mezclas convencionales, sin embargo, las temperaturas de mezclado son más altas, por lo general entre 160° y 190° C, al igual que las de compactación, que están entre 150° y 160° C. A diferencia del proceso húmedo, este método no requiere de un equipo especial de mezclado, solo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de caucho y que sea suministrada en el momento indicado para que se mezcle con los agregados cuando estos alcancen cierta temperatura y antes que el ligante sea adicionado.

Luego de mezclar el ligante con los agregados más el caucho, se le debe dar el tiempo a esta mezcla para que suceda el proceso de digestión. Este tiempo

en obra, la mayoría de las veces está garantizado con el tiempo que toma el camión entre la planta, en la que se elabora la mezcla y el lugar de colocación del concreto asfáltico utilizando una extendedora tradicional



**Figura 2.15:** Esquema de fabricación de la mezcla asfáltica con caucho por vía seca.

**Fuente:** Ramírez, 2006

- **Beneficios de la aplicación de caucho de llantas sobre las mezclas asfálticas.**

Los beneficios que se pueden obtener mediante la aplicación de caucho de llanta son (Barrientos, 2010).

- Mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas mejorando la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación permanente.
- Aumentar la viscosidad, permitiendo mejores espesores de película en el agregado de las mezclas asfálticas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales.
- Mejorar la resistencia a la fatiga de las mezclas asfálticas.
- Reducir el endurecimiento en servicio, ampliando la vida útil de las mezclas asfálticas, ya que se mantienen las ventajas iniciales.
- Disminuir la contaminación ambiental.

### 2.3. Hipótesis

La incorporación de porcentajes de caucho de llanta reciclado en mezclas asfálticas en caliente mejorará los parámetros Marshall.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

#### 3.1.1. Variable Independiente

- Incorporación de porcentajes de caucho de llanta reciclado.

#### 3.1.2. Variable Dependiente

- Parámetros Marshall.

Tabla 3.1: Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	SUBDIMENSIONES	INDICADORES
Parámetros Marshall	Son valores presentes en una muestra de mezcla asfáltica de pavimentación preparada en el laboratorio, la cual determina su posible desempeño en la estructura del pavimento	Ensayo Marshall	Vacíos de aire	- Peso específico de la probeta compactada. - Peso específico teórico máximo.
			Vacíos en el agregado mineral	- Volumen efectivo de asfalto. - % volumen del agregado
			Valor de estabilidad	- Carga máxima. - Volumen de la probeta.
			Valor de fluencia	- Deformación de la briqueta.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2. Diseño de investigación

El tipo de investigación en el que está basada el presente trabajo es Experimental debido a que cumple todos los supuestos básicos de una experimental y a su vez las variables pueden ser manipuladas por el investigador.

Con respecto al diseño de investigación, en este caso es una experimental pura con post prueba y grupo de control, en este diseño los sujetos son asignados de manera aleatoria a los grupos, luego la manipulación de la variable independiente llega a dos niveles: presencia y ausencia, posterior al periodo experimental (se le realiza un número de repeticiones determinado), a ambos grupos se les realiza una medición sobre la variable dependiente.

### **3.3. Unidad de estudio**

Muestra cilíndrica de mezcla asfáltica en caliente.

### **3.4. Población**

Probetas elaboradas en el laboratorio de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la UPN, según Norma MTC E-504.

### **3.5. Muestra**

Para hallar el contenido de asfalto óptimo se realizaron 03 probetas para cada contenido de asfalto, y se determinó 05 contenidos de asfalto con una variación de 0.5% entre ellas (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%) obteniendo en total una elaboración de 15 probetas.

Posteriormente para el ensayo Marshall la norma MTC E 504, recomienda como mínimo preparar 03 probetas. Entonces el número de probetas con un diseño con 3 porcentajes de caucho de llanta (1%, 2% y 3%), se necesitará entonces 09 probetas.

Finalmente, para la investigación se elaborarán un total de 24 probetas de mezcla asfáltica en caliente.

### **3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Técnicas e instrumentos**

La principal técnica para la recolección de datos para esta ocasión es la observación directa, el cual nos ayuda a obtener información y resultados confiables de los ensayos que se van a realizar de acuerdo con las variables formuladas anteriormente. Los datos obtenidos serán transcritos en una hoja Excel, en el cual se continuará el cálculo de cada ensayo.

#### **3.6.2. Procedimiento de recolección de datos**

##### **3.6.2.1. Selección de cantera.**

Para la selección de la cantera de donde se extraerá los agregados pétreos para la elaboración de las mezclas asfálticas, según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2014) indica que, se debe tener en consideración: Ubicación, Potencia, Condiciones de Explotación, características principales de los materiales que puedan obtenerse, rendimientos, propiedad y disponibilidad de uso de cantera.

### 3.6.2.2. Características de los materiales pétreos.

Según el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013), denomina al agregado grueso como la porción de material retenido en el tamiz de 4,75 m (N° 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75  $\mu$ m (N° 4 y N° 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75  $\mu$ m (N° 200).

A los agregados, se les realizarán los ensayos que cumplan con los requerimientos indicados en las tablas 423-01 y 423-02, del Manual de Carreteras anteriormente dicho.

**Tabla 3.2:** Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		$\leq 3,000$	$> 3,000$
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	95	95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	10% máx.	10% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Caras fracturadas:			
1 cara fracturada	MTC E 210	85% mín.	90% mín.
2 caras fracturadas		50% mín.	70% mín.
Absorción	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

**Fuente:** Manual de carreteras, EG 2013.

**Tabla 3.3:** Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3,000	> 3,000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

**Fuente:** Manual de carreteras, EG 2013.

#### 3.6.2.2.1 Ensayos para agregado grueso.

- **Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).**

Para la determinación del ensayo de durabilidad, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 209.

- ❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Tamices:** Se usarán con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños, que cumplan con la norma sobre tamices de ensayo normalizado según NTP 350.001.

**Tabla 3.4:** Tamices de ensayo NTP 350.001

ABERTURA SERIE FINA		ABERTURA SERIE GRUESA
NOMINAL	TAMIZ NORMALIZADO	TAMIZ NORMALIZADO
N° 100	150 µm	8,00 mm (5/16") 9,50 mm (3/8")
N° 50	300 µm	12,5 mm (1/2") 16,0 mm (5/8")
N° 30	600 µm	19,0 mm (3/4") 25,0 mm (1")
N° 16	1,18 mm	31,5 mm (1 1/4")
N° 8	2,36 mm	37,5 mm (1 1/2") 50,0 mm (2")
N° 5	4,00 mm	63,0 mm (2 1/2")
N° 4	4,75 mm	Tamaños mayores aumentan en 12,7 mm (1/2")

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 209

- ✓ **Envases:** Utilizados para sumergir las muestras de agregados en la solución.
  - ✓ **Regulador de temperatura:** Se proveerán medios adecuados para regular la temperatura de las muestras durante la inmersión en la solución.
  - ✓ **Balanzas:** Con una capacidad no menor de 5000 g y con una sensibilidad de por lo menos 1 g, para pesar el agregado grueso.
  - ✓ **Horno de secado:** El horno será tal, que se pueda calentar continuamente entre 105 a 110 °C.
  - ✓ **Solución de sulfato de magnesio:** Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 °C a 30 °C. Se recomienda el uso de no menos de 350 g de la sal anhidra o 750 g de la sal decahidratada por litro de agua
- ❖ **Procedimiento.**
- ✓ El agregado grueso para el ensayo será el material retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4). La muestra será de un peso tal que una vez tamizada queden las siguientes cantidades de cada uno de los distintos tamaños



**Tabla 3.5:** Peso necesario del agregado grueso para Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)

Tamaño (tamices normalizado de abertura cuadrada)	Peso en g
<b>Consistiendo de:</b>	
9,5 mm (3/8") a 4,75 mm (Nº 4)	300 ± 5
19,0 mm (3/4") a 9,5 mm (3/8")	1 000 ±10
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 12,5 mm (1/2") a 9,5 mm (3/8")	300 ± 5
Material de 19,0 mm (3/4") a 12,5 mm (1/2")	670 ±10
37,5 mm (1 1/2") a 19,0 mm (3/4")	1 500 ± 50
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 25,0 mm (1") a 19,0 mm (3/4")	500 ± 30
Material de 37,5 mm (1 1/2") a 25,0 mm (1")	1 000 ± 50
63,0 mm (2 1/2") a 37,5 mm (1 1/2")	5 000 ± 300
<b>Consistiendo de:</b>	
Material de 50,0 mm (2") a 37,5 mm (1 1/2")	2 000 ± 200
Material de 63,0 mm (2 1/2") a 50,0 mm (2")	3 000 ± 300
Para Tamaños mayores se aumentará el tamaño del tamiz en Incrementos de 25,0 mm (1") para cada fracción.	7 000 ± 1 000

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 209

- ✓ El agregado grueso se lava y seca hasta peso constante, a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F) y se separa en las diferentes fracciones, por tamizado. La cantidad requerida de cada una de estas fracciones se pesa y se coloca, por separado, en los recipientes para ensayo.
- ✓ Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de magnesio, durante un periodo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que el nivel de la solución quede por lo menos 13 mm por encima de la muestra. El recipiente se cubre para evitar la evaporación y la contaminación con sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución se mantuvieron a una temperatura de  $21 \pm 1$  °C ( $70 \pm 2$  °F), durante todo el tiempo de inmersión.
- ✓ Posterior a la inmersión, la muestra se saca de la solución dejándola escurrir durante  $15 \pm 5$  minutos y se coloca en el horno, cuya temperatura se habrá regulado previamente a  $110 \pm 5$  °C ( $230 \pm 9$  °F).
- ✓ Durante el periodo de secado se sacarán las muestras del horno, enfriándolas a la temperatura ambiente, y se pesan a intervalos de tiempo no menores de 4 horas. Se puede considerar que se ha alcanzado un peso constante, cuando dos pesadas sucesivas de una muestra difieren menos de 1.0 g. Una vez alcanzado el peso constante, se sumergieron de nuevo las muestras en la solución, El

proceso de inmersión y secado de las muestras se prosiguió, hasta completar el número de ciclos que se especifiquen.

- ✓ Después de terminado el último ciclo y de que la muestra se haya enfriado, se lava hasta que quede exenta de sulfato de magnesio, lo cual se reconoce en las aguas de lavado por la reacción al contacto con Cloruro Bórico ( $\text{BaCl}_2$ ).
- ✓ Luego de eliminar todo el sulfato de magnesio, cada fracción de la muestra se seca hasta obtener un peso constante, a una temperatura de  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $230 \pm 9 \text{ }^\circ\text{F}$ ), y se pesa. Se tamiza el agregado grueso sobre los tamices indicados a continuación, según el tamaño de las partículas.

**Tabla 3.6:** Tamices a usar en el ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)

Tamaño del Agregado	Tamiz empleado
63 mm (2 ½") a 37,5 mm (1 ½")	3.15 mm (1 1/4")
37,5 mm (1 ½") a 19,0 mm (¾")	16.0 mm (5/8")
19,0 mm (¾") a 9,5 mm (3/8")	8.0 mm (5/16")
9,5 mm (3/8") a 4.75 mm (Nº 4)	4.00 mm (Nº 5)

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 209

- ✓ El tamizado del agregado grueso será realizado a mano, con una agitación suficiente solamente para asegurar que el material de menor medida pase la malla. No deberá emplearse manipulación extra para quebrar las partículas para hacerlas pasar por la malla
- ✓ Pese el material retenido en cada malla y registre.

❖ **Expresión de resultados.**

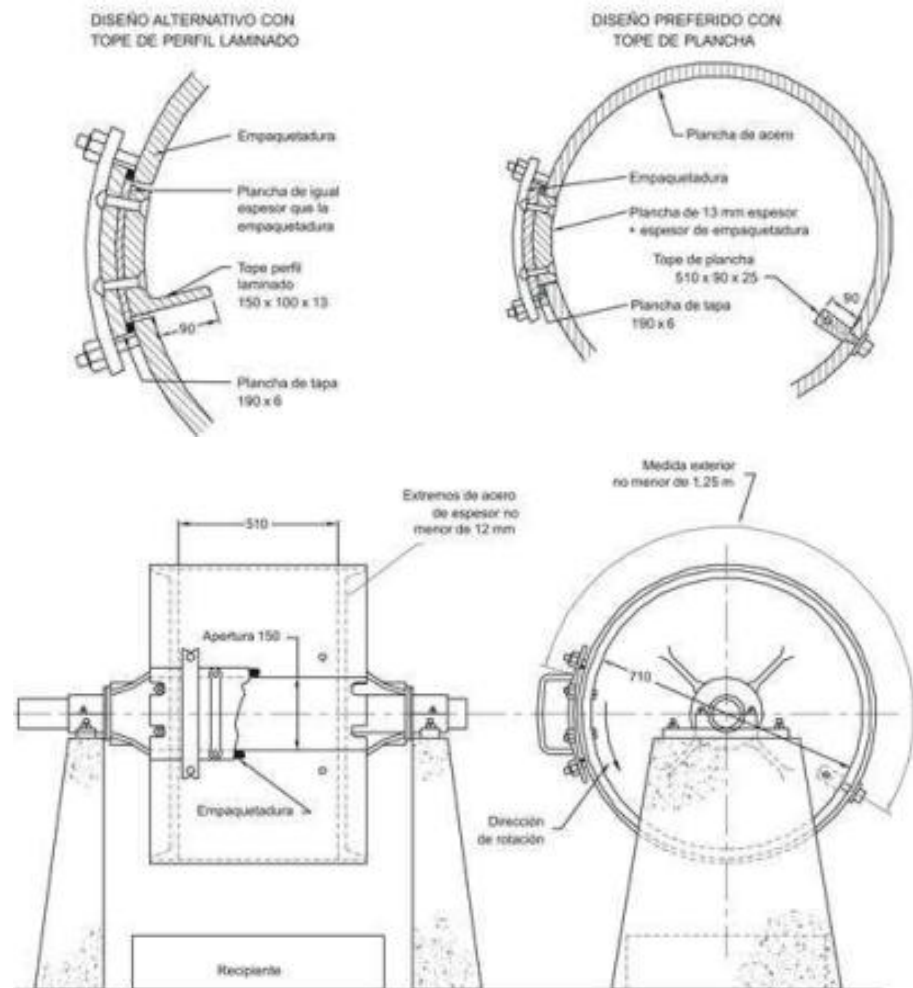
Para este ensayo los resultados se expresan como la diferencia entre cada una de estas cantidades y el peso inicial de la fracción ensayada es la pérdida de peso y será expresada como porcentaje del peso inicial utilizado

• **Abrasión a los Ángeles.**

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

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Máquina de Los Ángeles:** La máquina de los ángeles tendrá las características esenciales que se muestran en la siguiente figura.



**Figura 3.1:** Características de Máquina de los Ángeles  
 Fuente: *Manual de Ensayos de materiales MTC E 207*

- ✓ **Tamices:** Conforme con la NTP 350.001.
- ✓ **Balanza:** Una balanza o báscula con exactitud al 0,1 % de la carga de ensayo sobre el rango requerido para este ensayo
- ✓ **Carga:** La carga consistirá en esferas de acero de aproximadamente 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro y cada una tendrá una masa entre 390 g y 445 g. La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo como se describe, será como sigue:

**Tabla 3.7:** Número de esferas de acuerdo con la Gradación

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 207

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Lavar y secar al horno la muestra reducida a peso constante, a  $110 \pm 5$  °C, separar cada fracción individual y recombinar a la gradación de la siguiente Tabla, lo más cercano correspondiendo al rango de medidas en el agregado. Registrar la masa de la muestra previamente al ensayo con aproximación a 1g.

**Tabla 3.8:** Gradación de las muestras de ensayo

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	-	-	-
25,0 mm (1")	19,0 mm (¾")	1 250 ± 25	-	-	-
19,0 mm (¾")	12,5 mm (½")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
12,5 mm (½")	9,5 mm (¾")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
9,5 mm (¾")	6,3 mm (¼")	-	-	2 500 ± 10	-
6,3 mm (¼")	4,75 mm (Nº 4)	-	-	2 500 ± 10	-
4,75 mm (Nº 4)	2,36 mm (Nº 8)	-	-	-	5 000
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 207

- ✓ Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones.
- ✓ Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (Nº 12). Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a  $110 \pm 5$  °C, hasta peso constante y determinar la masa con una aproximación a 1 g.
- ✓ El coeficiente de variación de dos ensayos bien ejecutados sobre el mismo agregado grueso, no deberán diferir, el uno del otro en más del 5.7% de su promedio.

❖ **Expresión de resultados.**

La diferencia entre la masa inicial y final de la muestra como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Este valor es el porcentaje de pérdida.

• **Adherencia.**

Para la determinación del ensayo de adherencia, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 517.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Balanza:** Con una capacidad de 200 g y una exactitud de  $\pm 0,1$ g.
- ✓ **Horno:** Capaz de mantener una temperatura entre 60 y 149 °C con una precisión de  $\pm 1^{\circ}$ C.
- ✓ **Tamices:** De tejido metálico y abertura cuadrada de 9,5 mm (3/8") y otro el de 6,3 mm (1/4").
- ✓ **Recipientes:** Para mezclado de 500 mL (16 onzas) de capacidad.
- ✓ **Espátula de acero:** Hoja rígida de 25 mm de ancho y 100 mm de longitud.
- ✓ **Agua destilada.**

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Preparar el agregado, tal que el 100% pase por la malla de 9,5mm (3/8 pulg) y sea retenido en la malla de 6,3 mm (1/4 pulg). Los agregados serán lavados en agua destilada para remover todos los finos, secado entre 135 a 149°C hasta peso constante y almacenado en un recipiente hermético hasta ser requerido para su uso.
- ✓ Pesar  $100 \pm 1$ g de agregado seco en horno, dentro del recipiente de mezcla. Añadir  $8 \pm 0,2$  g de asfalto emulsionado. Mezclar la emulsión y el agregado vigorosamente a temperatura ambiente con una espátula hasta que todo el agregado este recubierto, pero no por más de 5 minutos.
- ✓ Curar el agregado revestido por 2 horas en el recipiente original a 135°C. El punto de ventilación del horno debería ser abierto durante esta etapa de curado. Después de curar, re-mezclar con la espátula mientras la mezcla se enfría a temperatura ambiente o hasta que el material bituminoso deje de drenar de los agregados. El revestimiento debe ser completo después del re-mezclado; no serán permisibles las zonas pardas.
- ✓ Transferir el agregado revestido a un recipiente de vidrio de 600 mL, cubrir inmediatamente con 400 mL de agua destilada a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C). Dejar el agregado revestido para que permanezca inmerso en agua por 16 a 18 horas.

- ✓ Sin revolver o agitar el agregado recubierto, quitar cualquier película flotante de la superficie del agua. Iluminar el espécimen por una lámpara, adecuada con una bombilla eléctrica de 75w posicionado para eliminar el brillo de la superficie del agua. Por observación a través del agua, por encima, estimar el porcentaje del área total visible del agregado con revestimientos retenidos

❖ **Expresión de resultados.**

Mediante la inspección se visual, se expresará por encima o por debajo de 95% del área recubierta por asfalto.

• **Índice de durabilidad.**

Para la determinación del ensayo de índice de durabilidad, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 214.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Vaso mecánico de lavado:** Cilíndrico, de paredes rectas y fondo plano.
- ✓ **Recipiente colector o fondo de mallas:** Circular, de al menos 254 mm (1,0") de diámetro y de aproximadamente 102 mm (4") de profundidad, para recoger el agua resultante del lavado de la muestra
- ✓ **Agitador:** dispositivo mecánico diseñado para sostener el recipiente de lavado en posición vertical mientras se somete a un movimiento lateral de pistón a una velocidad de  $285 \pm 10$  ciclos completos por minuto.
- ✓ **Balanza:** con capacidad mínima de 500 g y precisión de 1 g.
- ✓ **Soluciones:** De Cloruro de Calcio.
- ✓ **Agua destilada:** Necesario porque los resultados pueden ser afectados por ciertos minerales disueltos en el agua.
- ✓ **Equipos varios:** Necesarios para realizar la prueba de Equivalente de arena.

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Séquese suficientemente las muestras de agregados, para permitir su completa separación de tamaños mediante el tamiz de 4,75mm (N°4), y para desarrollar una condición de fluidez o libre movimiento de los agregados cuando pasan a través del tamiz.
- ✓ Prepárese una muestra preliminar de ensayo, de  $2550 \pm 0,25$  g, secada al aire, usando la siguiente gradación.

**Tabla 3.9:** Peso de muestra para ensayo Índice de Durabilidad

Tamaño del agregado	Peso seco al aire, g
19,0 a 12,5 mm (3/4" a 1/2")	1070 ± 10
12,5 a 9,5 mm (1/2" a 3/8")	570 ± 10
9,5 a 4,75 mm (3/8" a N° 4)	910 ± 5
Total	2550 ± 25

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 214

- ✓ Introducir la muestra preliminar de ensayo dentro del vaso mecánico de lavado, añadir 1,000 ± 5 mL de agua destilada, sujete la tapa del depósito en el lugar, y asegure el vaso en la tamizadora o agitadora.
- ✓ Después de 60 ± 10 segundos de haber introducido el agua de lavado, agítese el vaso en el agitador de tamices, por un tiempo de 120 ± 5 segundos.
- ✓ Al terminar el periodo de 2 min de agitación, remuévase el vaso del agitador, destápese y Vierta su contenido por el tamiz de 4,75 mm (N°4). Lávense los finos remanentes en el vaso con la ayuda de una manguera, de forma tal que el agua de lavado pase por el tamiz y caiga en el mismo recipiente de los agregados que lo atravesaron, hasta que el agua salga clara.
- ✓ Séquese la fracción retenida en el tamiz de 4,75 mm (N°4) a peso constante a una temperatura de 110 ± 5 °C y pésese.
- ✓ Después de permitir que se enfríe el material secado al horno, sepárese el agregado grueso lavado, en los tamices de 12,5; 9,5 y 4,75 mm (1/2", 3/8", N° 4). Descártese el material que pasa el tamiz de 4,75 mm (N° 4).
- ✓ Colóquese el cilindro plástico (el mismo requerido en la norma MTC E114 para obtención del equivalente de arena) sobre una mesa de trabajo, la cual no debe estar expuesta a vibraciones durante el proceso de sedimentación del ensayo. Viértanse 7 mL (0,24 onzas) de la solución base del cloruro de calcio dentro del cilindro. Colóquense los tamices de 4,75 mm (N°4) y de 75 µm (N° 200) sobre el recipiente recolector del agua de lavado con el tamiz de 4,75 mm (N°4) arriba, el cual sirve sólo para proteger el tamiz de 75 µm (N°200).
- ✓ Colóquese la muestra de ensayo lavada en el paso anterior en el vaso de lavado mecánico. Añádase luego la cantidad de agua destilada; ajústese la tapa y colóquese el vaso en el agitador. Comiencese la agitación después de 60 segundos de haber vertido el agua de lavado. Agítese el vaso por 600 ± 15 segundos.
- ✓ Inmediatamente después de agitado, retírese el vaso del agitador y quítesele la tapa. Agítese el contenido del vaso sostenido verticalmente, en forma vigorosa, con movimientos horizontales - circulares, cinco o seis veces, para, poner los

finos en suspensión e inmediatamente viértase este contenido en el recipiente colector de agua de lavado con los tamices de 4,75 mm (N°4) y de 75 mm (N° 200). Descártese el material retenido en el tamiz de 4,75 mm (N° 4).

- ✓ Añádase agua destilada, hasta dar el volumen de  $1000 \pm 5$  mL de agua sucia. Transfiérase el agua de lavado a otro recipiente adecuado para agitar y verter su contenido.
- ✓ Colóquese un embudo en el cilindro plástico graduado. Agítese manualmente el agua de lavado para poner los finos en suspensión. Estando aún en turbulencia, viértase el agua de lavado dentro del cilindro graduado, en cantidad tal, que llegue el nivel del agua a la marca de 380 mm (15").
- ✓ Remuévase el embudo, colóquese el tapón en el extremo del cilindro y prepárese para mezclar el contenido inmediatamente.
- ✓ Mézclase el contenido mediante movimientos alternados de agitación hacia arriba y hacia abajo a la derecha y a la izquierda, haciendo que la burbuja atraviese completamente el cilindro 20 veces en 35 segundos aproximadamente.
- ✓ Completándose el proceso de mezclado, colóquese el cilindro sobre la mesa de trabajo y remuévase el tapón. Déjese reposar el contenido del cilindro por  $1200 \pm 15$  segundos cuidando de no perturbarlo. Exactamente al final de este tiempo léase y regístrese la altura de la columna de sedimentación, con aproximación de 2,5 mm (0,1").

#### ❖ **Expresión de resultados.**

Para calcular el índice de durabilidad del agregado grueso, aproximándolo al entero más cercano, usando la siguiente ecuación.

$$D_c = 30,3 + 20,8 \cot (0,29 + 0,15 H)$$

Donde:

- $D_c$  = Índice de durabilidad
- $H$  = Altura de sedimentación, en mm, y la cantidad (0,29 + 0,15 H) en radianes.

#### • **Partículas chatas y alargadas.**

Para la determinación del ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 221.

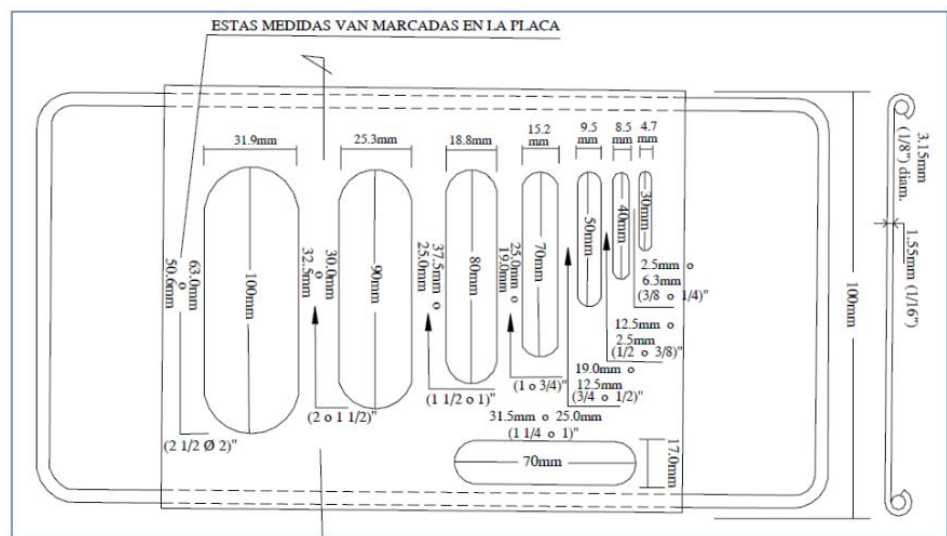
#### ❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Tamices:** De los siguientes tamaños de abertura: 6,3 mm (1/4"); 9,5 mm (3/8");



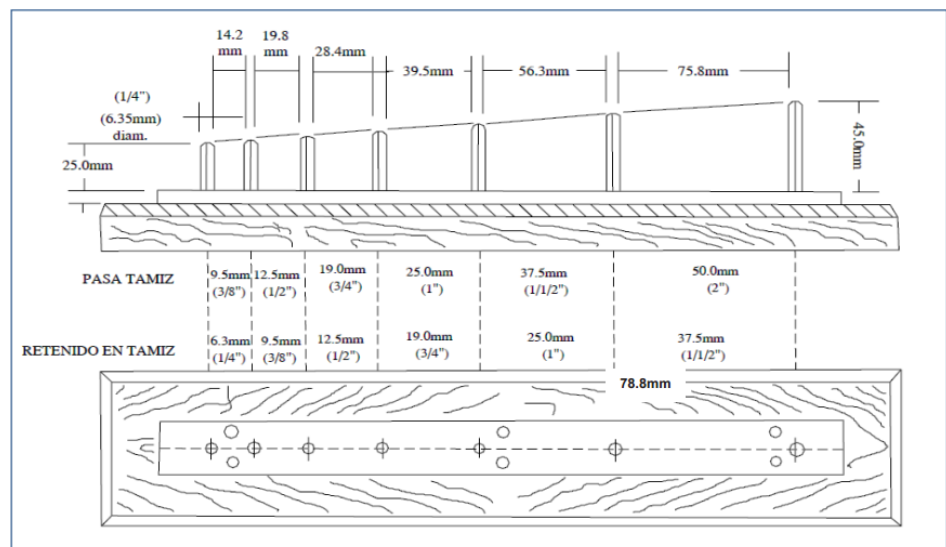
12,5mm (1/2"); 19 mm (3/4"); 25 mm (1"); 37,5 mm (1 1/2"); 50 mm (2") y 63 mm (2 1/2")

- ✓ **Balanza:** Con una sensibilidad mínima de 0,1% del peso de la muestra del agregado a ensayar
- ✓ **Horno:** Regulado que mantenga la temperatura a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ **Calibradores metálicos:** Dos juegos de calibradores metálicos, uno de ranuras (calibrador de espesores) y otro de barras (calibrador de longitudes), cuyas dimensiones estarán de acuerdo con lo especificado en las siguientes figuras.



**Figura 3.2:** Calibrador de espesores

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 221



**Figura 3.3:** Calibrador de longitudes

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 221

- ✓ **Material auxiliar y general de laboratorio:** Cuarteador de agregados, bandejas, etc.
- ❖ **Procedimiento.**
  - ✓ El material recibido en el laboratorio se reduce por cuarteo hasta obtener una muestra representativa, en cantidad suficiente para la realización del ensayo. Las cantidades requeridas de peso del agregado (previamente desechados los tamaños no comprendidos entre 63,0 mm (2 ½") y 6,3 mm (1/4"), en función del tamaño nominal de la muestra, se refieren en la siguiente Tabla 3.10.

**Tabla 3.10:** Peso mínimo del material para ensayo de partículas chatas y alargadas

TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO mm (pulg)		PESO MÍNIMO DEL MATERIAL PARA ENSAYO, TAMAÑO DEL AGREGADO ENTRE 63,0 mm (2 ½") Y 6,3 mm (1/4")
mm	(Pulg)	Kg
50,0	(2)	35
40,0	(1 ½)	15
25,0	(1)	5
20,0	(¾)	2
12,5	(1/2)	1
10,0	(3/8)	0,5

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 221

- ✓ Una vez así separada la muestra para ensayo, se seca en el horno a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante y luego se procede a determinar su análisis granulométrico, de acuerdo con la norma MTC E 204, usando los tamices indicados en la siguiente Tabla.

**Tabla 3.11:** Dimensiones de los calibradores grosor y longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción

Tamices				Dimensiones del calibrador (mm)	
Pasa		Retiene		Aplanamiento	Aplanamiento
mm	(pulg)	Mm	(pulg)	Abertura de la ranura	Separación de las barras
63	(2 1/2")	50	(2 ")	33,9	-----
50	(2 ")	37,5	(1 1/2")	26,3	78,8
37,5	(1 1/2")	25	(1 ")	18,8	56,3
25	(1 ")	19	(3/4")	13,2	39,6
19	(3/4")	12,5	(1/2")	9,5	28,4
12,5	(1/2")	9,5	(3/8")	6,6	19,8
9,5	(3/8")	6,3	(1/4")	4,7	14,2

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 221

- ✓ Se determina el peso  $P_i$ , con aproximación del 0,1%, de cada fracción retenida y se ponen éstas en bandejas separadas e identificadas con el tamaño definido de la fracción
  - ✓ Al porcentaje del peso retenido entre cada dos tamices consecutivos de los utilizados en el ensayo se le denomina  $R_i$ , siendo la  $i$  la luz del tamiz de abertura menor. Las fracciones del agregado cuyo peso sea inferior al 10% de la muestra no se ensayan
  - ✓ Para separar el material con forma aplanada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula por la ranura del calibrador de grosores, cuya abertura corresponda a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la anterior tabla.
  - ✓ Para separar el material con forma alargada de cada una de las fracciones de ensayo, se hace pasar cada partícula en el calibrador de alargamiento por la separación entre barras correspondiente a la fracción que se ensaya, de acuerdo con la anterior tabla.
  - ✓ La cantidad total de partículas de cada fracción retenida entre las dos barras correspondientes se pesa ( $P_i$ ) con aproximación del 0,1% del peso total de la muestra de ensayo.
- ❖ **Expresión de resultados.**
- Para calcular los índices de aplanamiento y alargamiento del agregado se expresará de la siguiente manera.

- ✓ El índice de aplanamiento de cada fracción de ensayo se calcula, en tanto por ciento, mediante la relación entre el peso de las partículas,  $P_{ai}$ , que pasa a través de la correspondiente ranura y el peso inicial,  $P_i$ , de dicha fracción.

$$\text{Índice de aplanamiento de la fracción } (I_{ai}) = \frac{P_{ai}}{P_i} \times 100$$

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

$$\text{Índice de alargamiento de la fracción } (I_{li}) = \frac{P_{li}}{P_i} \times 100$$

El valor obtenido para cada fracción ensayada, tanto del porcentaje de aplanamiento como del porcentaje de alargamiento, se redondeará al número entero más próximo. Para expresar los índices de aplanamiento y alargamiento totales, se calcula el promedio ponderado de los respectivos índices de todas las fracciones ensayadas, empleando como factores de ponderación los porcentajes retenidos,  $R_i$ , de acuerdo con las siguientes fórmulas.

$$\text{Índice de aplanamiento } (I_a) = \frac{\sum(I_{ai} \times R_i)}{\sum R_i} \quad \text{Índice de alargamiento } (I_l) = \frac{\sum(I_{li} \times R_i)}{\sum R_i}$$

Dónde:

- $I_{ai}$  = Índice de aplanamiento de la fracción  $i$
- $I_{li}$  = Índice de alargamiento de la fracción  $i$
- $R_i$  = Porcentajes retenidos en cada fracción  $i$

- **Sales solubles.**

Para la determinación del ensayo de sales solubles en el agregado grueso, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 219.

- ❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Balanza analítica:** Con sensibilidad de 0,01 g.
- ✓ **Estufa:** Capaz de mantener temperaturas de  $105 \pm 5$  °C.
- ✓ **Plancha de calentamiento.**
- ✓ **Mecheros.**

- ✓ **Matraces aforados.**
- ✓ **Vasos de precipitado.**
- ✓ **Pipetas.**
- ✓ **Tubos de ensayo.**
- ✓ **Agua destilada.**
- ✓ **Solución:** De Nitrato de Plata.
- ✓ **Solución:** De Cloruro de Bario.

❖ **Procedimiento.**

- ✓ La muestra se debe extraer y preparar previamente. La cantidad de muestra debe ajustarse a la siguiente tabla.

**Tabla 3.12:** Cantidad mínima de muestra para ensayo Sales solubles

Agregado pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (ml)
Grava 50 – 20 mm	1,000	500
Grava 20 – 5 mm	500	500
Arena 5 mm	100	500

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 219

- ✓ Se seca la muestra en horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta peso constante, aproximado a 0,01 gramo, registrando esta masa como A.
- ✓ Se coloca la muestra en un vaso de precipitado, luego se agrega agua destilada en volumen suficiente para cubrir unos 3 cm sobre el nivel de la muestra y se calentó hasta ebullición.
- ✓ Se agita durante 1 minuto. Repetir la agitación, a intervalos regulares, hasta completar cuatro agitaciones en un periodo de 10 minutos.
- ✓ Decantar como mínimo 10 minutos hasta que el líquido se aprecie transparente, y trasvasiar el líquido sobrenadante a otro vaso. Se determina en forma separada, en dos tubos de ensayo, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos. La presencia de cloruros se detecta con unas gotas de Nitrato de Plata formándose un precipitado blanco de Cloruro de Plata, la de sulfatos con unas gotas de cloruro de Bario dando un precipitado blanco de Sulfato de Bario.
- ✓ Se repite el paso segundo y cuarto hasta que no se detecte presencia de sales, juntando los líquidos sobrenadantes.
- ✓ Todos los líquidos sobrenadantes acumulados, una vez enfriados, se vacía a un

matraz aforado y se enrasa con agua destilada. En caso de tener un volumen superior, concentrar mediante evaporación. Se registra el aforo como B.

- ✓ Se toma una alícuota de un volumen entre 50 y 100 ml, de la muestra previamente homogeneizada, del matraz aforado y se registra su volumen como C.
- ✓ Luego se cristaliza la alícuota en un horno a  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta masa constante y se registra dicha masa como D.

❖ **Expresión de resultados.**

Se expresará en porcentaje de sales solubles, calculado mediante la siguiente relación:

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

• **Caras fracturadas.**

Para la determinación del ensayo de caras fracturadas del agregado grueso, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 210.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Balanza:** Con aproximación al menos al 0,1% de la masa de la muestra
- ✓ **Tamices:** Conforme a la Especificación ASTM E 11.
- ✓ **Separador o Cuarteador:** De muestras apropiado para la división de la muestra de campo a tamaño de ensayo.
- ✓ **Espátula:** O herramienta similar para ayudar en la mezcla de las partículas de agregado.

❖ **Procedimiento.**

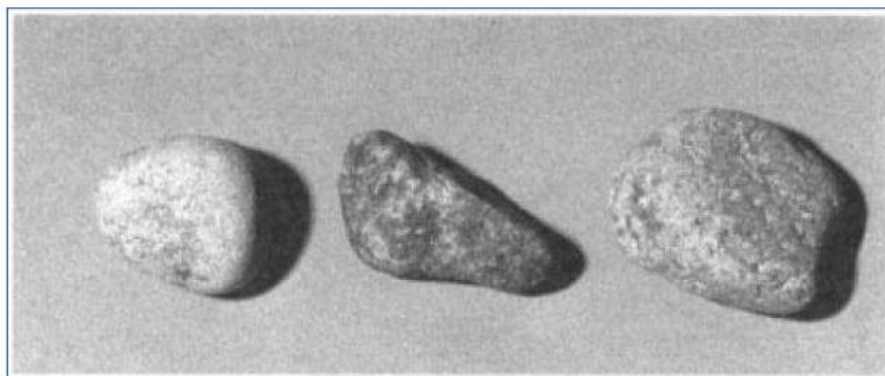
- ✓ Secar la muestra lo suficiente hasta obtener una separación clara entre el material fino y grueso en la operación de tamizado. Tamizar la muestra por la malla N°4 (4,75 mm), u otra malla especificada para la retención de material para este ensayo, luego reducir la parte retenida sobre la malla usando un cuarteador.
- ✓ La masa de la muestra de ensayo debe al menos ser lo suficiente grande de modo que la partícula más grande no esté en más del 1% de la masa de muestra; o la muestra de ensayo debe ser al menos tan grande como se indica a continuación, en ningún caso más pequeño.

**Tabla 3.13:** Cantidad mínima de muestra para ensayo Caras fracturadas

Tamaño Máximo Nominal Abertura Cuadrada mm (pulg.)	Muestra de ensayo mínima Masa, g (aprox. lb.)
9,5 (3/8)	200 (0,5)
12,5 (1/2)	500 (1)
19,0 (3/4)	1 500 (3)
25,0 (1)	3 000 (6,5)
37,5 (1 ½")	7 500 (16,5)
50,0 (2)	15 000 (33)
63,0 (2 ½)	30 000 (66)
75,0 (3)	60 000 (132)
90,0 (3 ½)	90 000 (198)

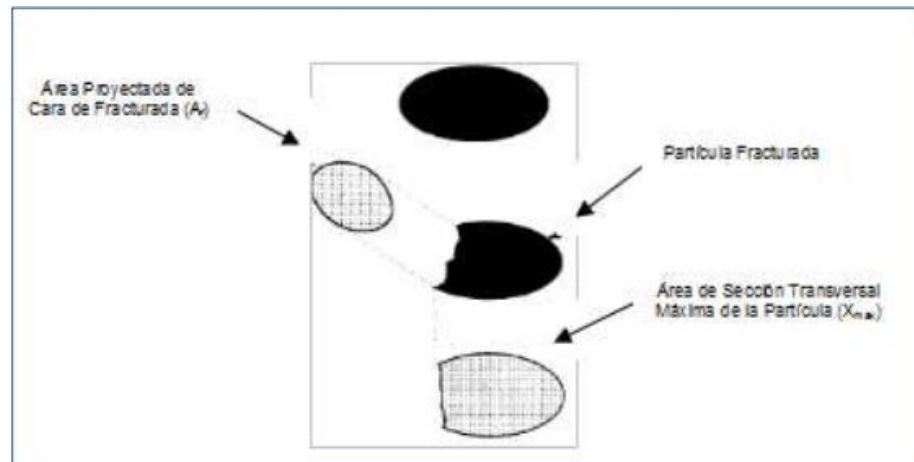
**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 210

- ✓ Lavar la muestra sobre el tamiz designado para la determinación de partículas fracturadas para retirar cualquier material fino remanente y secar a masa constante. Determinar la masa de la muestra, y cualquiera de las determinaciones subsecuentes de masa, al menos con 0,1% de la masa de la muestra seca original.
- ✓ Extender la muestra de ensayo seca sobre una superficie larga, plana y limpia que permita una inspección cuidadosa de cada partícula. Para verificar que la partícula entra en el criterio de fracturada, tomar la partícula del agregado de manera que la cara sea observada directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto de la máxima sección transversal de la partícula de roca, considerar como una cara fracturada.



**Figura 3.4:** Partículas no fracturadas

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 210



**Figura 3.5:** Esquema de una Partícula Fracturada con una Cara de fractura  
**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 210*

**Nota:** Una cara será considerada como una cara fracturada solo si tiene  $A_f \geq 0.25 X_{max}$ , dónde:

- $A_f$  = área proyectada de cara fracturada.
- $X_{max}$  = área de sección transversal máxima de la partícula.



**Figura 3.6:** Partículas fracturadas  
**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 210*

- ✓ Usando la espátula o herramienta similar, separa en dos (02) categorías: (1) partículas fracturadas basadas en tanto si tiene el número requerido de caras fracturadas, (2) partículas que no reúnen el criterio especificado. Si el número requerido de caras de fractura no está dado a las especificaciones aplicables, la determinación será hecha sobre la base de un mínimo de una cara fracturada.
- ✓ Determinar la masa o cantidad de partícula en la categoría de partícula fracturada y la masa o cantidad de las partículas que no reúnan el criterio de fractura especificado. Use la masa para calcular el porcentaje de partículas



fracturadas a menos que el porcentaje por conteo de partículas sea especificado.

- ✓ Si más de un número de caras de fractura es especificado (por ejemplo 80% con una o más caras fracturadas y 50% con 2 o más caras de fracturas), repetir el procedimiento sobre la misma muestra para cada requerimiento.

#### ❖ **Expresión de resultados.**

Se expresará como porcentaje de masa con el número especificado de caras fracturadas con aproximación al 1% de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$P = \frac{F}{(F + N)} \times 100$$

Dónde:

- P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.
- F = masa o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas.
- N = masa o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas o que no entran en el criterio de partícula fracturada.

#### • **Absorción.**

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

#### ❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Balanza:** Sensible a 0,5 g y con capacidad de 5 000 g o más.
- ✓ **Cesta con malla de alambre:** Con abertura correspondiente al tamiz N° 6 o abertura menor, con capacidad de 4 a 7 L y construido de tal forma de prevenir el aire atrapado cuando esté sumergido.
- ✓ **Depósito de agua:** Un depósito adecuado para sumergir la cesta de alambre en el agua y un dispositivo para suspenderla del centro de la escala de la balanza.
- ✓ **Tamices:** Un tamiz normalizado de 4,75 mm (N° 4) o de otros tamaños como sean necesarios.
- ✓ **Estufa:** Capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

#### ❖ **Procedimiento.**

- ✓ Mezclar la muestra y reducirla aproximadamente a la cantidad necesaria. Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas superficiales.

- ✓ El peso mínimo de la muestra de ensayo que será usado se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 3.14:** Peso mínimo de la muestra de ensayo Absorción

Tamaño Máximo Nominal mm (pulg)	Peso mínimo de la muestra de ensayo Kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50,0 (2)	8 (18)
63,0 (2 ½)	12 (26)
75,0 (3)	18 (40)
90,0 (3 ½)	25 (55)
100,0 (4)	40 (88)
112,0 (4 ½)	50 (110)
125,0 (5)	75 (165)
150,0 (6)	125 (276)

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 206

- ✓ Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- ✓ Sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de  $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ .
- ✓ Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible
- ✓ Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca.
- ✓ Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre  $100\text{ }^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C}$  y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y se pesa.

❖ **Expresión de resultados.**

Se expresará como porcentaje de acuerdo con la siguiente formula.

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

Dónde:

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

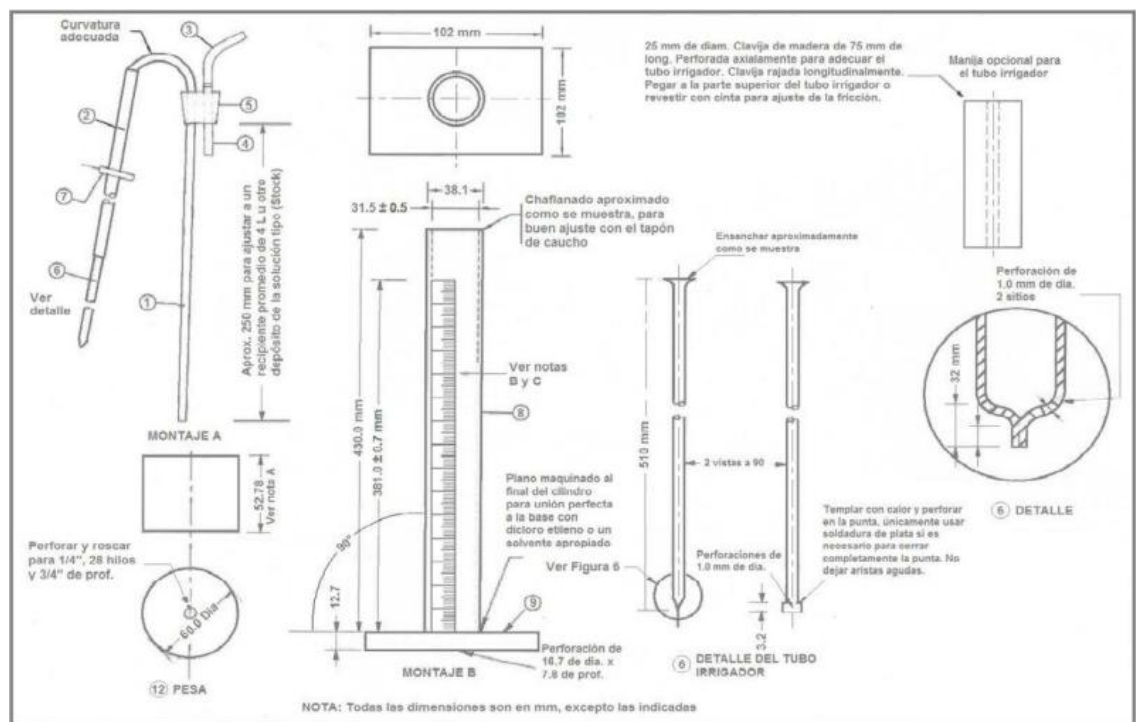
### 3.6.2.2.2 Ensayos para agregado fino

- **Equivalente de arena.**

Para la determinación del ensayo equivalente de arena del agregado fino, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 114.

- ❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Un cilindro graduado:** Transparente de plástico acrílico, tapón de jebes, tubo irrigador, dispositivo de pesado de pie y ensamblaje del sifón, confortantes de las especificaciones respectivas y las dimensiones mostradas en la siguiente figura.



**Figura 3.7:** Aparato de Ensayo de equivalente de arena

**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 114*

- ✓ **Horno:** De suficiente tamaño, y capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ **Agitador mecánico:** para equivalente de arena diseñado para sostener el cilindro plástico graduado requerido, en una posición horizontal mientras está siendo sujeto a un movimiento recíprocante paralelo a su longitud y operando a  $175 \pm 2$  rpm.
- ✓ **Agitador de operación manual:** Para equivalente de arena, (Opcional)
- ✓ **Lata de medición:** Una lata cilíndrica de aproximadamente 57mm ( $2\frac{1}{4}$  pulg) de diámetro, con una capacidad de  $85 \pm 5$  mL.
- ✓ **Tamiz:** N°4 (4,75mm).
- ✓ **Embudo:** De boca ancha, para transferir los especímenes de ensayo dentro del cilindro graduado.
- ✓ **Botellas de 3,8 L (1,0 gal):** Para almacenar el stock de la solución de trabajo.
- ✓ **Reloj:** Don lecturas en minutos y segundos.
- ✓ **Papel filtro:** Watman N°2V o equivalente.
- ✓ **Solución de trabajo:** De cloruro cálcico, para lo cual se van a requerir los siguientes insumos:
  - Cloruro cálcico Anhidro, 454g (1,00 lb) de grado técnico.
  - Glicerina USP, 2050g (1 640 mL).
  - Formaldehído, (40 volumen % solución) 47g (45 mL).

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Obtener como mínimo 1,500 g de material pasante el tamiz N°4 (4,75mm) y realizar el cuarteo.
- ✓ Ajustar el dispositivo del sifón a una botella de 1,0 gal (3,8 L) de la solución de trabajo de cloruro de calcio. Coloque la botella a  $91 \pm 3$ cm ( $36 \pm 1$  pulg) sobre la superficie de trabajo.
- ✓ Empezar el sifón conectándolo a la parte superior de la botella con la solución mediante un pedazo corto de tubo, mientras se abre el sujetador.
- ✓ Sifonear  $102 \pm 3$ mm ( $4 \pm 0,1$ pulg) (indicado en el cilindro graduado) de la solución de trabajo de cloruro cálcico en el cilindro de plástico.
- ✓ Verter uno de los especímenes de ensayo en el cilindro de plástico usando el embudo para evitar derramarlo.
- ✓ Mantener al espécimen humedecido y al cilindro in disturbado por  $10 \pm 1$  min.
- ✓ Al final de los 10 min del periodo de humedecimiento, parar el cilindro, y aflojar luego al material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo simultáneamente.
- ✓ Después de aflojar el material del fondo del cilindro, agitar el cilindro, ya sea por

método del agitador mecánico, método del agitador manual o método manual.

- ✓ En esta ocasión será manual: Sostenga el cilindro en una posición horizontal y agítelo vigorosamente en un movimiento horizontal de extremo a extremo. Agite el cilindro 90 ciclos en aproximadamente 30 s usando un recorrido de  $23 \pm 3$  cm ( $9 \pm 1$  pulg). Un ciclo se define como un movimiento completo de ida y vuelta
- ✓ Siguiendo con la operación de agitación, colocar el cilindro sobre la parte superior de la mesa de trabajo y remover el tapón de jebe.
- ✓ Insertar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro, enjuague el material de las paredes del cilindro cuando el irrigador está siendo bajado.
- ✓ Forzar el irrigador a través del material en el fondo del cilindro, aplicando una acción de punzonamiento y giro mientras la solución de trabajo fluye del irrigador. Esto hace que el material fino entre en suspensión sobre las partículas de arena más gruesa.
- ✓ Continué aplicando la acción de punzonamiento y giro mientras los fino continúan fluyendo hacia arriba hasta que el cilindro es rellenado en la gradación de 38,0 cm (15 pulg).
- ✓ Regular el flujo justo antes de que el tubo irrigador sea completamente retirado y ajuste el nivel final a la gradación de 38,0cm (15pulg).
- ✓ Comience a tomar el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.
- ✓ Al final de los 20 min del periodo de sedimentación, leer y registrar el nivel de la parte superior de la suspensión de arcilla.
- ✓ Si no se ha formado una línea de demarcación clara al final del periodo de sedimentación de 20 min, deje que la muestra permanezca hasta que se pueda obtener una lectura de arcilla.
- ✓ Después que se ha tomado la lectura de arcilla, coloque el dispositivo de pesado de pie sobre el cilindro y baje lentamente el dispositivo, hasta que descansa sobre la arena. No permita que el indicador toque el interior del cilindro. Reste 25,4 cm (10 pulg) del nivel indicado por el borde superior extremo del indicador y registre este valor como la "lectura de arena".

❖ **Expresión de resultados.**

Se expresará como porcentaje de acuerdo con la siguiente formula.

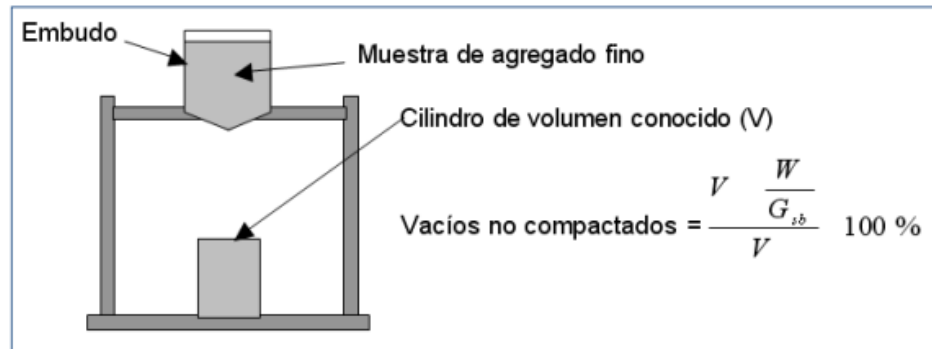
$$EA = (\text{Lectura de arena} / \text{lectura de arcilla}) * 100$$

• **Angularidad del agregado fino.**

Para la determinación del ensayo Angularidad del agregado fino, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 222.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Tamices:** 2,36mm (No 8) y 75mm (Nº 200)
- ✓ **Cilindro metálico:** De volumen conocido.
- ✓ **Embudo metálico.**
- ✓ **Marco metálico**



**Figura 3.8:** Aparato para medir la angularidad del agregado fino

**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 222*

❖ **Procedimiento.**

- ✓ La muestra será de los agregados utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica.
- ✓ Se separa material que pase el tamiz 2,36 mm (No. 8) y sea retenido en el tamiz 75 µm (No. 200).
- ✓ Se determina la gravedad específica bruta del agregado seleccionado ( $G_{sb}$ )
- ✓ Se vierte la arena por el embudo hasta que rebose el cilindro de volumen conocido. Se enrasa y se pesa el material retenido en el cilindro.
- ✓ Se determina el peso del agregado fino ( $w$ ) que llena el cilindro de volumen conocido ( $v$ ), el contenido de vacíos se calcula como la diferencia entre el volumen del cilindro y el volumen del agregado fino en el cilindro.

❖ **Expresión de resultados.**

Se expresará como porcentaje de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$A^o = \frac{V - \frac{W}{G_{sb}}}{V} \times 100$$

• **Azul de metileno.**

Para la determinación del ensayo azul de metileno del agregado fino, se seguirá el procedimiento indicado en la norma AASTHO TP 57.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Bureta:** de color ámbar de por lo menos 50 ml de capacidad con graduaciones de 0.1 ml.
- ✓ **Agitador magnético:** con varilla revolvedora.
- ✓ **Balanza:** De 200g de capacidad y 0.001g de sensibilidad.
- ✓ **Varilla de vidrio:** De aproximadamente 250 mm (10") de largo y 8 mm (0.3") de diámetro.
- ✓ **Cronómetro.**
- ✓ **Platón y tamiz:** De 75  $\mu\text{m}$  (N° 200).
- ✓ **Matraz volumétrico:** Con capacidad de 1000 ml.
- ✓ **Papel filtro:** Whatman N°2.
- ✓ **Tres vasos de precipitado** De 500 ml tipo griffin.
- ✓ **Azul de Metileno.**
- ✓ **Agua destilada:** A la temperatura del laboratorio.
- ✓ **Horno:** Capaz de mantener la temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  ( 60-77°F)

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Colocar 10.0 g ( $\pm 0.05\text{g}$ ) de material pasante del tamiz 75  $\mu\text{m}$  (N° 200), seco hasta masa constante en un vaso volumétrico tipo griffin de 500 ml.
- ✓ Adicionar 30 ml de agua destilada y batir con el agitador hasta tener una lechada.
- ✓ Agregar con la bureta a la lechada de suelo 0.5 ml de solución de Azul de Metileno y agitar durante un minuto.
- ✓ Sacar con la varilla agitadora de vidrio una gota de lechada y dejarla caer sobre el papel filtro.
- ✓ Se observa la gota en el papel filtro. Si no se ha formado alrededor de la gota un anillo o aureola azul, se continúa el ensayo adicionando a la lechada de suelo incrementos de 0.5 ml de solución de Azul de Metileno, agitando durante un minuto para cada incremento y realizando de nuevo la prueba en el papel filtro hasta que se observe el aro azul alrededor de la gota.
- ✓ Después de alcanzar este punto se continúa agitando durante 5 minutos y se repite la prueba en el papel filtro, como método de confirmación. Si se continúa presentando el aro azul se da por terminada la titulación y se procede a realizar el cálculo de Valor de Azul. Si, por el contrario, desaparece el aro, se debe continuar con la titulación.

❖ **Expresión de resultados.**

Se expresará de acuerdo con la siguiente fórmula.

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

Dónde:

- VA = valor de Azul de Metileno en mg de azul por gramo de material seco pasa el tamiz de 75  $\mu$ m (N° 200).
- C = concentración de la solución de Azul de Metileno, en mg de azul por ml de solución.
- V = ml de solución de Azul de Metileno requerida en la titulación.
- W = gramos de material seco utilizado en la prueba.

• **Índice de plasticidad.**

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

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Espátula:** de hoja flexible, de unos 75 mm de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- ✓ **Recipiente:** Para almacenaje, de porcelana o similar.
- ✓ **Balanza:** Con aproximación a 0,01 g.
- ✓ **Horno:** Controlado regulable a  $110 \pm 5$  °C.
- ✓ **Tamiz:** N° 40.
- ✓ **Agua destilada.**
- ✓ **Vidrios de reloj:** O recipientes adecuados para determinación de humedades.
- ✓ **Superficie de rodadura:** Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40).
- ✓ Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo.
- ✓ Se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos)
- ✓ Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y luego, se rueda con



los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.

- ✓ Se hacen unos cilindros con diámetro de unos 3.2 mm (1/8") hasta que se desmorone, en el caso que esto no pasara, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.
- ✓ La porción obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.
- ✓ Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en los primeros pasos.
- ✓ Calcular el promedio de dos contenidos de humedad.
- ✓ El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero.

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

#### ❖ **Expresión de resultados.**

Se define el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Dónde:

- IP = Índice de plasticidad.
- LL = Límite líquido.
- LP = Límite plástico.

**Nota:** Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

- **Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).**

Para la determinación del ensayo durabilidad al sulfato de Magnesio del agregado fino, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 209.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ Tamices. Se usarán con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños, que cumplan con la norma sobre tamices de ensayo normalizado según NTP 350.001.

**Tabla 3.15:** Tamices para ensayo de durabilidad al Mg

ABERTURA SERIE FINA		ABERTURA SERIE GRUESA
NOMINAL	TAMIZ NORMALIZADO	TAMIZ NORMALIZADO
N° 100	150 µm	8,00 mm (5/16") 9,50 mm (3/8")
N° 50	300 µm	12,5 mm (1/2") 16,0 mm (5/8")
N° 30	600 µm	19,0 mm (3/4") 25,0 mm (1")
N° 16	1,18 mm	31,5 mm (1 ¼")
N° 8	2,36 mm	37,5 mm (1 ½") 50,0 mm (2")
N° 5	4,00 mm	63,0 mm (2 ½")
N° 4	4,75 mm	Tamaños mayores aumentan en 12,7 mm (1/2")

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 209

- ✓ **Envases:** Utilizados para sumergir las muestras de agregados en la solución.
- ✓ **Regulador de la temperatura:** Se proveerán medios adecuados para regular la temperatura de las muestras durante la inmersión en la solución.
- ✓ **Balanzas:** Se usará una balanza con una capacidad no menor de 5000 g y con una sensibilidad de por lo menos 1 g, para pesar el agregado grueso.
- ✓ **Horno de secado:** El horno será tal, que se pueda calentar continuamente entre 105 a 110 °C.
- ✓ **Solución de sulfato de magnesio:** Se prepara una solución saturada de sulfato de magnesio químicamente puro disolviendo la sal en agua a una temperatura de 25 °C a 30 °C.

❖ **Procedimiento.**

- ✓ El agregado fino para el ensayo se pasa por un tamiz normalizado 9,50 mm (3/8"). La muestra será de un peso tal, que una vez tamizada queden por lo menos 100 g de material en cada uno de los tamices. Los pesos retenidos serán por lo menos de 5 % de la muestra tamizada, expresados en función de los

siguientes tamices nominales en la presente tabla.

**Tabla 3.16:** Peso necesario del agregado grueso para Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)

Pasa el tamiz normalizado	Retenido sobre el tamiz normalizado
600µm (N° 30)	300µm (N° 50)
1,18 mm (N° 16)	600µm (N° 30)
2,36 mm (N° 8)	1,18 mm (N° 16)
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)
9,50 mm (3/8")	4,75 mm (N° 4)

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 209

- ✓ Se lava completamente la muestra de agregado fino sobre un tamiz normalizado 300 µm m (N° 50), se seca hasta peso constante a 105 °C ó 110 °C, y separa en diferentes tamaños, por tamizado, como sigue se efectuará una separación aproximada de la muestra gradada, por medio de un juego de los tamices especificados en la anterior tabla.
- ✓ Las muestras se sumergen en la solución de sulfato de magnesio, durante un periodo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas, de manera que el nivel de la solución quede por lo menos 13 mm por encima de la muestra. El recipiente se cubre para evitar la evaporación y la contaminación con sustancias extrañas. Las muestras sumergidas en la solución, se mantuvieron a una temperatura de  $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $70 \pm 2^{\circ}\text{F}$ ), durante todo el tiempo de inmersión.
- ✓ Posterior a la inmersión, la muestra se saca de la solución dejándola escurrir durante  $15 \pm 5$  minutos y se coloca en el horno, cuya temperatura se habrá regulado previamente a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).
- ✓ Durante el periodo de secado se sacaran las muestras del horno, enfriándolas a la temperatura ambiente, y se pesan a intervalos de tiempo no menores de 4 horas. Se puede considerar que se ha alcanzado un peso constante, cuando dos pesadas sucesivas de una muestra, difieren menos de 1.0 g. Una vez alcanzado el peso constante, se sumergieron de nuevo las muestras en la solución, El proceso de inmersión y secado de las muestras se prosiguió, hasta completar el número de ciclos que se especifiquen.
- ✓ Después de terminado el último ciclo y de que la muestra se haya enfriado, se lava hasta que quede exenta de sulfato de magnesio, lo cual se reconoce en las aguas de lavado por la reacción al contacto con Cloruro Bárico ( $\text{BaCl}_2$ ).
- ✓ Después que ha sido eliminado el sulfato de sodio o sulfato de magnesio, se

seca cada fracción de la muestra hasta peso constante a 105°C ó 110°C y luego se anota. Se tamiza el agregado fino a través del mismo tamiz en el cual estaba retenido antes del ensayo.

- ✓ Se obtuvo el peso de cada fracción de la muestra antes del ensayo y del material de cada fracción, más fino que el tamiz, en el cual quedó retenido el material después del ensayo.
- ✓ La diferencia entre cada una de estas cantidades y el peso inicial de la fracción ensayada es la pérdida de peso.

❖ **Expresión de resultados.**

Para este ensayo los resultados se expresan como la diferencia entre cada una de estas cantidades y el peso inicial de la fracción ensayada es la pérdida de peso y será expresada como porcentaje del peso inicial utilizado

• **Índice de durabilidad.**

Para la determinación del ensayo de índice de durabilidad en el agregado fino, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 214.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Vaso mecánico de lavado:** Cilíndrico, de paredes rectas y fondo plano.
- ✓ **Recipiente colector o fondo de mallas:** Circular, de al menos 254 mm (1,0") de diámetro y de aproximadamente 102 mm (4") de profundidad, para recoger el agua resultante del lavado de la muestra
- ✓ **Agitador:** dispositivo mecánico diseñado para sostener el recipiente de lavado en posición vertical mientras se somete a un movimiento lateral de pistón a una velocidad de  $285 \pm 10$  ciclos completos por minuto.
- ✓ **Balanza:** con capacidad mínima de 500 g y precisión de 1 g.
- ✓ **Soluciones:** De Cloruro de Calcio.
- ✓ **Agua destilada:** Necesario porque los resultados pueden ser afectados por ciertos minerales disueltos en el agua.
- ✓ **Equipos varios:** Necesarios para realizar la prueba de Equivalente de arena.

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Cuartéese una porción representativa del material que pasa por el tamiz de 4,75 mm (N° 4), en cantidad suficiente para obtener un peso secado al horno de  $500 \pm 0,25$  g.
- ✓ Séquese la muestra preliminar de ensayo a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Enfríese a la temperatura ambiente.

- ✓ Colóquese la muestra de ensayo en el vaso mecánico de lavado, añádanse 1000 ± 5 mL de agua destilada y desmineralizada, y tápese el vaso. Asegúrese el vaso en el agitador con suficiente tiempo para comenzar la agitación después de 600 ± 30 segundos de haber introducido el agua de lavado. Agítese el vaso por un periodo de 120 ± 5 segundos.
- ✓ Después de completar el periodo de agitación por 2 minutos, retírese el vaso del agitador, destápese y cuélese cuidadosamente su contenido a través del tamiz de 75 µm (Nº 200), protegido con el tamiz de 4,75 mm (Nº 4).
- ✓ Enjuáguese el vaso y el tamiz con ayuda de una manguera, de manera que el agua de lavado caiga en el mismo recipiente de los agregados que pasaron el tamiz de 75 µm (Nº 200), hasta que el agua que pasa por el tamiz salga clara.
- ✓ Después del lavado, transfírase el material retenido en el tamiz a un recipiente de secado y séquese hasta peso constante, a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- ✓ Dividir o cuartear parte del material de lavado y secado y proporcionar una muestra de tamaño suficiente para llenar un tarro de 3 onzas (85 mL) hasta el borde.
- ✓ Hágase un ensayo de equivalente de arena de acuerdo con la norma MTC E114, con la excepción de que se debe usar un agitador mecánico para agitar continuamente el cilindro y su contenido por un tiempo de 600 ± 15 segundos.

❖ **Expresión de resultados.**

Para calcular el índice de durabilidad del agregado fino, aproximándolo al entero inmediatamente superior, usando la siguiente ecuación:

$$D_f = (\text{Lectura de arena} / \text{lectura de arcilla}) * 100$$

• **Sales solubles.**

Para la determinación del ensayo de sales solubles en el agregado fino, se seguirá el procedimiento para el ensayo del agregado grueso, el cual está indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 209.

• **Absorción.**

Para la determinación del ensayo de absorción del agregado fino, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 205.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Balanza:** Con capacidad mínima de 1000 g o más y sensibilidad de 0,1 g.

- ✓ **Estufa:** Capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \pm 5$  °C.
- ✓ **Frasco volumétrico:** De  $500 \text{ cm}^3$  de capacidad.
- ✓ **Molde cónico:** Metálico de  $40 \pm 3$  mm de diámetro interior en su base menor,  $90 \pm 3$  mm de diámetro interior en una base mayor y  $75 \pm 3$  mm de altura.
- ✓ **Varilla:** Para apisonado, metálica, recta, con un peso de  $340 \pm 15$  g y terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de  $25 \pm 3$  mm de diámetro.

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Mezclar uniformemente y reducir por cuarteo hasta obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1 kg.
- ✓ Colocar el agregado fino obtenido por cuarteo y secado a peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en un recipiente y cubrir con agua dejando reposar durante 24 horas.
- ✓ Decantar el agua evitando pérdida de finos y extender el agregado sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio y remover frecuentemente para el secado uniforme, hasta que las partículas del agregado no se adhieran marcadamente entre sí.
- ✓ Colocar en el molde cónico y golpear la superficie suavemente 25 veces con la varilla para apisonado y levantar luego el molde. Si existe humedad libre el cono de agregado fino mantiene su forma. Seguir secando, revolver constantemente y probar hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde, lo que indica que el agregado fino alcanzó una condición de superficie seca.
- ✓ Introducir en el frasco una muestra de 500 g de material preparado, llenar parcialmente con agua a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C hasta alcanzar la marca de  $500 \text{ cm}^3$ . Agitar el frasco para eliminar burbujas de aire de manera manual o mecánicamente.
- ✓ Mecánicamente, extraer las burbujas de aire por medio de una vibración externa de manera que no degrade la muestra.
- ✓ Después de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura del frasco y su contenido a  $23 \pm 2$  °C y llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.
- ✓ Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, enfriar a temperatura ambiente por  $\frac{1}{2}$  a  $1 \frac{1}{2}$  hora y determinar el peso.

❖ **Expresión de resultados.**

Se expresará como porcentaje de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$A_b = \frac{500 - W_0}{W_0} \times 100$$

Dónde:

- $W_0$  = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, g.

**3.6.2.3. Características del Cemento Asfáltico**

Se decidirá trabajar con un cemento asfáltico 60 – 70, debido a que es un tipo usado comúnmente en nuestra ciudad.

El cemento asfáltico deberá cumplir con los requerimientos establecidos en las tablas Tabla 415-01 y Tabla 415-02, según el Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

**Tabla 3.17:** Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24° C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 o 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

**Fuente:** Manual de carreteras, EG 2013.

**Tabla 3.18:** Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tipo	Grado	Ensayo	Grado de Penetración									
			PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
			mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>												
Penetración a 25°C, 100g, 5s, 01 mm		MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflación, °C		MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm		MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en tricloro, etileno, %		MTC E 302	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad térmica)		MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
<b>Ensayo de la Mancha (Oliensies)</b>												
Solvente Nafta - Estándar			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno		AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
<b>Pruebas sobre la Película delgada a 163°C, 3.2mm, 5h</b>												
Pérdida de masa, %		ASTM D 1754	0.8		0.8		1.0		1.3		1.5	
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %		MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm		MTC E 306	50		75		100		100		10	

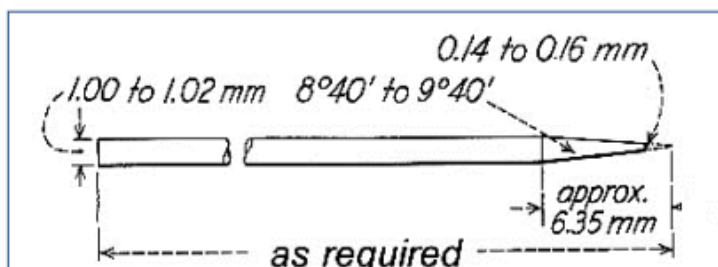
Fuente: Manual de carreteras, EG 2013.

- **Penetración a 25° C, 100g, 5s, 1mm.**

Para la determinación del ensayo de la penetración de los materiales bituminosos, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 304.

- ❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Aparato de penetración:** Será aceptable cualquier aparato que permite al sostén de la aguja (vástago) moverse verticalmente sin fricción y que sea capaz de indicar la profundidad de penetración al 0,1 mm más cercanos.
- ✓ **Aguja de Penetración:** Deberá estar hecha de acero inoxidable templado y totalmente endurecido. La aguja Standard deberá ser de aproximadamente 50mm (2pulg) de longitud, el diámetro de todas las agujas deberá ser de 1,00 a 1,02 mm.



**Figura 3.9:** Aguja para prueba de penetración

Fuente: Manual de Ensayos de materiales MTC E 304

- ✓ **Recipiente de prueba cilíndrico:** De metal o vidrio con fondo plano. Para



penetraciones menores de 200, 55 mm de diámetro y 35 mm de profundidad interna.

- ✓ **Baño de agua:** Capaz de mantener una temperatura de  $25 \pm 0,1$  °C o cualquiera otra temperatura de prueba dentro de 0,1 °C. El baño tendrá una placa perforada que estará colocada a una distancia por debajo del líquido del baño.
- ✓ **Plato de Transferencia:** Cuando se use el plato de transferencia tendrá una capacidad de por lo menos 350 mL y de profundidad suficiente para que el agua cubra la superficie del recipiente de la muestra.
- ✓ **Dispositivo de tiempo:** Para penetrómetros de operación manual cualquier dispositivo medidor de tiempo, tal como cronómetro eléctrico, un reloj de detención u otro dispositivo puede usarse con tal de que este graduado en 0,1 s o menos y con exactitud de  $\pm 0,1$  s para intervalos de 60 s.
- ✓ **Termómetros:** De líquido en vidrio, calibrados con rango y subdivisiones convenientes y error máximo de 0,1° C.

#### ❖ **Procedimiento.**

- ✓ De la muestra de laboratorio, se separará con una espátula caliente unos 400 a 500 g de material que se colocará en un recipiente, que se calienta cuidadosamente agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas.
- ✓ No calentar la muestra por más de 60 minutos. Remover la muestra hasta asegurar que sea homogénea. Evite incorporar burbujas a la muestra.
- ✓ Verter la muestra en el recipiente a una profundidad tal que, cuando se enfríe a la temperatura de prueba, la profundidad de la muestra sea por lo menos 120% de la profundidad a la que la aguja se espere penetre.
- ✓ Dejar enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30 °C por 1 a 1,5 horas.
- ✓ Poner el recipiente de la muestra en el plato de transferencia, cubra el contenedor completamente con agua del baño mantenido a la temperatura indicada de ensayo. Permita que el recipiente permanezca por 1 a 1,5 horas.
- ✓ Examine el sujetador de la aguja y guía para establecer la ausencia de agua u otro material extraño, Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente conveniente, seque con una tela limpia e inserte la aguja de penetración en el Penetrómetro.
- ✓ Posicione la aguja lentamente bajándola hasta que la punta roce con la superficie de la muestra.
- ✓ Rápidamente suelte al poseedor de la aguja para el período especificado de tiempo y ajuste el instrumento para medir la distancia penetrada en décimas de

milímetro. . Si el recipiente se mueve, ignore el resultado.

- ✓ Hacer por lo menos tres determinaciones en puntos de la superficie de la muestra, a no menos de 10 mm del borde del recipiente y no menos de 10 mm separadamente entre ellos.

❖ **Expresión de resultados.**

Se calculará el promedio de las tres penetraciones ejecutadas sobre la muestra de ensayo.

Reporte a la unidad entera más cercana el promedio de tres penetraciones cuyos valores no difieran por más de lo siguiente.

**Tabla 3.19:** Aceptabilidad de los resultados para el ensayo

Penetración	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Máxima diferencia entre la penetración más alta y la más baja.	2	4	12	20

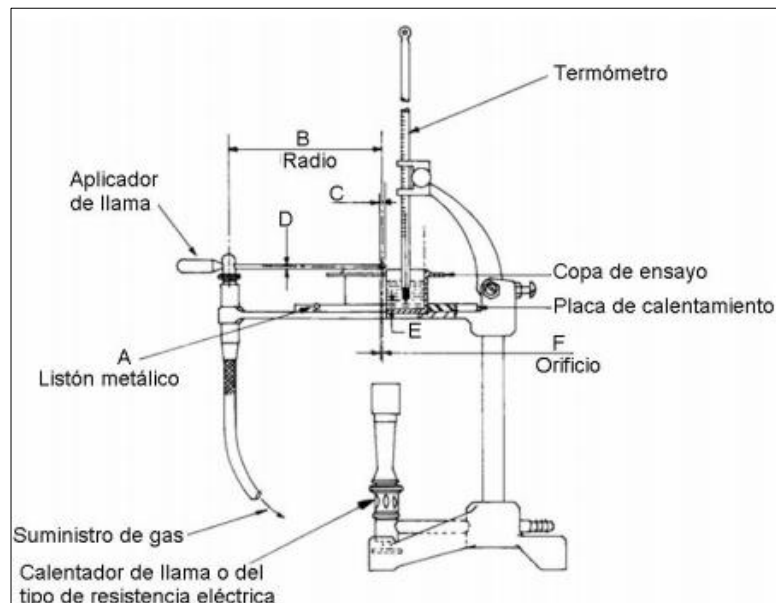
**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 304

- **Punto de inflamación.**

Para la determinación del ensayo de la penetración de los materiales bituminosos, se seguirá el procedimiento indicado en la Norma AASHTO T 48.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Aparato de copa abierta Cleveland:** (de operación manual) Este aparato consta de la copa de ensayo, placa de calentamiento, aplicador de la llama, calentador y soportes.



**Figura 3.10:** Aparato Cleveland de copa abierta

**Fuente:** Norma AASHTO T 48

- ✓ **Placa de calentamiento:** Se compondrá de dos platinas, una metálica, de bronce, hierro dulce o de acero, y la otra de asbesto duro. La platina metálica deberá tener un orificio en el centro y un área de depresión plana alrededor del orificio, a manera de escalón, en la cual se soporta la copa.
- ✓ **Aplicador de la llama de ensayo:** Deberá ser de cualquier diseño adecuado, pero la boquilla deberá ser de  $1.6 \pm 0.05$  mm (1/16") de diámetro en el extremo y el orificio deberá tener un diámetro aproximado de  $0.8 \pm 0.05$  mm (1/32"). Deberá estar montado de tal forma que permita la repetición automática del barrido de la llama de ensayo sobre la muestra.
- ✓ **Calentador:** Puede ser sustituido por cualquier fuente conveniente, el uso de un quemador de gas o una lámpara de alcohol están permitidos, pero en ninguna circunstancia debe usarse una llama, para productos altamente combustibles, la fuente de calor será colocada en el centro bajo la abertura de la placa caliente evitando sobrecalentamientos locales.
- ✓ **Protector:** Se recomienda utilizar un protector (caja protectora) con base cuadrada de 460 mm (18") de lado por 610 mm (24") de altura y que tenga un frente abierto.
- ✓ **Termómetro:** Deberá tener un rango de temperatura de  $-6^{\circ}$  a  $+400^{\circ}$  C ( $20^{\circ}$  a  $760^{\circ}$  F).

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Se apoya el aparato de copa abierta de Cleveland sobre una mesa firme, a nivel, en un cuarto o compartimiento, libre de corrientes de aire.
- ✓ Se lava la copa de ensayo con un disolvente apropiado para remover cualquier aceite, trazas de goma o residuo remanente de algún ensayo previo.
- ✓ Se sostiene el termómetro en una posición vertical, con su extremo inferior a  $6.4 \pm 0.1$  mm ( $1/4 \pm 1/50$ "") del fondo de la copa y localizado en un punto medio entre el centro y la pared de la misma, sobre el diámetro perpendicular al arco (o línea) de barrido de la llama de ensayo y del lado opuesto al brazo del aplicador de la misma.
- ✓ Llenar la copa a cualquier temperatura que no exceda de  $56^{\circ}\text{C}$  ( $133^{\circ}\text{F}$ ) por encima del punto de ablandamiento de la muestra de tal manera que la parte superior del menisco quede en la línea de llenado. Si se ha vertido demasiada muestra en la copa, remuévase el exceso empleando una pipeta u otro dispositivo apropiado. Desháganse todas las burbujas de aire sobre la superficie de la muestra.
- ✓ Encender la llama de ensayo y ajustar a un diámetro entre 3.3 y 4.8 mm ( $1/8$ " a  $3/16$ "").
- ✓ Aplicar calor inicialmente de tal manera que la tasa de incremento de temperatura de la muestra sea de  $14$  a  $17^{\circ}\text{C}$  ( $25$  a  $30^{\circ}\text{F}$ ) por minuto. Cuando la temperatura de la muestra sea de aproximadamente  $56^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ ) por debajo del punto llama esperado, disminuir el calor de manera que la temperatura se aumente, para los últimos  $28^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{F}$ ) antes de llegar al punto de ignición, en  $5$  a  $6^{\circ}\text{C}$  ( $9$  a  $11^{\circ}\text{F}$ ) por minuto.
- ✓ Por lo menos a  $28^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{F}$ ) bajo el punto de ignición, empiece a aplicar la llama de ensayo una vez por cada aumento de  $2^{\circ}\text{C}$  ( $5^{\circ}\text{F}$ ). Pasar la llama de ensayo a través del centro de la copa, en ángulos rectos con el diámetro que pasa a través del termómetro, con un movimiento suave y continuo. El centro de la llama de prueba debe moverse en un plano horizontal que este a no más de 2.0 mm por encima del plano del borde superior de la copa. El tiempo empleado para efectuar barrido de la llama de ensayo a través de la copa debe ser de alrededor de 1s. Durante los últimos  $28^{\circ}\text{C}$  ( $50^{\circ}\text{F}$ ) de aumento de temperatura antes del punto de ignición, debe evitarse la perturbación de los vapores en la copa de ensayo por movimientos repentinos o por respirar cerca de la copa.
- ✓ Si se formará una costra antes de alcanzar el punto de ignición o de llama, moverlo cuidadosamente hacia un lado con una espátula pequeña o una varilla agitadora y continuar el ensayo.
- ✓ Registrar como punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el

termómetro cuándo aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie. No debe confundirse la llama verdadera con el halo azulado que algunas veces rodea la llama de ensayo.

- ✓ Para determinar el punto de llama, continúe calentando la muestra de tal manera que la temperatura se aumenta a un ratio de 5 a 6 °C (9 a 11°F) por minuto. Continuar la aplicación de la llama de ensayo a intervalos de 2°C (5°F) hasta que el aceite se encienda y permanezca quemándose por lo menos durante 5s. Registrar la temperatura en este punto, como el punto de llama.

❖ **Expresión de resultados.**

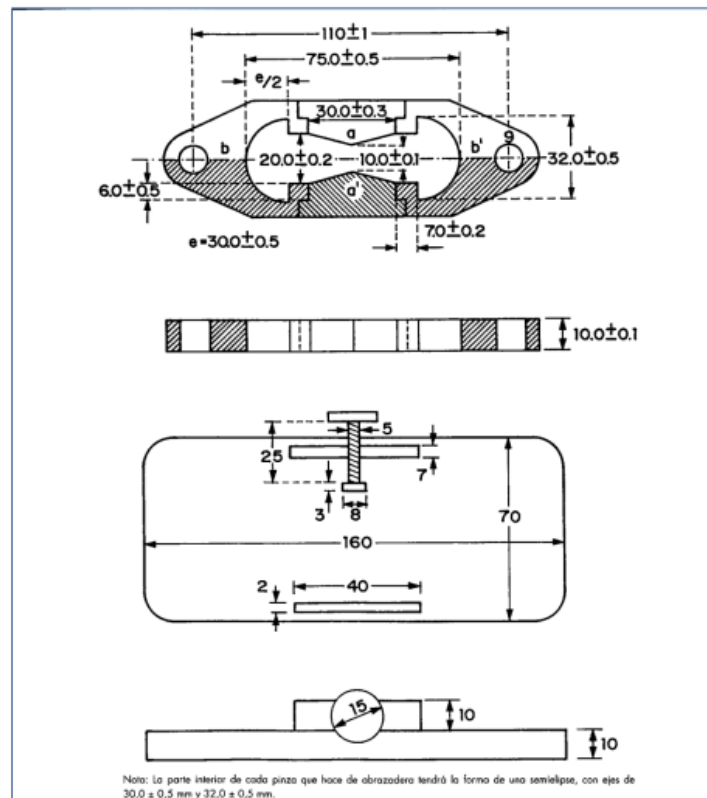
Informar la temperatura como punto de inflamación o llama, como el punto de inflamación o de llama mediante la copa abierta de Cleveland.

• **Ductilidad 25° C, 5 cm/min.**

Para la determinación del ensayo de la ductilidad de los materiales asfálticos, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 306.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Molde y Placa:** Debe ser similar a lo mostrado en la siguiente figura. El Molde debe ser hecho de bronce, los extremos son conocidos como sujetadores. Las dimensiones del molde ensamblado serán como se muestra con las variaciones permisibles indicadas. La Placa para el llenado de los moldes, se dispondrá de una placa de bronce plana, provista de un tornillo lateral de sujeción y con la forma y dimensiones que se detallan a continuación.



**Figura 3.11:** Molde y placa para ductilómetro

**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 306*

- ✓ **Baño de agua:** Que pueda mantener la temperatura de ensayo con una variación máxima de  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Su volumen no será inferior a 10 litros.
  - ✓ **Ductilómetro:** El aparato se denomina ductilómetro y en esencia, consta de un tanque de agua en el que se sumergen los especímenes, provisto de un mecanismo de arrastre que no produzca vibraciones, capaz de separar a la velocidad especificada un extremo de la probeta del otro, que permanece fijo.
  - ✓ **Termómetro:** Que tenga un rango entre  $-8^{\circ}\text{C}$  a  $32^{\circ}\text{C}$ .
- ❖ **Procedimiento.**
- ✓ Ensamble el molde en la placa de bronce. Cubra completamente la superficie de la plancha y superficies interiores de los lados del molde con una capa delgada de una mezcla de glicerina, talco o caolín (arcilla de loza) para impedir que el material bajo la prueba se adhiera.
  - ✓ Calentar cuidadosamente la muestra previniendo el sobrecalentamiento local hasta que se haya puesto suficientemente fluido para verter.
  - ✓ Después de un agitado continuo, vacíe dentro del molde. Llenando el molde, tenga cuidado de no desarreglar las partes y por lo tanto no deformar el bloque.
  - ✓ Dejar el molde, conteniendo el material a una temperatura ambiente por un

periodo entre 30 a 40 minutos y luego ponerlo en el baño de agua manteniéndolo a una temperatura de prueba especificada por 30 minutos; entonces eliminar el exceso de bitumen con un emparejador o espátula justo al ras del molde.

- ✓ Manteniendo el espécimen a temperatura normal, colocar la plancha de bronce y el molde, con el espécimen, en el baño de agua y mantener a temperatura especificada por un periodo de 85 a 95 minutos. Luego quite la briqueta de la plancha, separe los trozos laterales, e inmediatamente ensaye la briqueta.
- ✓ Ajuste los anillos de cada extremo de los sujetadores a los broches de la máquina de prueba y estire los dos sujetadores separadamente a una velocidad uniforme como lo especificado hasta la ruptura de la briqueta.
- ✓ Mida la distancia en centímetros a través de la cual se han estirado los sujetadores produciendo la ruptura. Mientras la prueba se realiza, el agua del tanque de la máquina de prueba cubrirá el espécimen por arriba y abajo por lo menos 2,5 cm.
- ✓ Si el material bituminoso entra en contacto con la superficie del agua o el fondo del baño, la prueba no será considerada normal.

❖ **Expresión de resultados.**

La distancia en cm que se han separado desde su posición inicial hasta que se produce la rotura en un ensayo normal, es el valor de la ductilidad de una probeta.

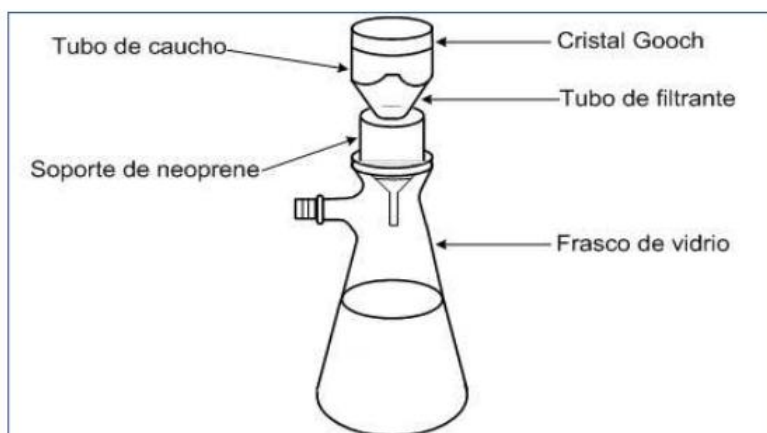
Reportar el promedio de tres pruebas normales como la ductilidad de la muestra, especificando las condiciones de velocidad y temperatura a las que se haya realizado el ensayo.

• **Solubilidad en tricoloro.**

Para la determinación del ensayo de grado de solubilidad en tricloroetileno de materiales asfálticos, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 302.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Estufa:** Que pueda mantener la temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- ✓ **Balanza Analítica:** De acuerdo con la especificación AASHTO M 231.
- ✓ **Disolvente Tricloroetileno.**
- ✓ **Aparato filtrante:** Ilustrado en la siguiente figura.



**Figura 3.12:** Aparato filtrante.

**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 302*

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Si la muestra no es líquida, caliéntese a cualquier temperatura conveniente, pero en ningún caso mayor de 111 °C por encima del punto de ablandamiento.
- ✓ Colocar el crisol gooch más una capa del filtro de fibra de vidrio en un horno a  $110 \pm 5$  °C por 15 min. Dejar que enfríe en un desecador y luego determine el peso lo más próximo a 1mg. Designar este peso como "A".
- ✓ Transfiera aproximadamente 2 g de la muestra a un frasco Erlenmeyer de 125 mL.
- ✓ Dejar que la muestra se enfríe a temperatura ambiente y luego determine la masa lo más cercano a 1 mg. Designe este peso como "B".
- ✓ Añadir 100 mL de tricloroetileno al recipiente en porciones pequeñas con agitación continua hasta desaparecer todos los grumos y disolver las muestras adheridas al recipiente. Tapar el frasco y coloque aparte por lo menos 15 min.
- ✓ Colocar el crisol gooch previamente preparado y pesado en el tubo de filtración. Mojar el filtro de fibra de vidrio con porciones pequeñas de tricloroetileno y decantar la solución a través del filtro de fibra de vidrio del crisol gooch.
- ✓ Cuando el material insoluble es apreciable conservar en el recipiente tanto como sea posible hasta que la solución haya drenado a través del filtro.
- ✓ Lavar el recipiente con una cantidad pequeña de solvente, utilizando un chorro de solvente desde una botella de lavado, transferir todo el material insoluble al crisol. Utilice una varilla si es necesario para remover cualquier material insoluble adherido al recipiente.
- ✓ Remover el crisol del tubo, lavar la parte inferior libre de cualquier sustancia disuelta, y colocar el crisol en la parte superior de un horno o en un baño de



vapor hasta que todo el olor del tricloroetileno se haya quitado.

- ✓ Colocar el crisol en un horno a  $110 \pm 5$  °C por no menos de 20 min. Enfriar el crisol en un desecador por  $30 \pm 5$  min. Y determine este peso lo más próximo a 0.1mg. Repita secando y pesando hasta que el peso constante (0,3 mg) sea obtenida. Designe este peso como "C".

❖ **Expresión de resultados.**

El porcentaje de la muestra soluble en el solvente usado es como sigue:

$$\% \text{ Soluble} = [B - (C - A) / B] \times 100$$

Dónde:

- A = Peso del crisol y filtro.
- B = Peso de la muestra
- C = Peso del crisol, filtro y material insoluble

• **Ensayo de la mancha.**

Para la determinación del ensayo de la mancha (oliensis) de materiales asfálticos, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 314.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Frasco:** Capacidad de 50 mL, cualquier modelo Florencia o boca ancha de fondo liso, aproximadamente de 45 mm de diámetro con 60 mm de altura.
- ✓ **Tapón de corcho:** Para frasco provisto con 200 mm de tubería de vidrio de 6,4 mm.
- ✓ **Papel filtro:** Whatman N°50.
- ✓ **Placa de vidrio:** Lisa, debe ser primero limpiada con bencina o tetracloruro de carbono, luego lavada con jabón y agua, secada, y limpiada con un limpiador de vidrios adecuado.
- ✓ **Pipeta o bureta:** Con graduaciones de 0,1 mL.
- ✓ **Termómetro:** De precisión según ASTM 64.
- ✓ **Balanza:** Debe tener suficiente capacidad y ser conforme a la especificación M 231.
- ✓ **Nafta estándar:** Será de un destilado alto directo, libre de productos craqueados de cualquier tipo y cumplirá los requerimientos indicados en la siguiente tabla.

**Tabla 3.20:** Especificación de la Nafta

<b>Gravedad A.P.I.</b>	49-50
<b>Destilación:</b>	
Punto de ebullición inicial	Sobre 149°C
50% encima	160 – 179°C
Punto final	Debajo de 210°C
Número anilina	59 a 63°C

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 314

- ✓ **Heptano normal:** Debe cumplir con los requerimientos indicados en la presente tabla.

**Tabla 3.21:** Especificación del Heptano

<b>ASTM Número de motor octano</b>	0,0 ±0,2
<b>Densidad a 20°C, g/mL</b>	0,68375 ± 0,00015
<b>Índice de refracción, N<sub>D</sub> a 20°C</b>	0,68375 ± 0,00015
<b>Punto de congelamiento, °C</b>	-90,72 mínimo
<b>Destilación:</b>	
50% recuperado	98,43 ± 0,05
Incremento de 20 a 80% recuperado	0,20 máximo

**Fuente:** Manual de Ensayos de materiales MTC E 314

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Una muestra de  $2,00 \pm 0,02$  g se colocará en el frasco. Si es que ésta no fluye rápidamente a temperatura ambiente, se calentará cuidadosamente el frasco hasta que la muestra pueda ser extendida en una película delgada que cubra el fondo de la parte inferior del frasco la cual luego se enfriará a temperatura ambiente.
- ✓ Con la pipeta o bureta, colocar en el frasco 10,2 mL del solvente especificado. Coloque rápidamente dentro del cuello del frasco el tapón de corcho con sus 200 mm de longitud y enroscar con un rápido movimiento circular en cinco segundos. El frasco será sumergido luego hasta su cuello en un baño de agua de suave ebullición por 55 segundos.
- ✓ El frasco debe ser removido del baño y removido por cinco segundos, y cada minuto después de esto el frasco debe estar inmerso alternadamente por 55

segundos y remover y alternadamente por cinco segundos hasta lograr la dispersión completa.

- ✓ Después de completada la dispersión, el extremo del tubo de vidrio deberá ser sumergido bajo el nivel de la solución y el frasco dejado para que se enfríe por 30 minutos a temperatura ambiente.
- ✓ La mezcla de solvente y asfalto luego será calentada por 15 minutos en un baño de agua mantenido a una temperatura de  $32,0^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . La mezcla de solvente y asfalto será batida completamente y por medio de una barra removedora limpia se colocará una gota de la mezcla tibia en el papel de filtro Whatman N° 50.
- ✓ Después de cinco minutos la mancha debe ser examinada en toda su área con el plano del papel aproximadamente en ángulo recto a la línea de visión con una buena fuente de luz (preferentemente a la luz del día) situada a espaldas del observador.
- ✓ Si la gota forma una mancha redonda marrón o marrón-amarillento de, con un sólido oscuro o núcleo anular en el centro, la prueba se informará como positivo.
- ✓ Sin embargo si la gota forma una mancha circular marrón uniforme, el juicio debe reservarse y la mezcla del solvente y asfalto se apartará en un frasco fuertemente tapado a la temperatura ambiente en un lugar aparte, para que repose 24 horas después de la primera examinación. La mezcla calentada a  $32,0^{\circ} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos como antes, deberá entonces ser sacudida vigorosamente hasta que se uniformice para luego nuevamente colocar una gota en el papel filtro. Si la gota proveniente de la mezcla que reposó por 24 horas aún forma una mancha circular marrón no uniforme, entonces el resultado será reportado como “negativo” pero si un núcleo anular ó sólido oscuro, como se describió en el párrafo precedente, se forma en el centro de la mancha, la prueba debe reportarse como “positivo”.

❖ **Expresión de resultados.**

Se expresará como negativo o positivo.

• **Pérdida de masa**

Para la determinación de la pérdida de masa de materiales asfálticos, se seguirá el procedimiento indicado en el Manual de ensayos de materiales MTC E 315.

❖ **Equipos y materiales.**

- ✓ **Horno:** Deberá ser calentado eléctricamente, para ser operado a temperaturas de hasta  $180^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ **Bandeja Rotatoria:** El horno estará provisto con una bandeja circular de metal con un diámetro mínimo de 250 mm y un máximo diámetro de 450 mm. La

bandeja será tal que provea una superficie plana para el soporte de los contenedores de muestra sin bloquear la circulación del aire a través de la bandeja cuando los contenedores estén colocados.

- ✓ **Termómetro:** Para determinar la temperatura de ensayo se necesita un termómetro de pérdida en calor con un rango de 155 a 170 °C.
- ✓ **Contenedor:** Una bandeja de 140 mm de diámetro interior y 9,5 mm de profundidad con la base plana. Una muestra de 55 milímetros en este contenedor da un espesor de película de aproximadamente 3,2 mm. Las bandejas deben ser hechas de acero inoxidable y tendrán un espesor de 0,64 mm.

❖ **Procedimiento.**

- ✓ Colocar suficiente material para el ensayo en un recipiente y calentarlo a una condición fluida. Se debe tener extremo cuidado de tal forma que no haya excesivo sobrecalentamiento y que la temperatura más alta que se alcance no sea más de 150 °C.
- ✓ Batir la muestra durante el período de calentamiento evitando incorporar burbujas de aire. Pesar  $50 \pm 0,5$  g dentro de dos o más contenedores para el ensayo tarados.
- ✓ Verter una porción de la muestra dentro de los contenedores especificados para medir las propiedades originales del asfalto.
- ✓ Enfriar las muestras a temperatura ambiente y pese cada muestra separadamente con aproximación de 0,001 g.
- ✓ Nivelar el horno de tal forma que el horno rote en un plano horizontal. La máxima desviación durante la rotación será no más de 3°C respecto a la horizontal.
- ✓ Colocar un contenedor vacío en cada una de las posiciones predeterminadas de la bandeja rotativa. Ajustar el control de temperatura de tal forma que el termómetro especificado lea  $163 \pm 1$  °C cuando se equilibre.
- ✓ Con el horno precalentado y ajustado, rápidamente coloque las muestras de asfalto en las posiciones predeterminadas de la bandeja circular. Llene cualquier posición vacía con contenedores vacíos, de tal forma que cada posición para contenedores esté ocupada.
- ✓ Cierre la puerta del horno y empiece a rotar la bandeja. Mantenga el rango especificado de temperatura por 5 horas después que la muestra haya sido introducida y el horno alcance otra vez dicha temperatura. El período de 5 horas empezará cuando la temperatura alcance 162 °C.
- ✓ Al concluir el período de calentamiento, remover las muestras del horno. enfriar a temperatura ambiente, pesar con aproximación de 0,001 g y calcular el cambio de masa en función del asfalto en cada contenedor.

❖ **Expresión de resultados.**

Reportar el promedio de cambio de masa del material en todos los contenedores como el porcentaje de la masa del material original. Una pérdida de masa debe reportarse como un número negativo mientras que la ganancia de ésta será reportada como un número positivo.

**3.6.2.4. Requisitos de la mezcla de áridos.**

Para esta investigación se decidió elegir el tipo de mezcla MAC-2, la cual es una mezcla de agregados densa, además es usada mayormente en carpetas de rodadura, siendo la misma para cual será diseñada. La combinación de agregados deberá estar dentro los límites establecidos en la tabla 423-03 del Manual de Carreteras del MTC.

**Tabla 3.22:** Tipo de combinaciones para los agregados

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N°4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N°10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N°40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N°80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N°200)	4-8	4-8	5-10

**Fuente:** Manual de carreteras, EG 2013.

**3.6.2.5. Diseño Marshall.**

Para el diseño del presente informe se seguirá los procedimientos seguidos en el Diseño Marshall de Mezclas, el cual se encuentra en la norma ASTM D1559 (o AASHTO T 245)

**3.6.2.5.1. Introducción.**

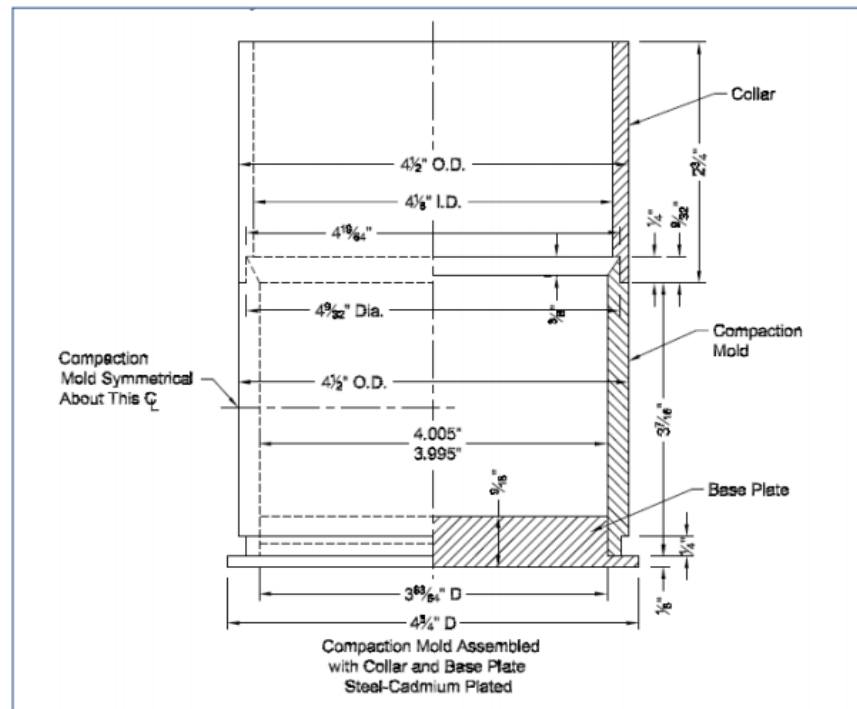
En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el

desempeño de ésta como pavimento terminado. Este método de diseño es utilizado para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla.

El propósito del método de diseño Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de áridos. Se trata de un ensayo mecánico que consiste en romper probetas cilíndricas de 101,6 mm (4") de diámetro por 63,5 mm (2 ½") de altura y compactadas mediante un martillo de peso y altura de caída normalizados. Posteriormente se calientan a una temperatura de 60°C y se rompen en la prensa Marshall mediante la aplicación de una carga vertical a través de una mordaza perimetral y una velocidad de deformación constante de 50,8 mm/min para determinar su estabilidad y deformación. Este método establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que se han de cumplir durante la construcción del pavimento.

#### 3.6.2.5.2. Equipos y materiales.

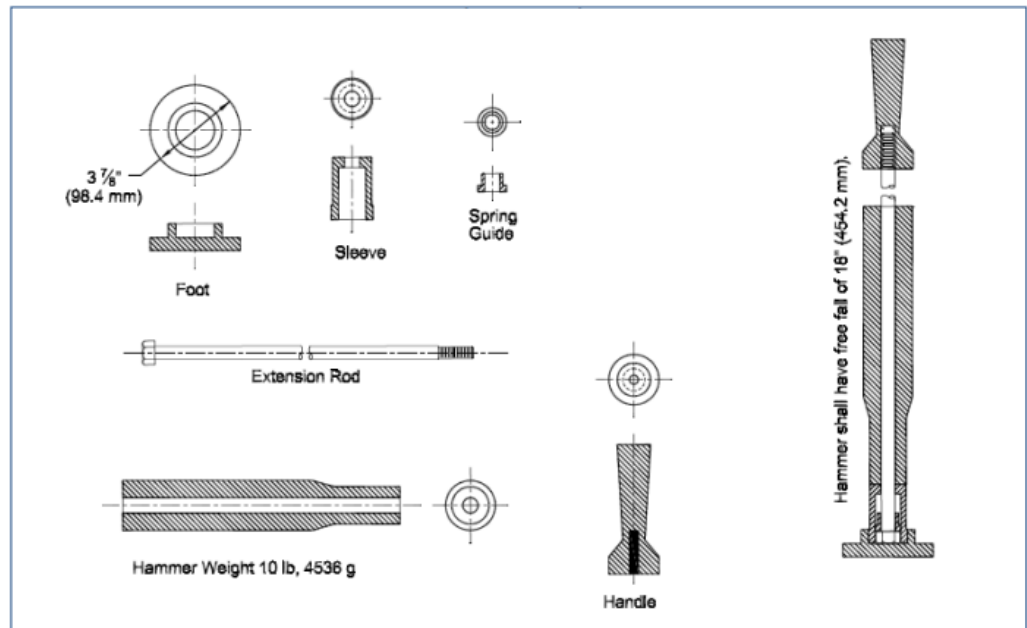
- **Molde ensamblado para Especímenes:** Consiste en un molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana. El molde deberá tener un diámetro interior de 101.6 mm (4") y una altura interna aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde. Se recomienda disponer de tres (3) moldes.



**Figura 3.13:** Moldes para ensayo Marshall

**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 504*

- **Extractor de Probetas:** Elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (1/2 ") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión. El disco de acero es empleado para extraer los especímenes compactados de los moldes con el uso del collar del molde. Cualquier dispositivo adecuado de extracción tal como una gata hidráulica puede ser empleado, de tal manera que el espécimen no se deforme durante el proceso de extracción
- **Martillo de Compactación:** Consiste en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro y un pisón deslizante de 4536 ± 9 g (10 ± 0.02 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 ± 1.524 mm (18 ± 0.06").



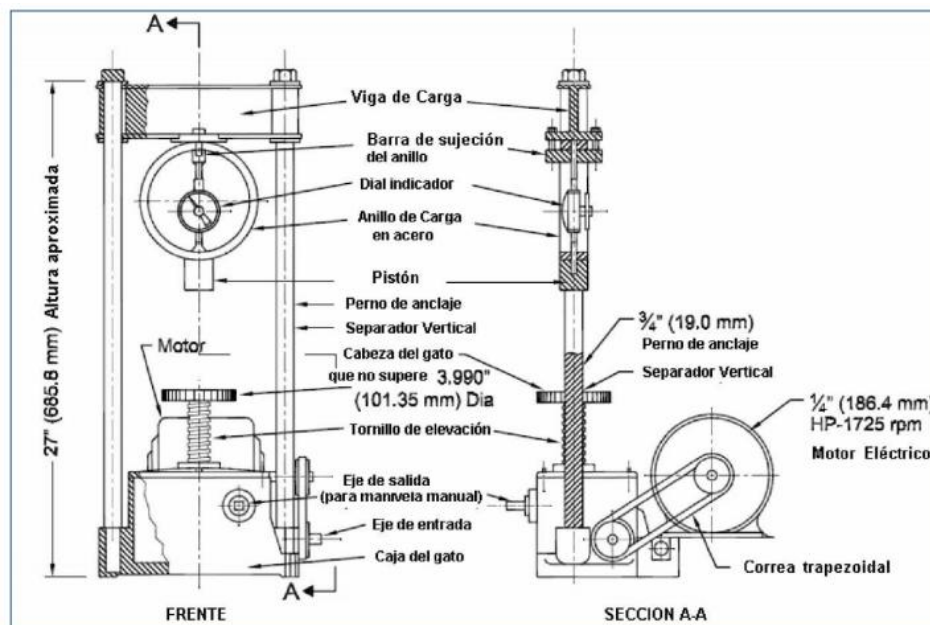
**Figura 3.14:** Martillo de compactación

**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 504*

- Pedestal de Compactación:** Consiste en un poste de madera de 203,2 por 203,2 mm, aproximadamente de 457 mm de largo cubierto con una placa de acero aproximadamente de 304,8 mm por 304,8 mm y 25,4 mm de grosor. El poste de madera estará asegurado por pernos a través de 4 ángulos a un bloque de concreto. La placa de acero deberá estar firmemente fijada al poste. El pedestal ensamblado será instalado de tal manera que el poste esté a plomo y la placa nivelada.
- Sostén de Molde para espécimen:** En compactadores de martillo simple, el sostén estará montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado con el pedestal de compactación. Los sostenedores mantendrán el molde de compactación, el collar y la placa de base asegurados y en posición durante la compactación del espécimen.
- Hornos, cacerolas para calentado o placas calentadoras:** Los hornos serán de aire circulante o termostáticamente controlados, las cacerolas de calentamiento y las placas calentadoras serán proveídos para calentar los agregados, el material bituminoso, los moldes de especímenes, martillos de compactación y otros equipos.
- Contenedores para calentamiento de agregado:** Bandejas de metal de fondo plano, u otros adecuados.



- **Herramientas de mezclado:** Consiste en cucharones de acero (cucharón de punta Mason con la punta redondeada), cucharas o espátulas para batido y mezclado a mano.
- **Termómetro calibrado:** Para determinar temperaturas de agregados, bitumen y mezclas bituminosas. Termómetros del tipo de vidrio o de dial con armazones de metal se recomiendan. Se requieren en un rango de 10 a 200 °C con sensibilidad de 3°C.
- **Balanza:** Con aproximación al menos de 0,1 g para las bachadas de mezcla.
- **Guantes:** Para maniobrar el equipo caliente.
- **Cabezal de Ruptura:** Consiste en dos segmentos cilíndricos, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") finamente acabado. El segmento inferior, que terminará en una base plana, irá provisto de dos varillas perpendiculares a la base y que sirven de guía al segmento superior. El movimiento de este segmento se efectuará sin rozamiento apreciable.
- **Máquina de Carga a Compresión:** Para la rotura de las probetas se usará una prensa mecánica con una velocidad uniforme de desplazamiento de 50.8 mm por minuto.



**Figura 3.15:** Máquina de carga a compresión.

**Fuente:** *Manual de Ensayos de materiales MTC E 504*

- **Dispositivo de Medida de Carga:** La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa.

- **Medidor de Flujo:** Consiste en un deformímetro de lectura final fija y dividido en centésimas de milímetro, firmemente sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo.
- **Baño María:** Con precisión de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

#### 3.6.2.5.3. Preparación de probetas.

- **Número de probetas:** Para una gradación particular del agregado se prepara una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto (con incrementos de 0.5% en peso entre ellos), de tal manera que los resultados se puedan graficar en curvas que indiquen un valor “óptimo” definido, con puntos de cada lado de este valor. Como mínimo se preparan tres probetas para cada contenido de asfalto.
- **Cantidad de materiales:** Un diseño con cinco contenidos de asfalto, necesitará entonces por lo menos quince (15) probetas. Para cada probeta se necesitan aproximadamente 1.2 kg de agregados. Se requiere, además, una cantidad extra de material para análisis granulométricos y determinación de pesos específicos.
- **Preparación de los agregados:** Los agregados se secarán hasta peso constante entre 105 y 110 °C.
- **Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación:** La temperatura a la cual se calentará los productos serán detallados más adelante.
- **Preparación de las mezclas:** En bandejas taradas separadas para cada muestra, se pesarán sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de cada probeta. Se calentarán los agregados en una plancha de calentamiento o en el horno a una temperatura de 28°C por encima de la temperatura de compactación. Se mezclan en seco los agregados y se forma a continuación un cráter en su centro, se añade la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla. A continuación, se mezclan los materiales lo más rápido posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea.
- **Compactación de las probetas:** Simultáneamente con la preparación de la mezcla, el conjunto de collar, placa de base y la cara del martillo de compactación, se limpian y calientan en un baño de agua a una temperatura entre 90 y 150°C. Se monta el conjunto de compactación en la base y se sujeta rígidamente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro en el fondo del molde antes de colocar la mezcla. Colocar toda la mezcla recién fabricada en el molde, golpear vigorosamente con una espátula, 15 veces alrededor del perímetro y 10 sobre el interior. Luego colocar el conjunto en el soporte y sobre el pedestal de

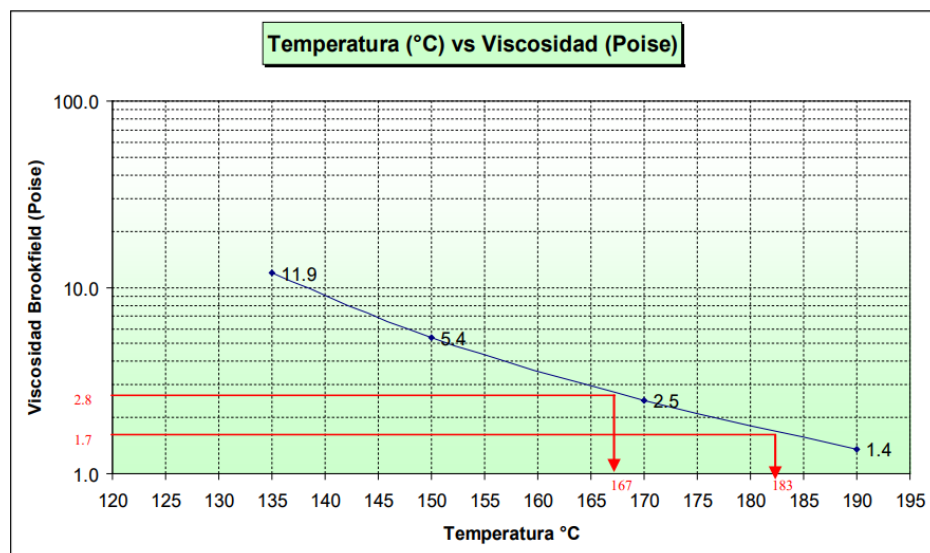
compactación. Aplicar 35, 50 o 75 golpes, de acuerdo con el tránsito de diseño (para esta investigación se optó por un tránsito alto, para lo cual corresponde 75 golpes), empleando para el martillo de compactación una caída libre de 457 mm (18"). Mantener el eje del martillo perpendicular a la base del molde durante la compactación. Retirar la placa de base y el collar e invertir, volver a montar el molde, y aplicar el mismo número de golpes a la cara invertida de la muestra.

- Extracción de probetas: Después de la compactación, retirar la base y dejar enfriar la muestra al aire hasta que no se produzca ninguna deformación cuando se la saque del molde. Sacar la muestra del molde por medio de un gato u otro dispositivo apropiado, luego colocar en una superficie plana y lisa. Generalmente se dejan enfriar las muestras durante la noche.

#### 3.6.2.5.4. Determinación de temperaturas de mezcla y compactación

El cemento asfáltico empleado en preparar las muestras será calentado para producir viscosidades de  $0,17 \pm 0,02$  Pa.s y  $0,28 \pm 0,03$  Pa.s para mezclado y compactado respectivamente.

**Figura 3.16:** Carta de Viscosidad



Fuente: ASTM D 2493

De la Figura 3.16 se obtiene que la temperatura de mezclado es de 183 °C y la temperatura de compactación es de 167°C.

#### 3.6.2.5.5. Ensayo de Estabilidad y Flujo

- Se ensayarán un mínimo de 03 especímenes que tendrán el mismo tipo de agregado, calidad y gradación, el mismo tipo y cantidad de filler, y la misma fuente de ligante, grado y cantidad. Además, tendrán la misma preparación: temperatura, compactación y enfriamiento.
- Los especímenes deberán enfriarse a temperatura ambiente después de la compactación. Durante el enfriamiento serán colocados sobre una superficie suave y plana. Se determinará el peso específico bulk de cada espécimen.
- Los especímenes podrán acondicionarse para su ensayo tan pronto alcancen la temperatura ambiente. Los ensayos se completarán dentro de las 24 h de haberse compactado los especímenes. Llevar los especímenes a la temperatura especificada por inmersión en agua de 30 a 40 min. O colocarlos en horno de 120 a 130 min.
- Mantener el baño u horno a  $60 \pm 1$  °C para cemento asfáltico.
- Limpiar completamente las líneas guías y el interior de las superficies del cabezal antes de ejecutar el ensayo. Lubricar las líneas guías de tal manera que el segmento superior del cabezal se deslice libremente sobre ellas. El cabezal deberá estar a temperatura de 20 a 40 °C. Si se emplea el baño de agua, limpiar el exceso de agua del interior de los segmentos del cabezal.
- Remover un espécimen del agua, horno o baño de aire (en caso del baño de agua remover el exceso con una toalla) y colocarlo en el segmento inferior del cabezal. Colocar el segmento superior sobre el espécimen y colocar el conjunto completo en la máquina de carga. Si se usa, colocar el flujómetro en posición sobre una de las líneas guías y ajustarlo acero mientras se sostiene firmemente contra el segmento superior del cabezal mientras el ensayo se está ejecutando.
- El tiempo desde la remoción del espécimen del baño a la determinación de la carga máxima no debe exceder los 30 segundos. Aplicar la carga al espécimen por medio de una razón constante de 50 mm/min. Hasta que la carga decrezca según lo indique el dial de carga. Registrar la máxima carga indicada en la máquina de carga. Liberar el flujómetro o anotar la lectura del dial micrómetro en el instante en que la máxima carga empieza a decrecer. El valor del flujo normalmente se da en unidades de 0,25 mm. Este procedimiento pueda que requiera de dos personas para conducir el ensayo y registrar los datos.

#### 3.6.2.5.6. Expresión de resultados.

Se calcula el promedio de las estabildades corregidas y flujos de las muestras para un mismo contenido de asfalto y preparar las siguientes gráficas:

- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.

- Flujo vs. Contenido de asfalto.
- Peso unitario de la mezcla total vs. Contenido de asfalto.
- Porcentaje de vacíos de aire ( $V_a$ ) vs. Contenido de asfalto.
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) vs. Contenido de asfalto.

Finalmente, de las gráficas se obtiene el contenido óptimo de asfalto para el diseño de mezcla asfáltica en caliente, lo cual, haciendo su respectivo análisis, deberá cumplir con los requisitos para mezcla de concreto asfáltico según la Tabla 423-06, del Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)

**Tabla 3.23:** Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

Parámetro de diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
<b>Marshall</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN
3. Flujo 0.01" (0.25mm)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire	3 - 5	3 - 5	3 - 5
5. Vacíos en el agregado mineral	14	14	14
Relación Polvo-asfalto	0.6 - 1.3	0.6 - 1.3	0.6 - 1.3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1,700 - 4,000		

**Fuente:** Manual de carreteras, EG 2013.

### 3.6.2.5. Elaboración de mezcla asfáltica en caliente con caucho mediante proceso seco

Esta elaboración se desarrolla con la finalidad de evaluar el efecto del caucho reciclado al adicionarse como un reemplazo de los agregados finos en la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente. El método de aplicación del caucho a la mezcla asfáltica es mediante la vía seca, siendo ésta la más convencional, desarrollada en España. Para su mezclado se utilizará la misma gradación que el convencional, MAC -2. La granulometría de los agregados se modificó con tres porcentajes de caucho, el 1%, 2% y 3% del peso total de los agregados. Para los ensayos el caucho reciclado será reemplazado por la misma fracción y cantidad de los agregados, con la finalidad de conservar la misma granulometría.

### 3.6.2.5.1. Caucho de Llanta Triturada.

El caucho de llanta utilizado para esta investigación fue proporcionado por la empresa SICONOR PERÚ S.A.C.

Según la ficha técnica proporcionada por la empresa, menciona que la composición del producto suministrado es caucho vulcanizado granulado proveniente de la unidad estratégica orientada al reciclaje, aprovechamiento y valoración de las llantas en desuso, el cual se obtiene mediante un proceso que se realiza por trituración mecánica y separación de los materiales que conforman las llantas”.

El porcentaje de caucho con el cual se trabajará será de 1%, 2% y 3%.

**Tabla 3.24:** Ficha técnica de caucho triturado

FICHA TÉCNICA	
Descripción	Caucho triturado
Densidad	1.109 gr/cm <sup>3</sup> a 25°C (según norma ASTM D792)
Forma física	Gránulos de forma irregular
% de presencia de acero	Menos de 0.1%
% de presencia de textiles	Menos de 0.1%

**Fuente:** Empresa Siconor Perú S.A.C.

### 3.6.2.5.2. Procedimiento para elaboración de mezcla asfáltica modificada con caucho.

Respecto a la metodología para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente con caucho en laboratorio no varía en gran magnitud en relación con el método utilizado para una mezcla convencional. Sin embargo, existe un punto muy importante durante la elaboración, que es la determinación previa del tiempo y temperatura de digestión, el cual requiere la mezcla asfáltica antes de la compactación. Los pasos son los siguientes:

- Preparar las granulometrías correspondientes para el agregado fino y grueso.
- Calentar los agregados en el horno a temperatura entre 170 °C y 210 °C.
- Elegir la proporción de caucho a usar, en relación con el peso de los agregados.

- Mezclar los agregados ya calentados con la cantidad de caucho que corresponda y meterlos en el horno entre 150 y 190 °C por aproximadamente 2 minutos para lograr que el caucho aumente su temperatura.
- Agregar el cemento asfáltico, previamente calentado a la temperatura de mezclado, junto con la mezcla de agregados con caucho y mezclar durante 2 a 3 minutos.
- Colocar la mezcla asfáltica preparada durante un periodo de digestión en el horno, cuyo tiempo y temperatura se han definido con anterioridad mediante el ensayo de Inmersión – Compresión.
- Luego de haber concluido el periodo de digestión, retirar la mezcla del horno y remover el material.
- Colocar la mezcla en los respectivos moldes previamente calentados igual al procedimiento para una mezcla asfáltica convencional.
- Compactar la mezcla caliente en moldes. La compactación se lleva a cabo a una temperatura 10°C más baja que la de digestión, con 75 golpes del Martillo Marshall, por ambos lados de la probeta.
- Dejar reposar por 24 horas antes de la extracción de la probeta del molde.
- Extraer la probeta a temperatura ambiente, para los ensayos pertinentes.

#### **3.6.2.5.3. Determinación del tiempo y temperatura de digestión**

Para la determinación de los parámetros de la temperatura y el tiempo de digestión, se obtiene mediante el ensayo de Inmersión – Compresión. Para la elaboración de mezclas asfálticas con caucho, dichos valores serán obtenidos por experiencias de otras investigaciones, las cuales cumplen con las mismas condiciones de gradación con respecto al agregado para mezcla asfáltica en caliente, donde dicha temperatura ideal es de 170 °C y un tiempo de 2 horas, para los cuales se trabajará con estos valores óptimos.

### **3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos**

- Para el procesamiento de la información obtenida, se empleará hojas de cálculo en Microsoft Excel.
- El análisis de la información obtenida será plasmado en tablas y gráficos, para una mejor interpretación de los resultados.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1. Selección de cantera.

La cantera donde se extrajeron los agregados pétreos para los ensayos y para la elaboración de las mezclas asfálticas, tiene como razón social Cantera San Martín S.A.C. Dicha cantera se encuentra ubicada en el Km 599 de la Panamericana Norte. La cantera tiene como principales productos al: Hormigón, Piedra chancada  $\frac{3}{4}$ ", Piedra chancada  $\frac{1}{2}$ ", Arena Gruesa, Arena Fina, Gravilla, Confitillo y Afirmado. Para la selección de la cantera San Martín, se realizó en base a su disposición de transporte y extracción, además cuenta con personal calificado y la maquinaria necesaria para la extracción de material.

### 4.2. Características de los materiales pétreos.

#### 4.2.1. Ensayos para agregado grueso.

- Análisis granulométrico.

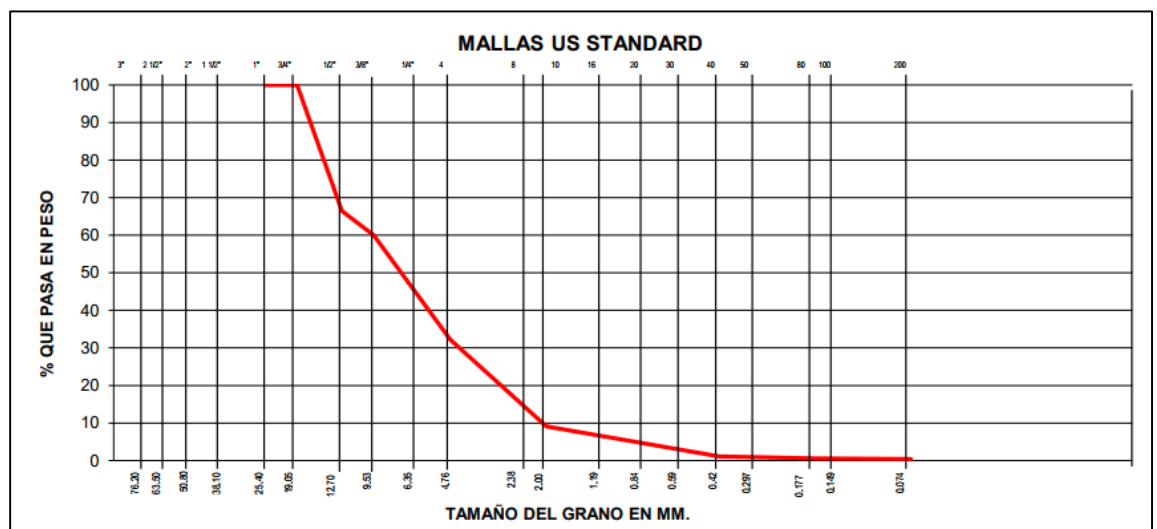


Figura 4.1: Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: *Elaboración propia.*



- **Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).**

**Tabla 4.1:** Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) del agregado grueso

PASA EL TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRADACIÓN ORIGINAL %	PESO DE LA FRACCIÓN ENSAYADA (g)	PESO RETENIDO DESPUÉS DEL ENSAYO	PÉRDIDA CORREGIDA %
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	3/8"	6.5	1000.00	16.5	1.1
3/8"	N°4	27.8	300.00	25	7.0
<	N°4	23.1	-	-	
<b>TOTALES</b>					<b>8%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Abrasión a los Ángeles.**

**Tabla 4.2:** Desgaste por abrasión del agregado grueso

<b>DATOS</b>	
GRADACION	"B"
Peso inicial (gr)	5,000.0
Peso después de ensayo (gr)	3,605.0
Número de esferas	11.0
<b>% Desgaste</b>	<b>27.90%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Índice de Durabilidad.**

**Tabla 4.3:** Índice de Durabilidad del agregado grueso

<b>DATOS</b>			
N°de ensayo	1	2	<b>Promedio</b>
Altura máxima de la arcilla	5.30	5.20	
Altura máxima de la arena	2.90	2.90	
Índice de Durabilidad	54.7%	55.8%	<b>55.2%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Partículas chatas y alargadas.**

**Tabla 4.4:** Partículas chatas del agregado grueso

DATOS						
Tamaño del agregado		Pesos (gr)		Porcentaje de las chatas	Porcentaje parcial	Promedio de partículas chatas
Pasa tamiz	Retiene tamiz	Muestra total	Partículas chatas			
1/2"	3/8"	436.0	27.0	6.19%	44.26%	274.1
3/8"	1/4"	548.0	17.0	3.10%	55.63%	172.6
<b>Total</b>		<b>985.0</b>				<b>4.6%</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.5:** Partículas alargadas del agregado grueso

DATOS						
Tamaño del agregado		Pesos (gr)		Porcentaje de las chatas	Porcentaje parcial	Promedio de partículas alargadas
Pasa tamiz	Retiene tamiz	Muestra total	Partículas alargadas			
1/2"	3/8"	436.0	27.0	6.19%	44.3%	274.1
3/8"	1/4"	548.0	13.0	2.37%	55.6%	132.0
<b>Total</b>		<b>985.0</b>				<b>4.2%</b>

Fuente: Elaboración propia.

- **Sales solubles totales.**

**Tabla 4.6:** Sales solubles del agregado grueso

DATOS		
Muestra	1	2
Peso tarro (gr)	120.5	115.8
Peso tarro + agua + sal	251.3	246.89
Peso tarro seco + sal	120.55	115.86
Peso de sal	0.05	0.06
Peso de agua	130.75	131.03
Porcentaje de sal	0.04%	0.05%
<b>Promedio</b>	<b>0.04%</b>	

Fuente: Elaboración propia.

- Caras fracturadas.

**Tabla 4.7:** Con dos o más caras fracturadas del agregado grueso

TAMAÑO DEL AGREGADO		MUESTRA TOTAL (gr)	CARAS FRACTURADAS	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	PORCENTAJE PARCIAL	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA EL TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ					
3/4"	1/2"	2,913.00	2,685.0	92.17%	58.2%	53.6%
1/2"	3/8"	2,094.00	1,905.0	90.97%	41.8%	38.0%
<b>TOTALES</b>		<b>5,007.00</b>				<b>91.7%</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.8:** Con una cara fracturada del agregado grueso

TAMAÑO DEL AGREGADO		MUESTRA TOTAL (gr)	CARAS FRACTURADAS	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	PORCENTAJE PARCIAL	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
PASA EL TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ					
3/4"	1/2"	2,913.00	2,856.0	98.04%	58.2%	57.0%
1/2"	3/8"	2,094.00	2,012.0	96.08%	41.8%	40.2%
<b>TOTALES</b>		<b>5,007.00</b>				<b>97.2%</b>

Fuente: Elaboración propia.

- Absorción

**Tabla 4.9:** Absorción del agregado grueso

DATOS				
A: Peso material saturado superficialmente seca (en aire) (gr)	1,500.0	1,500.0	1,500.0	
B: Peso material saturado superficialmente seca (en agua) (gr)	944.0	945.0	944.6	
C: Volumen de masa + volumen de vacios= A-B (gr)	556.0	555.0	555.4	
D: Peso material seco en estufa (106°C) (gr)	1,486.0	1,486.3	1,486.7	<b>PROMEDIO</b>
Pe bulk (Base seca) = D/C	2.673	2.678	2.677	<b>2.676</b>
Pe bulk (Base saturada) = A/C	2.698	2.703	2.701	2.700
% de Absorción = [(A-D)/D]*100	0.94%	0.92%	0.89%	<b>0.92%</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2. Ensayos para agregado fino

- Análisis granulométrico.

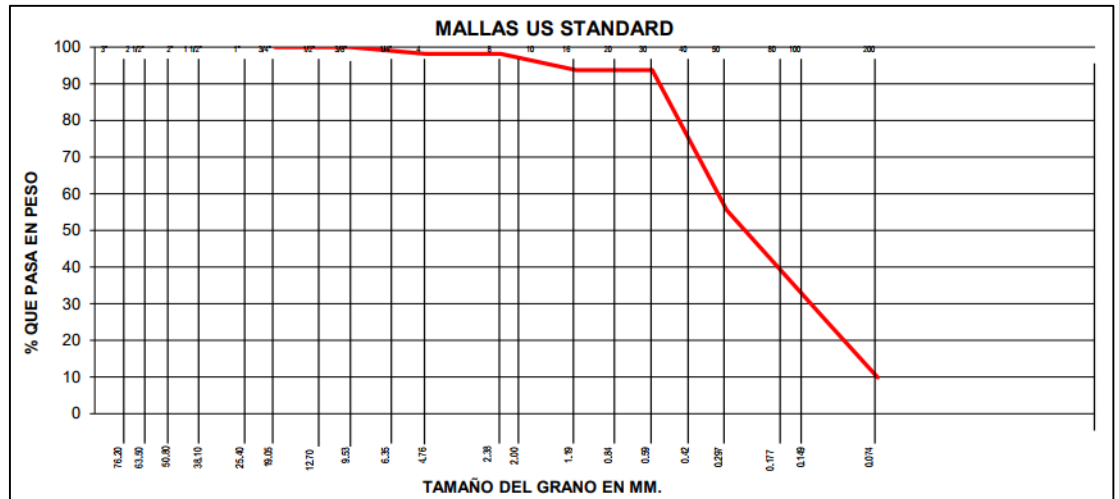


Figura 4.2: Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: *Elaboración propia.*

- Equivalente de arena.

Tabla 4.10: Equivalente de arena del agregado fino

DATOS			
Muestra	1	2	3
Hora de entrada	08:38	08:40	08:42
Hora de salida	08:48	08:50	08:52
Hora de entrada	08:50	08:52	08:54
Hora de salida	09:10	09:12	09:14
Altura de nivel material fino (A)	4.2	4.2	4.2
Altura de nivel arena (B)	2.5	2.6	2.6
Equivalente de arena $[(B/A) \times 100]$	59.5%	61.9%	61.9%
<b>Promedio</b>		<b>61.1%</b>	

Fuente: *Elaboración propia.*

- **Angularidad del agregado fino.**

**Tabla 4.11:** Angularidad del agregado fino

DATOS			
Muestra	1	2	3
Peso del agregado fino + molde (gr)	18,546.00	18,565.00	18,532.00
Peso del molde (gr)	10,337.00	10,337.00	10,337.00
Peso del agregado fino + molde (w)	8,209.00	8,228.00	8,195.00
Volumen del cilindro (v)	5,681.00	5,681.00	5,681.00
Gravedad específica del agregado fino (Gsb)	2.626	2.626	2.626
Vacíos no compactados $[v-(w/Gsb)] / v$	45.0%	44.8%	45.1%
<b>Promedio</b>		<b>45.0%</b>	

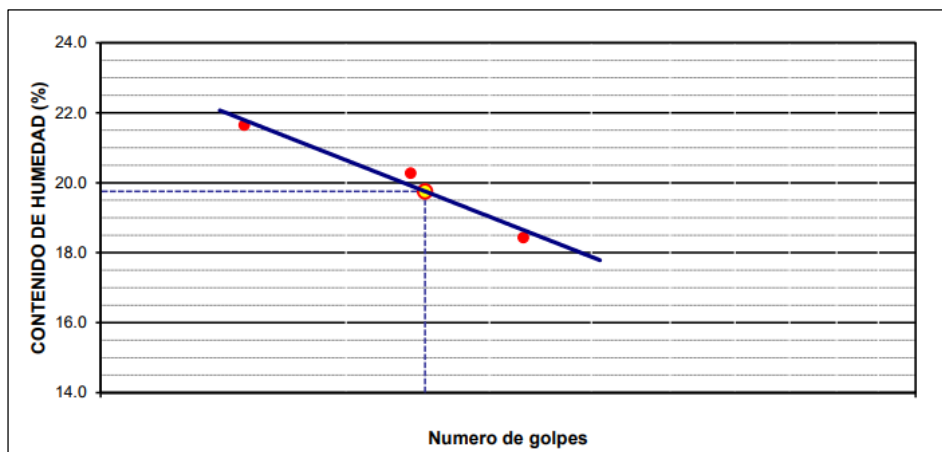
Fuente: Elaboración propia.

- **Índice de plasticidad (Malla N° 40)**

**Tabla 4.12:** Índice de plasticidad (Malla N° 40)

DATOS			
<b>LÍMITE LIQUIDO:</b>	<b>19.80%</b>		
N° tarro	34	43	30
Tarro + suelo húmedo	29.96	32.52	31.41
Tarro + suelo seco	27.49	29.9	29.17
Agua	2.47	2.62	2.24
Peso del tarro	16.08	16.98	17.02
Peso del suelo seco	11.41	12.92	12.15
% Humedad	21.65%	20.28%	18.44%
N° de golpes	15	24	33
<b>LÍMITE PLASTICO:</b>	<b>-</b>		
N° tarro	-	-	-
Tarro + suelo húmedo	-	-	-
Tarro + suelo seco	-	-	-
Agua	-	-	-
Peso del tarro	-	-	-
Peso del suelo seco	-	-	-
% Humedad	-	-	-
<b>INDICE DE PLASTICIDAD:</b>	<b>NP</b>		

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.3:** % de humedad a 25 golpes (Malla N° 40)

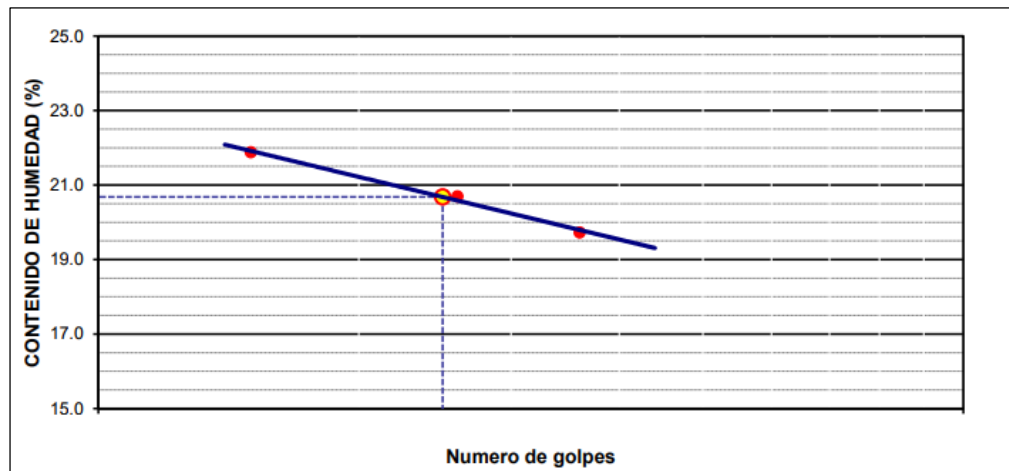
**Fuente:** *Elaboración propia.*

- Índice de plasticidad (Malla N° 200)

**Tabla 4.13:** Índice de plasticidad (Malla N° 200)

DATOS			
<b>LÍMITE LÍQUIDO:</b>	<b>20.70%</b>		
N° tarro	45	1	38
Tarro + suelo húmedo	30.24	32.71	29.17
Tarro + suelo seco	27.7	30.02	27
Agua	2.54	2.69	2.17
Peso del tarro	16.09	17.02	16.00
Peso del suelo seco	11.61	13	11
% Humedad	21.88%	20.69%	19.73%
N° de golpes	15	26	36
<b>LÍMITE PLÁSTICO:</b>	<b>17.07%</b>		
N° tarro	7	40	
Tarro + suelo húmedo	13.50	13.27	
Tarro + suelo seco	12.72	12.51	
Agua	0.78	0.76	
Peso del tarro	8.04	8.16	
Peso del suelo seco	4.68	4.35	
% Humedad	16.67%	17.47%	
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD:</b>	<b>3.63%</b>		

**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura 4.4:** % de humedad a 25 golpes (Malla N° 200)

**Fuente:** *Elaboración propia.*

- **Índice de durabilidad.**

**Tabla 4.14:** Índice de durabilidad del agregado fino

DATOS		
Muestra	1	2
Hora de entrada a saturación	11:20	08:40
Hora de salida de saturación (más 10')	11:30	08:50
Hora de entrada a decantación	11:32	08:52
Hora de salida de decantación (más 20')	11:52	09:12
Altura máxima de la arcilla (A)	5.3	5.2
Altura máxima de la arena (B)	2.9	2.9
Índice de Durabilidad $D_f = [(B/A) \times 100]$	54.7%	55.8%
<b>Promedio</b>	<b>55.2%</b>	

**Fuente:** *Elaboración propia.*

- **Sales solubles totales**

**Tabla 4.15:** Sales solubles totales del agregado fino

DATOS		
Muestra	2	3
Peso (Biker 250 ml)	102.3	105.6
Peso + sal + Biker 250 ml	102.32	105.62
Peso sal	0.02	0.02
Peso de agregado	100.0	100.0
Aforo de agua total (cc)	500.0	500.0
Volumen de agua utilizado (cc)	100.0	100.0
Sales Solubles	0.11%	0.10%
<b>Promedio</b>	<b>0.11%</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Absorción**

**Tabla 4.16:** Absorción del agregado fino

DATOS			
A: Peso material saturado superficialmente seca (en aire) (gr)	300.0	300.0	
B: Peso frasco + agua (gr)	667.0	666.9	
C: Peso frasco + agua + A (gr)	967.0	966.9	
D: Peso material + agua en el frasco (gr)	854.8	854.6	
E: Volumen de masa + volumen de vacío (C-D) (gr)	112.2	112.3	
F: Peso de material seco en estufa (105 °C) (gr)	297.3	297.5	
G: Volumen de masa (E-(A-F))	109.5	109.8	<b>PROMEDIO</b>
Pe bulk (Base seca) = F/E	2.650	2.649	<b>2.649</b>
Pe bulk (Base saturada) = A/E	2.674	2.671	2.673
% de Absorción = [(A-F) / F]*100	0.91%	0.84%	<b>0.87%</b>


**Fuente:** Elaboración propia.



#### 4.3. Características del Cemento Asfáltico.

Para esta investigación se decidió usar un cemento asfáltico PEN 60-70 de acuerdo con las características de la zona y la temperatura. El cemento asfáltico fue suministrado por la empresa Repsol, se adjunta la ficha de especificación técnica del producto. Asimismo, se adjunta la ficha de seguridad en el Anexo N°35.

**Tabla 4.17:** Especificación técnica del cemento asfáltico



**Cementos Asfálticos (NTP 321.051.2002)**

**ESPECIFICACIONES DE CEMENTOS ASFÁLTICOS**

NOMBRE COMERCIAL	Métodos			CEMENTO ASFÁLTICO 40/50 RELAPASA		CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 RELAPASA		CEMENTO ASFÁLTICO 85/100 RELAPASA		CEMENTO ASFÁLTICO 120/150 RELAPASA		
	PARÁMETROS	NTP / ASTM	AASHTO	Otros	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
<b>PENETRACION</b>												
Penetración a 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	D5	T49			40	50	60	70	85	100	120	150
<b>DUCTILIDAD</b>												
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D113	T51			100		100		100		100	
<b>VOLATILIDAD</b>												
Punto de Inflamación, °C	D92	T48			232		232		232		220	
Gravedad Específica a 15.6°C	D70	T228			Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
<b>FLUIDEZ</b>												
Punto de Ablandamiento, °C	D36				Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D445				Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	D2170	T201			Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
<b>SOLUBILIDAD</b>												
Solubilidad en tricloroetileno, %m	D2042	T44			99.0		99.0		99.0		99.0	
<b>ENSAYOS DE PELICULA FINA</b> 3.2 mm; 163°C; 5 horas												
Pérdida por calentamiento, %m	D1754	T179				0.8		0.8		1.0		1.3
Penetración retenida, 100g, 5s, 0.1 mm, % del original	D5	T49			58		54		50		46	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm	D113	T51					50		75		100	
<b>OTROS</b>												
Índice de Penetración				UNE 104-281	Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	
Ensayo de la Mancha (Spot Test) <sup>(Nota 1)</sup>		T102			Reportar		Reportar		Reportar		Reportar	

**NTP:** Norma Técnica Peruana  
**ASTM:** American Society for Testing Materials  
**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4. Requisitos de la mezcla de áridos.

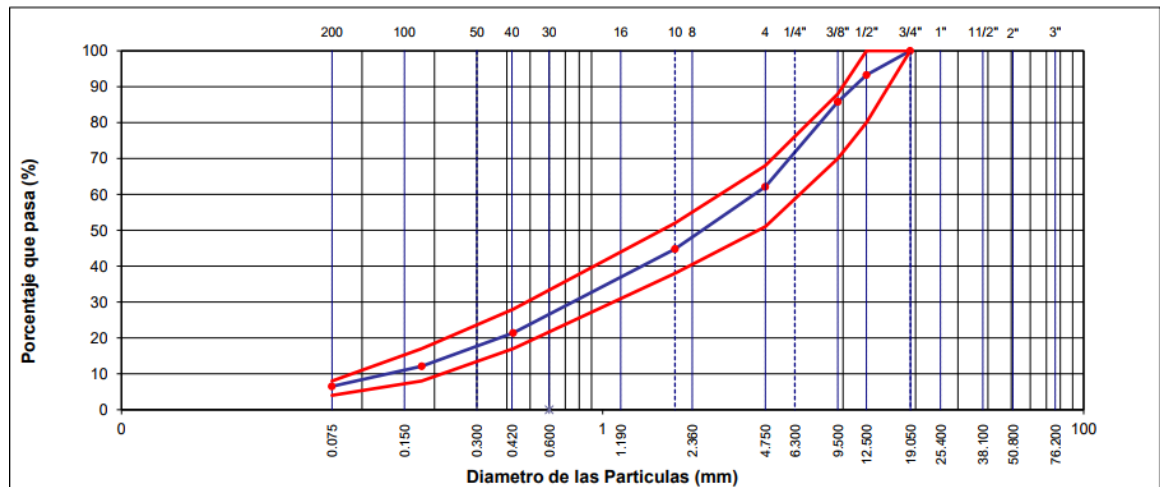
Sabiendo que los agregados (grueso y fino) cumplen con los requerimientos exigidos por el Manual de carreteras del MTC, se procedió a realizar la mezcla de los materiales pétreos para que cumpla con la gradación específica.

Para este caso se usó la gradación tipo MAC-2, la cual tiene una granulometría densa que comúnmente es usada para carpetas de rodaduras.

**Tabla 4.18:** Granulometría de la mezcla de agregados

TAMIZADO						ESPECIFICACIÓN MAC-2	
TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	P.RETENIDO (g)	P.RETENIDO (%)	P.R.ACUMUL (%)	% PASA	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
3/4"	19.0				100.00	100	100
1/2"	12.5	67.00	6.70	6.70	93.30	80	100
3/8"	9.5	75.00	7.50	14.20	85.80	70	88
N°4	4.75	237.00	23.70	37.90	62.10	51	68
N°10	2.0	173.00	17.30	55.20	44.80	38	52
N°40	0.425	234.10	23.41	78.61	21.39	17	28
N°80	0.180	92.60	9.26	87.87	12.13	8	17
N°200	0.075	56.20	5.62	93.49	6.51	4	8
PLATO		65.10	6.51	100.00			
TOTAL		1,000.00	100.00				
<b>TIPO DE AGREGADO</b>		<b>GRAVA TRITURADA 3/4"</b>		<b>ARENA TRITURADA 1/4"</b>		<b>ARENA ZARANDEADA 1/4"</b>	
<b>% MEZCLA</b>		<b>40%</b>		<b>40%</b>		<b>20%</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.5:** Curva granulométrica de la mezcla de agregados

**Fuente:** *Elaboración propia.*

#### 4.5. Diseño Marshall.

Una vez determinada la proporción de agregados, se procedió a determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico en la mezcla mediante el ensayo Marshall, a través de la elaboración de probetas con distintos porcentajes de ligante, para obtener de esta manera los parámetros Marshall.

Se elaboraron probetas con 05 contenidos diferentes de asfalto (4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%). Las diferentes probetas se prepararon teniendo como referencia la norma ASTM D 1559, además para la compactación se aplicaron 75 golpes por ambas caras de la probeta, siendo diseñado para un tráfico pesado.

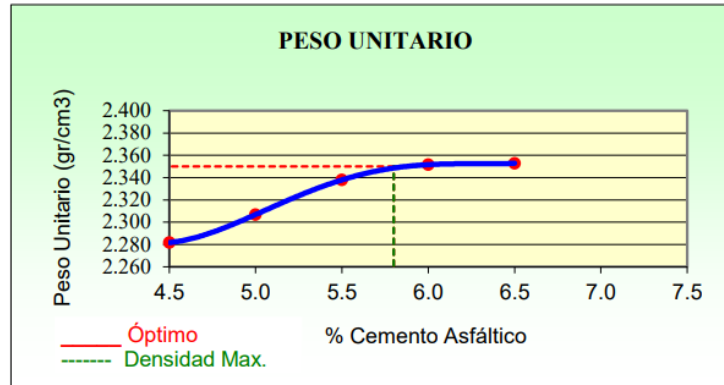
Teniendo en cuenta todas las consideraciones anteriormente dichas, los parámetros Marshall para cada contenido de ligante, se obtuvo del promedio de los resultados de las tres probetas.

**Tabla 4.19:** Cuadro resumen de los Parámetros Marshall

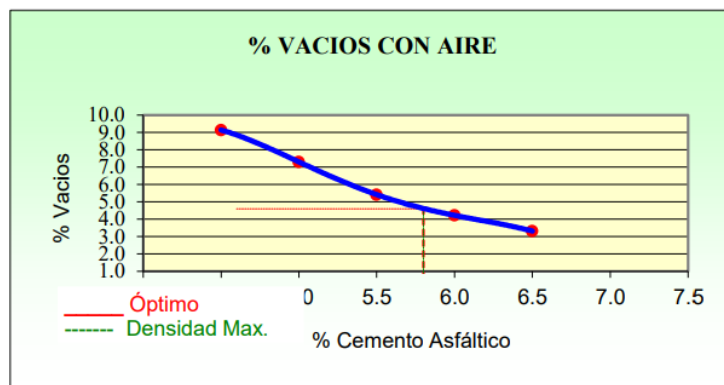
Cemento asfáltico 60 -70	Peso unitario	Vacíos en la mezcla	V.M.A	Estabilidad	Flujo
%	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	Kg	mm
4.5	2.282	9.14	19.05	645.0	11.0
5.0	2.307	7.31	18.59	799.0	12.0
5.5	2.338	5.42	17.93	977.0	14.0
6.0	2.352	4.22	17.89	1,046.0	15.0
6.5	2.353	3.32	18.28	1,006.0	16.0

**Fuente:** *Elaboración propia.*

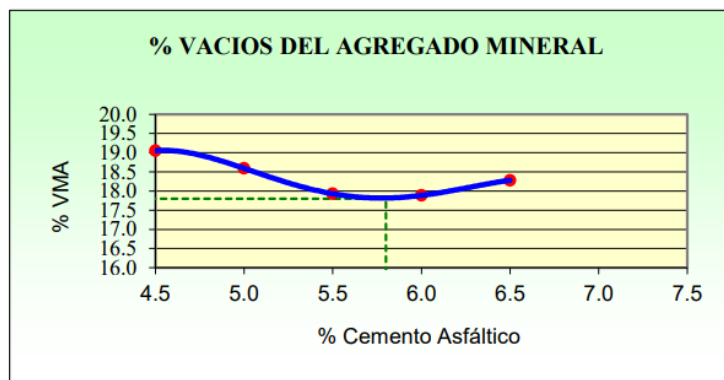
Con los datos obtenidos para cada contenido de asfalto, se procede a graficar los valores, para lograr de esta manera obtener el contenido óptimo de asfalto.



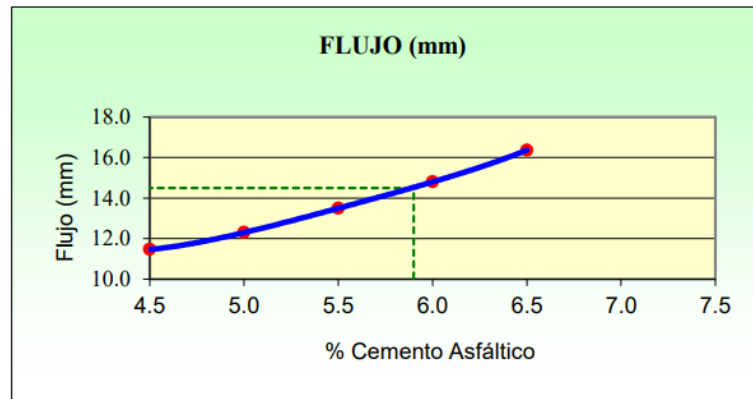
**Figura 4.6:** Peso unitario vs % Asfalto  
**Fuente:** Elaboración propia.



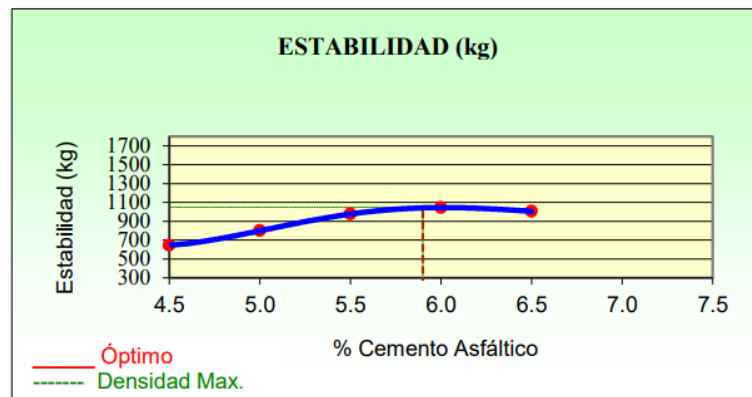
**Figura 4.7:** % Vacíos en la mezcla vs % Asfalto  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.8:** % Vacíos del agregado mineral vs % Asfalto  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.9:** Flujo vs % Asfalto  
**Fuente:** *Elaboración propia.*



**Figura 4.10:** Estabilidad vs % Asfalto  
**Fuente:** *Elaboración propia.*

Teniendo los datos ya graficados, se determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico es de **5.8%** para la mezcla, posteriormente se procedió obtener los parámetros Marshall a partir del porcentaje de asfalto óptimo, el cual se detalla en la Tabla 4.20.

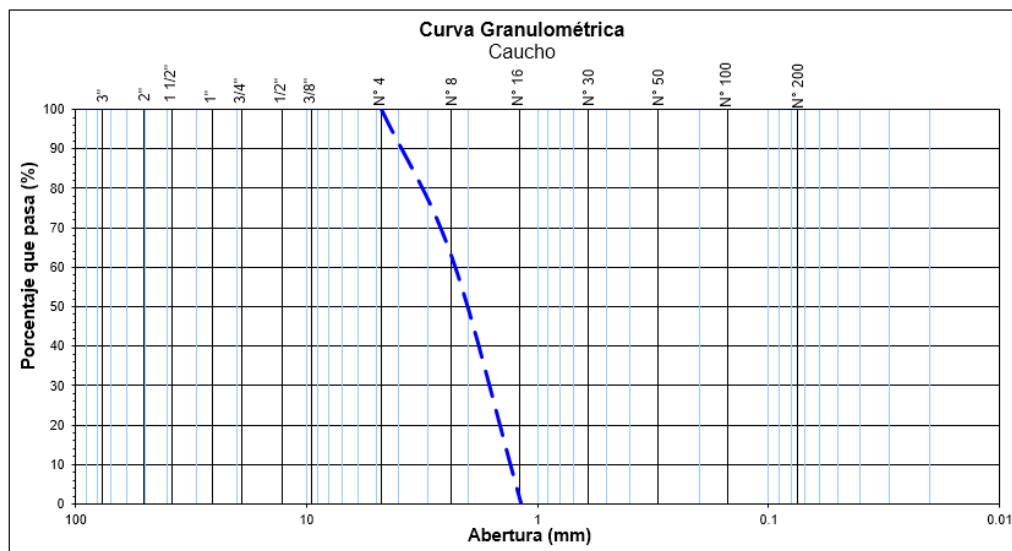
**Tabla 4.20:** Parámetros del Diseño Marshall con el contenido óptimo de asfalto (5.8%)

Parámetro de diseño	Clase de Mezcla
	A
<b>Marshall</b>	
1. Compactación, número de golpes por lado	75
2. Estabilidad (kg)	1,050.0 Kg
3. Flujo 0.01" (0.25mm)	3.68
4. Porcentaje de vacíos con aire	4.6
5. Vacíos en el agregado mineral	17.8
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	2,853.0

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.6. Elaboración de mezcla asfáltica en caliente con caucho mediante proceso seco

Una vez determinado el caucho a utilizar en la mezcla asfáltica en caliente, el cual será suministrado por la empresa SICONOR S.A., se procedió a realizar el análisis granulométrico del material.



**Figura 4.11:** Curva granulométrica del caucho a utilizar

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Una vez obtenido el contenido óptimo de cemento asfáltico para la mezcla (5.8%), y determinado el tiempo de digestión (170°C por un periodo de dos horas), se procedió a elaborar tres probetas para cada contenido de caucho (1%, 2% y 3%).

**Tabla 4.21:** Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 1% caucho

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE + 1% DE CAUCHO						
N° Probeta	Cemento asfáltico	Peso unitario	Vacíos en la mezcla	V.M.A	Estabilidad	Flujo
	%	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	Kg	mm
1.0	5.8	2.343	3.97	17.66	1113.0	3.51
2.0		2.348	4.32	17.97	1078.0	3.53
3.0		2.341	4.53	18.15	1070.0	3.78
<b>Promedio</b>		<b>2.344</b>	<b>4.27</b>	<b>17.93</b>	<b>1087.0</b>	<b>3.61</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.22:** Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 2% caucho

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE + 2% DE CAUCHO						
N° Probeta	Cemento asfáltico	Peso unitario	Vacíos en la mezcla	V.M.A	Estabilidad	Flujo
	%	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	Kg	mm
1.0	5.8	2.348	4.38	18.02	1061.0	3.58
2.0		2.331	5.05	18.60	1048.0	3.86
3.0		2.338	4.79	18.37	1030.0	3.61
<b>Promedio</b>		<b>2.339</b>	<b>4.74</b>	<b>18.33</b>	<b>1046.0</b>	<b>3.68</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.23:** Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 3% caucho

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE + 3% DE CAUCHO						
N° Probeta	Cemento asfáltico	Peso unitario	Vacíos en la mezcla	V.M.A	Estabilidad	Flujo
	%	gr/cm <sup>3</sup>	%	%	Kg	mm
1.0	5.8	2.333	5.00	18.55	999.0	4.27
2.0		2.328	5.20	18.72	1007.0	4.19
3.0		2.318	5.61	19.07	1017.0	4.11
<b>Promedio</b>		<b>2.326</b>	<b>5.27</b>	<b>18.78</b>	<b>1008.0</b>	<b>4.19</b>

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Análisis de los resultados obtenidos.

#### 5.1.1. Características de los agregados pétreos

##### a. Ensayo para agregado grueso

- **Durabilidad al sulfato de magnesio**

Se realizó el ensayo al agregado grueso, obteniendo como resultado 8%, donde dicho valor está dentro del requerimiento del Manual de Carreteras del MTC, el cual exige que el valor sea máximo el 12%.

- **Abrasión a los ángeles**

El ensayo se efectuó a muestras de agregado grueso, para la cual se usó la gradación "B", obteniendo un porcentaje de desgaste por abrasión de 27.9%. El Manual de Carreteras del MTC exige un valor de 40% como máximo, donde el material cumple dentro los requerimientos exigidos.

- **Índice de durabilidad**

Para este ensayo el Manual de Carreteras del MTC, especifica que el requerimiento para el agregado grueso debe ser como mínimo el 35%. Realizado el ensayo se obtuvo un índice de durabilidad de 56.5%, cumpliendo con las exigencias requeridas.

- **Partículas chatas y alargadas**

Una vez realizado el ensayo al agregado grueso de partículas chatas y alargadas se obtuvo un resultado de 8.7%, cumpliendo con los requerimientos del Manual de Carreteras del MTC, el cual indica que debe ser como máximo el 10%.

- **Sales solubles totales**

Luego de haberse realizado el ensayo de sales solubles para el agregado grueso, se obtuvo un valor de 0.04%, estando dentro los requerimientos del Manual de Carreteras del MTC, que indica que el valor no debe exceder del 0.5%.

- **Caras fracturadas**

Con respecto al ensayo de caras fracturadas para el agregado grueso, se determinó que el 97.2% del agregado tiene una cara fractura y que el 91.7% tiene dos caras fracturadas, cumpliendo con los requerimientos del Manual de Carreteras del MTC, en el cual especifica que para una y dos caras fracturadas los valores deben ser 85% y 50% correspondientemente.



- **Absorción**

Para el agregado grueso con respecto al ensayo de absorción se obtuvo un valor de 0.92%, estando dentro de las exigencias del Manual de Carreteras del MTC, en donde menciona que dicho valor debe ser como máximo el 1.0%.

**b. Ensayo para agregado fino**

- **Equivalente de Arena**

Con respecto al ensayo de equivalente de arena del agregado fino, se obtuvo un valor de 61.1%, cumpliendo con las exigencias establecidas en el Manual de Carreteras del MTC, en el cual menciona que dicho valor debe ser como mínimo el 60%.

- **Angularidad**

Para el agregado fino se realizó el ensayo de angularidad, teniendo un resultado de 60%, cumpliendo de esta manera con los requisitos indicados en el Manual de Carreteras del MTC, donde menciona que el valor mínimo será de 30%.

- **Índice de Plasticidad (Malla N°40)**

Se realizó el ensayo en mención para el agregado fino, teniendo como resultado que dicho material es NP (no plástico), logrando de esta manera cumplir con las exigencias del Manual de Carreteras del MTC.

- **Índice de Plasticidad (Malla N°200)**

Según los requerimientos del Manual de Carreteras del MTC, el índice de plasticidad deberá ser como máximo 4%, para la cual dicho agregado fino tiene un índice de plasticidad de 3.63%, cumpliendo con las exigencias requeridas.

- **Índice de Durabilidad**

Para este ensayo el Manual de Carreteras del MTC, especifica que el requerimiento para el agregado fino debe ser como mínimo el 35%. Realizado el ensayo se obtuvo un índice de durabilidad de 55.2%, cumpliendo con las exigencias requeridas.

- **Sales solubles totales**

Luego de haberse realizado el ensayo de sales solubles para el agregado fino, se obtuvo un valor de 0.11%, estando dentro los requerimientos del Manual de Carreteras del MTC, que indica que el valor no debe exceder del 0.5%.

- **Absorción**

Para el agregado fino con respecto al ensayo de absorción se obtuvo un valor de 0.87%, en la cual dentro de las exigencias del Manual de Carreteras del MTC, menciona que dicho valor debe ser como máximo el 0.5%, por lo cual no cumple, sin embargo, el manual indica que se aceptarán mayores valores solo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

### 5.1.2. Características del Cemento Asfáltico.

Con respecto a este material, se eligió un cemento asfáltico PEN 60-70, el cuál fue proporcionado por la empresa Repsol, cumpliendo con todas las especificaciones requeridas por el Manual de Carreteras del MTC, dando la certeza que la mezcla asfáltica cumplirá con las propiedades necesarias para un óptimo desempeño.

### 5.1.3. Requisitos de la mezcla de áridos.

La combinación de los agregados, representado en la Figura 4.5, nos señala que las proporciones elegidas para el agregado fino y grueso cumplen satisfactoriamente con los límites establecidos para la gradación tipo MAC-2. Las proporciones de los agregados son las siguientes.

**Tabla 5.1:** Combinación de agregados para la mezcla asfáltica

Agregados	Diseño MAC-2
Piedra triturada de 3/4"	40.0%
Arena triturada de 1/4"	40.0%
Arena zarandeada de 1/4"	20.0%

**Fuente:** Elaboración propia.

### 5.1.4. Diseño Marshall de la mezcla patrón

Una vez determinado el contenido óptimo de cemento asfáltico (5.8%) para la mezcla, se verificó que todos los parámetros Marshall cumplen con los requerimientos exigidos por el Manual de Carreteras del MTC, de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente.

**Tabla 5.2:** Verificación de los Parámetros Marshall de la mezcla patrón

Parámetro de diseño	Requerimiento	Diseño 5.8%	Condición
<b>Marshall</b>			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	75	<b>Cumple</b>
2. Estabilidad (kg) (min)	815.0 Kg	1,050.0 Kg	<b>Cumple</b>
3. Flujo 0.01" (0.25mm)	2 – 4	3.68	<b>Cumple</b>
4. Porcentaje de vacíos con aire	3 – 5	4.6	<b>Cumple</b>
5. Vacíos en el agregado mineral (min)	14	17.8	<b>Cumple</b>
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm)	1,700 – 4,000	2,853.0	<b>Cumple</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 5.1.5. Mezcla asfáltica en caliente con caucho

Se elaboraron probetas con tres tipos distintos de caucho (1%, 2% y 3%) y se realizó un análisis estadístico con respecto a sus parámetros Marshall, para decidir el contenido de caucho adecuado, que mejore las propiedades de la mezcla.

**Tabla 5.3:** Cuadro comparativo de mezclas asfálticas convencionales vs mezclas asfálticas con caucho

Parámetros	Mezcla patrón	Mezcla patrón + 1% caucho	Mezcla patrón + 2% caucho	Mezcla patrón + 3% caucho
Estabilidad (kg)	1,050.0	1,087.0	1,046.0	1,008
Flujo (mm)	3.68	3.61	3.68	4.19
%Vacíos con aire	4.60	4.27	4.74	5.27
%Vacíos en el agregado mineral	17.8	17.93	18.33	18.78
Densidad	2.350	2.344	2.339	2.326
<b>Condición de los parámetros</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>	<b>Cumple</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

### Validación de hipótesis mediante análisis estadístico.

Se realizó mediante un contraste entre los tres porcentajes (1%, 2% y 3%) de caucho de llanta reciclado para los parámetros Marshall, a través de la prueba estadística de Bonferroni. Un aspecto muy importante de estos contrastes es que se debe evaluar que cumpla con dos aspectos:

- La variable cuantitativa debe distribuirse según la Ley Normal en cada uno de los grupos que se comparan (**CRITERIO DE NORMALIDAD**).
- Las varianzas de la distribución de la variable cuantitativa en las poblaciones de las que provienen los grupos que se comparan deben ser homogéneas (**CRITERIO DE HOMOCEDASTICIDAD**).

#### a. Variable respuesta: Estabilidad

##### ✓ Criterio de Normalidad.

**Tabla 5.4:** Prueba de Normalidad

	% caucho	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad	1% caucho	,320	3	.	,884	3	,336
	2% caucho	,209	3	.	,991	3	,823
	3% caucho	,196	3	.	,996	3	,878

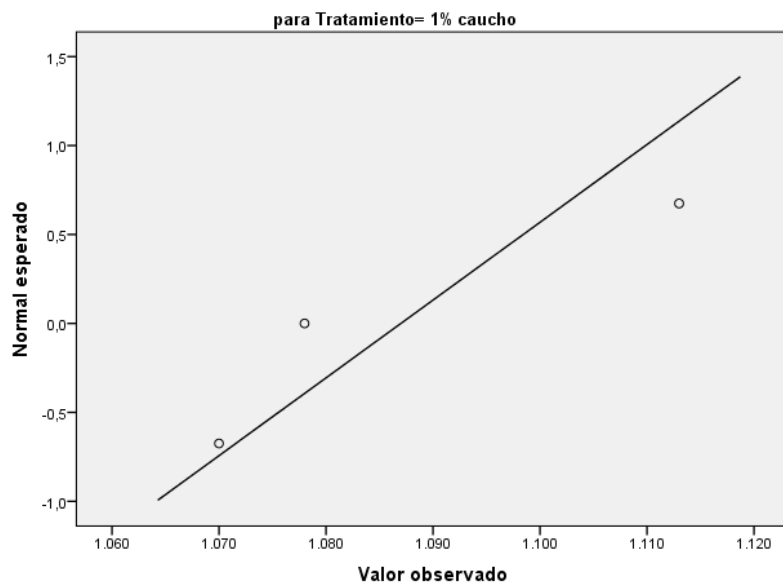
a. Corrección de significación de Lilliefors

**Fuente:** Elaboración propia.

Se nos muestra las pruebas de normalidad que lleva a cabo el programa SPSS. Nos hemos de fijar en la significación estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución si en los tres grupos el nivel de “p” es no significativo (esto es,  $p > 0,05$ ). Entonces podemos asumir la normalidad de la variable cuantitativa “Estabilidad” en los grupos.

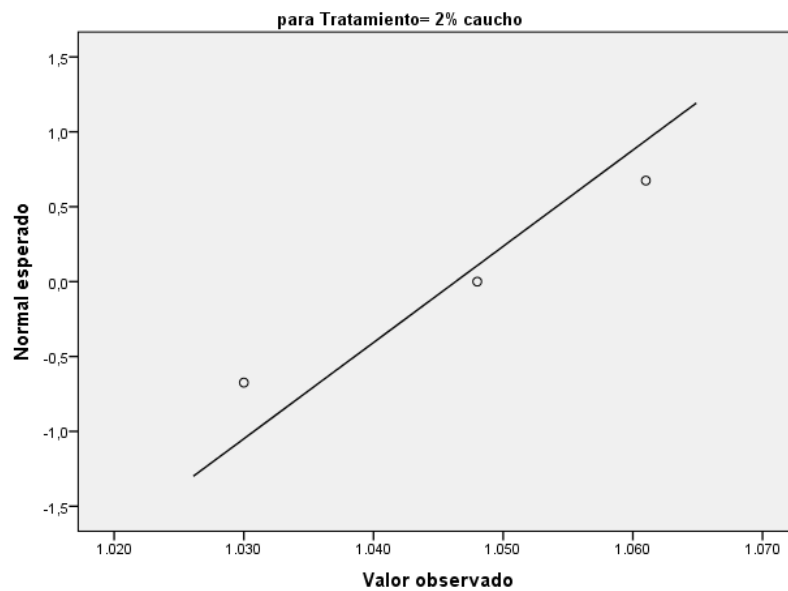
A continuación, se grafica la distribución normal para la variable Estabilidad para cada porcentaje de caucho (1%, 2% y 3%)

**Figura 5.1:** Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 1% de caucho



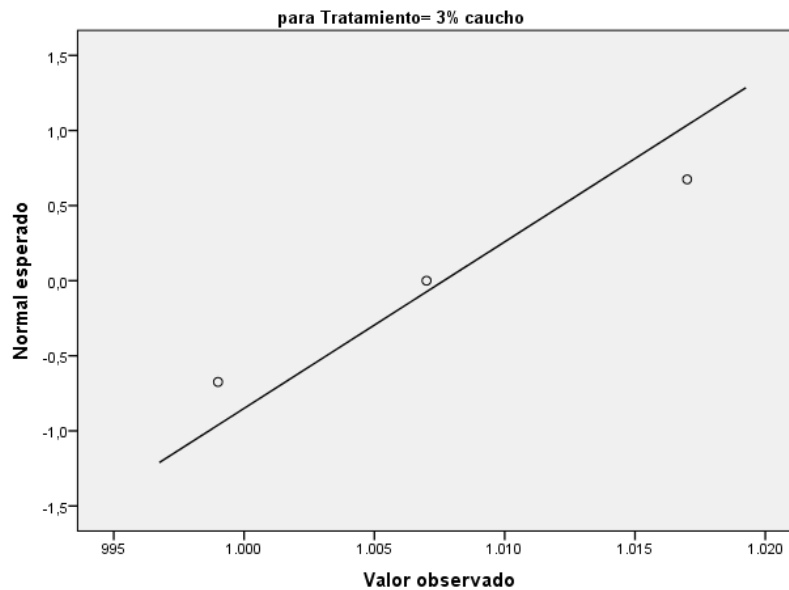
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 5.2:** Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 2% de caucho



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 5.3:** Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 3% de caucho



**Fuente:** Elaboración propia.

Tenemos una representación gráfica de la distribución de la variable cuantitativa (Estabilidad), y nos sirve para una aproximación visual al contraste de hipótesis, que planteará como hipótesis nula ( $H_0$ ) “que la distribución es normal en los grupos”.

✓ **Criterio de Homocedasticidad.**

**Tabla 5.5:** Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable Estabilidad

Estabilidad			
Estadístico de			
Levene	gl1	gl2	Sig.
1,750	2	6	,252

**Fuente:** Elaboración propia.

La prueba de homogeneidad de varianzas (la prueba de Levene). El programa hace un contraste y nos aporta una significación estadística, o valor “p” asociado a la hipótesis nula de que “*las varianzas son homogéneas para la Variable Estabilidad*”. Cuando ese valor “p” es no significativo ( $p > 0,05$ ) podemos confirmar la homogeneidad de varianzas. En esta ocasión el valor para “p” es de 0.252, por lo cual aceptamos la hipótesis nula.

Por último, evaluamos el ANOVA, el cual nos sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba contrasta la hipótesis  $H_0$  (hipótesis nula) de que “No existen diferencias significativas entre los grupos”

**Tabla 5.6:** Prueba de ANOVA para la variable Estabilidad

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	9442,667	2	4721,333	16,729	,004
Dentro de grupos	1693,333	6	282,222		
Total	11136,000	8			

**Fuente:** Elaboración propia.

Para llevar a cabo el contraste, se recurre al estadístico F de Snedecor, que en nuestro caso sale 16.729 y tiene un valor “p” asociado de 0.004 (significativo). Con esto concluiríamos nuestra evaluación, diciendo que “Si existen diferencias significativas entre los grupos”.

✓ **Post Hoc (Prueba de Contraste).**

Por lo tanto, cumpliendo con los dos criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, procedemos a aplicar la prueba estadística de Bonferroni.

**Tabla 5.7:** Comparación múltiple para la variable Estabilidad

Variable dependiente: Estabilidad

Bonferroni

(I) % caucho	(J) % caucho	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1% caucho	2% caucho	40,66667	13,71671	,075	-4,4264	85,7597
	3% caucho	79,33333*	13,71671	,004	34,2403	124,4264
2% caucho	1% caucho	-40,66667	13,71671	,075	-85,7597	4,4264
	3% caucho	38,66667	13,71671	,091	-6,4264	83,7597
3% caucho	1% caucho	-79,33333*	13,71671	,004	-124,4264	-34,2403
	2% caucho	-38,66667	13,71671	,091	-83,7597	6,4264

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Fuente:** Elaboración propia.

En el cuadro de comparaciones múltiples vemos que cada grupo de estabilidad de acuerdo con el porcentaje de caucho se compara con los otros dos, obteniéndose en cada contraste la diferencia de medias, el IC95%, el error estándar y el valor "p" asociado, que en los casos del 1% de caucho con el 2% y 3% de caucho es significativo, como ya sabíamos que iba a suceder por el análisis realizado. Ante esta situación, y al encontrar la diferencia de medias significativa, podemos concluir que **cuando se aplica a la mezcla asfáltica el 1% de caucho se obtiene una mejor respuesta en la estabilidad.**

**b. Variable respuesta: Flujo**

✓ **Criterio de Normalidad.**

**Tabla 5.8:** Prueba de Normalidad para la variable Flujo

	% caucho	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo	1% caucho	,362	3	.	,805	3	,127
	2% caucho	,350	3	.	,829	3	,187
	3% caucho	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

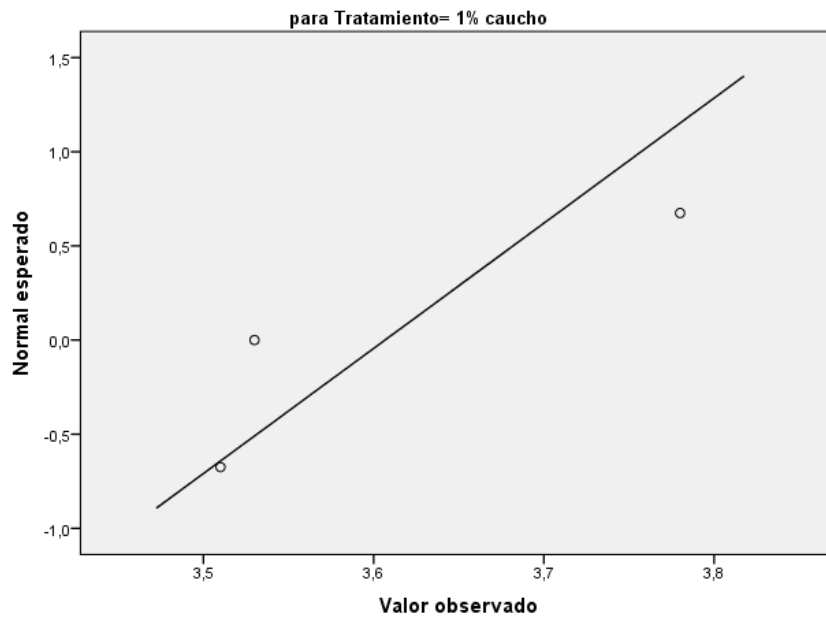
**Fuente:** Elaboración propia.

Se nos muestra las pruebas de normalidad que lleva a cabo el programa SPSS. Nos hemos de fijar en la significación estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución si en los tres grupos el nivel de "p" es no significativo (esto es,  $p > 0,05$ ). Entonces podemos asumir la normalidad de la variable cuantitativa "Flujo" en los grupos.

A continuación, se grafica la distribución normal para la variable Flujo para cada porcentaje de caucho (1%, 2% y 3%)

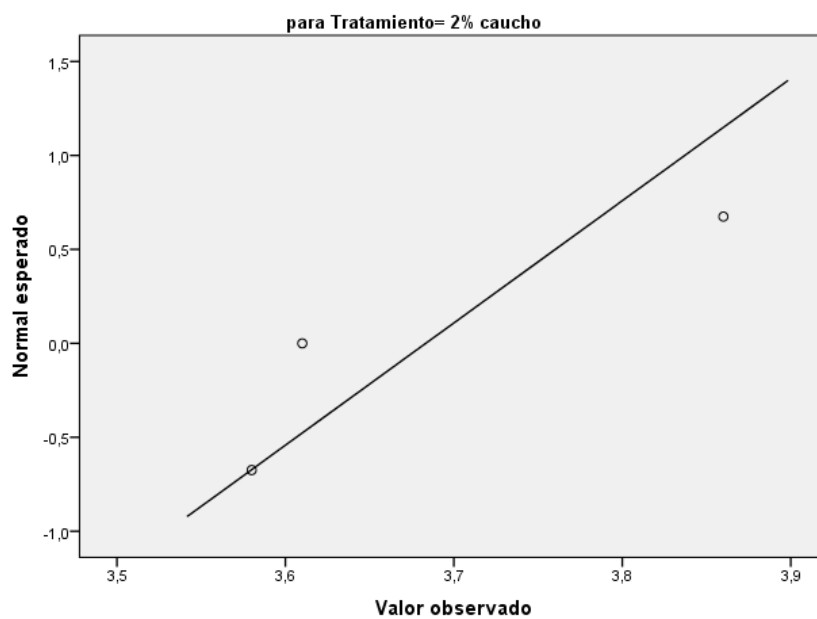


**Figura 5.4:** Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 1% de caucho



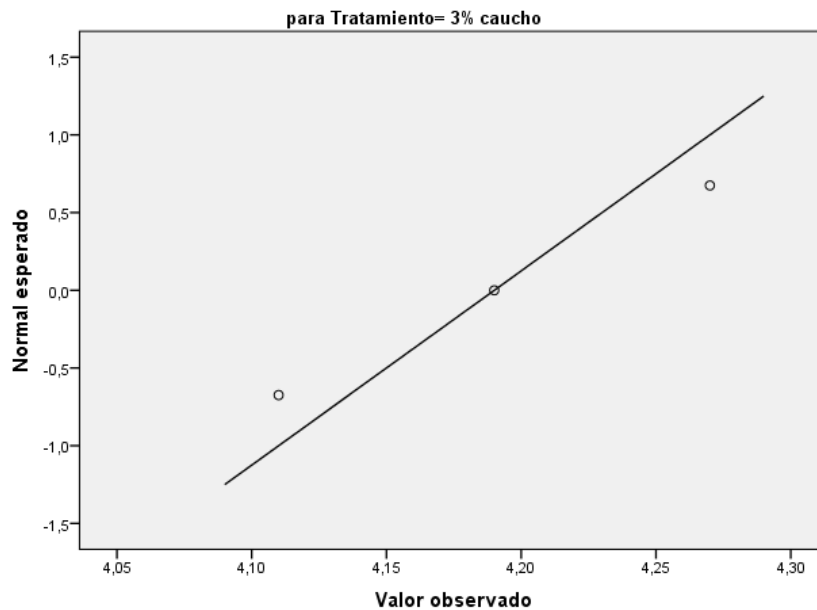
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 5.5:** Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 2% de caucho



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 5.6:** Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 3% de caucho



**Fuente:** Elaboración propia.

Tenemos una representación gráfica de la distribución de la variable cuantitativa (Flujo), y nos sirve para una aproximación visual al contraste de hipótesis, que planteará como hipótesis nula ( $H_0$ ) "que la distribución es normal en los grupos".

✓ **Criterio de Homocedasticidad.**

**Tabla 5.9:** Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable Flujo

Flujo			
Estadístico de			
Levene	gl1	gl2	Sig.
1,593	2	6	,279

**Fuente:** Elaboración propia.

Una prueba de homogeneidad de varianzas (la prueba de Levene). El programa hace un contraste y nos aporta una significación estadística, o valor "p" asociado a la hipótesis nula de que "las varianzas son homogéneas para la Variable Flujo". Cuando ese valor "p" es no significativo ( $p > 0,05$ ) podemos confirmar la homogeneidad de varianzas. En esta ocasión el valor para "p" es de 0.279, por lo cual aceptamos la hipótesis nula.

Por último, evaluamos el ANOVA, el cual nos sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba contrasta la hipótesis  $H_0$  (hipótesis nula) de que “No existen diferencias significativas entre los grupos”

**Tabla 5.10:** Prueba de ANOVA para la variable Flujo

Flujo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,603	2	,301	17,170	,003
Dentro de grupos	,105	6	,018		
Total	,708	8			

**Fuente:** Elaboración propia.

Para llevar a cabo el contraste, se recurre al estadístico F de Snedecor, que en nuestro caso sale 17.170 y tiene un valor “p” asociado de 0.003 (significativo). Con esto concluiríamos nuestra evaluación, diciendo que “Si existen diferencias significativas entre los grupos”.

✓ **Post Hoc (Prueba de Contraste).**

Por lo tanto, cumpliendo con los dos criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, procedemos a aplicar la prueba estadística de Bonferroni.

**Tabla 5.11:** Comparación múltiple para la variable Flujo

Variable dependiente: Flujo

Bonferroni

(I) % caucho	(J) % caucho	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1% caucho	2% caucho	-,07667	,10818	1,000	-,4323	,2790
	3% caucho	-,58333*	,10818	,005	-,9390	-,2277
2% caucho	1% caucho	,07667	,10818	1,000	-,2790	,4323
	3% caucho	-,50667*	,10818	,010	-,8623	-,1510
3% caucho	1% caucho	,58333*	,10818	,005	,2277	,9390
	2% caucho	,50667*	,10818	,010	,1510	,8623

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Fuente:** Elaboración propia.

En el cuadro de comparaciones múltiples vemos que cada grupo de flujo de acuerdo con el porcentaje de caucho se compara con los otros dos, obteniéndose en cada contraste la diferencia de medias, el IC95%, el error estándar y el valor "p" asociado, que en los casos de contraste entre el 1% y 3% de caucho es significativo, pero como se pretende reducir la variable flujo, se determinó que el 1% es quien minimiza la deformación en la mezcla asfáltica. Ante esta situación, y al encontrar la diferencia de medias significativa, podemos concluir que **cuando se aplica a la mezcla asfáltica el 1% de caucho se obtiene una mejor respuesta en el flujo.**

**c. Variable respuesta: %Vacíos de aire**

✓ **Criterio de Normalidad.**

**Tabla 5.12:** Prueba de Normalidad para la variable %Vacíos de aire

	% caucho	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% vacíos de aire	1% caucho	,232	3	.	,980	3	,726
	2% caucho	,226	3	.	,984	3	,754
	3% caucho	,256	3	.	,962	3	,625

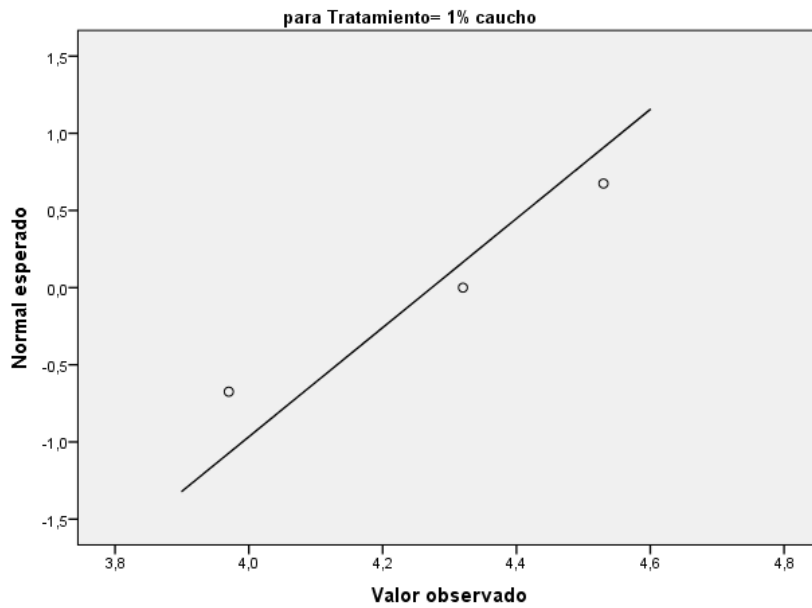
a. Corrección de significación de Lilliefors

**Fuente:** Elaboración propia.

Se nos muestra las pruebas de normalidad que lleva a cabo el programa SPSS. Nos hemos de fijar en la significación estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución si en los tres grupos el nivel de "p" es no significativo (esto es,  $p > 0,05$ ). En nuestro ejemplo podemos asumir la normalidad de la variable cuantitativa "%Vacíos de aire" en los grupos.

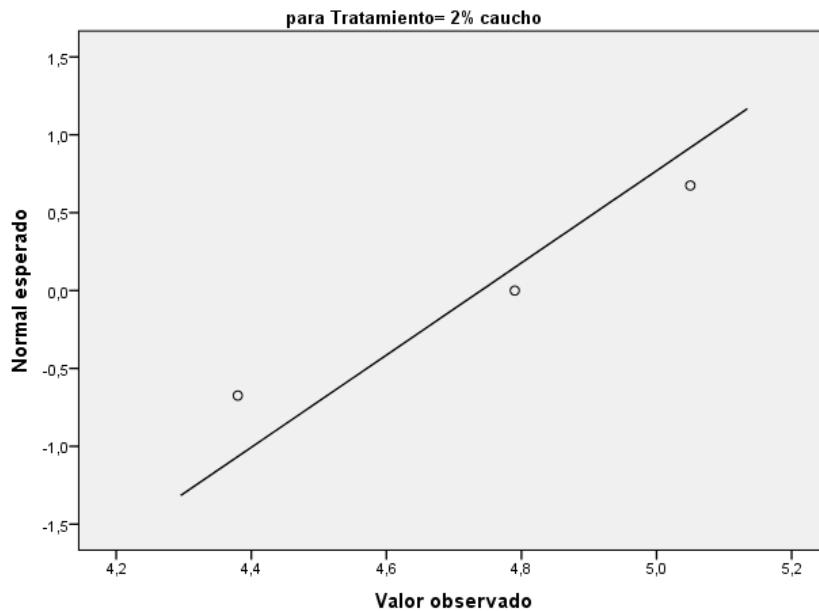
A continuación, se grafica la distribución normal para la variable %Vacíos de aire para cada porcentaje de caucho (1%, 2% y 3%)

**Figura 5.7:** Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 1% de caucho



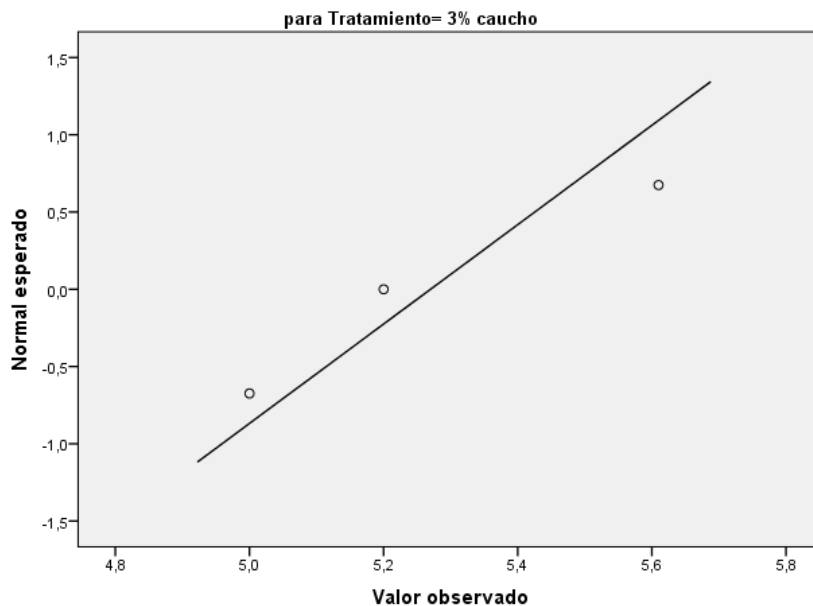
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 5.8:** Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 2% de caucho



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 5.9:** Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 3% de caucho



**Fuente:** Elaboración propia.

Tenemos una representación gráfica de la distribución de la variable cuantitativa (%Vacíos de aire), y nos sirve para una aproximación visual al contraste de hipótesis, que planteará como hipótesis nula ( $H_0$ ) “que la distribución es normal en los grupos”.

✓ **Criterio de Homocedasticidad.**

**Tabla 5.13:** Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable %Vacíos de aire

% vacíos de aire			
Estadístico de			
Levene	gl1	gl2	Sig.
,050	2	6	,952

**Fuente:** Elaboración propia.

Una prueba de homogeneidad de varianzas (la prueba de Levene). El programa hace un contraste a través del estadístico F de Snedecor y nos aporta una significación estadística, o valor “p” asociado a la hipótesis nula de que “*las varianzas son homogéneas para la Variable %Vacíos de aire*”. Cuando ese valor “p” es no significativo ( $p > 0,05$ ) podemos confirmar la homogeneidad de varianzas. En esta ocasión el valor para “p” es de 0.952, por lo cual aceptamos la hipótesis nula.

Por último, evaluamos el ANOVA, el cual nos sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba contrasta la hipótesis  $H_0$  (hipótesis nula) de que “No existen diferencias significativas entre los grupos”

**Tabla 5.14:** Prueba de ANOVA para la variable %Vacíos de aire

% vacíos de aire

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,492	2	,746	7,695	,022
Dentro de grupos	,582	6	,097		
Total	2,074	8			

**Fuente:** Elaboración propia.

Para llevar a cabo el contraste, se recurre al estadístico F de Snedecor, que en nuestro caso sale 7.695 y tiene un valor “p” asociado de 0.022 (significativo). Con esto concluiríamos nuestra evaluación, diciendo que “Si existen diferencias significativas entre los grupos”.

✓ **Post Hoc (Prueba de Contraste).**

Por lo tanto, cumpliendo con los dos criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, procedemos a aplicar la prueba estadística de Bonferroni.

**Tabla 5.15:** Comparación múltiple para la variable %Vacíos de aire

Variable dependiente: % vacíos de aire

Bonferroni

(I) % caucho	(J) % caucho	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1% caucho	2% caucho	-,46667	,25422	,348	-1,3024	,3691
	3% caucho	-,99667*	,25422	,023	-1,8324	-,1609
2% caucho	1% caucho	,46667	,25422	,348	-,3691	1,3024
	3% caucho	-,53000	,25422	,247	-1,3657	,3057
3% caucho	1% caucho	,99667*	,25422	,023	,1609	1,8324
	2% caucho	,53000	,25422	,247	-,3057	1,3657

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Fuente:** Elaboración propia.

En el cuadro de comparaciones múltiples vemos que cada grupo de %vacíos de aire de acuerdo al porcentaje de caucho se compara con los otros dos, obteniéndose en cada contraste la diferencia de medias, el IC95%, el error estándar y el valor "p" asociado, que en los casos de contraste entre el 1% y 3% de caucho es significativo, pero como se pretende reducir la %vacíos de aire, se determinó que el 1% es quien minimiza el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica. Ante esta situación, y al encontrar la diferencia de medias significativa, podemos concluir que **cuando se aplica a la mezcla asfáltica el 1% de caucho se obtiene una mejor respuesta en el %vacíos de aire.**

**d. Variable respuesta: Vacíos en el agregado mineral (VMA)**

✓ **Criterio de Normalidad.**

**Tabla 5.16:** Prueba de Normalidad para la variable %VMA

	% caucho	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
% VMA	1% caucho	,236	3	.	,977	3	,710
	2% caucho	,221	3	.	,986	3	,773
	3% caucho	,256	3	.	,962	3	,623

a. Corrección de significación de Lilliefors

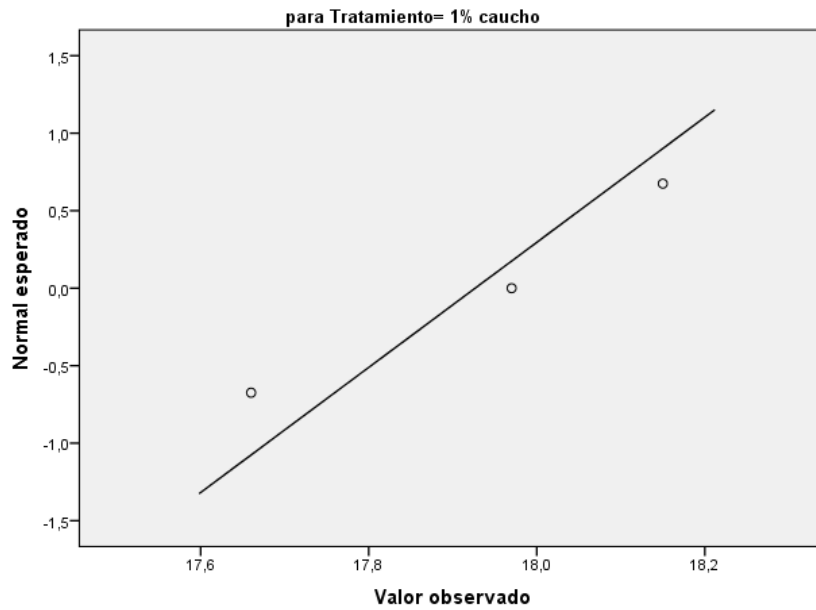
**Fuente:** Elaboración propia.

Se nos muestra las pruebas de normalidad que lleva a cabo el programa SPSS. Nos hemos de fijar en la significación estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución si en los tres grupos el nivel de "p" es no significativo (esto es,  $p > 0,05$ ). En nuestro ejemplo podemos asumir la normalidad de la variable cuantitativa "%VMA" en los grupos.

A continuación, se grafica la distribución normal para la variable %VMA para cada porcentaje de caucho (1%, 2% y 3%)

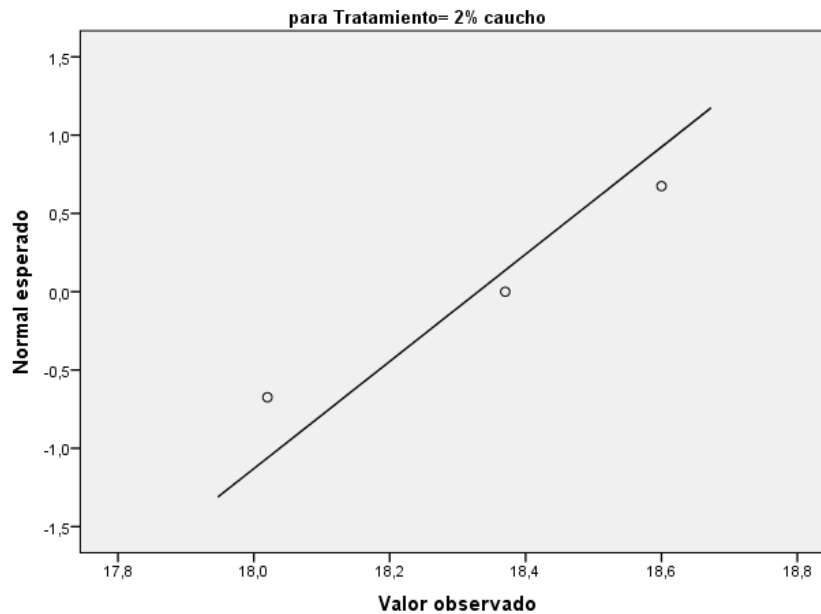


**Figura 5.10:** Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 1% de caucho



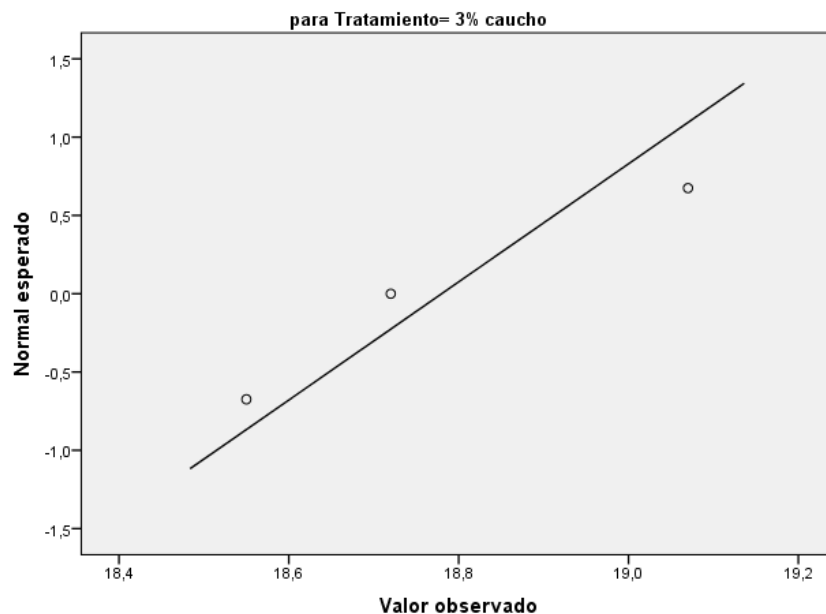
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5.11:** Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 2% de caucho



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5.12:** Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 3% de caucho



**Fuente:** Elaboración propia.

Tenemos una representación gráfica de la distribución de la variable cuantitativa (%Vacíos en el agregado mineral), y nos sirve para una aproximación visual al contraste de hipótesis, que planteará como hipótesis nula ( $H_0$ ) “que la distribución es normal en los grupos”.

✓ **Criterio de Homocedasticidad.**

**Tabla 5.17:** Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable %VMA

% VMA			
Estadístico de			
Levene	gl1	gl2	Sig.
,038	2	6	,963

**Fuente:** Elaboración propia.

Una prueba de homogeneidad de varianzas (la prueba de Levene). El programa hace un contraste a través del estadístico F de Snedecor y nos aporta una significación estadística, o valor “p” asociado a la hipótesis nula de que “*las varianzas son homogéneas para la Variable %VMA*”. Cuando ese valor “p” es no significativo ( $p > 0,05$ ) podemos confirmar la homogeneidad de varianzas. En esta ocasión el valor para “p” es de 0.963, por lo cual aceptamos la hipótesis nula.

Por último, evaluamos el ANOVA, el cual nos sirve para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Esta prueba contrasta la hipótesis  $H_0$  (hipótesis nula) de que “No existen diferencias significativas entre los grupos”

**Tabla 5.18:** Prueba de ANOVA para la variable %VMA

% VMA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1,093	2	,547	7,557	,023
Dentro de grupos	,434	6	,072		
Total	1,527	8			

**Fuente:** Elaboración propia.

Para llevar a cabo el contraste, se recurre al estadístico F de Snedecor, que en nuestro caso sale 7.557 y tiene un valor “p” asociado de 0.023 (significativo). Con esto concluiríamos nuestra evaluación, diciendo que “Si existen diferencias significativas entre los grupos”.

✓ **Post Hoc (Prueba de Contraste).**

Por lo tanto, cumpliendo con los dos criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, procedemos a aplicar la prueba estadística de Bonferroni.

**Tabla 5.19:** Comparación múltiple para la variable %VMA

Variable dependiente: % VMA

Bonferroni

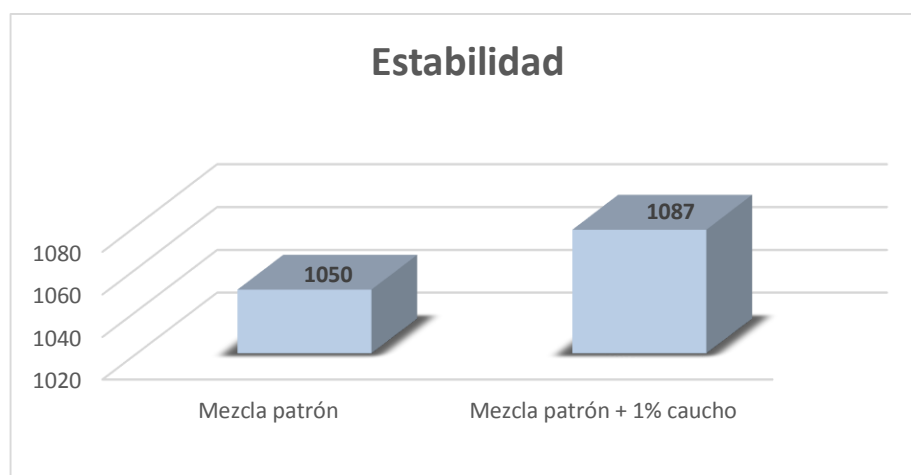
(I) % caucho	(J) % caucho	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1% caucho	2% caucho	-,40333	,21961	,348	-1,1253	,3186
	3% caucho	-,85333*	,21961	,024	-1,5753	-,1314
2% caucho	1% caucho	,40333	,21961	,348	-,3186	1,1253
	3% caucho	-,45000	,21961	,259	-1,1720	,2720
3% caucho	1% caucho	,85333*	,21961	,024	,1314	1,5753
	2% caucho	,45000	,21961	,259	-,2720	1,1720

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

**Fuente:** Elaboración propia.

En el cuadro de comparaciones múltiples vemos que cada grupo de flujo de acuerdo al porcentaje de caucho se compara con los otros dos, obteniéndose en cada contraste la diferencia de medias, el IC95%, el error estándar y el valor "p" asociado, que en los casos del 3% de caucho con el 1% y 2% de caucho es significativo, sin embargo se aprecia que los tres porcentaje de caucho aumentan la relación de vacíos en el agregado mineral, en esta ocasión se opta por 1% debido a que en los demás parámetros anteriormente analizados este porcentaje es quien brinda mejores propiedades a la mezcla asfáltica. Ante esta situación, podemos concluir que **cuando se aplica a la mezcla asfáltica el 1% de caucho se obtiene una mejor respuesta en el %VMA.**

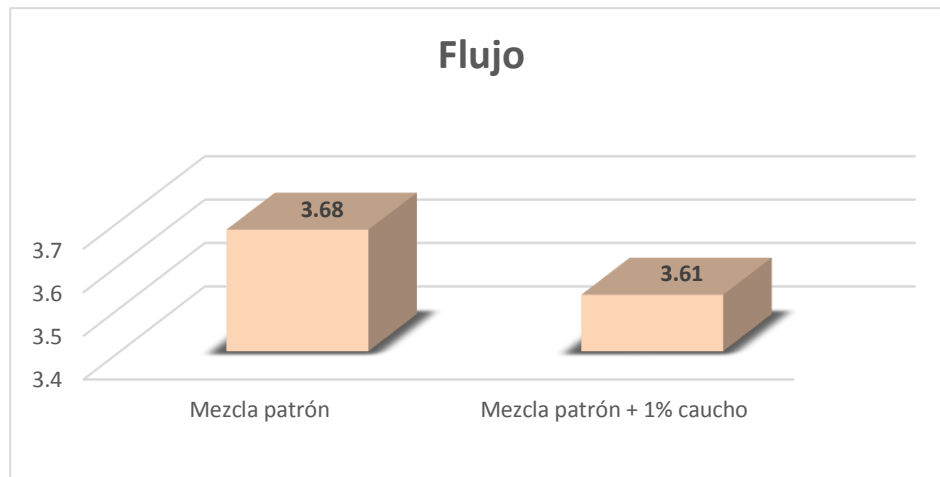
Se determinó que el porcentaje de caucho de 1%, es quien obtiene mejoras para los parámetros Marshall, del mismo modo se aprecia que todos los valores cumplen con los requerimientos de los parámetros Marshall exigidos por el Manual de Carreteras del MTC. A continuación, se grafica un versus de los parámetros entre la mezcla asfáltica convencional (patrón) y la mezcla asfáltica con 1% de caucho reciclado, para una mayor visualización.



**Figura 5.13:** Comparación de la estabilidad entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho

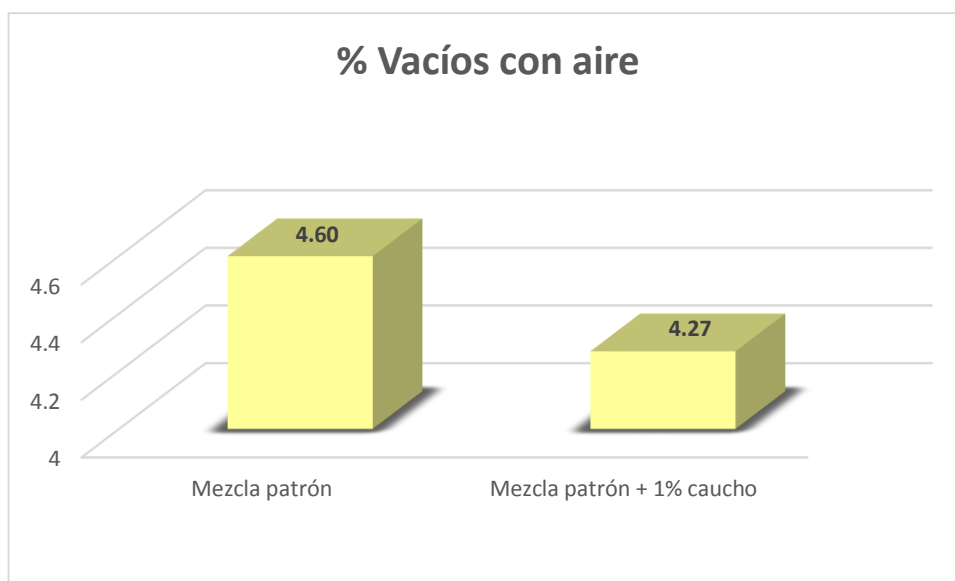
**Fuente:** *Elaboración propia.*

Para la mezcla asfáltica con 1% de caucho, con respecto al parámetro de la estabilidad en comparación a la mezcla convencional, aumenta en 3.52% dicha propiedad, la cual es la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito, logrando un pavimento estable, capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, mientras que un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla. El valor obtenido de estabilidad mejorado con caucho es aceptable para un diseño de pavimentos, pero cabe recalcar que no se debe exagerar con valores altos de estabilidad ya que pueden producir pavimentos demasiados rígidos y, por tanto, menos durable.



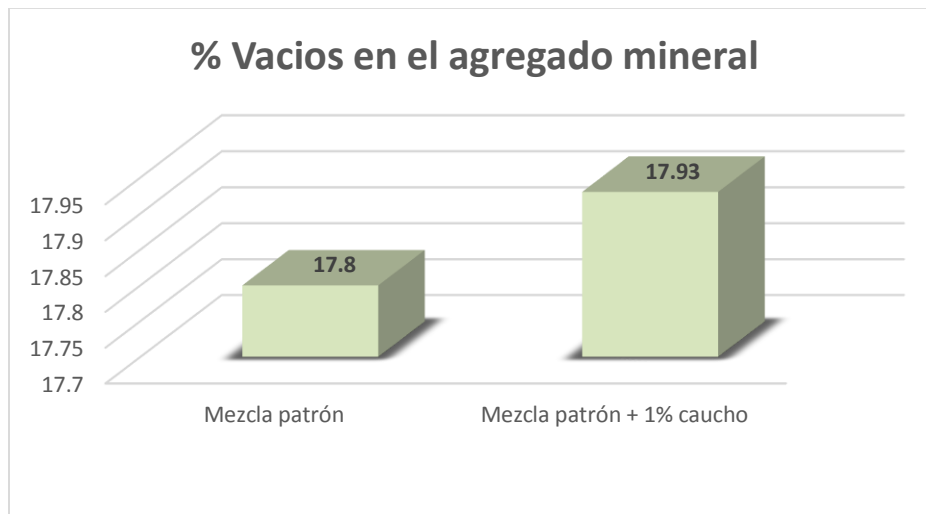
**Figura 5.14:** Comparación del flujo entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho  
**Fuente:** *Elaboración propia.*

El parámetro de flujo para la mezcla asfáltica con 1% de caucho, disminuye en 1.90% con respecto a la mezcla asfáltica convencional, lo cual representa que la deformación de la probeta ha disminuido bajo una carga que ocurre en la mezcla, pero dichos valores tampoco deben sobrepasar el límite inferior, ya que se considera demasiado rígido el pavimento, del mismo modo, el límite superior tampoco debe ser excedido debido a que la mezcla se considera demasiado plástica o inestable.



**Figura 5.15:** Comparación del % vacíos con aire entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho  
**Fuente:** *Elaboración propia.*

El porcentaje de vacíos con aire, para la mezcla asfáltica con 1% de caucho es de 4.27%, obteniendo una disminución del 7.17% en relación con la mezcla asfáltica convencional. Este parámetro es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. También la durabilidad de un pavimento asfáltico está relacionada con el porcentaje de vacíos, esto se debe a que mientras menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto.



**Figura 5.16:** Comparación del % vacíos en el agregado mineral entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho

**Fuente:** *Elaboración propia.*

En la figura 5.16 se observa que el parámetro de porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) de la mezcla asfáltica con 1% de caucho aumentó en 0.73% con respecto a la mezcla asfáltica convencional, dicho valor representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VAM más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

## 5.2. Análisis Comparativos de Costos Unitarios

Para el análisis de costos unitarios de la partida correspondiente, son necesario las cantidades de los materiales que intervienen, los cuales fueron calculados y se encuentran detallados en el Anexo 32.

En los anexos 33 y 34 presentamos los análisis de unitarios para 1 m<sup>2</sup> de Carpeta asfáltica convencional en caliente de 2" y una carpeta asfáltica mejorada con caucho de llanta reciclada. El cual se puede resumir en lo siguiente.

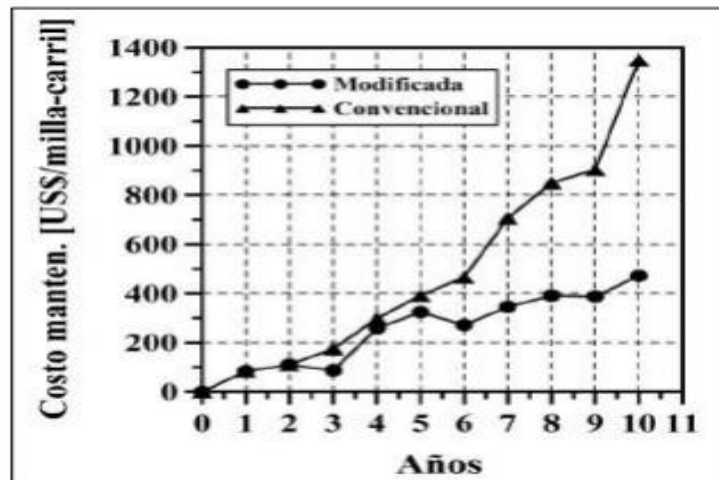
**Tabla 5.20:** Análisis de costos unitarios

Análisis de costo unitario	
Descripción	Precio x m <sup>2</sup>
Carpeta asfáltica en caliente de 2"	S/ 27.26
Carpeta asfáltica en caliente de 2" con 1% de caucho de llanta	S/ 29.93

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 5.20 el costo de una carpeta asfáltica en caliente mejorada con 1% de caucho de llanta, excede en 9.79% al costo de una carpeta asfáltica en caliente convencional. Sin embargo, las carreteras pavimentadas con asfalto convencional requieren de mantenimiento cada cierto tiempo; gracias a la resistencia al agrietamiento y envejecimiento por el asfalto modificado con caucho, las carreteras experimentan una vida útil más larga, reduciendo los costos de mantenimiento, es en este punto donde se valora el beneficio-costos de la idea de implementar este tipo de mezclas asfálticas modificadas con caucho de llanta.

Finalmente, las mezclas asfálticas con caucho de llanta son más durables y por ende con menor necesidad de mantenimiento. En la figura 5.17 se resalta la disminución de costos en el tiempo por mantenimiento.



**Figura 5.17:** Costos de mantenimiento (mezclas modificadas con caucho de llanta y convencionales)  
**Fuente:** Way (1999).

### 5.3. Análisis ambiental de la Huella de carbono

El ministerio del Ambiente define a la huella de carbono como el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se generan por las diversas actividades humanas y económicas.

La Huella de carbono permite: Cuantificar o medir la contribución de las actividades humanas sobre el cambio climático, buscar las formas y opciones más adecuadas para reducir o neutralizar estas emisiones, ya sea en la misma actividad o con otra que genere capturas o reducciones similares.

En el estudio realizado por Alberto López, en la ciudad de España, sobre “La huella de carbono de un componente del automóvil” indica que la emisión de CO<sub>2</sub> generado por una llanta, en este caso, hablamos de una llanta de 16 pulgadas usada comúnmente en autos, la cual por cada kg de llanta genera 1,056 kgCO<sub>2</sub>. Entonces para un 1 Km de carpeta asfáltica de 2” con una calzada compuesta por dos carriles de 3.30 m por cada uno, nos da una superficie de 6,600.00 m<sup>2</sup>, para la cual se necesita 0.7422 kg de polvo de caucho de llanta por m<sup>2</sup>, obteniendo 4,898.52 kg de polvo de caucho de llanta. A continuación, se presenta un cuadro con los datos resultantes.



**Tabla 5.21:** Cálculo de huella de carbono

DESCRIPCIÓN	DATOS
Longitud de carretera	1,000.00 m
Ancho de calzada	6.60 m
Superficie de carpeta asfáltica	6,600.00 m <sup>2</sup>
Cantidad de polvo de caucho por m <sup>2</sup>	0.7422 kg/m <sup>2</sup>
Cantidad total de polvo de caucho	4,898.52 kg
Huella de carbono por kg de una llanta	1.056 kgCO <sub>2</sub>
<b>Huella de carbono total generada</b>	<b>5,172.83 kgCO<sub>2</sub></b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Finalmente, de la Tabla 5.21 obtenemos que la reducción de la huella de carbono para un 1 km de carpeta asfáltica en caliente es de 5,172.83 kgCO<sub>2</sub>, generando un aporte significativo con respecto a la reducción de gases que afectan nuestro medio ambiente, y dándole una solución a esta problemática mediante el uso de llantas recicladas en mezclas asfálticas en caliente, promoviendo mecanismos de retribución al ecosistema, estableciendo esquemas, herramientas, instrumentos e incentivos para lograr un desarrollo sostenible.

## CONCLUSIONES

1. Esta investigación evaluó el comportamiento de la incorporación de polvo de caucho de llantas recicladas en mezclas asfálticas en caliente, teniendo en cuenta sus parámetros Marshall para un diseño eficaz, logrando que dicha mezcla mejore sus propiedades y contribuyendo en la solución del problema ambiental que generan las llanta desechadas al finalizar su vida útil, generando un desarrollo sostenible, incentivando la aplicación de materiales reciclados para la pavimentación, logrando que tengan un mejor uso y generando un pensamiento ambiental en la sociedad.
2. De acuerdo con la granulometría realizada se determinó las siguientes proporciones de los agregados para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.
  - Piedra chancada 3/4": **40%**
  - Arena chancada 3/8": **40%**
  - Arena zarandeada 3/8": **20%**
3. Se estableció que el contenido óptimo de cemento asfáltico PEN 60-70 es de **5.8%**, para la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente
4. Se realizó la incorporación de 1%,2% y 3% de caucho de llanta en las mezclas asfálticas en caliente mediante el proceso de vía seca, con una temperatura y tiempo de digestión de 170°C y dos horas respectivamente.
5. Se determinó el valor óptimo de caucho de llanta para mejorar la mezcla asfáltica en caliente es de **1%**, como reemplazo del agregado fino.
6. Se comparó los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica convencional versus la mezcla asfáltica + 1% de caucho de llanta, y en ésta se obtuvo en la estabilidad un incremento en el 2.67%, en el flujo se halló una disminución del 4.08%, el % de vacíos con aire se logró una reducción del 7.17%, mientras que el % de vacíos en el agregado mineral incrementó en 0.73%. De esta manera se logró mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente mediante la incorporación de 1% de caucho de llanta reciclada.
7. Se logró reducir la huella de carbono de las llantas en 5,172.83 kgCO<sub>2</sub> para un 1 km de carpeta asfáltica en caliente, logrando un beneficio para el medio ambiente y al mismo modo generando un desarrollo sostenible, promoviendo el pensamiento verde sobre productos reciclados.

## RECOMENDACIONES

1. Para futuras investigaciones se recomienda evaluar diferentes porcentajes de caucho tales como 0.5%, 1.5% y 2.5% en reemplazo del agregado fino, para evaluar los parámetros Marshall cumpliendo con los requerimientos exigidos por el Manual de Carreteras del MTC.
2. En los próximos estudios se debería usar una granulometría más fina para el caucho, en esta investigación se usó material que retiene a partir de la malla N°08, por lo que se recomienda tener material retenido desde la malla N°30, y evaluar su comportamiento en las mezclas asfálticas.
3. Realizar un control y seguimiento para la mezcla asfáltica y a su vez de los componentes de la estructura del pavimento, siendo necesario tomar muestras del material para analizar sus comportamientos en laboratorio, para verificar que sus parámetros cumplan antes y después de la construcción del pavimento. Se debe analizar el rendimiento de la deformación permanente, la fatiga, la resistencia a la fisuración por temperatura en la compactación.
4. Durante el proceso de la elaboración de la mezcla asfáltica con caucho de llanta, es importante el seguimiento y control en la producción de estas mezclas, con el propósito de incorporar las cantidades óptimas de agregados, de cemento asfáltico y de caucho de llanta reciclado, teniendo como fin de reducir costos innecesarios y alcanzar una calidad adecuada para los requerimientos del proyecto.
5. Incentivar a la sociedad sobre la investigación para el aumento de documentación sobre los análisis de costos y estándares más detallados y aplicables a diferentes zonas de nuestro país, debido a la gran variedad de características representativas que representa cada región, variando así la temperatura, el tráfico en circulación, geometría y clima.
6. Se recomienda que para futuras investigaciones se debería realizar el diseño de mezclas asfálticas teniendo como referencia a los ensayos Superpave, con el fin de evaluar las mejoras del comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente con respecto a la fatiga.

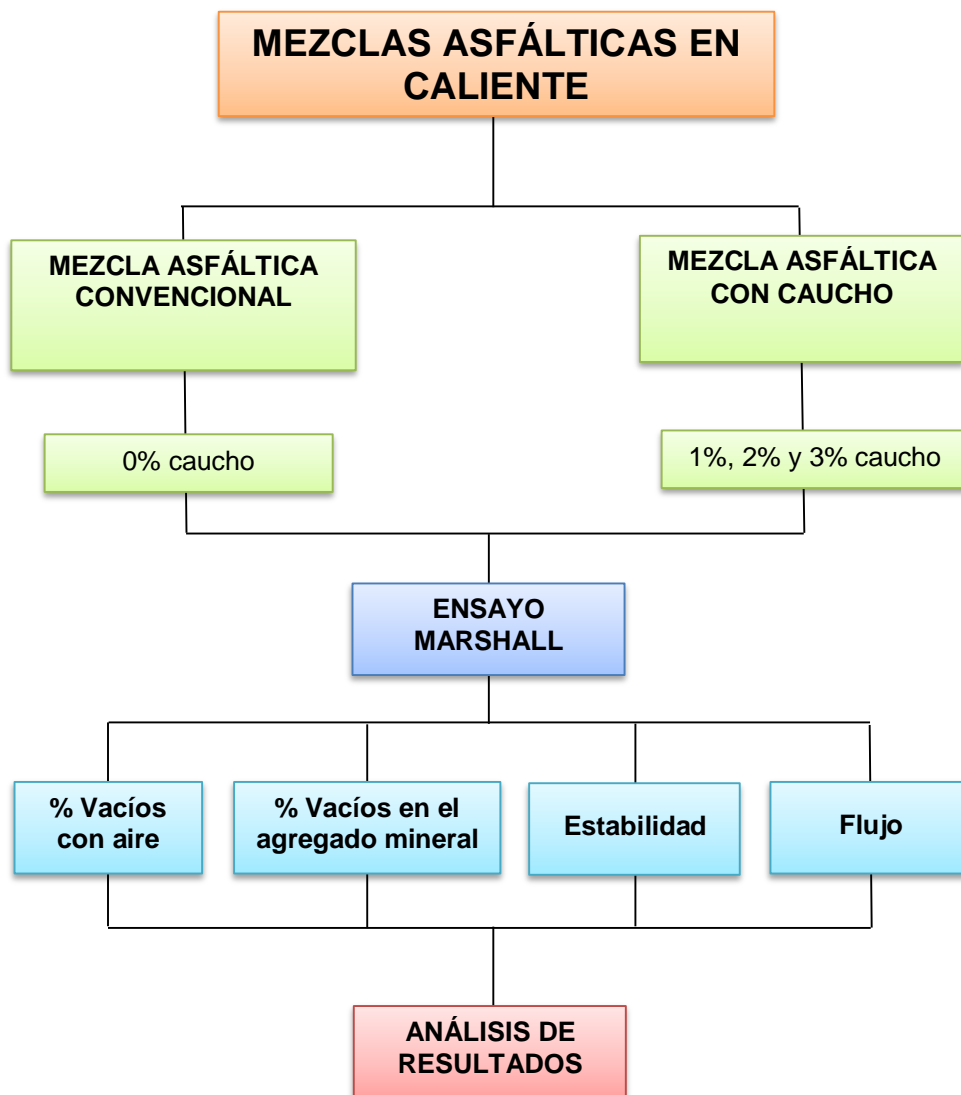
## REFERENCIAS

- Angulo, R. (2005). *Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Barrientos, B. (2010). *Utilización del grano de caucho proveniente de llantas en mezclas asfálticas en caliente*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia.
- Bisso Fernández R. (Octubre, 2009). *Pavimentos flexibles amigables*. Ponencia en el XI Congreso Nacional del Asfalto y II Congreso Nacional de Concreto. Lima.
- Chavéz, J. (2005). *Estudio de factibilidad técnico - económica entre un pavimento de asfalto convencional y uno modificado con agregado de caucho*. (Tesis de maestría). Instituto tecnológico de la construcción, Chihuahua, México.
- Delarze, P. (2008). *Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Constructor). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Diaz, C. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) Proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas Asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.
- Fajardo, L. & Vergaray, D. (2014). *Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Guevara, J. & Ruiz, C. (2016) "Análisis comparativo de áridos del sector el Milagro estabilizados con asfalto de caucho reciclado y asfalto convencional para capas bases". (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad de Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Hernández, Y. (2004). *Asfalto Ahulado*. (Tesis de licenciatura). Instituto tecnológico de la construcción, Ciudad de México (D.F.), México.
- Huamán, N. (2011). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú*. (Tesis para optar el grado

- académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportes). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Instituto del Asfalto (1982). Principios de Construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Estados Unidos
  - Instituto de Construcción y Gerencia (2000). Manual de ensayos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (EM – 2000) [Disco compacto]. Lima, Perú.
  - López, A. (2014). *Estudio de la huella de carbono de un componente del automóvil*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero en Organización Industria). Universidad Politécnica de Cataluña, España.
  - Ministerio de Fomento y Medio Ambiente (2007). Manual de empleo de caucho de NFU (neumáticos fuera de uso) en mezclas bituminosas. España.
  - Ministerio de Transportes y comunicaciones (2013). Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción de Carreteras-EG-2013. Lima, Perú.
  - Ramírez, A., Ladino, I. & Rosas, J. (2014). *Diseño de mezcla asfáltica con asfalto caucho tecnología gap graded para la ciudad de Bogotá*. (Tesis para obtener el título de Especialista en Pavimentos). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
  - Ramírez, N. (2006). *Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
  - Salcedo, C. (2008). *Experiencia de Modificación de Cemento Asfáltico con Polímeros SBS en Obra*. (Tesis para optar el Grado de Máster en Ingeniería Civil). Universidad de Piura, Perú.
  - Salinas, P. (2009). *Aplicación de micropavimento usando asfalto modificado con polímero en la vía Sullana-Aguas Verdes*. (Tesis para obtener el título de Ingeniera Civil). Universidad de Piura, Perú.
  - Salvatierra, J. (2014). *Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta - Ayacucho*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Químico). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú.

## ANEXOS

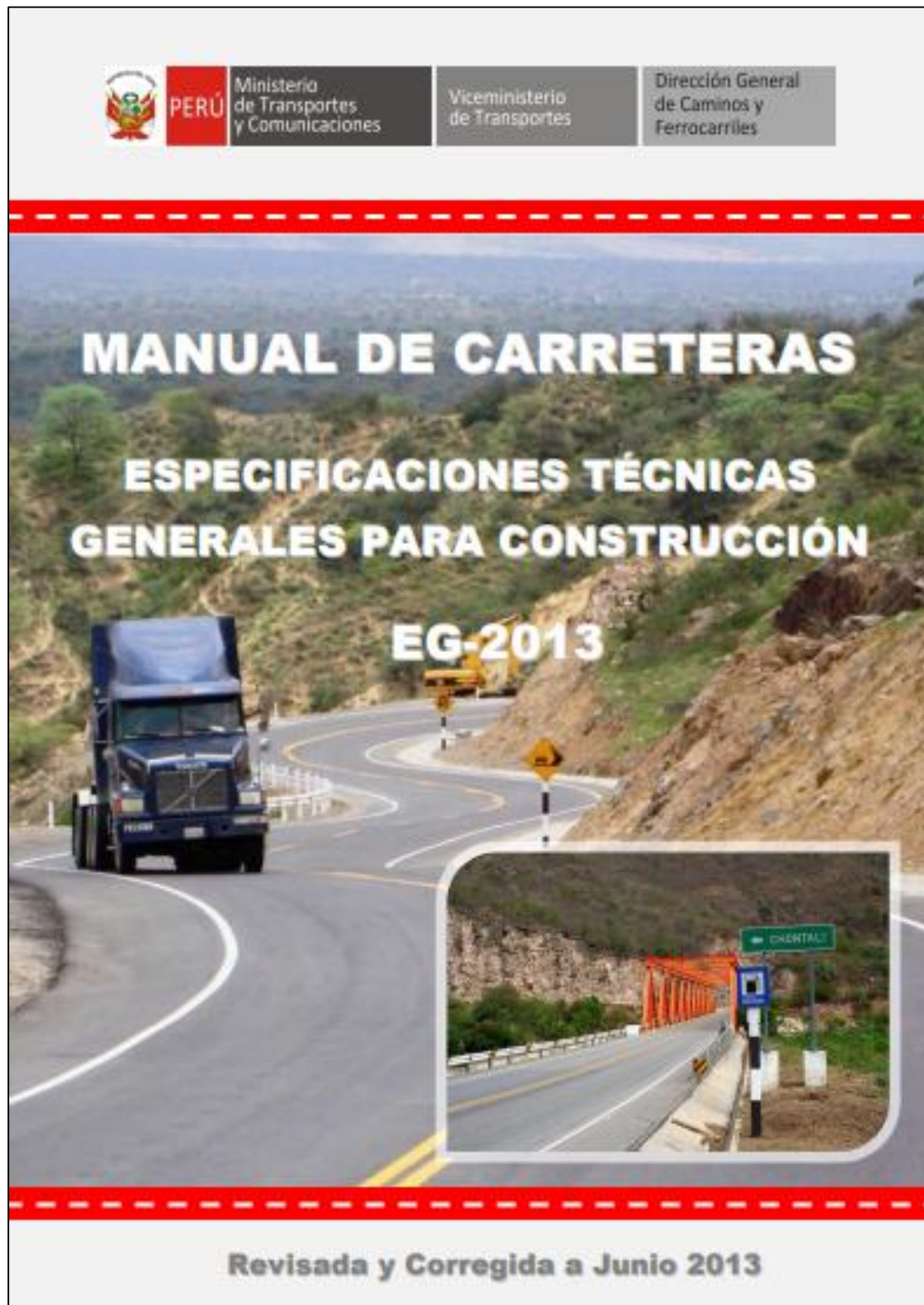
### ANEXO N°1. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN



**Figura 6.1:** Diagrama de Flujo para la Recolección de Información

Fuente: *Elaboración Propia.*

**ANEXO N°2. MANUAL DE CARRETERAS DEL MTC**



Fuente: Elaboración propia


**ANEXO N°3. MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES DEL MTC**




Fuente: Elaboración propia



**ANEXO N°4. ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO**



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
 RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
 Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
 Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
 NORMA AASHTO T-27, ASTM D422

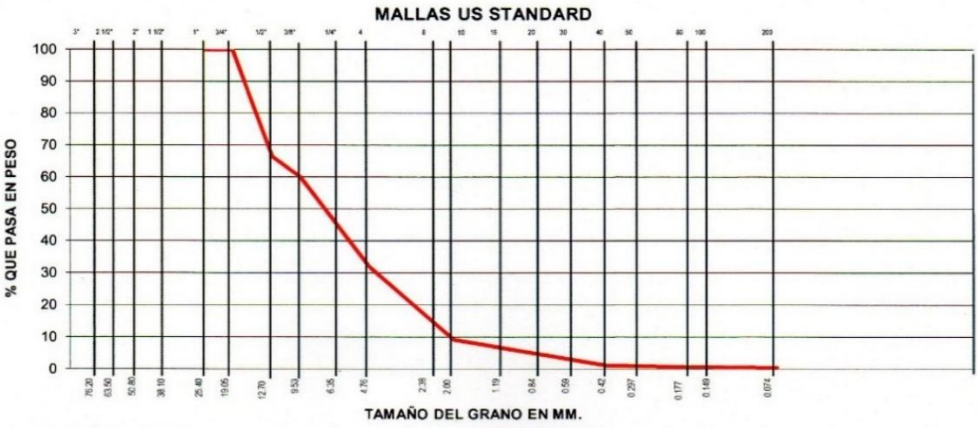
PROYECTO	"Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"				
MATERIAL	: Agregado grueso para mezcla asfáltica en caliente				
CANTERA	: San Martín.		RESP. LAB :	S.B.F.	
			TEC. LAB :	S.A.C.M.	
SOLICITANTE	: Edwin Yair Soto Ávalos		FECHA :	Noviembre 2017	

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA : M - 1

Tamices ASTM	Abertura en mm	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Especificaciones	TAMAÑO MÁXIMO : 3/4"
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050			100.0		PESO TOTAL : 1500.0 gr
1/2"	12.700	503	33.5	66.5		
3/8"	9.525	97	6.5	60.0		
1/4"	6.350					
N° 4	4.760	417	27.8	32.2		P. HUMEDO : 200.0
N° 8	2.380					P. SECO : 198.0
N° 10	2.000	346	23.1	90.9		H. NATURAL : 1.0 %
N° 16	1.190					
N° 20	0.840					
N° 30	0.590					
N° 40	0.420	120	8.0	98.9		
N° 50	0.297					
N° 80	0.177	8.0	0.5	99.4		OBSERVACIONES :
N° 100	0.149					Piedra Chancada para Mezcla Asfáltica en caliente
N° 200	0.074	2.8	0.2	99.6		
PAN	6.2	0.4	100.0	0.0		
TOTAL	1500.00					
% PERDIDA						

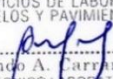
**MALLAS US STANDARD**



TAMAÑO DEL GRANO EN MM.


Observaciones Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio.

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Segundo A. Carranza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
RES. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°5. ENSAYO DE ABRASION DEL AGREGADO GRUESO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**DESGASTE POR ABRASIÓN LOS ÁNGELES  
MTC E 207, ASTM C-131**

**A) DATOS GENERALES:**

**DESCRIPCIÓN** : Agregado grueso para mezcla asfáltica en caliente

**UBICACIÓN** : Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos - UPN

**MATERIAL** : Piedra chancada 3/4"

**CANTERA** : San Martin

**FECHA** : Noviembre 2017

**RESPONSABLE** : Yair Soto Avalos

**TÉC. LAB.** : W.L.C.

TAMIZ		GRADACIÓN			
Pasante	Retenido	A	B	C	D
1 1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	1/2"		2500		
1/2"	3/8"		2500		
3/8"	1/4"				
1/4"	Nº 4				
Nº 4	Nº 8				
Peso Total (gr)			5000.0		
Peso retenido en el tamiz Nº 12 (gr)			3605.0		
Peso que pasa en el tamiz Nº 12 (gr)			1395.0		
Nº esferas			11		
Tiempo de revoluciones (minutos)			15		
Porcentaje de Abrasión			<b>27.90%</b>		

**Fuente:** Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°6. ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DETERMINACION DE CARAS FRACTURADAS  
MTC E 210, ASTM D-5821**

**A) DATOS GENERALES:**

**DESCRIPCIÓN** : Agregado grueso para mezcla asfáltica en caliente

**UBICACIÓN** : Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos - UPN

**MATERIAL** : Piedra chancada 3/4"

**CANTERA** : San Martín

**FECHA** : Noviembre 2017

**RESPONSABLE** : Yair Soto Avalos

**TÉC. LAB.** : W.L.C.

**A.- CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS:**


TAMAÑO DEL AGREGADO		MUESTRA TOTAL A (gr)	CARAS FRACTURADAS (B)	% CARAS FRACTURADAS [C=(B/A)*100]	PORCENTAJE PARCIAL (D)	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS [E=CxD]
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2913.0	2685.0	92.17	58.2	5362
1/2"	3/8"	2094.0	1905.0	90.97	41.8	3805
		5007.0			100.0	9167
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS ( $\sum E / \sum D$ ) :					<b>91.7%</b>	

**B.- CON UNA CARA FRACTURADA:**


TAMAÑO DEL AGREGADO		MUESTRA TOTAL A (gr)	CARAS FRACTURADAS (B)	% CARAS FRACTURADAS [C=(B/A)*100]	PORCENTAJE PARCIAL (D)	PROMEDIO CARAS FRACTURADAS [E=CxD]
Pasa tamiz	Retenido en tamiz					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"					
3/4"	1/2"	2913.0	2856.0	98.04	58.2	5704
1/2"	3/8"	2094.0	2012.0	96.08	41.8	4018
		5007.0			100.0	9722
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA ( $\sum E / \sum D$ ) :					<b>97.2%</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

ANEXO N°7. ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS DEL AGREGADO GRUESO



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emlaboratorios.com

**PORCENTAJE DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN LOS AGREGADOS**

NORMA ASTM D 4791

PROYECTO	"Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"		
MATERIAL	: Agregado grueso para mezcla asfáltica en caliente	RESP. LAB	: S.B.F.
CANTERA	: San Martín.	TEC. LAB.	: S.A.C.M.
SOLICITANTE	: Edwin Yair Soto Ávalos	FECHA	: Noviembre 2017

**PIEDRA CHANCADA TAMAÑO MAX. 3/4"**

MUESTRA : M - 1

INDICE DE APLANAMIENTO ( PARTICULAS CHATAS ) : NORMA ASTM D - 4791						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESOS EN GRAMOS		PORCENTAJE DE LAS CHATAS [ C = (B/A)*100 ]	PORCENTAJE PARCIAL ( D )	PROMEDIO DE PARTICULAS CHATAS [ E = CxD ]
PASA	TAMIZ	MUESTRA TOTAL ( A )	PARTICULAS CHATAS ( B )			
	1 1/2"					
	1"					
	3/4"					
	1/2"	436.0	27.0	6.2	44.3	274.1
	3/8"	548.0	17.0	3.1	55.6	172.6
<b>TOTAL</b>		<b>985.0</b>	<b>45.0</b>		<b>100.0</b>	<b>456.9</b>

PORCENTAJE PARTICULAS CHATAS ( ΣE / ΣD ) = 4.6 %

198

INDICE DE ALARGAMIENTO (PARTICULAS ALARGADAS) : NORMA ASTM D - 4791						
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESOS EN GRAMOS		PORCENTAJE DE LAS CHATAS [ C = (B/A)*100 ]	PORCENTAJE PARCIAL ( D )	PROMEDIO DE PARTICULAS ALARGADAS [ E = C*D ]
PASA	TAMIZ	MUESTRA TOTAL ( A )	PARTICULAS CHATAS ( B )			
	1 1/2"					
	1"					
	3/4"					
	1/2"	436.0	27.0	6.19	44.3	274.1
	3/8"	548.00	13.0	2.37	55.6	132.0
<b>TOTAL</b>		<b>985.0</b>	<b>41.0</b>		<b>100.0</b>	<b>416.2</b>


PORCENTAJE DE PARTICULAS ALARGADAS ( ΣE / ΣD ) = 4.2 %

**CONCLUSIÓN :**

PORCENTAJE DE PARTICULAS ALARGADAS ( ΣE / ΣD ) + PORCENTAJE PARTICULAS CHATAS ( ΣE / ΣD )	<b>= 8.7 %</b>
---	----------------


Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio.

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Segundo A. Cañarza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA


SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.




Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
RES. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°8. ENSAYO DE SALES SOLUBLES DEL AGREGADO GRUESO**



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS**  
(NORMA MTC-E- 219)


PROYECTO	: "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"		
MATERIAL	: Agregado grueso para mezcla asfáltica en caliente	RESP. LAB :	S.B.F.
CANTERA	: San Martín.	TEC. LAB. :	S.A.C.M.
SOLICITANTE	: Edwin Yair Soto Ávalos	FECHA	: Noviembre 2017

**AGREGADO GRUESO**

MUESTRA	IDENTIFICACION				Promedio
	1	2			
(1) Peso Tarro ( Biker 250 ml. ) Pyres	120.50	115.80			
(2) Peso Tarro + agua + sal	251.30	246.89			
(3) Peso Tarro Seco + sal	120.55	115.86			
(4) Peso de Sal ( 3 · 1)	0.05	0.06			
(5) Peso de Agua ( 2·3 )	130.75	131.03			
(6) Porcentaje de Sal	0.04	0.05			0.04


Observaciones Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio.

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C



Segundo A. Carranza Mejia  
TECNICO LABORATORISTA


SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.




Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 169278

**Fuente:** Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°9. ENSAYO DE ÍNDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO**



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**ÍNDICE DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO**

PROYECTO	: "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"		
MATERIAL	: Agregado grueso para mezcla asfáltica en caliente		
CANTERA	: San Martín.	RESP. LAB :	S. B. F.
SOLICITANTE	: Edwin Yair Soto Ávalos	TEC. LAB. :	S.A.C.M.
		FECHA :	Noviembre 2017

**DATOS DE LA MUESTRA**

MUESTRA	: M - 1
---------	---------

**ÍNDICE DE DURABILIDAD AGREGADO FINO  
MTC E 214**

TAMAÑOS DE MALLAS			PESO (gr.)	Agitación Muestra (10 minutos)	Contenido de Agua Destilada (ml)	Muestra Lata (ml.)
PASA	RETENIDO					

DESCRIPCION	IDENTIFICACION			
	N° DE ENSAYO	1	2	Promedio
Hora de entrada a saturación		09:33	09:35	
Hora de salida de saturación (mas 10')		09:43	09:45	
Hora de entrada a decantación		09:45	09:47	
Hora de salida de decantación (mas 20')		10:05	10:07	
Altura máxima de la arcilla (pulg.0.1")		5.10	5.00	
Altura máxima de la arena (pulg.0.1")		2.80	2.90	
Índice de Durabilidad (Df = L.arena/L. arcilla*100 )		<b>54.9</b>	<b>58.0</b>	<b>56.5</b>

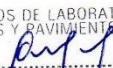

  


OBSERVACIONES

Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio.


  

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Segundo A. Cañanza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA


SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.




Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 159278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°10. ENSAYO DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO DEL AGREGADO  
GRUESO**



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**ENSAYO DE INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS GRUESO (ASTM C - 88)**

<b>PROYECTO</b>	"Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"		
<b>MATERIAL</b>	Agregado grueso para mezcla asfáltica en caliente	<b>RESP. LAB</b>	S.B.F.
<b>CANTERA</b>	San Martín.	<b>TEC. LAB.</b>	S.A.C.M.
<b>SOLICITANTE</b>	Edwin Yair Soto Ávalos	<b>FECHA</b>	Noviembre 2017

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>MUESTRA</b>	M - 1
----------------	-------

**ENSAYO DE INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS GRUESOS (ASTM C - 88)**  
SOLUCION MgSO4

TAMAÑO DE LOS TAMICES		GRADACION ORIGINAL %QUE RETIENE	PESO DE LA FRACCION ENSAYADA ( g )	PERDIDA TOTAL %	PERDIDA CORREGIDA %
% PASA	% RETIENE	( A )	( B )	( C )	( D )
1.1/2"	1"				
1"	3/4"				
3/4"	3/8"	6.5	1,000.00	16.5	1.1
3/8"	N° 4	27.8	300.00	25	7.0
<	N° 4	23.1	-	-	
<b>TOTALES</b>		36%			8.0%


B) Peso Opcionales de acuerdo el escalonada (A)

D) % Pérdidas corregidas = ( C ) X ( A ) / 100

E) Total de Pérdidas correspondiente a la suma de las Pérdidas parciales corregidas


Observaciones Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio.

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S A C



Segundo A. Carranza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
RES. CIP. 169278

**Fuente:** Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°11. ENSAYO DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ABSORCIÓN  
MTC E 206, ASTM C-127**

**A) DATOS GENERALES:**

**DESCRIPCIÓN** : Agregado grueso para mezcla asfáltica en caliente

**UBICACIÓN** : Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos - UPN

**MATERIAL** : Piedra chancada 3/4"

**CANTERA** : San Martín

**FECHA** : Noviembre 2017

**RESPONSABLE** : Yair Soto Avalos


**TÉC. LAB.** : W.L.C.

AGREGADO GRUESO				
Peso material Sat. Sup. seca (en aire) (gr)	1500.00	1500.00	1500.00	
Peso material Sat. Sup. seca (en agua) (gr)	944.00	945.00	944.60	
Vol. Masa + Vol. Vacios (A-B) (gr)	556.00	555.00	555.40	
Peso material seco en estufa (gr)	1486.00	1486.30	1486.70	
Vol. de masa [C-(A-D)] (gr)	542.00	541.30	542.10	<b>PROMEDIO</b>
Pe bulk (base seca) (D/C)	2.673	2.678	2.677	2.676
Pe bulk (base saturada) (A/C)	2.698	2.703	2.701	2.700
Pe aparente (base seca) (D/E)	2.742	2.746	2.742	2.743
% Absorción [(A-D)/D*100]	0.94%	0.92%	0.89%	<b>0.92%</b>


**Fuente:** Elaboración propia



ANEXO N°12. ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**ANALISIS GRANULOMETRICO**

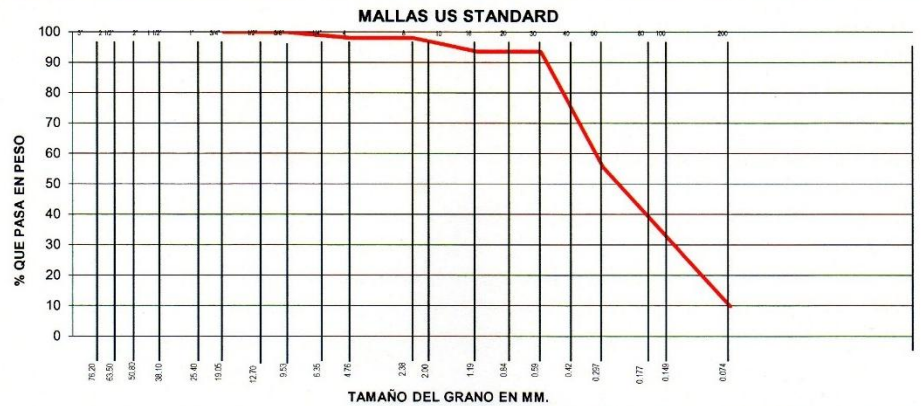
NORMA AASHTO T-27, ASTM D422

PROYECTO	: "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"		
MATERIAL	: Agregado fino para Mezcla Asfáltica en Caliente		
CANTERA	: San Martín	RESP. LAB :	S.B.F.
SOLICITANTE	: Edwin Yair Soto Ávalos	TEC. LAB. :	S.A.C.M.
		FECHA :	Noviembre 2017

**DATOS DE LA MUESTRA**

Tamices ASTM	Abertura en MM	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Especificaciones	TAMAÑO MAXIMO: 1/4"
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					PESO TOTAL : 500.0 gr
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350			100		
N° 4	4.760	9.3	1.9	98.1		MATERIAL : PARA MEZCLA ASFÁLTICA
N° 8	2.380					H. NATURAL : 1.1 %
N° 10	2.000	22.0	4.4	6.3	93.7	
N° 16	1.190					
N° 20	0.840					
N° 30	0.590					
N° 40	0.420	191.3	38.3	44.5	55.5	
N° 50	0.297					
N° 60	0.250					OBSERVACIONES :
N° 80	0.117	153.1	30.6	75.1	24.9	
N°100	0.149					
N° 200	0.074	74.9	15.0	90.1	9.9	
PAN		49.4	9.9	100.0	0.0	
TOTAL		500				
% PERDIDA						

**MALLAS US STANDARD**



TAMAÑO DEL GRANO EN MM.

Observaciones Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio.

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S A C

*Segundo A. Carranza Mejia*  
Segundo A. Carranza Mejia  
TECNICO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

*Secundino Burga Fernández*  
Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°13. ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA DEL AGREGADO FINO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**EQUIVALENTE DE ARENA  
MTC E 114, ASTM D-2419**

**A) DATOS GENERALES:**

**DESCRIPCIÓN** : Agregado fino para mezcla asfáltica en caliente

**UBICACIÓN** : Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos - UPN

**MATERIAL** : Arena chancada 1/4" + Arena zarandeada 1/4"

**CANTERA** : San Martin

**FECHA** : Noviembre 2017

**RESPONSABLE** : Yair Soto Avalos




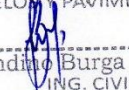
**TÉC. LAB.** : W.L.C.

**AGREGADO FINO**

MUESTRA	1	2	3
Hora de entrada a saturación	8:38 am	8:40 am	8:42 am
Hora de salida de saturación (más 10')	8:48 am	8:50 am	8:52 am
Hora de entrada a decantación	8:50 am	8:52 am	8:54 am
Hora de salida de decantación (más 20')	9:10 am	9:12 am	9:14 am
Altura de nivel de material fino (A)	4.20	4.20	4.20
Altura de nivel de arena (B)	2.50	2.60	2.60
Equivalente de Arena ( $B \times 100/A$ )	59.52%	61.90%	61.90%
Promedio	61.11%		

**Fuente:** Elaboración propia

ANEXO N°14. ENSAYO ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO

 <b>SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.</b> Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 – RPC 954 131 476. E-mail: servicios_lab@hotmail.com. Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo Pág. Web: www.emplaboratorios.com					
ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO					
(MTC E 222)					
<b>PROYECTO</b> : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente" <b>DESCRIPCION</b> : Agregado fino para Mezcla Asfáltica en Caliente <span style="float: right;"><b>RESP. LAB</b> : S.B.F.</span> <b>CANTERA</b> : San Martín <span style="float: right;"><b>TEC. LAB.</b> : S.A.C.M.</span> <b>SOLICITANTE</b> : Edwin Yair Soto Ávalos <span style="float: right;"><b>FECHA</b> : Noviembre 2017</span>					
ENSAYO	N°	1	2	3	ESPECIFICACIÓN
PESO DEL AGREGADO FINO + MOLDE	gr.	18546.00	18565.00	18532.00	
PESO DEL MOLDE	gr.	10337.00	10337.00	10337.00	
PESO DEL AGREGADO FINO	(w)	8209.00	8228.00	8195.00	
VOLUMEN DEL CILINDRO	(v)	5681.00	5681.00	5681.00	
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE AGREGADO FINO	G <sub>sb</sub>	2.626	2.626	2.626	
VACÍOS NO COMPACTADOS	%	45.0	44.8	45.1	
					<b>FÓRMULA:</b>  $V = \frac{W}{G_{sb} \times 100 - V}$
<b>PROMEDIO</b>	%	45.0			
<b>OBSERVACIONES:</b> Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio. <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>					
SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.  Segundo A. Carranza Mejia TÉCNICO LABORATORISTA			SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.  Secundino Burga Fernández ING. CIVIL REG. CIP. 169278		

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°15. LIMITES DE CONSISTENCIA DEL AGREGADO FINO (MALLA N°40)**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA MATERIAL PASANTE DE LA MALLA N° 40  
MTC E 110, MTC E 111**

**A) DATOS GENERALES:**

**DESCRIPCIÓN** : Agregado fino para mezcla asfáltica en caliente

**UBICACIÓN** : Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos - UPN

**MATERIAL** : Arena chancada 1/4" + Arena zarandeada 1/4"

**CANTERA** : San Martín

**FECHA** : Noviembre 2017

**RESPONSABLE** : Yair Soto Avalos

**TÉC. LAB.** : W.L.C.

**LÍMITE LÍQUIDO**

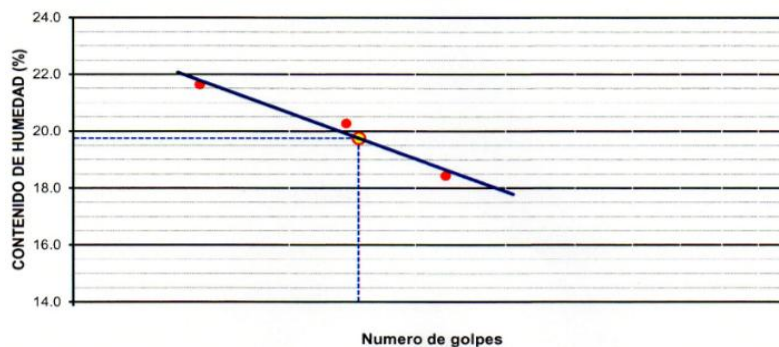
N° de tarro	1	3	2
Peso de suelo húmedo + tarro (gr.)	29.96	32.52	31.41
Peso de suelo seco + tarro (gr.)	27.49	29.90	29.17
Peso de tarro (gr.)	16.08	16.98	17.02
Peso de suelo seco (gr.)	11.41	12.92	12.15
Peso de agua (gr.)	2.47	2.62	2.24
Contenido de humedad (%)	21.65	20.28	18.44
N° de golpes	15	24	33

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° de tarro			
Peso de suelo húmedo + tarro (gr.)			
Peso de suelo seco + tarro (gr.)			
Peso de agua (gr.)			
Peso de tarro (gr.)			
Peso de suelo seco (gr.)			
Contenido de humedad (%)			

LL = 19.80%	LP = NP	IP = NP
-------------	---------	---------

**% DE HUMEDAD A 25 GOLPES**



**Fuente:** Elaboración propia

**ANEXO N°16. LIMITES DE CONSISTENCIA DEL AGREGADO FINO (MALLA N°200)**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA MATERIAL PASANTE DE LA MALLA N°  
200**

**MTC E 110, MTC E 111**

**A) DATOS GENERALES:**

**DESCRIPCIÓN** : Agregado fino para mezcla asfáltica en caliente

**UBICACIÓN** : Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos - UPN

**MATERIAL** : Arena chancada 1/4" + Arena zarandeada 1/4"

**CANTERA** : San Martín

**FECHA** : Noviembre 2017

**RESPONSABLE** : Yair Soto Avalos

**TÉC. LAB.** : W.L.C.

**LÍMITE LÍQUIDO**

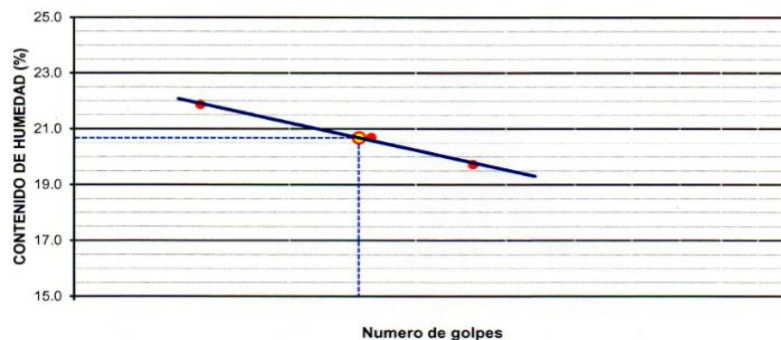
N° de tarro	4	5	6
Peso de suelo húmedo + tarro (gr.)	30.24	32.71	29.17
Peso de suelo seco + tarro (gr.)	27.70	30.02	27.00
Peso de tarro (gr.)	16.09	17.02	16.00
Peso de suelo seco (gr.)	11.61	13.00	11.00
Peso de agua (gr.)	2.54	2.69	2.17
Contenido de humedad (%)	21.88	20.69	19.73
N° de golpes	15	26	36

**LÍMITE PLÁSTICO**

N° de tarro	7	8	
Peso de suelo húmedo + tarro (gr.)	13.50	13.27	
Peso de suelo seco + tarro (gr.)	12.72	12.51	
Peso de agua (gr.)	0.78	0.76	
Peso de tarro (gr.)	8.04	8.16	
Peso de suelo seco (gr.)	4.68	4.35	
Contenido de humedad (%)	16.67%	17.47%	


LL= 20.70%	LP= 17.07%	IP= 3.63%
------------	------------	-----------

**% DE HUMEDAD A 25 GOLPES**




Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°17. ENSAYO INDICE DE DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO FINO**  
MTC E 214

<b>PROYECTO</b>	: "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"		
<b>DESCRIPCION</b>	: Agregado fino para Mezcla Asfáltica en Caliente	<b>RESP. LAB :</b>	S.B.F.
<b>CANTERA</b>	: San Martín	<b>TEC. LAB. :</b>	S.A.C.M.
<b>SOLICITANTE</b>	: Edwin Yair Soto Ávalos	<b>FECHA :</b>	Noviembre 2017

**DATOS DE LA MUESTRA**

<b>MUESTRA</b>	: M-1
----------------	-------

**INDICE DE DURABILIDAD AGREGADO FINO**  
MTC E 214

TAMAÑOS DE MALLAS			Agitación Muestra	Contenido de	Muestra Lata
PASA	RETENIDO	PESO (gr.)	(10 minutos)	Agua Destilada (ml)	(ml.)
# 4	N°200	500	10'	1000.0	85

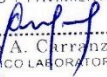
DESCRIPCION	IDENTIFICACION			
	N° DE ENSAYO	1	2	Promedio
Hora de entrada a saturación		11:20	11:22	
Hora de salida de saturación (mas 10')		11:30	11:32	
Hora de entrada a decantación		11:32	11:34	
Hora de salida de decantación (mas 20')		11:52	11:54	
Altura máxima de la arcilla (pulg.0.1")		5.30	5.20	
Altura máxima de la arena (pulg.0.1")		2.90	2.90	
Indice de Durabilidad (Df = L.arena/L.arcilla*100 )		54.7	55.8	55.2

**OBSERVACIONES**

Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio.


---

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S A C



Segundo A. Carranza Mejia  
TECNICO LABORATORISTA


SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.




Secundina Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

ANEXO N°18. ENSAYO SALES SOLUBLES DEL AGREGADO FINO



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN AGREGADOS  
(MTC -219)

PROYECTO : : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"

DESCRIPCION : : Agregado fino para Mezcla Asfáltica en Caliente

CANTERA : : San Martín RESP. LAB : S.B.F.

SOLICITANTE : : Edwin Yair Soto Ávalos TEC. LAB. : S.A.C.M.


FECHA : Noviembre 2017

**AGREGADO FINO**

ITEM	DESCRIPCION	UND.	IDENTIFICACION DE MUESTRA			
			2	3		
1.-	Recipiente					
2.-	Peso (Biker 250 ml.)	Gr.	102.30	105.60		
3.-	Peso + Sal +Biker 250 ml.	Gr.	102.32	105.62		
4.-	Peso Sal (2-3)	Gr.	0.02	0.02		
5.-	Peso de Agregado	Gr.	100.0	100.0		
6.-	Aforo de Agua Total Cc.	Gr.	500.0	500.0		
7.-	Volumen de Agua Utilizado Cc.	%	100.0	100.0		
8.-	SALES SOLUBLES $(1/((6 \times 5)/(4 \times 6))) \times 100$	%	0.11	0.10		
9.-	PROMEDIO SALES SOLUBLES	%	<b>0.11</b>			


*Observaciones: Las muestras fueron traídas por el solicitante a nuestro laboratorio.*

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Segundo A. Carranza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. C.I.P. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°19. ENSAYO ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ABSORCIÓN  
MTC E 206, ASTM C-127**

**A) DATOS GENERALES:**

**DESCRIPCIÓN** : Agregado fino para mezcla asfáltica en caliente

**UBICACIÓN** : Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos - UPN

**MATERIAL** : Arena chancada 1/4" + Arena zarandeada 1/4"

**CANTERA** : San Martín

**FECHA** : Noviembre 2017

**RESPONSABLE** : Yair Soto Avalos


**TÉC. LAB.** : W.L.C.

AGREGADO FINO					
A	Peso material Sat. Sup. seca (en aire) (gr)	300.00	300.00		
B	Peso frasco + agua (gr)	667.00	666.90		
C	Peso frasco + agua + A (gr)	967.00	966.90		
D	Peso del mat. + agua en el frasco (gr)	854.80	854.60		
E	Vol. Masa + vol. de vacío (C-D) (gr)	112.20	112.30		
F	Peso de mat. seco en estufa (gr)	297.30	297.50		
G	Vol. De masa [E-(A-F)] (gr)	109.50	109.80		<b>PROMEDIO</b>
	Pe bulk (base seca) (F/E)	2.650	2.649		2.649
	Pe bulk (base saturada) (A/E)	2.674	2.671		2.673
	Pe aparente (base seca) (F/G)	2.715	2.709		2.712
	% Absorción [(A-F)/F*100]	0.91%	0.84%		<b>0.87%</b>

**Fuente:** Elaboración propia



**ANEXO N°20. GRADACIÓN PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
 RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
 Búscanos en Facebook: Laboratorios de Suelos Chiclayo  
 Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS**  
 MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

---

PROYECTO : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"  
 DESCRIPCIÓN : Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente  
 MATERIALES : Agregados chancados y zarandeados  
 CANTERA : San Martín.  
 SOLICITANTE : Edwin Yair Soto Ávalos

RESP. LAB. : S.B.F.  
 TEC. LAB. : S.A.C.M.  
 FECHA : Noviembre 2017

---

**DATOS DE DISEÑO**

Grava Chancada 3/4"	40%
Arena Chan. 1/4"	40%
Arena Zarandeada 1/4"	20%
CIMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	0%

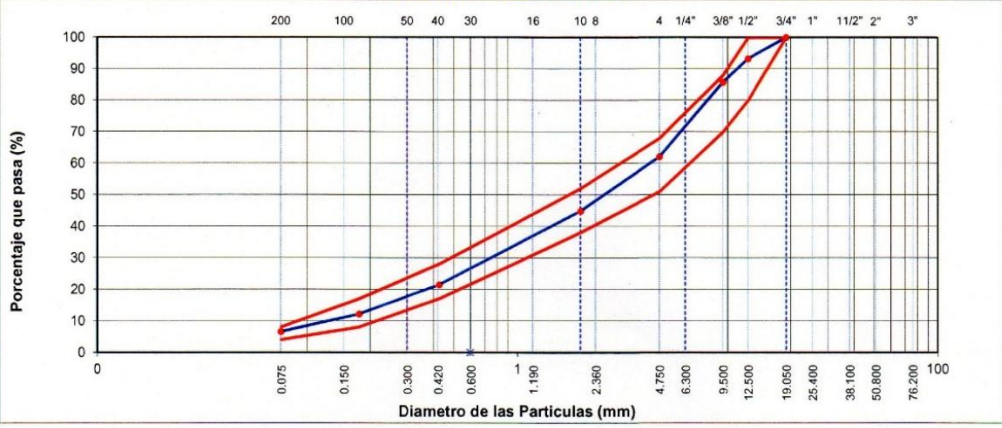
TAMAÑO MÁXIMO : 3/4"  
 Peso inicial seco : 1000 g

---

TAMIZ	AASHTO T-2 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200					MAC - 2	Contenido de Humedad (%):
2"	50.800						Límite Líquido (LL):
1 1/2"	38.100						Límite Plástico (LP):
1"	25.400						Índice Plástico (IP):
3/4"	19.000				100.0	100	Clasificación (SUCS):
1/2"	12.500	67	6.7	6.7	93.3	80 100	Clasificación (AASHTO):
3/8"	9.500	75	7.5	14.2	85.8	70 88	Índice de Grupo:
N° 4	4.750	237	23.7	37.9	62.1	51 68	Descripción (AASHTO):
N° 8	2.360						Módulo de Fineza:
N° 10	2.000	173.0	17.3	55.2	44.8	38 52	Materia Orgánica:
N° 16	1.190						Turba:
N° 20	0.840						Observación:
N° 30	0.600						
N° 40	0.425	234.1	23.4	78.6	21.4	17 28	
N° 50	0.300						
N° 80	0.177	92.6	9.3	87.9	12.1	8 17	
N° 100	0.150						
N° 200	0.075	56.2	5.6	93.5	6.5	4 8	
< N° 200	FONDO	65.1	6.5	100.0			

---

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

*Segundo A. Carranza Mejía*

TECNICO LABORATORISTA


SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

*Secundino Burga Fernández*

ING. CIVIL

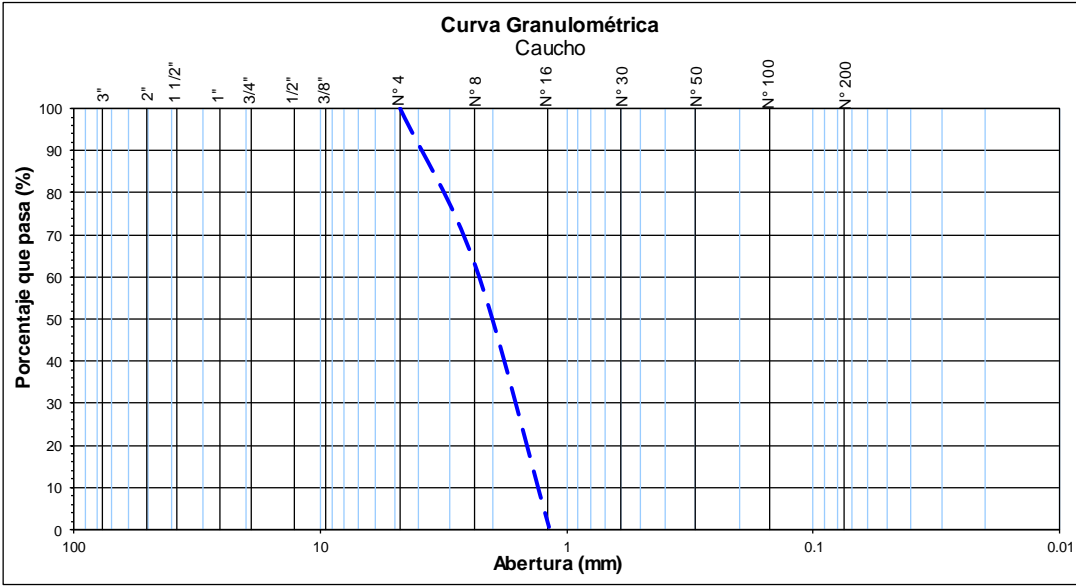
Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°21. ANALISIS GRANULOMETRICO DE CAUCHO DE LLANTA**

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b> FACULTAD DE INGENIERIA							
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DE CAUCHO DE LLANTA</b>								
<b>INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO - CONTROL DE CALIDAD</b>								
<b>Laboratorio :</b> Mecánica de Suelos y Pavimentos <span style="float: right;"><b>Fecha :</b> NOVIEMBRE 2017</span> <b>Ubicación :</b> Calle 31 s/n Urb. San Isidro 2da Etapa, Trujillo. <span style="float: right;"><b>Técnico :</b> E.E.R / W.L.C</span> <span style="float: right;"><b>Responsable :</b> Yair Soto Avalos</span>								
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>								
<b>Identificación :</b> Caucho de llanta <span style="float: right;"><b>Tamaño Max. Nominal :</b> --</span> <b>Procedencia :</b> Empresa Siconor Perú SAC <span style="float: right;"><b>Peso Inicial Seco :</b> 600.0 gr.</span>								
<b>Tamiz</b>	<b>Abert. (mm)</b>	<b>Peso Ret. (gr)</b>	<b>% Ret (%)</b>	<b>% Ret. Acum. (%)</b>	<b>% Que Pasa (%)</b>			<b>Descripción de la Muestra</b>
						<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	La muestra fue proporcionada por la empresa por petición del autor
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	<b>Características Físicas</b>
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	1.109 gr/cm <sup>3</sup> a 25°C
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	% de presencia de acero: menos 0.1%
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	% de presencia de textiles: menos 0.1%
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	
Nº 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	
Nº 8	2.360	222.6	37.1	37.1	62.9	0.0	0.0	
Nº 16	1.180	374.5	62.4	99.5	0.5	0.0	0.0	
Nº 30	0.600	2.9	0.5	100.0	0.0	0.0	0.0	
Nº 50	0.300	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	
Nº 100	0.150	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	
Nº 200	0.075	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	
Fondo		0.0	0.0	100.0	0.0			


**Curva Granulométrica**  
Caucho




The graph plots 'Porcentaje que pasa (%)' on the y-axis (0 to 100) against 'Abertura (mm)' on the x-axis (logarithmic scale from 100 to 0.01). A dashed blue line represents the data points from the table above, showing that 100% of the sample passes through the 3-inch sieve and 0% passes through the 1 mm sieve.

Fuente: Elaboración propia


ANEXO N°22. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (4.5% ASFALTO)



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

**PROYECTO** : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"  
**DESCRIPCION** : Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente  
**MATERIALES** : Agregados chancados y zarandeados  
**CANTERA** : San Martin. **RESP. LAB.** : S.B.F.  
**SOLICITANTE** : Edwin Yair Soto Ávalos **TEC. LAB.** :   
**FECHA** : Noviembre 2017


Grava Chancada 3/4"	40%
Arena Chan. 1/4"	40%
Arena Zarandeada 1/4"	20%
<b>CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70</b>	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	37.90	36.19
B Arena.	62.10	59.31
C	0	0.01

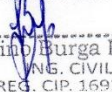
	% Que Pasa el Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200	
Mezcla	100	93.3	85.8	62.1		44.8	21.4	12.1	6.5	
Especificaciones IVB	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68		38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	1	2	3	Prom.
1	Numero de probeta			
2	C.A. en peso de la mezcla	4.5	4.5	4.5
3	% de grava triturada en peso de la mezcla(mayor #4)	36.19	36.19	36.19
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	59.31	59.31	59.31
5	% de filler en peso de mezcla(minimo 65% pasa malla #200)			
6	Peso especifico aparente de cemento asfaltico	1.021	1.021	1.021
7	Peso especifico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	2.676	2.676	2.676
8	Peso especifico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	2.743	2.743	2.743
9	Peso especifico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	2.649	2.649	2.649
10	Peso especifico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	2.714	2.714	2.714
11	Peso especifico aparente del filler			
12	Altura promedio de la probeta	6.3	6.4	6.3
13	Peso de la probeta en el aire	1196.5	1195.26	1198.6
14	Peso de la probeta saturada superficialmente seca	1198.8	1197.8	1200.4
15	Peso de la Probeta en el Agua 25 °C	674.0	673.5	676
16	Volumen de la Probeta 14-15	524.8	524.3	524.4
17	Peso Unitario de la Probeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	2.280	2.280	2.286
18	Peso especifico teorico maximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	2.511	2.511	2.511
19	Maxima densidad teorica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10)))	2.507	2.507	2.507
20	% de vacios con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	9.22	9.23	8.99
21	Peso especifico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	2.692	2.692	2.692
22	Peso especifico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	2.725	2.725	2.725
23	Peso especifico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))	2.697	2.697	2.697
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	0.07	0.07	0.07
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la Probeta (3+4)*17/21	80.88	80.87	81.08
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de probeta 100-(25+20)	9.90	9.90	9.93
27	% vacios del agregado mineral 100-25	19.12	19.13	18.92
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	4.43	4.43	4.43
29	Relacion betun vacios (26/27)*100	51.79	51.77	52.48
30	Lectura del aro.	162	159	156
31	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	685	672	660
32	Factor de estabilidad	0.96	0.96	0.96
33	Estabilidad corregida 31*32	658	645	633
34	Lectura del fleximetro (0.01") (35 / 0.254)	11.2	11.4	11.8
35	Fluencia	2.84	2.90	3.00
35	Relacion Estabilidad / Fluencia	2311	2229	2113

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C


  
Segundo A. Carranza Mejia  
TECNICO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

  
Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

ANEXO N°23. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (5.0% ASFALTO)



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook: Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

PROYECTO : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"  
DESCRIPCION : Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente  
MATERIALES : Agregados chancados y zarandeados  
CANTERA : San Martin. RESP. LAB. : S.B.F.  
TEC. LAB. : S.A.C.M.  
SOLICITANTE : Edwin Yair Soto Ávalos FECHA : Noviembre 2017

Grava Chancada 3/4"	40%	
Arena Chan. 1/4"	40%	
Arena Zarandeada 1/4"	20%	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70		

Material	% Mezcla	% Diseño	% Que Pasa el Tamiz											
A Grava Triturada	37.90	36.01												
B Arena.	62.10	59.00												
C			1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4			N°10	N°40	N°80	N°200	
Mezcla			100	93.3	85.8	62.1				44.8	21.4	12.1	6.5	
Especificaciones IVB			100	80 - 100	70 - 88	51 - 68				38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	#	1	2	3	Prom.
2 C.A. en peso de la mezcla	%	5.0	5.0	5.0	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla(mayor #4)	%	36.01	36.01	36.01	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	59.00	59.00	59.00	
5 % de filler en peso de mezcla(minimo 65% pasa malla #200)	%				
6 Peso especifico aparente de cemento asfaltico	gr/cc.	1.021	1.021	1.021	
7 Peso especifico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASTHO T 85 , MTC E 206)	gr/cc.	2.676	2.676	2.676	
8 Peso especifico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASTHO T 85 , MTC E 206)	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.710
9 Peso especifico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128 , AASTHO T 84 , MTC E 205)	gr/cc.	2.649	2.649	2.649	
10 Peso especifico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128 , AASTHO T 84 , MTC E 205)	gr/cc.	2.714	2.714	2.714	2.682
11 Peso especifico aparente del filler	gr/cc.				
12 Altura promedio de la probeta	cm.	6.4	6.3	6.3	
13 Peso de la probeta en el aire	gr.	1196.2	1197.6	1198.0	
14 Peso de la probeta saturada superficialmente seca	gr.	1198.3	1199.6	1200.1	
15 Peso de la Probeta en el Agua 25 °C	gr.	680.0	680	681	
16 Volumen de la Probeta 14-15	c.c.	518.3	519.6	519.1	
17 Peso Unitario de la Probeta 13/16 (ASTM D 2726 , MTC E 514 )	gr/cc.	2.308	2.305	2.308	2.307
18 Peso especifico teorico maximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.489	2.489	2.489	
19 Maxima densidad teorica de los agregados $100/((2/6)+(3^2/(7+8)+(4^2/(9+10)))$	gr/cc.	2.488	2.488	2.488	
20 % de vacios con aire $100*(1-17/18)$ (ASTM D 3203 , MTC E 505)	%	7.26	7.39	7.27	7.31
21 Peso especifico Bulk del Agregado Total $(100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
22 Peso especifico Aparente del agregado total $(100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.725	2.725	2.725	
23 Peso especifico efectivo del agregado total $(3+4)/((3/P-8)+(4^2/P-10))$	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23^2*1)$ (ASTM D 4469 , MTC E 511)	%	0.00	0.00	0.00	
25 % del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la Probeta $(3+4)^*17/21$	%	81.44	81.34	81.44	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de probeta $100-(25+20)$	%	11.29	11.28	11.29	
27 % vacios del agregado mineral 100-25	%	18.56	18.66	18.56	18.59
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	%	5.00	5.00	5.00	
29 Relacion betun vacios $(26/27)^*100$	%	60.86	60.42	60.84	60.71
30 Lectura del aro.	pul.	190	192	186	
31 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	802	811	785	
32 Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33 Estabilidad corregida 31*32	kg	802	811	785	799
34 Lectura del fleximetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	12	12.5	12.4	12
34 Fluencia	m.m.	3.05	3.18	3.15	
35 Relacion Estabilidad / Fluencia	m.m.	2632	2553	2494	2560

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C


Segundo A. Carranza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.


Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

ANEXO N°24. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (5.5% ASFALTO)



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

---

PROYECTO : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"

DESCRIPCION : Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente

MATERIALES : Agregados chancados y zarandeados

CANTERA : San Martín. RESP. LAB. : S.B.F.

SOLICITANTE : Edwin Yair Soto Ávalos TEC. LAB. : S.A.C.M.

FECHA : Noviembre 2017

---

Grava Chancada 3/4"	40%
Arena Chan. 1/4"	40%
Arena Zarandeada 1/4"	20%
<b>CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70</b>	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	37.90	35.82
B Arena.	62.10	58.68


	% Que Pasa el Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200	
Mezcla	100	93.3	85.8	62.1		44.8	21.4	12.1	6.5	
Especificaciones IVB	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68		38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Numero de probeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.5	5.5	5.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	35.82	35.82	35.82	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	58.68	58.68	58.68	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%				
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.021	1.021	1.021	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.676	2.676	2.676	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.710
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.649	2.649	2.649	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.714	2.714	2.714	2.682
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.				
12	Altura promedio de la probeta	cm.	6.2	6.3	6.4	
13	Peso de la probeta en el aire	gr.	1197.9	1198.6	1199.5	
14	Peso de la probeta saturada superficialmente seca	gr.	1199.2	1200.3	1202.3	
15	Peso de la Probeta en el Agua 25 °C	gr.	687.0	687.7	689.0	
16	Volumen de la Probeta 14-15	c.c.	512.2	512.6	513.3	
17	Peso Unitario de la Probeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.339	2.338	2.337	2.338
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.472	2.472	2.472	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2)/(7+8) + (4*2)/(9+10))$	gr/cc.	2.470	2.470	2.470	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	5.39	5.41	5.46	5.42
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.725	2.725	2.725	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4*P-10))$	gr/cc.	2.695	2.695	2.695	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.04	0.04	0.04	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la Probeta $(3+4) * 17/21$	%	82.10	82.08	82.03	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de probeta $100 - (25 + 20)$	%	12.51	12.51	12.50	
27	% vacíos del agregado mineral $100 - 25$	%	17.90	17.92	17.97	17.93
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	5.46	5.46	5.46	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	69.91	69.83	69.59	69.78
30	Leitura del aro.	pul.	232	235	228	
31	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	978	991	961	
32	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida 31*32	kg	978	991	961	977
34	Leitura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	13.5	13.4	13.6	14
34	Fluencia	m.m.	3.43	3.40	3.45	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2853	2911	2783	2849

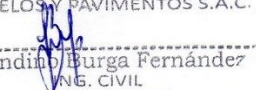
  

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.



Segundo A. Carranza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA


SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.




Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

ANEXO N°25. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (6.0% ASFALTO)



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

PROYECTO : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"  
DESCRIPCION : Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente  
MATERIALES : Agregados chancados y zarandeados  
CANTERA : San Martin.  
SOLICITANTE : Edwin Yair Soto Ávalos

RESP. LAB. : S.B.F.  
TEC. LAB. : S.A.C.M.  
FECHA : Noviembre 2017

Grava Chancada 3/4"	40%
Arena Chan. 1/4"	40%
Arena Zarandada 1/4"	20%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	37.90	35.63
B Arena.	62.10	58.37

	% Que Pasa el Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200	
Mezcla	100	93.3	85.8	62.1		44.8	21.4	12.1	6.5	
Especificaciones IVB	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68		38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

	#	1	2	3	Prom.
1 Numero de probeta					
2 C.A. en peso de la mezcla	%	6.0	6.0	6.0	
3 % de grava triturada en peso de la mezcla(mayor #4)	%	35.63	35.63	35.63	
4 % de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	58.37	58.37	58.37	
5 % de filler en peso de mezcla(minimo 65% pasa malla #200)	%				
6 Peso especifico aparente de cemento asfaltico	gr/cc.	1.021	1.021	1.021	
7 Peso especifico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASHTO T 85 , MTC E 206)	gr/cc.	2.676	2.676	2.676	
8 Peso especifico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASHTO T 85 , MTC E 206)	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.710
9 Peso especifico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128 , AASHTO T 84 , MTC E 205)	gr/cc.	2.649	2.649	2.649	
10 Peso especifico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128 , AASHTO T 84 , MTC E 205)	gr/cc.	2.714	2.714	2.714	2.682
11 Peso especifico aparente del filler	gr/cc.				
12 Altura promedio de la probeta	cm.	6.2	6.2	6.3	
13 Peso de la probeta en el aire	gr.	1200.9	1200.6	1197.2	
14 Peso de la probeta saturada superficialmente seca	gr.	1202.0	1202.2	1199.5	
15 Peso de la Probeta en el Agua	gr.	691.0	691.4	691.0	
16 Volumen de la Probeta 14-15	c.c.	511	510.8	508.5	
17 Peso Unitario de la Probeta 13/16 (ASTM D 2726 , MTC E 514)	gr/cc.	2.350	2.350	2.354	2.352
18 Peso especifico teorico maximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.455	2.455	2.455	
19 Maxima densidad teorica de los agregados $100/((2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.451	2.451	2.451	
20 % de vacios con aire $100*(1-17/18)$ (ASTM D 3203 , MTC E 505)	%	4.29	4.27	4.11	4.22
21 Peso especifico Bulk del Agregado Total $(100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
22 Peso especifico Aparente del agregado total $(100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc.	2.725	2.725	2.725	
23 Peso especifico efectivo del agregado total $(3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
24 Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469 , MTC E 511)	%	0.07	0.07	0.07	
25 % del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la Probeta $(3+4)*17/21$	%	82.06	82.07	82.21	
26 % del volumen de asfalto efectivo / volumen de probeta $100-(25+20)$	%	13.65	13.65	13.68	
27 % vacios del agregado mineral 100-25	%	17.94	17.93	17.79	17.89
28 Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	%	5.93	5.93	5.93	
29 Relacion betun vacios $(26/27)*100$	%	76.10	76.16	76.88	76.38
30 Lectura del aro.	pul.	246	254	235	
31 Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1037	1070	991	
32 Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.04	
33 Estabilidad corregida $31*32$	kg	1037	1070	1030	1046
34 Lectura del fleximetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	14.8	15	14.6	15
34 Fluencia	m.m.	3.76	3.81	3.71	
35 Relacion Estabilidad / Fluencia	m.m.	2758	2809	2778	2782

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.


Segunda A. Carranza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

ANEXO N°26. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (6.5% ASFALTO)



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.**  
Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook: Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

PROYECTO : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"  
DESCRIPCION : Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente  
MATERIALES : Agregados chancados y zarandeados  
CANTERA : San Martin.  
SOLICITANTE : Edwin Yair Soto Ávalos

RESP. LAB. : S.B.F.  
TEC. LAB. : S.A.C.M.  
FECHA : Noviembre 2017

Grava Chancada 3/4"	40%
Arena Chan. 1/4"	40%
Arena Zarandeada 1/4"	20%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Material	% Mezcla	% Diseño	% Que Pasa el Tamiz													
A	Grava Triturada	37.90	35.44													
B	Arena.	62.10	58.06													
C				1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4			N°10	N°40	N°80	N°200		
Mezcla					100	93.3	85.8	62.1			44.8	21.4	12.1	6.5		
Especificaciones IVB					100	80 - 100	70 - 88	51 - 68			38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8		

#	Descripción	#	1	2	3	Prom.
1	Numero de probeta					
2	C.A. en peso de la mezcla	%	6.5	6.5	6.5	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla(mayor #4)	%	35.44	35.44	35.44	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	58.06	58.06	58.06	
5	% de filler en peso de mezcla(minimo 65% pasa malla #200)	%				
6	Peso especifico aparente de cemento asfaltico	gr/cc.	1.021	1.021	1.021	
7	Peso especifico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASTHO T 85 , MTC E 206)	gr/cc.	2.676	2.676	2.676	
8	Peso especifico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127 , AASTHO T 85 , MTC E 206)	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.710
9	Peso especifico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128 , AASTHO T 84 , MTC E 205)	gr/cc.	2.649	2.649	2.649	
10	Peso especifico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128 , AASTHO T 84 , MTC E 205)	gr/cc.	2.714	2.714	2.714	2.682
11	Peso especifico aparente del filler	gr/cc.				
12	Altura promedio de la probeta	cm.	6.4	6.3	6.3	
13	Peso de la probeta en el aire	gr.	1199.0	1198.2	1197.5	
14	Peso de la probeta saturada superficialmente seca	gr.	1201.2	1201.0	1199.6	
15	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	691.0	692.0	691.0	
16	Volumen de la Probeta 14-15	c.c.	510.2	509	508.6	
17	Peso Unitario de la Probeta 13/16 (ASTM D 2726 , MTC E 514 )	gr/cc.	2.350	2.354	2.355	2.353
18	Peso especifico teorico maximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.434	2.434	2.434	
19	Maxima densidad teorica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7+8)+(4*2/(9+10)))	gr/cc.	2.433	2.433	2.433	
20	% de vacios con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203 , MTC E 505)	%	3.43	3.27	3.25	3.32
21	Peso especifico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
22	Peso especifico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.725	2.725	2.725	
23	Peso especifico efectivo del agregado total (3+4) /((3/P- 8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.693	2.693	2.693	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469 , MTC E 511)	%	0.01	0.01	0.01	
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la Probeta (3+4)*17/21	%	81.62	81.76	81.78	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de probeta 100-(25+20)	%	14.94	14.97	14.97	
27	% vacios del agregado mineral 100-25	%	18.38	18.24	18.22	18.28
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	6.49	6.49	6.49	
29	Relacion betun vacios (26/27)*100	%	81.31	82.07	82.16	81.85
30	Lectura del aro.	pul.	239	242	235	
31	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1007	1020	991	
32	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.00	
33	Estabilidad corregida 31*32	kg	1007	1020	991	1006
34	Lectura del fleximetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	16.5	16.2	16.4	16
34	Fluencia	m.m.	4.19	4.11	4.17	
35	Relacion Estabilidad / Fluencia	m.m.	2404	2479	2378	2420

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

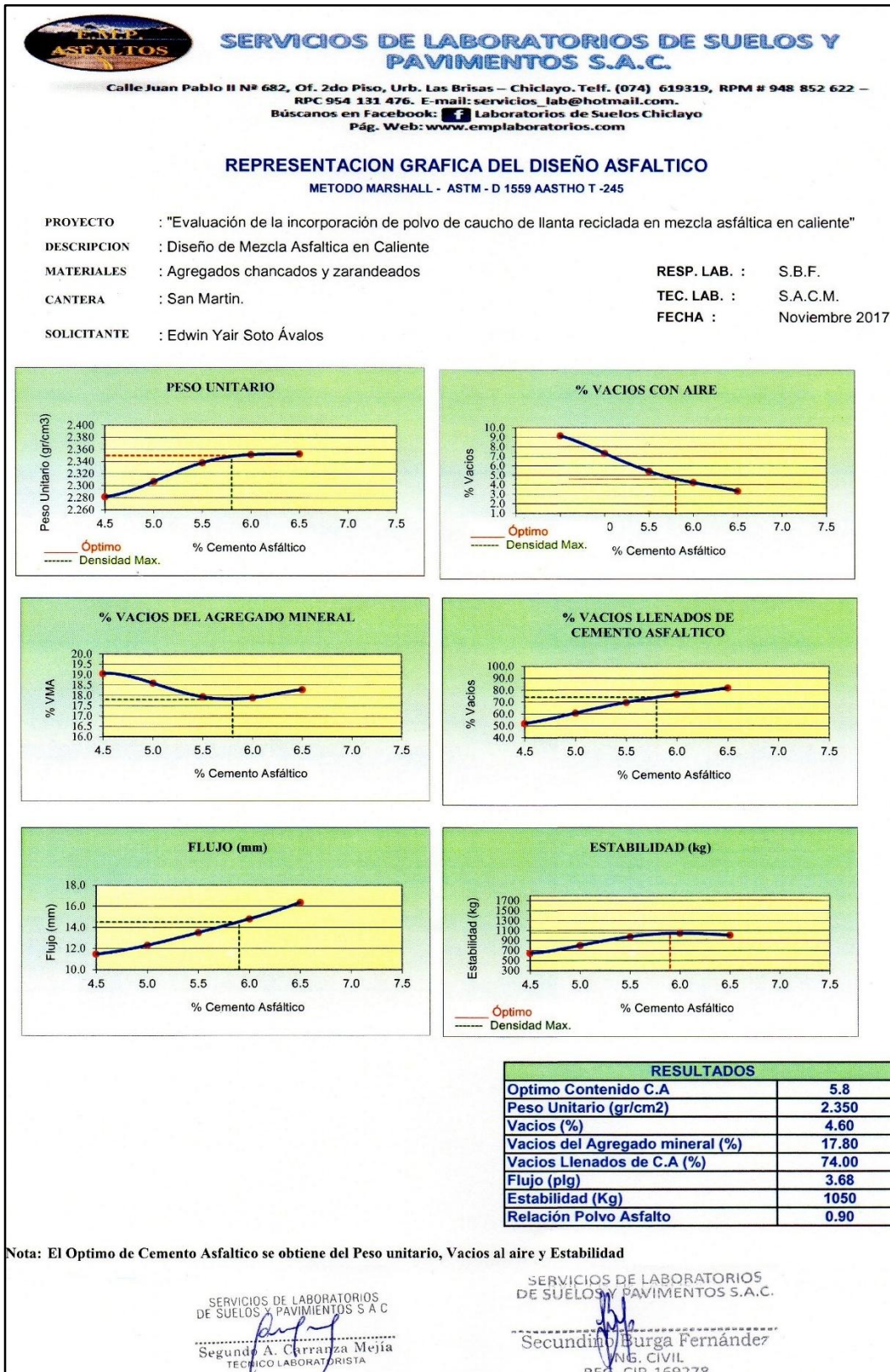
Segundo A. Carranza Mejía  
TECNICO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC


**ANEXO N°27. GRAFICA DEL DISEÑO ASFÁLTICO**




Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC



ANEXO N°28. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE +1% CAUCHO



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo, Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

**PROYECTO :** "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"  
**DESCRIPCION :** Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente  
**MATERIALES :** Agregados chancados y zarandeados (con 1% de caucho)  
**CANTERA :** San Martín.  
**SOLICITANTE :** Edwin Yair Soto Ávalos

**RESP. LAB. :** S.B.F.  
**TEC. LAB. :** S.A.C.M.  
**FECHA :** Noviembre 2017

Grava Chancada 3/4"	40%
Arena Chan. 1/4"	40%
Arena Zarandeada 1/4"	20%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	37.90	35.63
B Arena.	62.10	58.37

Mezcla	% Que Pasa el Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200	
Especificaciones IVB	100	93.3	85.8	62.1	44.8	21.4	12.1	6.5		
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8		

1	Numero de probeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	5.8	5.8	5.8	5.8	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	35.63	35.63	35.63	35.63	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	58.37	58.37	58.37	58.37	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%				
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.021	1.021	1.021	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.676	2.676	2.676	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.710
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.649	2.649	2.649	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.714	2.714	2.714	2.682
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.				
12	Altura promedio de la probeta	cm.	6.2	6.2	6.3	
13	Peso de la probeta en el aire	gr.	1185.6	1188.3	1187.5	
14	Peso de la probeta saturada superficialmente seca	gr.	1186.4	1189.7	1188.6	
15	Peso de la Probeta en el Agua	gr.	683.6	683.9	682.0	
16	Volumen de la Probeta 14-15	c.c.	502.8	505.8	506.6	
17	Peso Unitario de la Probeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.343	2.348	2.341	2.344
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.455	2.455	2.455	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3/2) + (7/8) + (4/2) + (9/10))$	gr/cc.	2.451	2.451	2.451	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.97	4.32	4.53	4.27
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 2) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	2.725	2.725	2.725	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4/P - 10))$	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.07	0.07	0.07	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la Probeta $(3 + 4) * 17/21$	%	82.34	82.03	81.85	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de probeta $100 - (25 + 20)$	%	13.70	13.65	13.62	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	17.66	17.97	18.15	17.93
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	5.93	5.93	5.93	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	77.55	75.97	75.03	76.18
30	Lectura del aro.	pul.	246	254	235	
31	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1070	1037	1070	
32	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.00	
33	Estabilidad corregida 31*32	kg	1113	1078	1070	1087
34	Lectura del flexímetro $(0.01") (35 / 0.254)$	pul.	14.7	15.2	14.9	15
34	Fluencia	m.m.	3.51	3.53	3.78	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	2888	2883	2722	2831

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundina Puga Fernández

ING. CIVIL

RPM: CIP 149778

SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.


Secundina Puga Fernández

ING. CIVIL


RPM: CIP 149778

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

ANEXO N°29. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE +2% CAUCHO



**SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.**

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook:  Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emplaboratorios.com

**DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO**  
METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

PROYECTO : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"  
DESCRIPCION : Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente  
MATERIALES : Agregados chancados y zarandeados (con 2% de caucho)  
CANTERA : San Martín.  
SOLICITANTE : Edwin Yair Soto Ávalos

RESP. LAB. : S.B.F.  
TEC. LAB. : S.A.C.M.  
FECHA : Noviembre 2017

Grava Chancada 3/4"	40%
Arena Chan. 1/4"	40%
Arena Zarandeada 1/4"	20%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	37.90	35.63
B Arena.	62.10	58.37

C	% Que Pasa el Tamiz									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200	
Mezcla	100	93.3	85.8	62.1		44.8	21.4	12.1	6.5	
Especificaciones IVB	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68		38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Numero de probeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.8	5.8	5.8	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla(mayor #4)	%	35.63	35.63	35.63	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	58.37	58.37	58.37	
5	% de filler en peso de mezcla(minimo 65% pasa malla #200)	%				
6	Peso especifico aparente de cemento asfaltico	gr/cc.	1.021	1.021	1.021	
7	Peso especifico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.676	2.676	2.676	
8	Peso especifico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.710
9	Peso especifico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.649	2.649	2.649	
10	Peso especifico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.714	2.714	2.714	2.682
11	Peso especifico aparente del filler	gr/cc.				
12	Altura promedio de la probeta	cm.	6.2	6.2	6.3	
13	Peso de la probeta en el aire	gr.	1182.4	1187.3	1181.3	
14	Peso de la probeta saturada superficialmente seca	gr.	1183.2	1188.2	1182.6	
15	Peso de la Probeta en el Agua 25 °C	gr.	679.6	678.9	677.3	
16	Volumen de la Probeta 14-15	c.c.	503.6	509.3	505.3	
17	Peso Unitario de la Probeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.348	2.331	2.338	2.339
18	Peso especifico teorico maximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.455	2.455	2.455	
19	Maxima densidad teorica de los agregados 100/((2/6)+(3*2/(7+8))+4*2/(9+10))	gr/cc.	2.451	2.451	2.451	
20	% de vacios con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.38	5.05	4.79	4.74
21	Peso especifico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
22	Peso especifico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.725	2.725	2.725	
23	Peso especifico efectivo del agregado total (3+4)/((3/P- 8)+(4*P-10))	gr/cc.	2.697	2.697	2.697	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.07	0.07	0.07	
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la Probeta (3+4)*17/21	%	81.98	81.40	81.63	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de probeta 100-(25+20)	%	13.64	13.54	13.58	
27	% vacios del agregado mineral 100-25	%	18.02	18.60	18.37	18.33
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	5.93	5.93	5.93	
29	Relacion betun vacios (26/27)*100	%	75.71	72.82	73.94	74.16
30	Lectura del aro.	pul.	246	254	235	
31	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1020	1007	991	
32	Factor de estabilidad		1.04	1.04	1.04	
33	Estabilidad corregida 31*32	kg	1061	1048	1030	1046
34	Lectura del fleximetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	14.1	15.2	14.2	15
34	Fluencia	m.m.	3.58	3.86	3.61	
35	Relacion Estabilidad / Fluencia	m.m.	3011	2772	2857	2880

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundina Burgos Paredes  
ING. CIVIL  
REG. CIP 169278

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundina Burgos Paredes  
ING. CIVIL  
REG. CIP 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

ANEXO N°30. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE +3% CAUCHO



SERVICIOS DE LABORATORIOS DE SUELOS Y  
PAVIMENTOS S.A.C.

Calle Juan Pablo II N° 682, Of. 2do Piso, Urb. Las Brisas – Chiclayo. Telf. (074) 619319, RPM # 948 852 622 –  
RPC 954 131 476. E-mail: servicios\_lab@hotmail.com.  
Búscanos en Facebook: Laboratorios de Suelos Chiclayo  
Pág. Web: www.emlaboratorios.com

DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

PROYECTO : "Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclada en mezcla asfáltica en caliente"  
DESCRIPCION : Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente  
MATERIALES : Agregados chancados y zarandeados (con 3% de caucho) RESP. LAB. : S.B.F.  
CANTERA : San Martín. TEC. LAB. : S.A.C.M.  
SOLICITANTE : Edwn Yair Soto Ávalos FECHA : Noviembre 2017

Grava Chancada 3/4"	40%
Arcna Chan. 1/4"	40%
Arena Zarandada 1/4"	20%
CEMENTO ASFALTICO PLN 60 70	

Material	% Mezcla	% Diseño	% Que Pasa el Tamiz										
A Grava Triturada	37.90	35.44											
B Arcna.	62.10	58.06											
C			1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4			N°10	N°40	N°80	N°200
Mezcla			100	93.3	85.8	62.1			44.8	21.4	12.1	6.5	
Especificaciones IVB			100	80 - 100	70 - 88	51 - 68			38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

#	Descripción	Unidad	1	2	3	Prom.
1	Numero de probeta	#				
2	C.A. en peso de la mezcla	%	5.8	5.8	5.8	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla(mayor #4)	%	35.44	35.44	35.44	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla(menor #4)	%	58.06	58.06	58.06	
5	% de filler en peso de mezcla(minimo 65% pasa malla #200)	%				
6	Peso especifico aparente de cemento asfaltico	gr/cc.	1.021	1.021	1.021	
7	Peso especifico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.676	2.676	2.676	
8	Peso especifico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.743	2.743	2.743	2.710
9	Peso especifico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.649	2.649	2.649	
10	Peso especifico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.714	2.714	2.714	2.682
11	Peso especifico aparente del filler	gr/cc.				
12	Altura promedio de la probeta	cm.	6.4	6.3	6.3	
13	Peso de la probeta en el aire	gr.	1180.3	1183.6	1184.1	
14	Peso de la probeta saturada superficialmente seca	gr.	1181.6	1184.8	1185.9	
15	Peso de la Probeta en el Agua 25 °C	gr.	675.6	676.3	675.0	
16	Volumen de la Probeta 14-15	c.c.	506	508.5	510.9	
17	Peso Unitario de la Probeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.333	2.328	2.318	2.326
18	Peso especifico teorico maximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.455	2.455	2.455	
19	Maxima densidad teorica de los agregados 100((1/26)+(3*2)/(7+8)+(4*2)/(9+10))	gr/cc.	2.451	2.451	2.451	
20	% de vacios con aire 100*(1-17/18) (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	5.00	5.20	5.61	5.27
21	Peso especifico Bulk del Agregado Total (100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))	gr/cc.	2.692	2.692	2.692	
22	Peso especifico Aparente del agregado total (100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))	gr/cc.	2.725	2.725	2.725	
23	Peso especifico efectivo del agregado total (3+4)/((3P-B)+(4*P-10))	gr/cc.	2.693	2.693	2.693	
24	Asfalto absorbido por el agregado total 100-6/(23-21)/(23*21) (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	0.01	0.01	0.01	
25	% del vol.del Agregado / Volumen Bruto de la Probeta (3+4)*17/21	%	81.45	81.28	80.93	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de probeta 100-(25+20)	%	14.81	14.85	14.91	
27	% vacios del agregado mineral 100-25	%	18.55	18.72	19.07	18.78
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla 2 - (24/100)*(3+4)	%	6.49	6.49	6.49	
29	Relacion betun vacios (26/27)*100	%	77.62	78.68	80.46	78.92
30	Lectura del aro	pul.	239	242	235	
31	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	999	1007	978	
32	Factor de estabilidad		1.00	1.00	1.04	
33	Estabilidad corregida 31*32	kg	999	1007	1017	1008
34	Lectura del fleximetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	16.8	16.5	16.2	17
34	Fluencia	m.m.	4.27	4.19	4.11	
35	Relacion Estabilidad / Fluencia	m.m.	2361	2531	2504	2465

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.  
Secundino A. Carranza Mejía  
INGENIERO LABORATORISTA

SERVICIOS DE LABORATORIOS  
DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.

Secundino Burga Fernández  
ING. CIVIL  
REG. CIP. 169278

Fuente: Servicios de Laboratorios de Suelos y Pavimentos SAC

**ANEXO N°31. CERTIFICADO DE ENSAYOS UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

 UNIVERSIDAD  
PRIVADA DEL NORTE

**CERTIFICADO**  
**DE ENSAYOS EN LABORATORIOS**

La que suscribe, Claudia Yomira Llacza Cruzado, hace constar por medio de la presente que el Sr. Edwin Yair Soto Avalos, identificado con D.N.I N° 71950546, ha realizado ensayos de granulometría, absorción, caras fracturadas, abrasión Los Ángeles, equivalente de arena, índice de plasticidad y la elaboración de probetas Marshall en las instalaciones del laboratorio de *Mecánica de Suelos y Pavimentos* de esta universidad, requeridos para la tesis "*Evaluación de la incorporación de polvo de caucho de llanta reciclado en mezclas asfálticas en caliente*"; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 30 de enero del 2018

  
-----  
Asistente de Laboratorio  
Carrera de Ingeniería Civil

Mz. G Lt. 24 Urb. Dean Saavedra, El Cortijo, San Isidro - Trujillo - La Libertad

**Figura 6.2:** Certificación de los ensayos en el Laboratorio

**Fuente:** *Elaboración propia*

**ANEXO N°32. CANTIDAD DE MATERIALES PARA 1 M<sup>2</sup> DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

**Cantidad de material para 1 m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica en caliente e=2"**

**Datos:**

Peso unitario probeta	:	2350.0 kg/m <sup>3</sup>
PUS piedra chanc. 3/4'	:	1659.0 kg/m <sup>3</sup>
PUS arena chanc. 1/4"	:	1772.0 kg/m <sup>3</sup>
PUS arena zarand. 1/4"	:	1725.0 kg/m <sup>3</sup>
Cemento asfáltico	:	980.0 kg/m <sup>3</sup>

**Diseño:**

Piedra chanc. 3/4"	:	40.0%
Arena chanc. 1/4"	:	40.0%
Arena zarand. 1/4"	:	20.0%
Cemento asfáltico	:	5.8%
Caucho de llanta	:	1.0%

**Determinación de la cantidad de materiales respecto a la mezcla asfáltica**

$$\text{Material} = \frac{\% \text{ material} \times (100\% - \% \text{ asfalto})}{100}$$

Piedra chanc. 3/4"	:	37.68%
Arena chanc. 1/4"	:	37.68%
Arena zarand. 1/4"	:	18.84%
Cemento asfáltico	:	5.80%

**Cantidad de materiales para 1 m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica**

$$e=2" \quad \longrightarrow \quad 5.08 \text{ cm}$$

$$\text{Peso:} \quad 0.0508 \quad \times \quad 2350.0 \\ 119.38 \quad \text{kg/m}^2$$

$$\text{Cant. Material} = \frac{\text{Peso} \times \% \text{ material}}{100}$$

Piedra chanc. 3/4"	:	44.98	kg/m <sup>2</sup>
Arena chanc. 1/4"	:	44.98	kg/m <sup>2</sup>
Arena zarand. 1/4"	:	22.49	kg/m <sup>2</sup>
Cemento asfáltico	:	6.92	kg/m <sup>2</sup>

**Volumen de materiales (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> de carpeta asfáltica)**

$$\text{Vol. Material} = \frac{\text{Cant. Material}}{\text{PUS}}$$

Piedra chanc. 3/4"	:	<b>0.0271</b>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Arena chanc. 1/4"	:	<b>0.0254</b>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Arena zarand. 1/4"	:	<b>0.0130</b>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Cemento asfáltico	:	<b>1.8653</b>	gal/m <sup>2</sup>
Caucho de llanta	:	<b>0.7422</b>	kg/m <sup>2</sup>

### ANEXO N°33. COSTO UNITARIO DE CARPETA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

Partida	<b>CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE 2" CONVENCIONAL</b>					
<b>Rendimiento</b>	m2/DIA	MO. 2000.0000	EQ. 2000.0000	Costo unitario directo por m2:		<b>27.26</b>
<b>Descripción Recurso</b>						
	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
CAPATAZ		hh	1.0000	0.0040	23.18	0.09
OPERARIO		hh	2.0000	0.0080	19.53	0.16
PEON		hh	6.0000	0.0240	14.44	0.35
						<b>0.60</b>
	<b>Materiales</b>					
PIEDRA CHANCADA 3/4"		m3		0.0271	60.00	1.63
ARENA CHANCADA 1/4"		m3		0.0254	45.00	1.14
ARENA ZARANDEADA 1/4"		m3		0.0130	45.00	0.59
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70		gal		1.8653	9.80	18.28
						<b>21.64</b>
	<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		3.0000	0.60	0.02
CAMIÓN VOLQUETE 15 m3		hm	4.0000	0.0160	150.00	2.40
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP.		hm	1.0000	0.0040	150.00	0.60
RODILLO TANDEM AUTOPROP.		hm	1.0000	0.0040	130.00	0.52
PAVIMENTADORA		hm	1.0000	0.0040	180.00	0.72
CARGADOR FRONTAL		hm	1.0000	0.0040	190.00	0.76
						<b>5.02</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**ANEXO N°34. COSTO UNITARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON 1% DE CAUCHO DE LLANTA**

Partida	<b>CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE 2" CON 1% CAUCHO DE LLANTA</b>					
<b>Rendimiento</b>	m2/DIA	MO. 2000.0000	EQ. 2000.0000	Costo unitario directo por m2:		<b>29.93</b>
<b>Descripción Recurso</b>						
	<b>Mano de Obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0040	23.18	0.09
	OPERARIO	hh	2.0000	0.0080	19.53	0.16
	PEON	hh	6.0000	0.0240	14.44	0.35
						<b>0.60</b>
	<b>Materiales</b>					
	PIEDRA CHANCADA 3/4"	m3		0.0271	60.00	1.63
	ARENA CHANCADA 1/4"	m3		0.0254	45.00	1.14
	ARENA ZARANDEADA 1/4"	m3		0.0130	45.00	0.59
	CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70	gal		1.8653	9.80	18.28
	POLVO DE CAUCHO	kg		0.7422	3.60	2.67
						<b>24.31</b>
	<b>Equipos</b>					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.60	0.02
	CAMIÓN VOLQUETE 15 m3	hm	4.0000	0.0160	150.00	2.40
	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROP.	hm	1.0000	0.0040	150.00	0.60
	RODILLO TANDEM AUTOPROP.	hm	1.0000	0.0040	130.00	0.52
	PAVIMENTADORA	hm	1.0000	0.0040	180.00	0.72
	CARGADOR FRONTAL	hm	1.0000	0.0040	190.00	0.76
						<b>5.02</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**ANEXO N°35. FICHA DE SEGURIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60-70**



**NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO**

**CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 RELAPASA**

**SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA**

**1.1 Identificador del producto**

<b>Nombre comercial</b>	CEMENTO ASFÁLTICO 60/70 RELAPASA
<b>Nombre Químico</b>	Asfalto.
<b>Sinónimos</b>	Asfalto de petróleo, asfalto para carreteras.
<b>N° CAS</b>	8052-42-4
<b>N° CE (EINECS)</b>	NP
<b>N° índice (Anexo VI)</b>	
<b>Reglamento CE N° 1272/2008)</b>	NP
<b>N° Registro</b>	NP
<b>N° Autorización</b>	NP

**1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

- Fabricación de sustancias.
- Utilización como producto intermedio.
- Formulación y (re)envasado de sustancias y mezclas.
- Utilización para recubrimientos.
- Utilización en operaciones de perforación y producción de campos petrolíferos y gasíferos.
- Aplicaciones para construcción y carreteras.
- Producción y procesado del caucho.
- Utilización como combustible.
- Lubricantes.

**1.3 Datos del proveedor de la nota informativa de seguridad del producto**

<b>Empresa</b>	REFINERÍA LA PAMPILLA, S.A.A.
<b>Dirección</b>	Casilla Postal 10245 Km. 25 Carretera a Ventanilla. Lima-1 PERU
<b>Teléfono</b>	(51-1) 517-2021(51-1) 517-2022
<b>Fax</b>	(51-1) 5172026

**SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS**

<b>2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla</b>	<b>2.2 Elementos de la etiqueta</b>
<b>Clasificación Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)</b>	<b>Etiquetado</b>





## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

NP	<b>Pictogramas</b>	NP
	<b>Palabra de advertencia</b>	NP
	<b>Indicaciones de peligro</b>	NP
	<b>Información suplementaria</b>	NP
	<b>Consejos de prudencia</b>	NP

### 2.3 Elementos suplementarios que deben figurar en las etiquetas

NP

### 2.4 Requisitos especiales de envasado

**Recipientes que deben ir provistos de un cierre de seguridad para niños:**

No aplica.

**Advertencia de peligro táctil:**

No aplica.

### 2.5 Otros peligros

Los resultados de la valoración PBT y mPmB del producto, de conformidad con los criterios establecidos en el anexo XIII del reglamento REACH, se pueden consultar en la sección 12.5 de esta nota informativa de seguridad del producto.

La información relativa a otros peligros, diferentes a los de la clasificación, pero que, pueden contribuir a la peligrosidad general del producto, se puede consultar en las secciones 5, 6 y 7 de esta nota informativa de seguridad del producto.

## SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Combinación muy compleja de compuestos orgánicos de elevado peso molecular y una proporción relativamente grande de hidrocarburos con un número de carbonos en su mayor parte superior a C25 (alta relación carbono-hidrógeno).

También contiene pequeñas cantidades de diversos metales como níquel, hierro o vanadio.

Se obtiene como el residuo no volátil de la destilación del petróleo crudo o por separación como el refinado de un aceite residual en un proceso de desasfaltado o descarbonización.

Componentes peligrosos Reg. (CE) 1272/2008 (CLP)	Concentración (%)	Indicaciones de peligro
NP		

## SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

### 4.1. Descripción de los primeros auxilios



---

## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

---

**Inhalación:** Irritación del tracto respiratorio a causa de la exposición excesiva a humos, nieblas o vapores.

En caso de que surjan síntomas por la inhalación de humos, nieblas o vapores del producto: retire al accidentado a un lugar tranquilo y bien ventilado, si fuera seguro hacerlo

Si el afectado está inconsciente y:

No respira, asegúrese de que no hay impedimento para la respiración y haga que personas adecuadamente preparadas proporcionen respiración artificial.

De ser necesario, aplique un masaje cardíaco y consiga asistencia médica.

Respira, colóquelo en la posición de recuperación.

Administre oxígeno si fuera necesario.

Consiga asistencia médica si se observan dificultades respiratorias.

Si hay sospechas de una posible inhalación de H<sub>2</sub>S:

El personal de salvamento debe utilizar aparatos de respiración, arneses y cuerdas de seguridad, así como respetar los procedimientos de salvamento.

Retire al accidentado al aire libre tan rápidamente como pueda.

Empiece a aplicar inmediatamente respiración artificial si ha cesado la respiración.

El suministro de oxígeno podría ser de ayuda.

Consiga asistencia médica para un posterior tratamiento.

**Ingestión/aspiración:** No provoque el vómito.

Solicite asistencia médica.

**Contacto con la piel:** En el caso de que el asfalto caliente entre en contacto accidentalmente con la piel, se debe colocar inmediatamente la parte lesionada bajo el chorro de agua fría durante 10 minutos al menos.

No intente retirar el asfalto adherido a la piel en el sitio de trabajo.

En el caso de que se produzca una quemadura anular con adherencia de asfalto, se debe fragmentar el material adherido para impedir que produzca al enfriarse un efecto de torniquete.

Envíe al accidentado al especialista

En caso de pequeñas quemaduras:

Enfríe la quemadura.

Mantenga la zona quemada bajo el chorro de agua fría durante al menos cinco minutos o bien hasta que disminuya el dolor.

No obstante, debe evitarse que el cuerpo sufra hipotermia.

No ponga hielo sobre las quemaduras; retire con cuidado las prendas que no estén adheridas.

NO intente retirar trozos de ropa que estén pegados a la piel quemada; en su lugar, corte alrededor de la misma.

Busque asistencia médica en todos los casos de quemaduras graves

No utilice nunca gasolina, petróleo ni otros disolventes para lavar la piel contaminada

**Contacto con los ojos:** Si salpica asfalto caliente a los ojos, debe enfriarse inmediatamente para disipar el calor con agua corriente fría durante al menos cinco minutos.

Consiga inmediatamente asesoramiento y tratamiento médico de un especialista para el afectado.

En caso de que el asfalto frío entre en contacto con los ojos, lávelos cuidadosamente con agua durante varios minutos.

Retire las lentes de contacto, si las tuviera colocadas y fuera fácil realizarlo.



---

## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

---

Siga enjuagándolos.

En caso de producirse irritación, visión borrosa o hinchazón y esta persistiera, obtenga asistencia médica de un especialista.

### 4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

**Inhalación:** Síntomas: irritación del tracto respiratorio a causa de una exposición excesiva a humos, nieblas o vapores.

**Ingestión/aspiración:** Síntomas: se prevén pocos o ningún síntoma. De darse algún síntoma, pueden ser náuseas.

**Contacto con la piel:** Síntomas (producto a temperatura ambiente): sin efectos. El contacto con un producto caliente o fundido puede causar quemaduras graves.

**Contacto con los ojos:** Síntomas: (producto a temperatura ambiente): El contacto con un producto caliente o fundido puede causar quemaduras graves.

### 4.3. Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

No quitar el asfalto adherido firmemente a la piel. Solicitar asistencia médica.

## SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

### 5.1. Medios de extinción

**Medios de extinción apropiados:** Espuma. Niebla de agua. Polvo químico seco. Dióxido de carbono. Otros gases inertes (sujetos a lo que indiquen las disposiciones). Arena o tierra.

**Contraindicaciones:** No utilice chorros directos de agua sobre el producto ardiendo; pueden ocasionar salpicaduras y extender el fuego. Debe evitarse el uso simultáneo de espuma y agua en la misma superficie, ya que el agua destruye la espuma.

### 5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

**Productos de combustión:** Es probable que una combustión incompleta produzca mezclas complejas de partículas sólidas y líquidas en suspensión y gases, incluyendo monóxido de carbono, H<sub>2</sub>S, SO<sub>x</sub> (óxidos de azufre) o ácido sulfúrico y compuestos orgánicos e inorgánicos no identificados.

**Medidas especiales:** Esta sustancia flotará y puede volver a prenderse en la superficie del agua

**Peligros especiales:** NP

### 5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios:

Indumentaria protectora de bomberos. En concentraciones elevadas de vapores y/o humos,



---

## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

---

es necesario contar con un aparato de respiración autónomo.

### SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

#### 6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

**Precauciones personales:** Guantes de trabajo (preferentemente manoplas) que proporcionen una resistencia química adecuada.

Nota:

Los guantes hechos de PVA no son resistentes al agua y no son adecuados para su uso en emergencias.

Si se prevé el contacto con el producto caliente, los guantes deben ser resistentes al calor y contar con aislante térmico.

Casco de trabajo con protector de cuello.

Zapatos o botas de seguridad, antideslizantes, anti-electricidad estática y resistentes al calor.

Gafas y/o protección facial si se prevén posibles salpicaduras o contacto con los ojos.

Protección respiratoria:

se puede utilizar un respirador de mascarilla o de máscara que cubra toda la cara, con uno o varios filtros de vapores orgánicos / H<sub>2</sub>S o un aparato de respiración autónomo (SCBA) en función a la extensión del vertido y al grado previsible de exposición.

Si no puede evaluarse completamente la situación o es posible que haya falta de oxígeno, deben emplearse únicamente aparatos de respiración autónomos SCBA.

**Protección personal:** Pequeños vertidos:

los monos de trabajo convencionales son generalmente válidos.

Grandes vertidos:

se debe usar una indumentaria de cuerpo completo de un material química y térmicamente resistente.

#### 6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Evite que el vertido alcance la red de alcantarillado o cualquier lugar en que pueda haber riesgo de acumulación.

#### 6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Vertidos en tierra:

Las fugas y vertidos se compondrán de material caliente fundido.

Riesgo de quemaduras graves.

Evite que el producto llegue a alcantarillas, ríos u otros cuerpos de agua.

Nota:

El producto solidificado puede obstruir sumideros y alcantarillas.

Si fuera preciso, contenga el producto con tierra, arena u otros materiales similares no combustibles.

Deje que el producto caliente se enfríe de forma natural.

Si fuera necesario, utilice con cuidado niebla de agua para facilitar su enfriamiento.

No se deben lanzar chorros directos de espuma o de agua sobre el producto fundido que se ha vertido, ya que se pueden producir salpicaduras del producto.

Cuando se encuentre dentro de edificios o espacios confinados, debe asegurar una ventilación adecuada.

Recoja el producto solidificado con medios mecánicos adecuados (por ejemplo, palas).

Traslade el producto recuperado a contenedores adecuados para su reciclaje, recuperación o eliminación de forma segura.



## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

Vertidos en agua o mares:

En caso de vertido en el agua, el producto se enfriará rápidamente y se solidificará.

El producto es más denso que el agua y se hundirá lentamente hasta el fondo, no pudiéndose llevar a cabo normalmente ninguna intervención.

Si fuera posible, contenga el producto.

Recoja el producto y los materiales contaminados utilizando medios mecánicos.

Traslade el producto recuperado y otros materiales a depósitos o contenedores adecuados y almacénelos o elimínelos de acuerdo con las disposiciones aplicables.

### 6.4. Referencia a otras secciones

El apartado 8 contiene consejos más detallados sobre los equipos de protección individual y el apartado 13 sobre la eliminación de los residuos.

## SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

### 7.1. Precauciones para una manipulación segura

**Precauciones generales:** Asegúrese de que se cumplen todas las disposiciones aplicables relativas a instalaciones de manejo y almacenamiento de esta clase de productos.

Evite el contacto de productos bituminosos calientes con el agua.

Peligro de salpicaduras de material caliente.

Evite el contacto con el producto caliente.

Debe llevarse a cabo una evaluación concreta del peligro de inhalación por la presencia de H<sub>2</sub>S en cámaras de aire de depósitos, espacios confinados, residuos de productos, depósitos de residuos, aguas residuales y emisiones involuntarias para poder determinar los controles adecuados a las circunstancias de cada caso.

La temperatura máxima de manejo seguro para el betún de pavimentación de carreteras es de 200 °C y a nivel industrial es 230 °C.

**Condiciones específicas:** Conecte a tierra el contenedor, los depósitos y los equipos de trasvase y recepción.

No respire humos del producto caliente.

Utilice los equipos de protección personal adecuados que se precisen.

Si desea más información relativa a los equipos de protección, consulte la sección "Controles de exposiciones/protección personal".

### 7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

**Temperatura y productos de descomposición:** Cuando se calienta excesivamente emite humos irritantes y acres. Máxima temperatura segura de almacenamiento al menos 30 °C por debajo del punto de inflamación.

**Reacciones peligrosas:** Puede arder rápidamente cuando se mezcla con nafta u otros disolventes volátiles.

Pueden formarse depósitos carbonosos sobre las paredes y techos de los tanques de almacenamiento, los cuales pueden ser pirofóricos y autoinflamarse.

El sulfuro de hidrógeno puede acumularse en los tanques a altas temperaturas cuando el tiempo de almacenamiento es largo.

**Condiciones de almacenamiento:** Prevenir la entrada de agua.



## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

El sulfuro de hidrógeno puede acumularse en el espacio de cabeza de los tanques de almacenamiento y potencialmente puede alcanzar concentraciones peligrosas.  
Ventilación adecuada (los orificios no deben terminar cerca de las ventanas o entradas de aire).  
Contenedores correctamente cerrados y etiquetados, en lugares frescos y ventilados.  
Los betunes deben ser manejados a la menor temperatura posible, teniendo en cuenta su uso eficiente.  
Cuando se está bombeando producto desde un tanque de almacenamiento se debe evitar el riesgo de fuego o explosión por la presencia de tubos calientes.  
Los tanques de betún se pueden calentar con aceite caliente, vapor, electricidad o llama.  
En las situaciones en la que se bombea betún desde un tanque que tiene tubos calentadores se deben tomar precauciones para impedir que el nivel de producto por encima de los tubos sea inferior a 150 mm, a no ser que se haya desconectado el calentamiento durante el tiempo suficiente para que se enfrien.  
Se debe realizar una inspección para asegurar que el tanque receptor tiene suficiente espacio vacío para contener la carga.  
- La temperatura máxima segura de almacenamiento es de 230 ° C.

**Materiales incompatibles:** Los betunes calientes no se deben echar a un tanque o depósito húmedo, ya que el vapor de agua puede provocar erupciones violentas cuando el betún es calentado.  
Evitar el contacto directo con el agua.

- 7.3. **Usos específicos finales**  
Ver apartado 1 ó escenario de exposición

## SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

### 8.1 Parámetros de control

Humos de Asfalto / Betún (fracción soluble en benceno) (Nº CAS: 8052-42-4):  
INSHT (España):VLA-ED: 0,5 mg/m<sup>3</sup>.  
ACGIH (USA): TLV/TWA: 0,5 mg/m<sup>3</sup>.  
Lijst Grenswaarden / Valeurs Limites (Bélgica): TWA: 5 mg/m<sup>3</sup>.  
Arbejdstilsynet (Dinamarca): TWA: 1 mg/m<sup>3</sup> / STEL: 2 mg/m<sup>3</sup>.  
NAOSH (Irlanda): TWA: 0,5 mg/m<sup>3</sup> / STEL: 10 mg/m<sup>3</sup>.  
Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej (Polonia): TWA: 5 mg/m<sup>3</sup> / STEL: 10 mg/m<sup>3</sup>.  
NIOSH (USA): REL-STEL: 5 mg/m<sup>3</sup>.  
EH40/2005 WELs (Reino Unido): OEL-TWA: 5 mg/m<sup>3</sup> / OEL-STEL: 10 mg/m<sup>3</sup>.  
Sulfuro de hidrógeno (Nº CAS:7783-06-4):  
INSHT (España):VLA-ED : 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>) / VLA-EC: 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>).  
ACGIH (USA): TLV-TWA: 1 ppm  
GKV\_MAK (Austria): TWA: 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>) / STEL: 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>).  
Lijst Grenswaarden / Valeurs Limites (Bélgica): TWA: 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>) / STEL: 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>).  
Arbejdstilsynet (Dinamarca): TWA: 10 ppm (15 mg/m<sup>3</sup>) / STEL: 20 ppm (30 mg/m<sup>3</sup>).  
INRS (Francia): TWA: 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>) / STEL: 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>).  
TRGS900 AGW (Alemania): TWA: 5 ppm (7,1 mg/m<sup>3</sup>) / STEL: 10 ppm (14,2 mg/m<sup>3</sup>).  
EüM-SzCsM (Hungria):TWA: 14 mg/m<sup>3</sup>/ STEL: 14 mg/m<sup>3</sup>.  
NAOSH (Irlanda): TWA: 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>) / STEL: 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>).  
Ministerio della Salute (Italia): TWA: 5 ppm (7 mg/m<sup>3</sup>) / STEL: 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>).



## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

LV Nat. Standardisation and Meterological Centre (Letonia): TWA: 10 mg/m<sup>3</sup>.  
Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej (Polonia): TWA: 7 mg/m<sup>3</sup> / STEL: 14 mg/m<sup>3</sup>.  
AFS 2005:17 (Suecia): NGV: 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>) / KTV: 15 ppm (20 mg/m<sup>3</sup>).  
NIOSH (USA): REL-STEL: 10 ppm (15 mg/m<sup>3</sup>).  
OSHA (USA): PEL-TWA: 4 ppm / PEL-STEL: 20 ppm  
EH40/2005 WE Ls (Reino Unido): OEL-TWA: 5 ppm (4 mg/m<sup>3</sup>) / OEL-STEL: 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>).

### DNEL DNELs para trabajadores

Efecto sistémico, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día) : Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto sistémico, exposición aguda, Inhalación (mg/m3): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto local, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto local, exposición aguda, Inhalación (mg/m3): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto sistémico, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto sistémico, exposición prolongada, Inhalación (mg/m3): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto local, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): Ni tampoco efecto umbral y/o ninguna información de respuesta a dosis disponible  
Efecto local, exposición prolongada, Inhalación (mg/m3/8h): 2,9

### DNELs para la población

Efecto sistémico, exposición aguda, Dérmica(mg/kg bw /día) : Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto sistémico, exposición aguda, Inhalación (mg/m3): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto sistémico, exposición aguda, Oral (mg/kg bw /día): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto local, exposición aguda, Dérmica (mg/kg bw /día): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto local, exposición aguda, Inhalación (mg/m3): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto sistémico, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto sistémico, exposición prolongada, Inhalación (µg/m3): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto sistémico, exposición prolongada, Oral (µg/kg bw /día): Ningún peligro identificado para esta ruta  
Efecto local, exposición prolongada, Dérmica (mg/kg bw /día): ni tampoco efecto umbral y/o ninguna información de respuesta a dosis disponible  
Efecto local, exposición prolongada, Inhalación (mg/m3/24 h): 0,6

### PNEC

PNEC agua, sedimentos, suelo y STP

PNEC Derivación no científicamente justificada basada en las limitaciones de la



## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

solubilidad en agua

PNEC Envenenamiento secundario oral

Un PNEC oral no se ha derivado porque la sustancia no presenta bio-acumulación potencial o clasificación sobre la base de datos de toxicidad para mamíferos.

### 8.2 Controles de la exposición

Cuando se manipula asfalto en lugares cerrados, debe existir una buena ventilación local.

#### Equipos de protección personal

**Protección respiratoria:** Normalmente no es necesaria bajo condiciones normales de uso y con ventilación adecuada. Utilizar equipo aprobado de protección respiratoria en los espacios donde el sulfuro de hidrógeno pueda acumularse.

**Protección cutánea:** Llevar ropa de protección para las operaciones normales con el material caliente como mono de trabajo (con perneras por encima de las botas y mangas sobre los guantes), guantes resistentes al calor, botas y protección para el cuello si las salpicaduras son probables.

**Protección ocular:** Gafas de seguridad y/o visores en caso de que exista peligro de salpicaduras.

**Otras protecciones:** Cremas protectoras.

**Prácticas higiénicas en el trabajo:** Deben usarse duchas con agua caliente. Usar jabón y no otros disolventes. Tanto la ropa como los útiles deben cambiarse frecuentemente y limpiarse en seco. La ropa muy contaminada debe cambiarse inmediatamente. Debe revisarse el estado de los guantes para evitar una contaminación interna. Utilizar cremas para la piel después del trabajo.

**Condiciones médicas agravadas por la exposición:** Problemas dermatológicos.

#### Controles de exposición medioambiental:

El producto no debe alcanzar el medio a través de desagües ni del alcantarillado. Las medidas a adoptar en caso de vertido accidental se pueden consultar en la sección 6 de esta nota informativa de seguridad del producto.

## SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

### 9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Aspecto: Líquido.

Olor: Característico.

Umbral olfativo : NP

Color: Marrón oscuro a negro.

Valor pH: NP

Punto fusión/Punto de congelación : NP

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición : > 470 °C

Punto de inflamación : >230 °C (ASTM D-92)





## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

Tasa de evaporación : NP  
Inflamabilidad (sólido, gas) : NP  
Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad : NP  
Presión de vapor : Insignificante a temperatura ambiente.  
Densidad de vapor : 30 (aire: 1)  
Densidad : 1-1,05 g/cm<sup>3</sup> a 25 °C (ASTM D-70)  
Solubilidad(es) : Disulfuro de carbono, cloroformo, éter o acetona.  
Coeficiente de reparto n-octanol/agua : NP  
Temperatura de auto-inflamación : > 300 °C  
Temperatura de descomposición : NP  
Viscosidad : NP  
Propiedades explosivas : NP  
Propiedades comburentes : NP

### 9.2 Información adicional

Tensión Superficial: 70 Din/cm a 77 °C  
Penetración a 25 °C, 100g., 5 seg., 0.1 mm: 60- 70  
Hidrosolubilidad: Insoluble.

## SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. **Reactividad:** NP

10.2. **Estabilidad química:** Producto estable a temperatura ambiente.

10.3. **Posibilidad de reacciones peligrosas:** Impedir que el producto fundido entre en contacto con agua u otro líquido. Se debe evitar la contaminación de aceite y producto de los aislamientos térmicos y el revestimiento se debe reemplazar donde sea necesario por un tipo de aislamiento no absorbente. El calentamiento da lugar a la autoinflamación de las superficies de materiales fibrosos o porosos impregnados con producto o con condensados de los humos bituminosos, lo que puede ocurrir a temperaturas inferiores a los 100 °C . Evitar el contacto con oxidantes fuertes.

10.4. **Condiciones que deben evitarse:** El calentamiento excesivo por encima de la temperatura máxima recomendada de manipulación y almacenamiento puede causar craqueo y formación de vapores inflamables.

10.5. **Materiales incompatibles:** NP

10.6. **Productos de descomposición peligrosos:** En los lugares cerrados puede acumularse sulfuro de hidrógeno por encima del producto.

## SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

### 11.1. Información sobre los efectos toxicológicos

La información toxicológica facilitada resulta de la aplicación de los anexos VII a XI del reglamento 1907/2006 (REACH).

**Toxicidad aguda:** El asfalto no cumple los criterios de clasificación como producto tóxico oral, por inhalación o dérmico agudo, porque los valores de LD50/LC50 son superiores a los



## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

límites de clasificación definidos en los criterios. Tomando como referencia viscosidades cinemáticas calculadas o medidas, los productos bituminosos no constan en la clasificación de peligro por aspiración. El valor de LD50 oral fue inferior a 5000 mg/kg bw en ratas macho y hembra con dos residuos en vacío de petróleo. El valor de LD50 dérmico fue > 2000 mg/kg bw en conejos macho y hembra con dos residuos en vacío de petróleo. El valor de LD50 fue > 94,4 mg/m<sup>3</sup> en ratas macho y hembra con humos de asfalto (semisoplado) oxidizado.

**Corrosión o irritación cutáneas:** No irritante

**Lesiones o irritación ocular graves:** No irritante

**Sensibilización respiratoria o cutánea:** no sensibiliza

**Mutagenicidad en células germinales:** Toxicidad genética negativa

**Carcinogenicidad:** El potencial carcinogénico de betún y humos de betún se ha investigado en animales después de exposición dérmica e inhalada. Además se han llevado a cabo estudios epidemiológicos en poblaciones humanas expuestas. Los datos disponibles no indican que la exposición a humos de asfalto o de betún presentan un riesgo cancerígeno. Clasificación IARC de la exposición ocupacional a los betunes duros y a sus emisiones durante los trabajos con másticos bituminosos: 2B

La clasificación del producto se corresponde con la comparación de los resultados de los estudios toxicológicos realizados con los criterios que figuran en el Reglamento (CE) n° 1272/2008 para los efectos CMR, categorías 1A y 1B.

**Toxicidad para la reproducción:** No se ha realizado ningún estudio de inhalación en lo que respecta al betún. Existe un vacío de datos con respecto a los requisitos de análisis para el estudio de toxicidad del betún del Anexo X REACH (8.7.2). El estudio propuesto se realizaría de acuerdo con la Directriz 414 de la OCDE (Estudio de toxicidad del desarrollo prenatal). No disponemos de estudios integrales de toxicidad reproductiva de dos generaciones ni de desarrollo de las directrices en cuanto al betún. Se ha incluido una propuesta de prueba pero los datos disponibles en este momento no son preocupantes en lo que respecta a la clasificación del betún como tóxico para la reproducción o el desarrollo con arreglo a la Normativa CLP (CE) 1272/2008

**Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única:** NP

**Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida:** La toxicidad de dosis repetidas de betún ha sido investigado por dérmica y por inhalación. Además de la irritación leve del tracto respiratorio superior no hay pruebas de que la exposición al humo de betún o asfalto causa toxicidad sistémica.

**Peligro de aspiración:** NP

## SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

**12.1. Toxicidad:** El producto no está clasificado como peligroso para el medio ambiente.

**12.2. Persistencia y degradabilidad:** Es improbable que produzca fracciones hidrosolubles. Los materiales vertidos pueden hundirse hasta el fondo, provocando daños mecánicos a la fauna



## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

y la flora con la que entre en contacto. Los componentes del asfalto no se biodegradan de forma significativa en el medio ambiente. En condiciones normales, el producto permanecerá tal cual.

- 12.3. Potencial de bioacumulación:** La bioacumulación es improbable dada su baja solubilidad en agua.
- 12.4. Movilidad en el suelo:** De acuerdo a sus propiedades físicas, el asfalto no es móvil y permanecerá en la superficie del suelo o se asentará en las capas desedimento acuático debido a su insolubilidad, aunque en algunos casos puede llegar a flotar.
- 12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB:** La sustancia no cumple todos los criterios específicos que se detallan en el Anexo XIII o no permite realizar una comparación directa con todos los criterios del Anexo XIII, pero sin embargo, se señala que la sustancia no presentaría todas estas propiedades y la sustancia no se considera un PBT/vPvB. El antraceno no se halla presente en esta sustancia a niveles superiores al 0,1%. No se observaron otras estructuras de hidrocarburos reseñables que pudieran cumplir los criterios de PBT/mPmB
- 12.6. Otros efectos adversos:** NP

## SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

### 13.1. Métodos para el tratamiento de residuos

**Eliminación:** Se lleva a cabo por incineración en un horno especial o emplazándolo en vertederos controlados. Reciclar si es posible.

**Manipulación:** Reducir al mínimo el contacto con la piel. Evitar la proximidad de focos térmicos.

**Disposiciones:** Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir la ley 27314, ley general de residuos sólidos, su reglamento D. S. 057-2004-PCM y las normas sectoriales y locales específicas y las disposiciones vigentes del D. S. 015-2006-EM relativo a la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos u otras disposiciones en vigor.

## SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

**14.1. Número ONU:** UN 3257

**14.2. Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas:**  
LÍQUIDO A TEMPERATURA ELEVADA, N. E. P.  
(ASFALTO)

**14.3. Número de identificación de peligro:** 99

**14.4. Grupo de embalaje**

**ADR/RID:** Clase 9. Código de clasificación: M9. Grupo de embalaje: III. Código de restricción en túneles: D.



## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

- || **IATA-DGR:** Transporte prohibido a temperaturas  $\geq 100$  °C.
- || **IMDG:** Clase 9. Grupo de embalaje: III.
- 14.5. **Peligros para el medio ambiente**
  - ADR/RID:** NP
  - IATA-DGR:** NP
  - IMDG:** NP
- 14.6. **Transporte a granel con arreglo al anexo II del convenio Marpol 73/78 y del código IMSBC**
  - || No tiene categoría asignada para código IMSBC.
- 14.7. **Precauciones particulares para los usuarios**
  - || Estable a temperatura ambiente y durante el transporte. Transportar en contenedores y cisternas homologadas para productos a temperatura debidamente cerrados y etiquetados. Cuando el producto se transporta a temperatura ambiente, no está clasificado como mercancía peligrosa.

## SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

- 15.1. **Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla**

REGLAMENTO (UE) N.º 453/2010: REQUISITOS PARA LA ELABORACIÓN DE LAS FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA).

Reglamento (CE) no 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas (CLP).

Ley N.º 27314: Ley general de residuos sólidos.

D.S. 057-2004-PCM: que aprueba el reglamento de la Ley N.º 27314, Ley general de residuos sólidos.

D.S. 015-2006-EM: Reglamento para la protección ambiental en las actividades de hidrocarburos.

D.S. 026-94-EM: Reglamento de seguridad para el transporte de hidrocarburos.

D.S. 030-98-EM: Reglamento para la comercialización de combustibles líquidos y otros productos derivados de los hidrocarburos.

D.S. 045-2001-EM: Reglamento para la Comercialización de Combustibles Líquidos y otros Productos Derivados de los Hidrocarburos.

D. S. 041-2005-EM: Modificación del D. S. 025-2005-EM que aprueba el cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N.º 1 y N.º 2.

D. S. 025-2005-EM: Aprueban cronograma de reducción progresiva del contenido de azufre en el combustible Diesel N.º 1 y N.º 2.

Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por carretera (ADR).

Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (RID).

Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG).

Regulaciones de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) relativas al transporte de mercancías peligrosas por vía aérea.



## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

D.S. 021-2007-EM: Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles.  
D.S. 064-2008-EM: Modifican Artículos del Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles.  
RCD-206-2009-OS-CD - Procedimiento Control Calidad de Biocombustibles y Mezclas.  
RM 515-2009-MEM-DM - Establecen las Especificaciones de Calidad para el Gasohol.  
R. S. 165-2008-MEM/DM: Calidad y métodos de ensayo para medir las propiedades de los combustibles Diesel B2, Diesel B5 y Diesel B20.  
D.S. 061-2009-EM: Establecen criterios para determinar zonas geográficas en que se podrá autorizar la comercialización de combustible diesel un contenido de azufre máximo de 50 ppm.  
Código internacional de sustancias químicas a granel (Código IMSBC), Convenio Marpol 73/78.

**Reglamento Otros peligros**  
NP

- 15.2. Evaluación de la seguridad química**  
No se realizó una valoración de la seguridad química.

## SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

### Glosario

CAS: Servicio de Resúmenes Químicos.  
IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer.  
ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists.  
TLV: Valor Límite Umbral.  
TWA: Media Ponderada en el tiempo.  
STEL: Límite de Exposición de Corta Duración.  
REL: Límite de Exposición Recomendada.  
PEL: Límite de Exposición Permitido.  
INSHT: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.  
VLA-ED: Valor Límite Ambiental – Exposición Diaria.  
VLA-EC: Valor Límite Ambiental – Exposición Corta.  
DNEL/DMEL: Nivel sin efecto derivado / Nivel derivado con efecto mínimo.  
PNEC: Concentración prevista sin efecto.  
DL50: Dosis Letal Media.  
CL50: Concentración Letal Media.  
CE50: Concentración Efectiva Media.  
CI50: Concentración Inhibitoria Media.  
BOD: Demanda Biológica de Oxígeno.  
NOAEL: nivel sin efectos adversos observados  
NOEL: nivel de efecto nulo  
NOAEC: Concentración sin efecto adverso observado  
NOEC: Concentración sin efecto observado  
NP: No procede  
|| : Cambios respecto a la revisión anterior

### Bases de datos consultadas

EINECS: European Inventory of Existing Commercial Substances.  
TSCA: Toxic Substances Control Act, US Environmental Protection Agency.  
HSDB: US National Library of Medicine.  
RTECS: US Dept. of Health & Human Services.



---

## NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO

---

### Texto completo de las Indicaciones de peligro que no están incluidas en el apartado 2 NP

Las empresas compradoras tienen la obligación de asegurar que sus empleados cuentan con la formación adecuada para manipular y utilizar el producto de forma segura, conforme a las indicaciones incluidas en esta nota informativa de seguridad del producto.

Asimismo, las empresas compradoras de este producto tienen la obligación de informar a sus empleados, y a las personas que pudieran manipularlo o utilizarlo en sus instalaciones, de todas las indicaciones incluidas en la NOTA INFORMATIVA DE SEGURIDAD DE PRODUCTO, especialmente las referidas a los riesgos del producto para la seguridad y salud de las personas y para el medio ambiente.

Ficha/Hoja informativa de Seguridad elaborada en cumplimiento del artículo 32 de la Reglamento (EC) 1907/2006 (REACH), con el objeto de comunicar a los eslabones posteriores de la cadena de suministro información sobre las sustancias por sí solas o contenidas en mezclas que no requieren una ficha de datos de seguridad en formato SDS. Por tanto, el presente documento no constituye una Ficha de Datos de Seguridad (FDS/SDS) del artículo 31 del Reach, no siendo obligatorio a los efectos del REACH el acompañamiento de una FDS/SDS para la sustancia o mezcla objeto de la presente Ficha/Hoja informativa de Seguridad.

La información contenida en la presente Ficha/Hoja informativa de Seguridad ha sido elaborada por Repsol de acuerdo con la mejor información disponible con base en datos técnicos que considera fiables en el momento de su emisión. La información será utilizada por el destinatario por su cuenta y riesgo. En consecuencia, ningún aspecto de la presente se interpretará como una recomendación del uso o usos de cualquier sustancia o mezcla, ni por tanto ninguna recomendación de uso que pudiera estar en conflicto con patentes existentes que pudieran cubrir o proteger cualquier sustancia, mezcla o producto o su uso. El presente documento no constituye en ningún caso el otorgamiento de licencia alguna, con lo que no implica para el destinatario libertad de operación sobre cualquier patente titularidad de Repsol (el que emite la ficha) o de terceros.

Toda la información, y en su caso, afirmaciones o sugerencias contenidas en esta Ficha/Hoja informativa de Seguridad está exentas de garantía, expresa o implícita, sobre la exactitud de la información, y del riesgo relacionado con el uso de la misma incluida la comercialización, la idoneidad para un propósito en particular, así como para cualquier uso, o que el uso de dicha información no infrinja cualquier patente. Se excluyen expresamente todas las garantías implícitas de comercialización o idoneidad para cualquier propósito y en consecuencia Repsol no asume ningún tipo de responsabilidad por los resultados obtenidos o por cualquier tipo de daño (incluidos daños a las personas, bienes y medio ambiente) que pudiera derivarse, en todo o en parte, de la utilización que realice el destinatario de la información contenida en la misma.

Fuente: Repsol

**ANEXO N°36. PANEL FOTOGRÁFICO**



**Figura 6.3:** Cuarteo del agregado grueso  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.4:** Cuarteo del agregado fino  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.5:** Análisis granulométrico para el agregado fino  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.6:** Análisis granulométrico para el agregado grueso  
**Fuente:** *Elaboración propia*





**Figura 6.7:** Muestra en el horno de agregado grueso para Contenido de Humedad  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.8:** Muestra en el horno de agregado fino para Contenido de Humedad  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.9:** Límite de Consistencia – Limite Líquido  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.10:** Límite de Consistencia – Limite Plástico  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.11:** Ensayo Abrasión Los Ángeles  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.12:** Material de desgaste por abrasión  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.13:** Preparación de solución para Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Fuente: *Elaboración propia*



**Figura 6.14:** Inmersión de las muestras en la solución de Sulfato de Magnesio

Fuente: *Elaboración propia*



**Figura 6.15:** Equipos, materiales e insumos para Equivalente de arena  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.16:** Lectura de arena y arcilla para Equivalente de Arena  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.17:** Calentamiento de materiales para elaboración de probetas  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.18:** Mezcla de materiales para elaboración de probetas  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.19:** Colocación de moldes y martillo Marshall en baño María  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.20:** Vaciado de mezcla asfáltica en moldes pre-calentados Marshall  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.21:** Chuseo de la mezcla asfáltica en caliente  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.22:** Compactación de probetas con martillo Marshall  
**Fuente:** *Elaboración propia*





**Figura 6.23:** Extracción de probetas  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.24:** Caucho utilizado en la mezcla asfáltica  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.25:** Ensayo granulométrico del caucho a utilizar  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.26:** Incorporación de caucho a los agregados pétreos  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.27:** Adición de cemento asfáltico a la mezcla de agregados y caucho  
*Fuente: Elaboración propia*



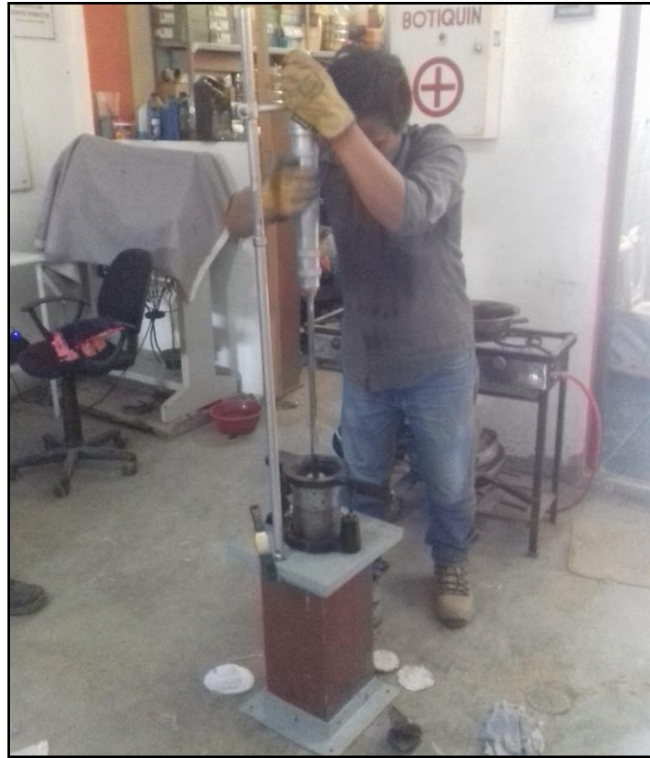
**Figura 6.28:** Mezcla de materiales con caucho para elaboración de probetas  
*Fuente: Elaboración propia*



**Figura 6.29:** Vaciado de mezcla con caucho en moldes pre-calentados Marshall  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.30:** Chuseo de la mezcla asfáltica con caucho  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.31:** Compactación de la mezcla asfáltica con caucho  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.32:** Extracción de probetas de mezcla asfáltica con caucho  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.33:** Peso unitario de probetas de mezcla asfáltica con caucho  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.34:** Colocación de probetas en baño maría  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.35:** Estabilidad y flujo a través de prensa Marshall de probetas de mezclas asfálticas con caucho  
**Fuente:** *Elaboración propia*



**Figura 6.36:** Probetas de mezcla asfáltica con caucho después de la Prensa Marshall  
**Fuente:** *Elaboración propia*